

Estensometro e tracker video

Versione 1.0

Filippo M. Mastracci

`mastracci.1758962@studenti.uniroma1.it`

Luglio, 2021

Indice

1	Introduzione	2
2	Analisi 2D	3
2.1	Loading output Ncorr	3
2.2	Scelta della funzione	4
2.3	Tracker	4
2.3.1	Scelta dei punti	4
2.3.2	Acquisizione frame	6
2.3.3	Plotting risultati	6
2.3.4	Salvataggio output tracker	7
2.4	Estensometro	7
2.4.1	Calcolo degli allungamenti	9
2.4.2	Plotting dei risultati	9
2.4.3	Salvataggio output estensometro	10
2.5	Ripetere l'analisi	10
3	Analisi 3D	12
3.1	Problemi di campi visivi	12
3.2	Loading output MultiDIC	13
3.3	Scelta della funzione	13
3.4	Point Tracker	13
3.4.1	Salvataggio output Point Tracker	15
3.5	Section Tracker	15
3.5.1	Calcolo rotazioni e spostamenti delle sezioni	17
3.5.2	Estensometro assiale	17
3.5.3	Salvataggio dei risultati delle sezioni	18

1. Introduzione

In questo documento viene spiegato l'utilizzo del programma di tracker ed estensometro video.

Si tratta di una libreria che, partendo dai risultati di software open-source di correlazioni di immagini, permette di simulare il funzionamento tanto di un estensometro quanto di un tracker in 2D e 3D.

I software utilizzati sono Ncorr, un software di analisi immagini 2D sviluppato da Justin Blaber e disponibile al seguente link

<http://www.ncorr.com/>

e MultiDIC, un software che, utilizzando Ncorr, permette di ricostruire dei punti in uno spazio tridimensionale e scaricabile al seguente link

<https://github.com/MultiDIC/MultiDIC/>

I procedimenti per installare entrambi i software sono abbondantemente descritti dai rispettivi sviluppatori. Per il loro funzionamento si fa riferimento ai rispettivi manuali pubblicati nei link.

Per iniziare a utilizzare il presente programma è sufficiente scaricare la libreria Matlab al seguente link

<https://github.com/Filipmas/Video-extensometer> e aggiungere sia la cartella che le sotto-cartelle ai **path** di Matlab.

Per funzionare, il programma ha bisogno che sia installato l'**Image Processing Toolbox** di Matlab oltre a tutti i toolbox necessari a Ncorr e MultiDIC.

2. Analisi 2D

2.1 Loading output Ncorr

Per questa sezione sono necessari i risultati di un'analisi DIC del software Ncorr. È sufficiente fermarsi alla formattazione degli spostamenti (**Formatting displacements** del manuale di Ncorr) senza dover calcolare anche gli allungamenti. Per il funzionamento completo del software Ncorr si rimanda al manuale apposito.

Nelle pagine seguenti si farà riferimento a grandezze quali posizioni in pixel e posizioni nodali. Se non diversamente specificato, il sistema di riferimento della generica immagine ha origine nell'angolo superiore sinistro. La coordinata X è crescente verso destra mentre la Y è crescente verso il fondo dell'immagine. La posizione in pixel è la posizione in questo sistema di riferimento.

Ncorr crea all'interno dell'immagine una griglia quadrata di pixel, chiamati nodi, dei quali vengono tracciati gli spostamenti durante la prova. I nodi sono distanziati da un numero di pixel uguale allo **spacing** imposto. La posizione nodale corrisponde alla coppia di indici che identificano il nodo considerato.

L'analisi 2D viene compiuta eseguendo lo script **Analysis_2d** su Matlab. Viene richiesto di cercare e caricare il file degli output di Ncorr. All'interno di esso sono salvate le directory delle immagini usate durante l'analisi e il presente programma utilizza queste immagini. È importante che le immagini non siano spostate in un'altra directory.

Il programma estrae dal file Ncorr le informazioni necessarie

- **Displacements_U** e **Displacements_V**: spostamenti dei nodi;
- **refimage**: directory dell'immagine di riferimento;
- **logica_mask**: la maschera della Region of Interest (ROI);
- **n_steps**: numero delle immagini analizzate;
- **coeff_pixel**: costante di conversione da pixel all'unità di misura impostata durante il **Formatting displacements**;
- **units**: l'unità di misura impostata;



Figura 2.1: Selezione della funzione da utilizzare

- `coeff_spacing`: il distanziamento in pixel tra due nodi adiacenti.

2.2 Scelta della funzione

Nella finestra mostrata in figura 2.1 si sceglie se usare una delle due funzioni o entrambe.

Alle variabili `tracker_function` e `extensometer_function` vengono assegnati i valori `true` o `false` a seconda dell'opzione scelta. Nelle fasi successive lo script attiva solamente le funzioni con il corrispettivo valore impostato su `true`.

2.3 Tracker

2.3.1 Scelta dei punti

Attraverso l'interfaccia mostrata in figura 2.2 si scelgono quanti e quali punti tracciare.

A destra viene proiettata la ROI dell'immagine di riferimento arricchita di un sistema di riferimento in pixel centrato rispetto all'immagine. A sinistra, invece, si scelgono i punti da tracciare utilizzando i comandi all'interno della finestra di selezione:

- **Point n.** è un numero intero che rappresenta l'ID del punto selezionato;
- **Coordinate** in questo pannello vanno inserite le coordinate in pixel del punto da tracciare;
- **Find nearest node** ricerca tra tutti i nodi costruiti nella fase di analisi immagine quello che si avvicina di più alle coordinate selezionate e lo colora di rosso all'interno della reference image;
- **Add current point** conferma la scelta fatta e cambia il colore del nodo in verde. Al punto viene assegnato l'ID **Point n.**;

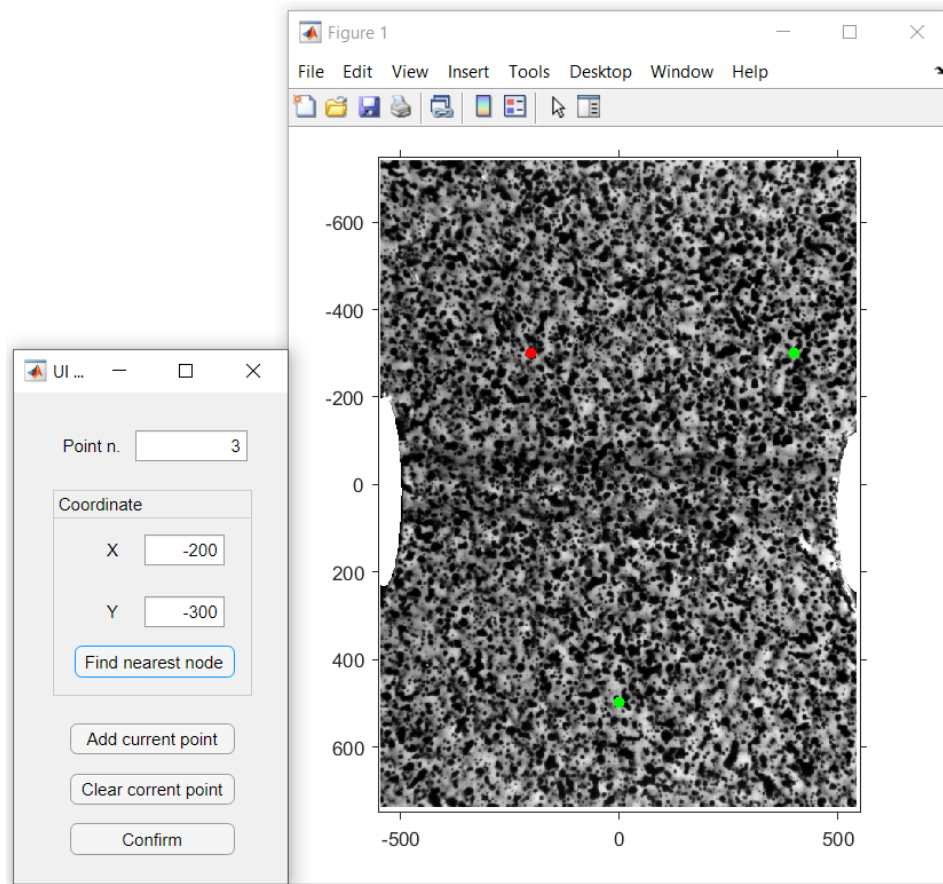


Figura 2.2: Selezioni dei punti del tracker.

- **Clear current point** elimina il nodo indicato in **Point n.** dalla lista dei nodi confermati;
- **Confirm** oltre a premere il tasto **Add current point** conferma le scelte fatte, le salva nel workspace all'interno della variabile **tracker_point** e chiude l'interfaccia di selezione.

Durante la scelta dei nodi da tracciare si ricordi di cambiare il valore di **Point n.** per non sovrascrivere un nodo già scelto.

Lo script crea una variabile **displacements_nodes_tracker** a 3 ingressi che contiene gli spostamenti dei nodi selezionati. In particolare, la prima entrata indica il frame, la seconda lo spostamento U o V (1=lungo x, 2=lungo y) e la terza indica l'ordine nel nodo, non il suo ID.

2.3.2 Acquisizione frame

In questa fase vengono utilizzate le diverse immagini della prova e gli spostamenti calcolati per creare un video che mostri lo spostamento dei nodi.

Per acquisire i vari frame le immagini vengono plottate in rapida successione insieme ai nodi selezionati e a dei riquadri che ne riassumono le posizioni. È molto importante che durante la fase di acquisizione non si interferisca con la finestra per evitare problemi di compatibilità e di variazione delle immagini durante l'acquisizione. Comunque, questa fase è abbastanza breve e dura circa un minuto.

I frames sono salvati all'interno della struttura `Tracker_frames`. Terminata l'acquisizione viene domandato se visualizzare e salvare il video.

2.3.3 Plotting risultati

Per ogni nodo scelto la corrispondente traiettoria viene plottata all'interno di una figura. Ad ogni segno "+" corrisponde una posizione e sono associate le informazioni di spostamenti e istante, come mostrato in figura 2.3. Gli spostamenti sono riportati nelle unità di misura utilizzate durante l'analisi.

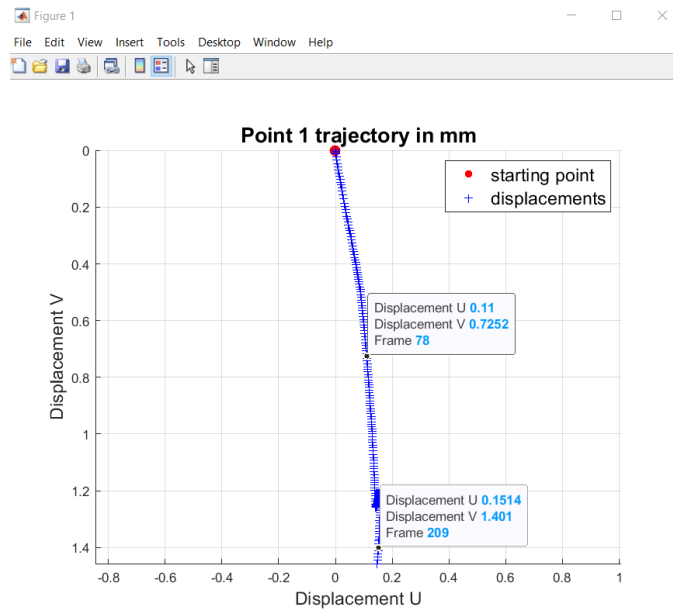


Figura 2.3: Output delle traiettorie.

2.3.4 Salvataggio output tracker

Infine, i risultati dei nodi tracciati possono essere salvati all'interno di un file Matlab. Questo file contiene una **structure** con diversi diverse sottostrutture.

Tabella 2.1: Output del tracker 2D: sottostrutture.

Tracked_points		Sottostruttura contenente le informazioni sui nodi.
	PointsID	Sono riportati, in ordine, gli ID assegnati ai diversi nodi.
	Coordinates_pixel	Sono riportate le coordinate dei nodi scelti in pixel.
	Coordinates_node	Sono riportate le posizioni nodali dei nodi scelti.
	Displacements_U_pixel	Sono riportati gli spostamenti orizzontali dei nodi in pixel.
	Displacements_V_pixel	Sono riportati gli spostamenti verticali dei nodi in pixel.
	Displacements_U_units	Sono riportati gli spostamenti orizzontali dei nodi nell'unità di misura scelta.
	Displacements_V_units	Sono riportati gli spostamenti verticali dei nodi nell'unità di misura utilizzata.
DIC_info		Sottostruttura contenente informazioni sull'analisi DIC. Corrispondete alla DIC_info di Ncorr.

2.4 Estensometro

La funzione di estensometro utilizza gli stessi output di Ncorr impiegati dal tracker.

La figura 2.4 mostra l'interfaccia di scelta dei punti in cui applicare le "lame" dell'estensometro virtuale.

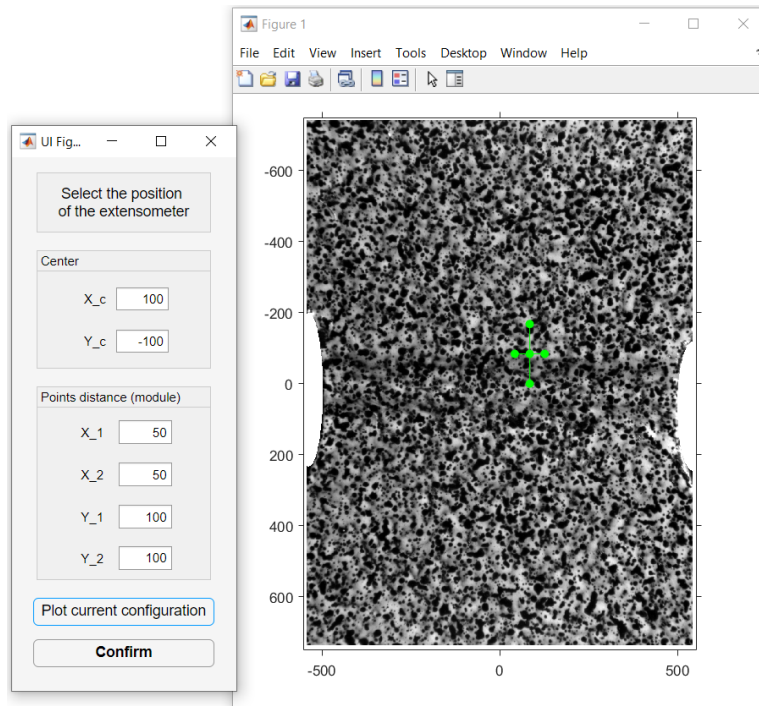


Figura 2.4: Selezione dei punti dell'estensometro.

Come per il tracker, la reference image è proiettata a destra. La posizione delle lame dell'estensometro è derivata dalla scelta della posizione del centro e dell'apertura. In particolare

- X_c e Y_c sono le coordinate del centro C dove piazzare l'estensometro;
- X_1 e X_2 sono le aperture lungo la X dell'estensometro, intese come distanze, rispettivamente a sinistra e a destra rispetto al centro C . In quanto distanze devono essere inserite in valore assoluto;
- Y_1 e Y_2 sono le aperture lungo la Y dell'estensometro, intese come distanze, rispettivamente sopra e sotto rispetto al centro C . In quanto distanze devono essere inserite in valore assoluto;
- **Plot current configuration** mostra la configurazione scelta per l'estensometro sulla reference image;
- **Confirm** conferma la configurazione scelta e chiude l'interfaccia di selezione permettendo allo script di procedere.

2.4.1 Calcolo degli allungamenti

Gli allungamenti vengono calcolati sulla base degli spostamenti dei nodi nelle posizioni scelte. Sono applicate entrambe le definizioni di allungamento

$$\begin{aligned}\text{true strain: } d\varepsilon &= \frac{dl}{l} \Rightarrow \varepsilon = \int_{l_0}^{l_0+\Delta l} \frac{dl}{l} = \ln \left(1 + \frac{\Delta l}{l_0} \right) \\ \text{engineering strain: } d\varepsilon &= \frac{dl}{l_0} \Rightarrow \varepsilon = \int_{l_0}^{l_0+\Delta l} \frac{dl}{l_0} = \frac{\Delta l}{l_0}\end{aligned}$$

Sia le deformazioni lungo x, ε_{xx} , sia le deformazioni lungo y, ε_{yy} vengono calcolate e salvate nella matrice **strains** per essere utilizzate successivamente.

2.4.2 Plotting dei risultati

In questa sezione vengono plottati i risultati dell'estensometro dopo aver scelto tra **engineering strain** o **true strain**.

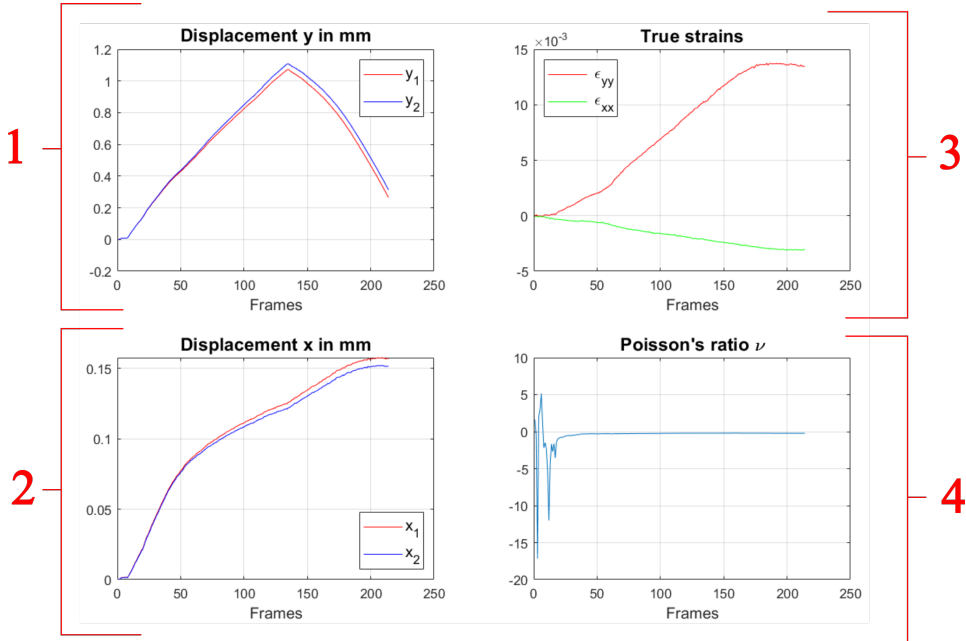


Figura 2.5: Output dell'estensometro.

In figura 2.5 è riportato un esempio di output della funzione di estensometro. In particolare

- **Grafico 1:** sono riportati gli spostamenti lungo y dei nodi Y_1 e Y_2 nell'unità di misura utilizzata;
- **Grafico 2:** sono riportati gli spostamenti lungo x dei nodi X_1 e X_2 nell'unità di misura utilizzata;
- **Grafico 3:** sono riportate entrambe le deformazioni secondo la definizione scelta, in questo caso **true strain**;
- **Grafico 4:** è riportato l'andamento del coefficiente di Poisson ν ottenuto come rapporto tra gli allungamenti. Il numeratore corrisponde all'allungamento con il valore medio durante la prova minore.

2.4.3 Salvataggio output estensometro

Come per la funzione di tracker anche i risultati dell'estensometro possono essere salvati in un file Matlab contenente una **structure**.

L'organizzazione della **structure** è illustrata nella tabella 2.2.

2.5 Ripetere l'analisi

Lo script è organizzato in varie sezioni che possono anche essere eseguite separatamente. In particolare, le prime due sezioni, **Loading data** e **Extract data from Ncorr**, hanno bisogno di essere eseguite una volta sola se il file degli output di Ncorr rimane lo stesso. In questo modo si evita di dover ricaricare lo stesso file.

Per usare una delle due funzioni è sufficiente eseguire la sezione di codice corrispondente purché questa sia stata attivata nello step 2.2. Se così non fosse è sufficiente rieseguire la sezione **Select the function to use** o impostare manualmente il valore delle variabili **tracker_function** o **extensometer_function** in **true**.

Tabella 2.2: Output dell'estensometro 2D: sottostrutture.

Center		Sottostruttura contenente le coordinate del nodo centrale.
	Pixel	La posizione del nodo centrale in pixel.
	Nodes	La posizione nodale del nodo centrale.
Points		Sono riportate informazioni riguardanti i nodi scelti.
	ID	Indica a quale nodo si riferisce la riga corrispondente.
	Coordinates_pixel	Coordinate in pixel del nodo corrispondente.
	Nodes_distance	Distanze nodali rispetto al centro dell'estensometro del nodo corrispondente.
	Displacement_pixel	Spostamento del nodo corrispondente in pixel. Lungo x per X_1 e X_2, lungo y per Y_1 e Y_2.
	Displacement_units	Spostamento del nodo corrispondente nell'unità di misura utilizzata.
Strains		Sottostruttura contenente gli allungamenti.
	Exx_true	Allungamento lungo x reale.
	Eyy_true	Allungamento lungo y reale.
	Exx_engineering	Allungamento lungo x ingegneristico.
	Eyy_enginnering	Allungamento lungo y ingegneristico.
DIC_info		Sottostruttura contenente informazioni sull'analisi DIC. Corrispondete alla DIC_info di Ncorr.

3. Analisi 3D

Nell'ambiente tridimensionale è possibile tracciare lo spostamento di un certo numero di punti utilizzando la funzione di `tracker3D` o studiare il comportamento di diverse sezioni in termini di spostamento lungo Z e rotazione attorno al medesimo asse. È possibile anche misura l'allungamento tra due sezioni.

Per questa sezione sono necessari i risultati del software open-source `MultiDIC`. In particolare, è sufficiente il file output dello `STEP3` del programma, ovvero gli spostamenti dei singoli nodi. Lo `STEP4` non è necessario. Per il funzionamento di `MultiDIC` si rimanda all'apposito manuale scaricabile online.

L'analisi 3D viene compiuta eseguendo lo script `Analysis_3D` su Matlab che è organizzato in maniera analoga allo script `Analysis_2D` del capitolo precedente.

3.1 Problemi di campi visivi

Il software `MultiDIC` analizza le foto prese da diverse angolazioni della prova di caratterizzazione per ricostruire la superficie del provino. Tuttavia, in alcuni tipi di prove, ad esempio nelle torsioni, può capitare che delle porzioni di ROI escano dal campo visivo delle fotocamere e non possano più essere triangolate. In questi casi è necessario dividere i frame acquisiti in due gruppi ed utilizzare il software `MultiDIC` su entrambi i gruppi singolarmente. È necessario che l'ultimo frame del primo gruppo e il primo del secondo gruppo coincidano.

Lo script qui proposto è dotato di algoritmi in grado di combinare le informazioni ottenute da diverse analisi e unirle in un unico output. Per fare ciò analizza gli spostamenti dei punti o delle sezioni, a seconda di quale funzione si sta usando, ottenuti per uno dei gruppi di frame e rintraccia la posizione delle sezioni e dei punti nel primo frame del gruppo successivo. In questo modo è possibile studiare anche prove in cui notevoli porzioni delle ROI escono dal campo di visivo delle fotocamere.

Per le analisi dei singoli gruppi di frame devono essere usati gli stessi file di calibrazione dello `STEP1`.

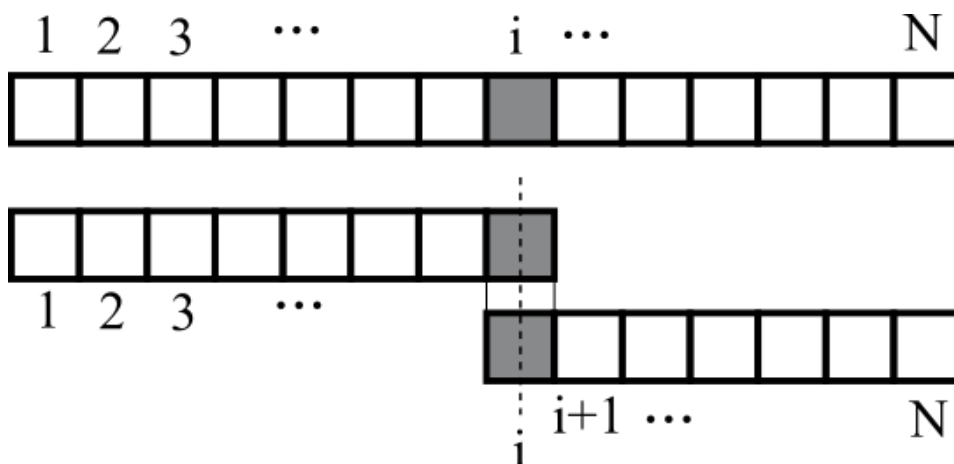


Figura 3.1: Divisione dei frame in gruppi.

3.2 Loading output MultiDIC

All'avvio dello script viene chiesto il numero di analisi che si intende caricare, minimo 1. Successivamente, viene richiesto di cercare e caricare gli output dello STEP3 di MultiDIC in ordine cronologico. Lo script carica questi file nel workspace e crea la variabile `Points`, una `structure` che contiene le coordinate dei nodi nelle varie analisi. Inoltre estrae varie informazioni utili, come il numero di frame per ogni analisi e totale e il numero di nodi.

3.3 Scelta della funzione

Come nel caso 2D, viene richiesto di scegliere quali funzioni usare, ovvero tracciamento dei singoli nodi o delle sezioni. A seconda della scelta il valore delle variabili `tracker_function` e `section_function` viene impostato su `true` o `false`.

Si attiveranno solamente le parti dello script con la relativa variabile impostata su `true`. È possibile modificare manualmente i loro valori dalla `Command Window`.

3.4 Point Tracker

Con la funzione `Point tracker` è possibile scegliere un certo numero di nodi e tracciarne lo spostamento durante la prova.

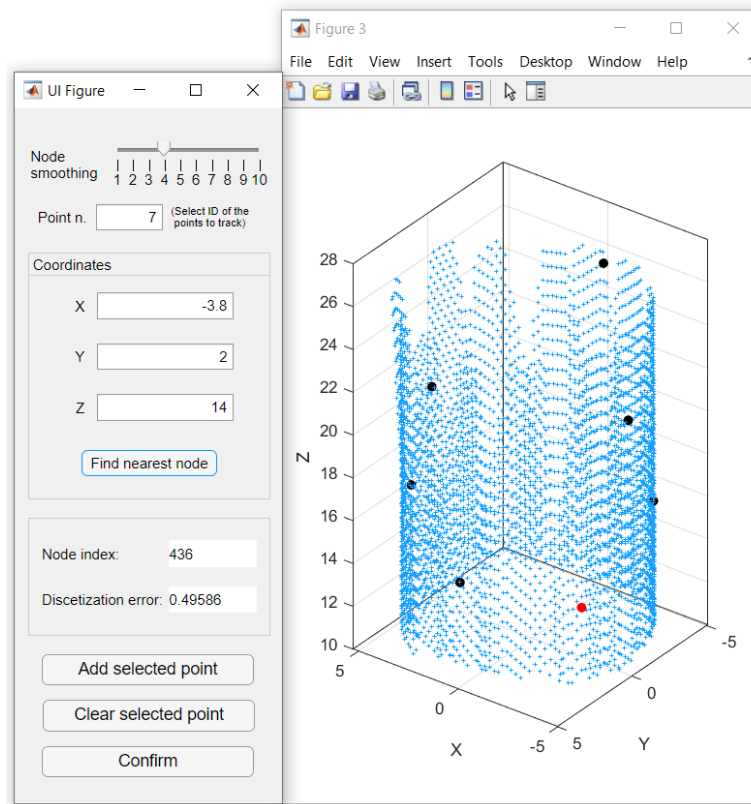


Figura 3.2: Selezione dei nodi del Point Tracker.

L'interfaccia di selezione funziona esattamente come la 2.2. Sono aggiunti

- **Node smoothing**: uno slider che permette di visualizzare meno nodi di quanto non siano in realtà. Ha una funziona puramente grafica;
- **Node index**: mostra l'indice del nodo selezionato;
- **Discretization error**: indica la distanza tra la posizione impostata e il nodo più vicino selezionato.

Terminata la fase di selezione, lo script rintraccia le posizioni dei nodi negli istanti successivi e ne calcola gli spostamenti.

Se l'analisi è stata divisa in due o più sotto-gruppi, lo script aggiorna il nodo utilizzandone l'ultima posizione conosciuta. Nel fare ciò, però, si compie nuovamente l'errore di discretizzazione della fase di selezione, **Discretization error**. Questo nuovo errore viene salvato in memoria.

Per tutti i nodi tracciati vengono plottati i risultati all'interno della stessa figura. Ad ogni dato plottato sono associati i valori delle coordinate, degli spostamenti e il frame a cui si riferisce.

3.4.1 Salvataggio output Point Tracker

Infine, i risultati del Point Tracker possono essere salvati sotto forma di **structure** all'interno di un file Matlab.

Tabella 3.1: Output del Point Tracker: sottostrutture.

MultiDIC_file		Contiene gli indirizzi degli output di MultiDIC utilizzati.
N_analysis		Indica in quante parti è stata divisa la prova.
Frames		Vettore contenente il numero di frame di ogni sotto-gruppo.
Points		Struttura contenente le informazioni sui nodi.
	ID	ID assegnato ai nodi tracciati.
	Coordinates	Coordinate dei singoli nodi durante la prova.
	Displacements	Spostamenti dei singoli nodi durante la prova.
	NodeUpdateError	Errore di discretizzazione dovuto all'update del nodo tra gruppi di frame diversi.

3.5 Section Tracker

La funzione di **Section Tracker** permette di scegliere un certo numero di sezioni perpendicolari all'asse Z e di tracciarne lo spostamento assiale oltre alla rotazione attorno al medesimo asse. Inoltre, permette di calcolare l'allungamento assiale tra due delle sezioni scelte.

In figura 3.3 è mostrata l'interfaccia di selezione delle sezioni che funziona in maniera analoga a quelle precedenti. In particolare si aggiungo i comandi

- **Type of analysis:** permette di scegliere se tracciare gli spostamenti e gli allungamenti assiali, le rotazioni o entrambi barrando la casel-

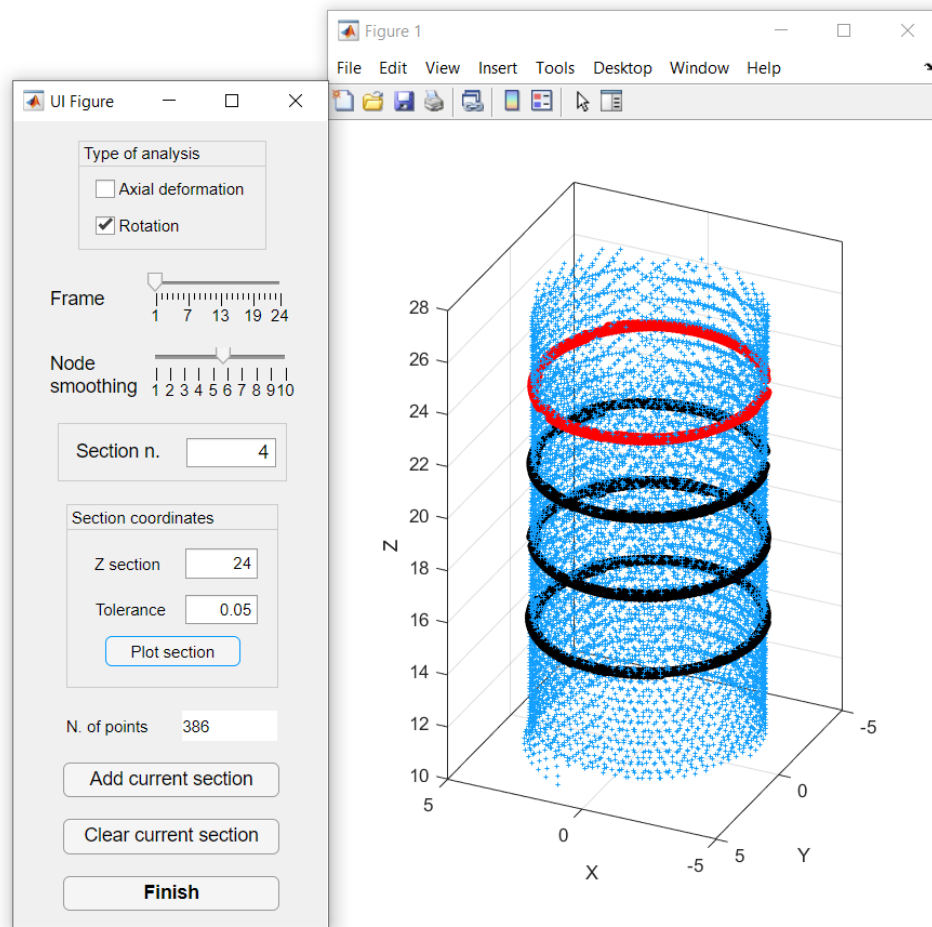


Figura 3.3: Scelta delle sezioni da tracciare.

la corrispondente. Nel workspace vengono assegnate alle variabili `AxialAnalysis` e `RotationAnalysis` i valori `true` o `false`;

- **Frame:** questo slider permette di plottare la posizione dei nodi negli istanti successivi della prova;
- **Z section:** corrisponde alla Z della sezione;
- **Tolerance:** fanno parte della generica sezione tutti i nodi compresi tra $Z_S - Tol$ e $Z_S + Tol$.
- **N. of points:** il numero di nodi della sezione selezionata.

Premendo **Finish**, che equivale al tasto **Add current section**, l'interfaccia si chiude autonomamente permettendo allo script di andare avanti. Nel workspace vengono caricate le informazioni relative alle sezioni scelte.

3.5.1 Calcolo rotazioni e spostamenti delle sezioni

Per ognuna delle sezioni scelte e per ognuno dei frame della prova lo script esegue le seguenti operazioni:

1. Calcola la rotazione della sezione attorno a Z rispetto al frame precedente se **RotationAnalysis** è impostata su **true**. Si può scegliere di considerare il centro di rotazione delle sezioni nell'origine degli assi per ridurre il tempo di calcolo o lasciarlo libero se non si ha la certezza che l'asse del provino coincida con l'asse Z del sistema di riferimento;
2. Calcola la coordinata Z della sezione come media delle altezze dei nodi che la compongono se **AxialAnalysis** è impostata su **true**;
3. Calcola lo spostamento lungo Z della sezione;
4. Nel caso in cui la prova sia stata divisa in 2 o più parti, la sezione viene aggiornata utilizzando l'ultimo valore noto della Z e la stessa tolleranza impostata all'inizio. La coordinata Z nell'ultimo frame di una sottoparte della prova è calcolata indipendentemente dal valore di **AxialAnalysis**.

3.5.2 Estensometro assiale

Se **AxialAnalysis** è impostato su **true** verrà chiesto di scegliere 2 sezioni rispetto alle quali calcolare l'allungamento del provino e il modello di deformazione da applicare, cioè **true strain** o **engineering strain**. In particolare

- **Section 1 ID, top**: si sceglie la sezione superiore dell'estensometro assiale inserendone l'ID;
- **Section 1 ID, bot**: si sceglie la sezione inferiore dell'estensometro assiale inserendone l'ID;
- nell'ultima casella bisogna digitare 1 per calcolare il **true strain** e 2 per l'**engineering strain**.

Plotting dei risultati delle sezioni I risultati delle sezioni vengono plottati nelle apposite figure. Se un tipo di analisi non è stata selezionata (**Rotation** o **Axial**) le corrispondenti grandezze varranno banalmente 0.

3.5.3 Salvataggio dei risultati delle sezioni

I risultati delle sezioni vengono salvati in una **structure** all'interno di un file Matlab.

Tabella 3.2: Output del Section Tracker: sottostrutture.

MultiDIC_file		Contiene gli indirizzi degli output di MultiDIC utilizzati.
N_analysis		Indica in quante parti è stata divisa la prova.
Frames		Vettore contenente il numero di frame di ogni sotto-gruppo.
Section		Struttura contenente le informazioni sulle sezioni.
	ID	ID assegnato alle sezioni.
	Z_coordinates	Coordinata Z delle singole sezioni durante la prova.
	Z_displacements	Spostamenti lungo Z delle sezioni durante la prova.
	Rotation	Rotazione delle sezioni attorno a Z durante la prova.
	Tolerance	Tolleranza utilizzata nel definire le singole sezioni.
	Index	Indici dei nodi che compongono le sezioni.
	Center_rotation	Centri di rotazione delle sezioni.
Axial_deform		Struttura contenente le informazioni dell'estensometro assiale.
	Top_section	ID della sezione superiore.
	Bot_section	ID della sezione inferiore.
	True_strain	True strain calcolato.
	Eng_strain	Engineering strain calcolato.