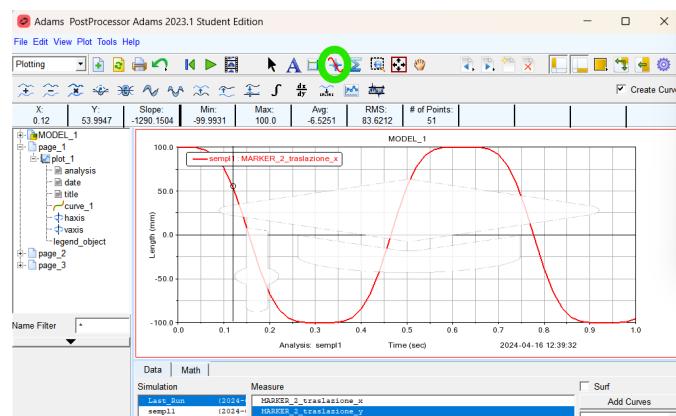


TIROCINIO

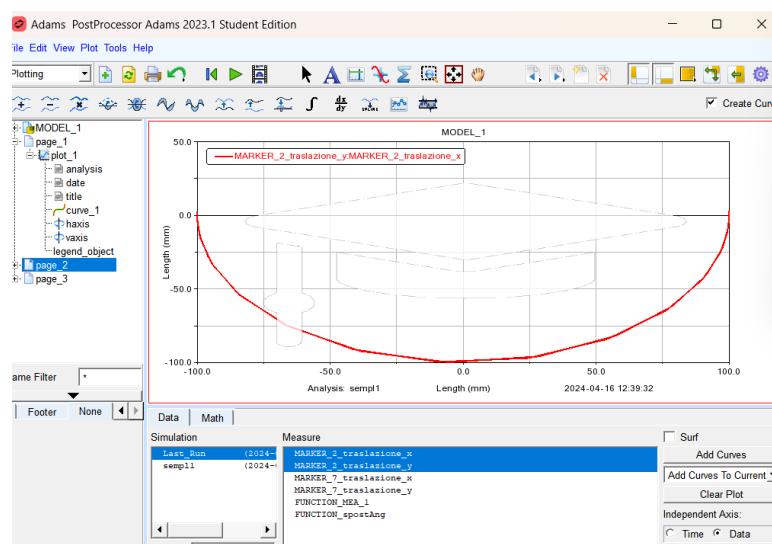
Fine del pendolo semplice e Quadrilatero articolato

Nella lezione precedente si era arrivati alla visualizzazione delle misurazioni (traslazione lungo x e lungo y) del marker terminale. Le finestre di misura non danno tutto il controllo di cui si vorrebbe disporre, dato che esse sono un'anteprima; inoltre, i valori sul grafico non sono ben visibili perché il software scala le curve in automatico; il vero *post-processing* viene perciò effettuato nella scheda *Results*.

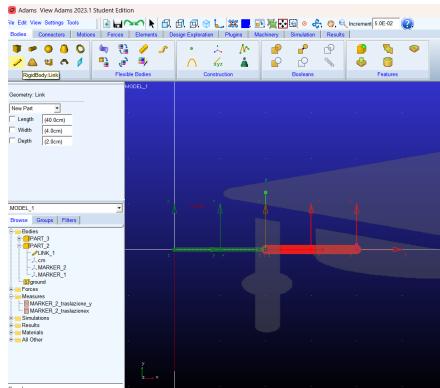
Tra l'altro nella finestra del *Post Processor* di Adams è possibile svolgere altre operazioni. Ad esempio, il *plot tracking* consente di spostarsi sulla curva con il mouse e di visualizzare una serie di dati per il punto selezionato: le coordinate x e y, la derivata, minimo, massimo, media, sigma, numero di incrementi ecc.



Nel caso in cui si dovessero effettuare più analisi cambiando i vari dati, si potrebbero selezionare le varie simulazioni e sovrapporre le varie curve. Con l'opzione *Surf* spuntata le curve aggiunte non vengono salvate permanentemente in bacheca, mentre senza essere spuntata si. In automatico, sull'asse delle x il software setta il tempo *Time* ma si può avere un grafico di una misura in funzione dell'altra settando invece *Data*: si può infatti plottare il grafico della misura di *traslazione_y* con quella di *traslazione_x*.

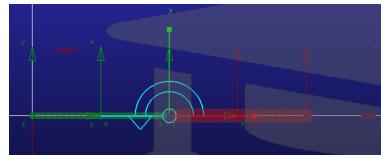


Con un *pendolo semplice* la soluzione potrebbe essere trovata senza difficoltà anche per via analitica. Considerando un *pendolo doppio* iniziano a sentirsì parecchio le non linearità. Una volta chiuso il *post-processor* si vada allora ad aggiungere un altro *Link* entrando nella scheda *Bodies*. Se le etichette *Length*, *Width* e *Depth* non sono spuntate allora basta trascinare arbitrariamente sullo schermo finché il secondo link aggiunto all'estremità (*MARKER_2*) del primo non raggiunge la lunghezza desiderata.



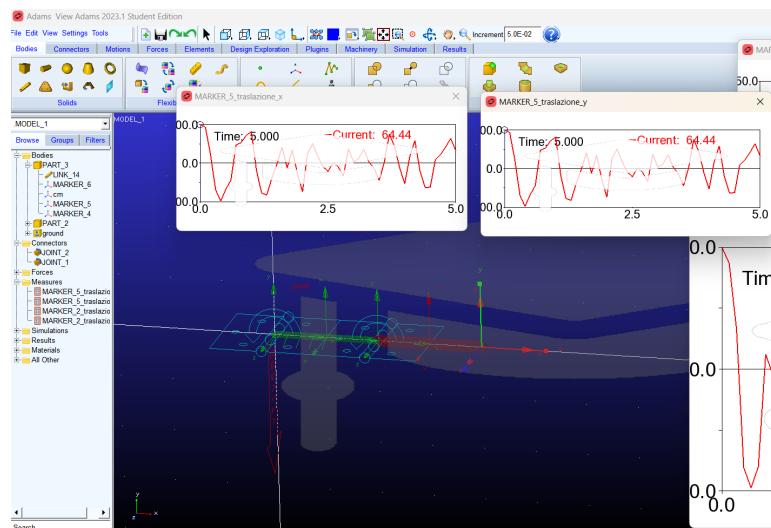
Poiché il nuovo *Link* creato non è vincolato, occorre creare un nuovo vincolo cerniera (*Revolute joint*) nella scheda *Connectors* e posizionarlo tra i due *Links*.

Premendo su *Revolute Joint* va selezionato prima il corpo da vincolare (secondo *Link* rosso), poi il corpo cui è vincolato (primo *Link* verde) e infine la posizione del giunto (tra i due Links).

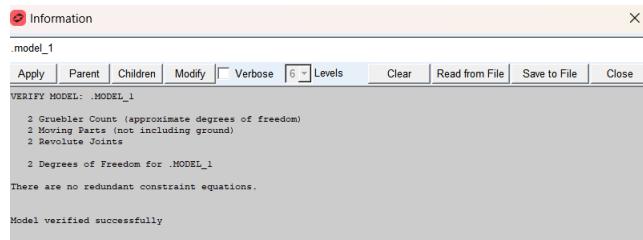


Prima di poter effettuare la *simulazione* è necessario creare le *measures*.

Si può semplicemente selezionare il marker (quello più a destra) e selezionando *Measure* si crea sia la misura sia di *traslazione lungo x* che di *traslazione lungo y*. Avviando la simulazione l'andamento delle misure risulta comunque non lineare. È buona norma tenere non spuntata l'opzione “Update graphic display”, altrimenti l'animazione durante l'esecuzione impiega troppo tempo.



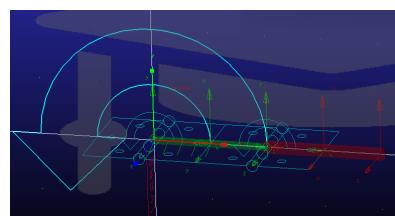
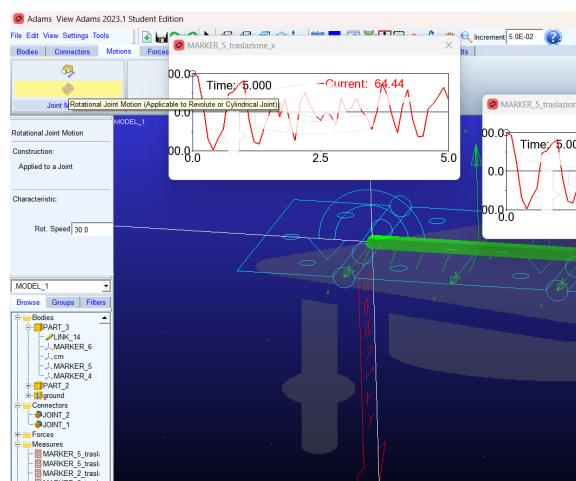
La simulazione è cinematica se il modello è *cinematicamente determinato*. Ciascuna parte presenta 6 g.d.l., ciascuna cerniera toglie 5 g.d.l. nello spazio (ce ne sono due di cerniere quindi 10). Per controllare basta andare su *Tools>Model Verify* e leggere le indicazioni nella finestra che si apre.



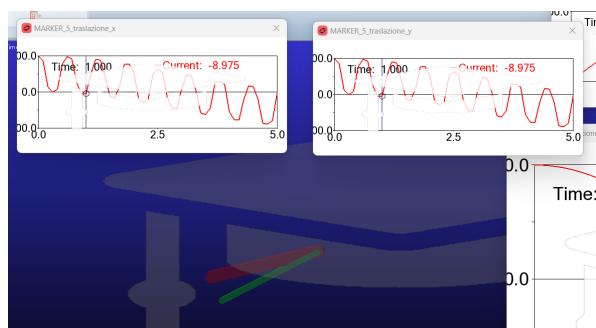
La dicitura *Gruebler Count* rappresenta la numerazione dei g.d.l. secondo il conto di Gruebler: $6 * \text{il numero di corpi escluso il telaio (2)}$ meno i vincoli presenti (5 per le coppie prismatiche e rotoidali, 4 per i giunti cilindrici bloccando questi una traslazione ed una rotazione, 3 per le coppie sferiche...; nel nostro caso 2 *Revolute Joint*). Quindi secondo il conto di Gruebler il numero di g.d.l. è:

$$6 * 2 \text{ corpi} - 2(\text{cerniere}) * 5 = 12 - 10 = 2$$

I g.d.l. sono condizionati oltre che dal conto di Gruebler anche dai g.d.l. imposti mediante le *Motion*, le leggi di moto. Quindi, andando nella scheda in alto *Motions* si hanno: le *Joint Motions* applicabili ai giunti *prismatici* e *rotoidali*; e poi ci sono le *General Motions* che sono le leggi di moto generali per cui, definendo due corpi di moto relativo e il punto in cui si localizza la motion, se è una point motion viene chiesto anche l'asse di movimento da selezionare secondo il marker o prendendolo tra due punti. Utilizzando la *Rotational Joint Motion* è possibile cliccare sulla prima cerniera e avere una *motion* con una velocità di rotazione (*Rot. Speed*) prefissata a $30^\circ/\text{s}$.

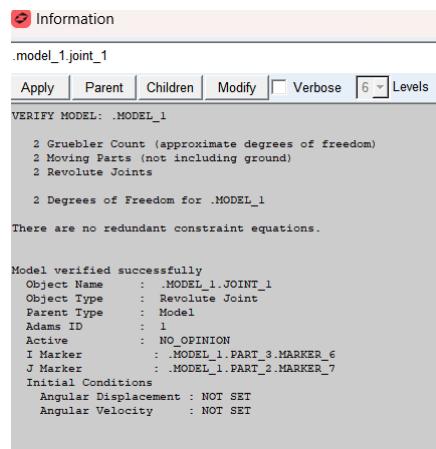


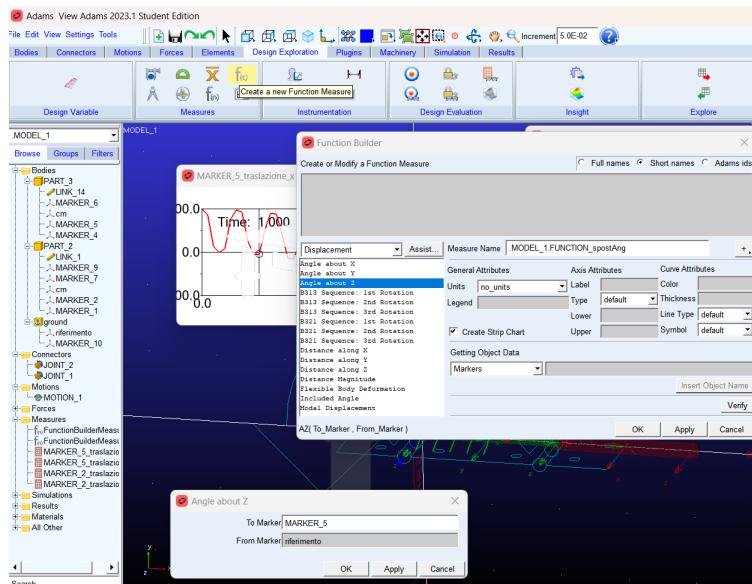
Effettuando la simulazione si vede come è cambiato il comportamento dinamico del modello: inoltre impostando il *Time Range* fino a 1s si vede proprio come il secondo link (verde) alla fine arriva ad essere orientato a 30°.



Per misurare lo *spostamento* e la *velocità angolare* del pendolo (doppio ora), si può fare in vari modi. Il metodo che sembra essere più affidabile è quello di utilizzare una *Function Measure*. Nella scheda in alto *Design Exploration* si accede a tutte le funzioni che possono aiutare nella definizione parametrica del modello. Selezionando *Function Measure* si apre una finestra in cui è possibile definire la funzione per lo spostamento angolare (*spostAng*). Tale funzione va cercata nel menù a tendina andando in *Displacement*. Le prime tre sono gli angoli in proiezione sul sistema di coordinate fisso ma che comunque sono calcolate come la proiezione del sistema obiettivo su quello riferito (*Angle about x,...*): il marker ruota, lo spostamento angolare di uno dei suoi assi viene calcolato come proiezione di tale asse nel tempo su quelli del sistema di riferimento; altrimenti si hanno le sequenze degli angoli di Eulero (*Body 313, 123...*). Serve in questo caso la rotazione attorno a z, quindi *Angle about z*: con *Assist* il *marker obiettivo* è il marker più a destra; come *marker di riferimento*, deve essere relativo al *ground* e quindi è bene crearlo appositamente. Si va in *Bodies>Construction* e si clicca su *Marker* e poi lo si localizza al centro ridefinendolo dopo come *riferimento*.

Quando viene creato un giunto si creano infatti due marker nello stesso punto: uno per la parte movente (marker I) e uno per quella di riferimento (marker J).

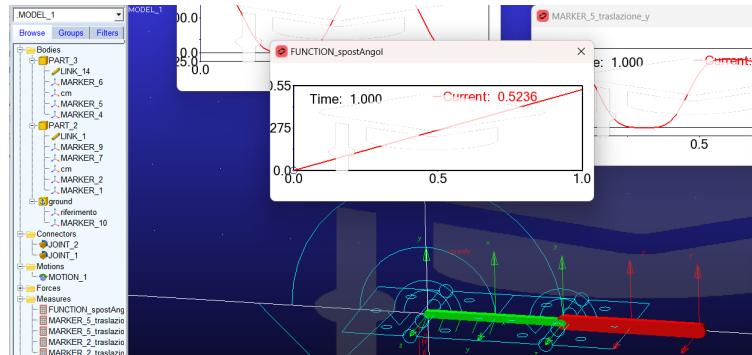




Lo spostamento angolare della *Motion* rispetto al marker di riferimento creato risulta essere lineare essendo la velocità angolare imposta dalla motion costante ($30^\circ/\text{s}$).

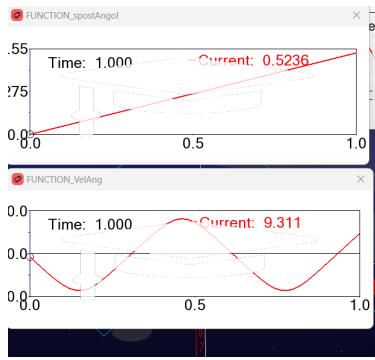
Ogni misura presenta la sua convenzione con gli angoli: Body 123 ecc vanno in gradi mentre quelle del tipo about x, y, z vanno in radianti. Sul grafico esce 0.52 rad di spostamento angolare.

$$\text{spostAng} = 0.52 \text{ rad} \cdot \frac{180^\circ}{\pi \text{rad}} \approx 0.52 \text{ rad} \cdot 57 \frac{\circ}{\text{rad}} \approx 30^\circ$$

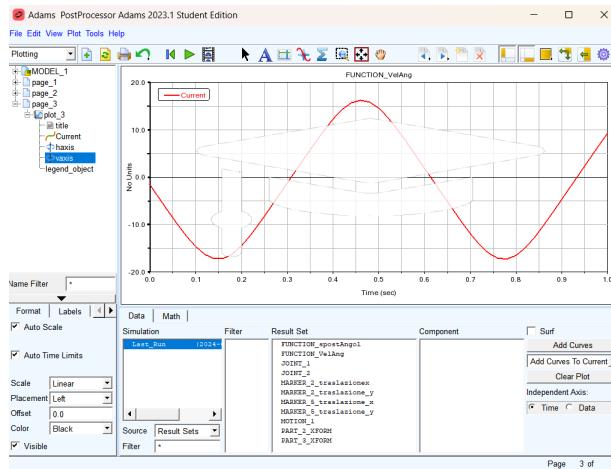


Seguendo la stessa procedura si può fare anche la misura di *velocità angolare* ma per questa non ci si può affidare al ground ma bisogna fare la differenza tra la velocità della parte verde rispetto al ground e di quella della parte rossa rispetto al ground.

Invece di andare in *Displacement* bisogna però cliccare su *Velocity* e in particolare su *Angular Velocity about z*. Compare nella formula anche un terzo marker da selezionare, *About Marker*, che serve per proiettare il risultato sul sistema di riferimento locale, ma non serve al momento. Si osserva una oscillazione rispetto alla posizione di equilibrio in termini di velocità angolare.



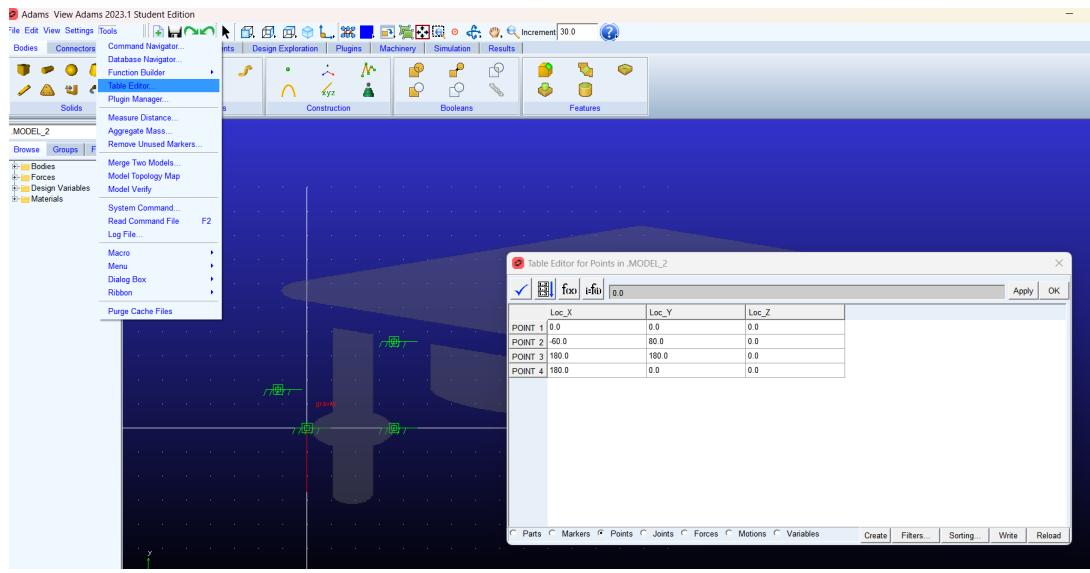
Visualizzandolo tale situazione nel post-processor cui è possibile arrivarci anche direttamente cliccando con il tasto destro sul plot e premere su *Transfer to Full Plot*.



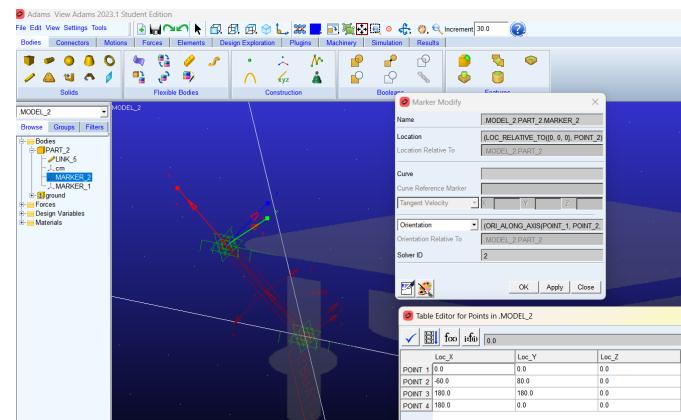
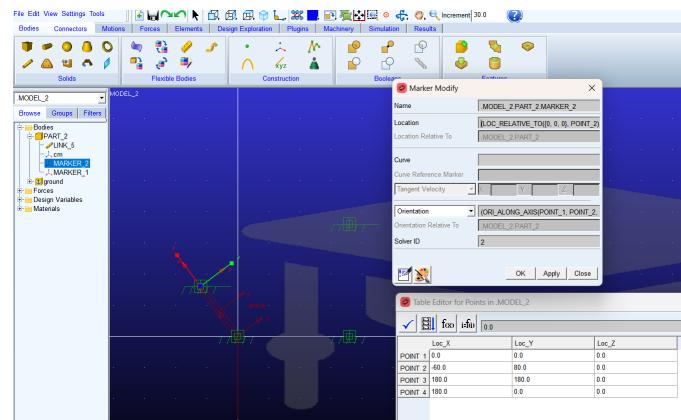
É possibile adesso passare all'esercizio successivo relativo al *quadrilatero articolato*.

Con esso si possono vedere sia le applicazioni delle leggi di moto, già viste, sia la differenza tra un'analisi cinematica ed una dinamica. Per costruirlo, visto che il *ground* è già definito, bisogna realizzare *tre links* con la *manovella* connessa al *ground* e alla *biella*, la *biella* connessa a *manovella* e *bilanciere*, e *bilanciere* connesso a *biella* e *ground*.

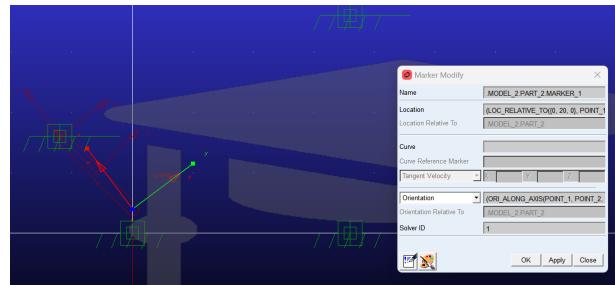
per definire il modello in maniera parametrica è preferibile definire dei *punti di lavoro*, andando in *Bodies>Construction>Point*. Essi possono essere definiti o a mano sulla griglia o attraverso la *Point Table* in maniera più semplice. Quest'ultima consente di modificare più entità dello stesso tipo, tutte insieme. Più semplicemente si può accedere ad esso tramite *Tools>Table Editor*. Premendo su *Create* viene creato di default il primo punto di coordinate (0,0,0). Il secondo punto deve avere coordinate (-60,80,0). Quando è celeste significa che la modifica non è ancora stata applicata, quindi occorre premere *Apply*. Il terzo e il quarto punto hanno coordinate rispettivamente (180,180,0) e (180,0,0).



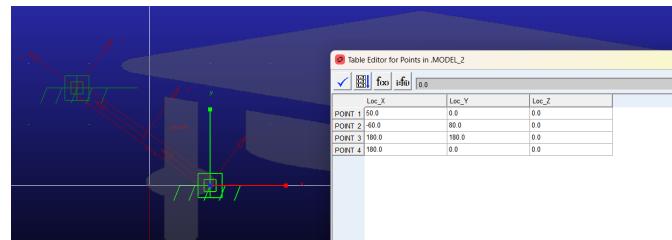
Andando poi in *Bodies>Link*, si crea un link tra *POINT_1* e *POINT_2*, che simula la manovella. Cliccando su *Modify* relativamente ad uno dei *markers* del *Link* si nota come esso è definito in maniera parametrica: in location non ci sono soltanto le stesse coordinate del punto (se si spostasse il punto il marker non ne risentirebbe) ma c'è la funzione *LOC_RELATIVE_TO* ($\{0,0,0\}$, *POINT_2*). La posizione del *MARKER_2* posizionato in *POINT_2* è relativa al *POINT_1*: se si spostasse il *POINT_1* il marker si sposterebbe anch'esso. In maniera simile l'orientamento è definito lungo l'asse dal *POINT_1* al *POINT_2*, infatti z è entrante.



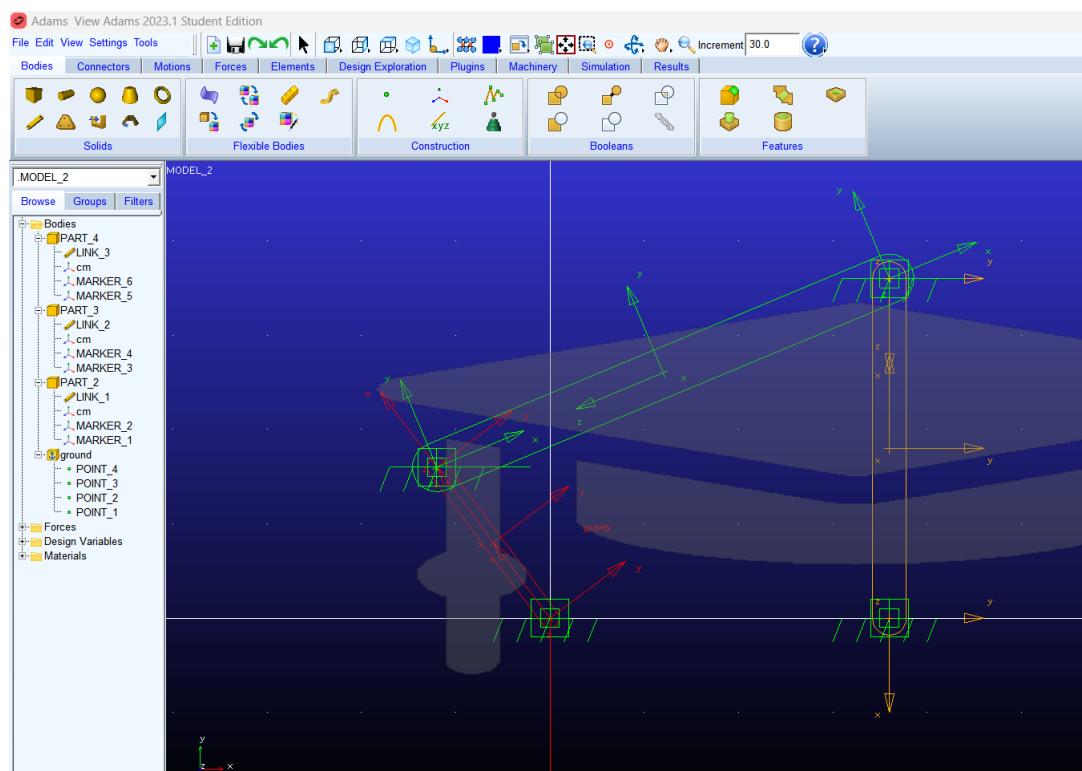
Se al posto di *LOC_RELATIVE_TO* ($\{0, 0, 0\}$), *POINT_1*" si inserisse *LOC_RELATIVE_TO* ($\{0, 20, 0\}$), *POINT_1*" relativamente al MARKER_1, si può vedere come quest'ultimo si sia spostato in verticale insieme alla parte, lasciando il POINT_1 invariato.



Se invece si va a sinistra e si preme su *ground* e poi POINT_1 e si clicca su *Modify*, si apre la table di nuovo ed è possibile modificare le coordinate del punto ad esempio in (50,0,0). Si osserva che il POINT_1 è cambiato ed insieme ad esso anche la parte con il corrispettivo MARKER_1. Questo è molto utile se si vuole modificare in corsa il meccanismo.

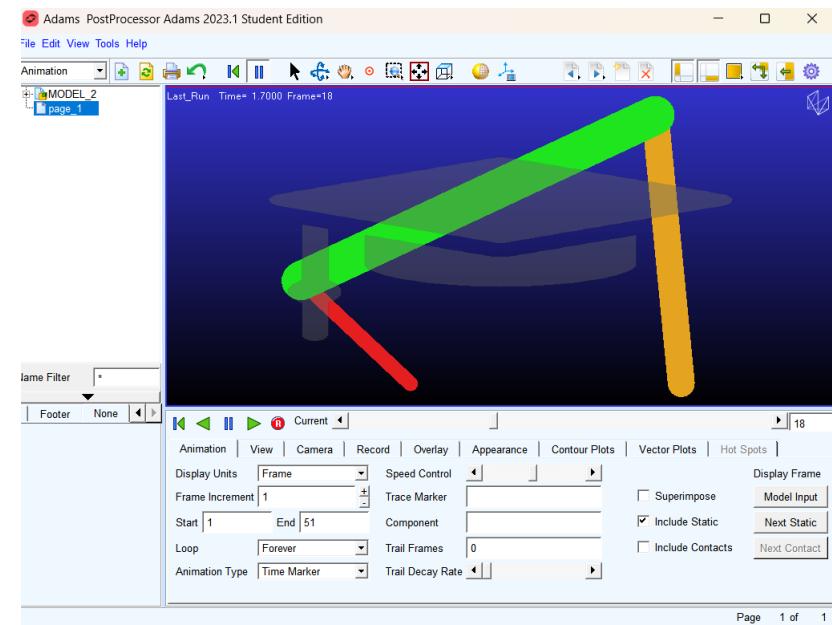
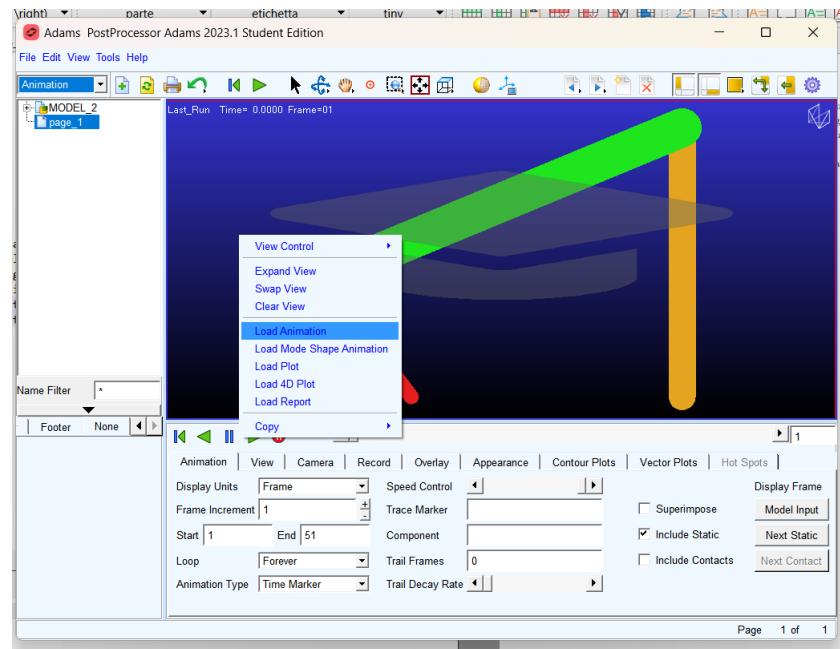


Ripristinando le condizioni iniziali, si creano sempre in *Bodies* un *Link*, LINK_2 che questa volta è in rappresentanza della *biella* e l'ultimo Link, LINK_3, che rappresenta il *bilanciere*.



Il *quadrilatero articolato* ha tre membri moventi che ruotano tra loro, quindi i vincoli sono 4 cerniere (*Revolute Joints*): una tra la parte rossa ed il ground, tra parte rossa e parte verde, tra parte gialla e parte verde e tra ground e parte gialla.

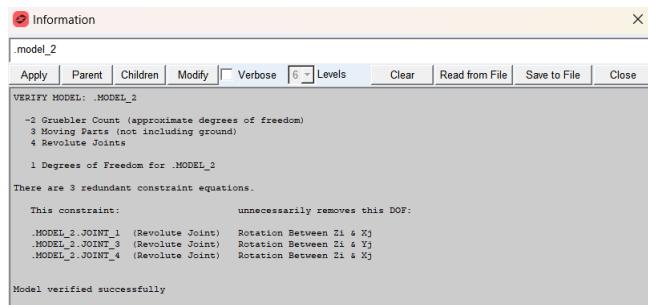
Effettuando una simulazione, questo sistema oscillerà attorno alla posizione di equilibrio. I movimenti avvengono molto velocemente. È possibile allora andare nel *post processing* e scegliere nel menu a tendina al posto di *Plotting* l'opzione *Animation*. Premendo con il tasto destro e poi cliccando su *Load Animation* compare la struttura; la velocità di animazione è possibile rallentarla attraverso la barra dello *Speed Control*.



Dall'animazione si osserva come il quadrilatero sia effettivamente di Grashof perché la manovella riesce a fare un giro completo attorno alla posizione di equilibrio. Con *Record (R)* è inoltre possibile effettuare una videoregistrazione e salvarla in un file in formato consigliato *mpg* e da aprire con *Windows Media Player Legacy*.

Se si prova a fare il conto di Gruebler, si osserva come il meccanismo sia sovravincolato, il che lo rende non cinematicamente determinato:

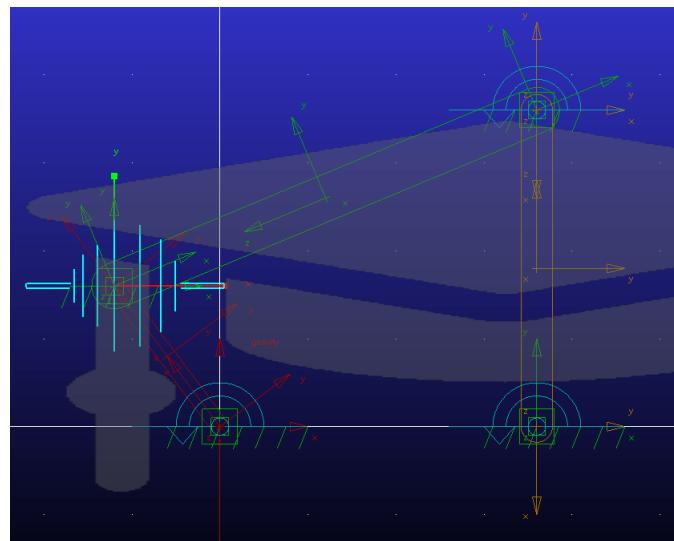
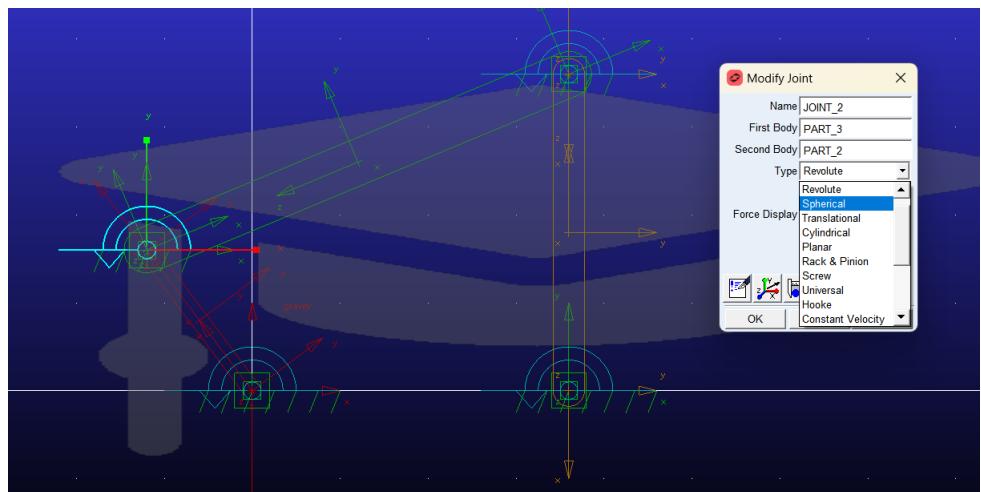
$$6 * 3 \text{ corpi} - 4 (\text{cerniere}) * 5 = 18 - 20 = -2$$



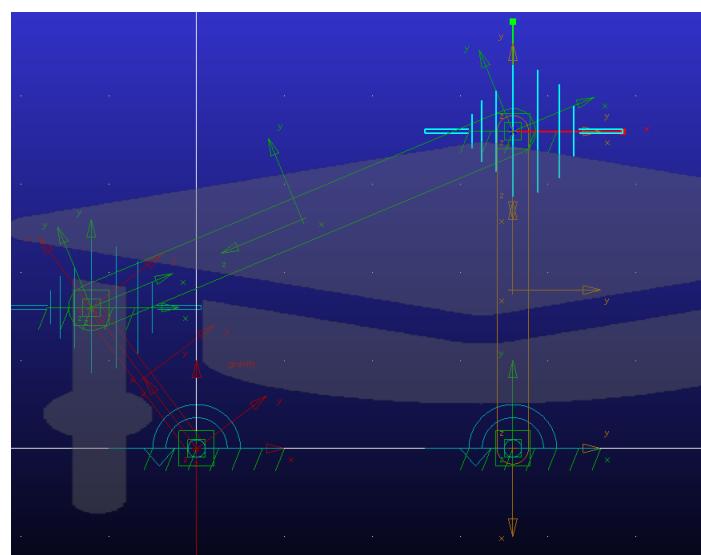
In *Tools>Model Verify* si vede appunto come siano presenti *tre equazioni ridondanti di vincolo*. Nei vincoli indicati (JOINT_1, JOINT_3, JOINT_4) il blocco sulle rotazioni è superfluo. Nel *solving* queste vengono eliminate in automatico e quindi viene detto che il modello presenta 1 g.d.l. .

In questo modo, però, non si ha controllo sul comportamento del modello e quindi il modello è definito male: è cattiva modellazione far eliminare i vincoli ridondanti al solutore e spetta al modellista definire bene il modello. Bisogna allora sostituire i giunti ridondanti con dei giunti che impongano meno vincoli. Questa decisione si prende in base al comportamento che deve avere il modello, quindi in base a quali g.d.l. eliminare e a quali mantenere e anche in base alla natura del meccanismo. Il quadrilatero articolato di sicuro deve essere rigidamente vincolato tra manovella e telaio perché qui normalmente si monta il motore e su esso va imposto solo il g.d.l. di rotazione. Lo stesso vale tra telaio e bilanciere per i quali comunque si necessita una connessione più rigida. I giunti che invece saranno naturalmente portati ad essere più labili sono quelli relativi tra manovella e biella e tra biella e bilanciere.

Di norma i giunti andrebbero modificati dopo aver cancellato il sistema e averlo rifatto nuovamente nel modo giusto, ma ci si può permettere di modificare direttamente il tipo di giunto prendendo vantaggio dal fatto che il sistema sia stato costruito normale alla griglia e quindi in assenza di grosse ambiguità se qualche giunto viene convertito in sferico, il quale blocca tutte le traslazioni e consente solo le rotazioni. Si seleziona allora il JOINT_2 tramite *Browse* a sinistra e premendo su *Modify* si vede come sia possibile modificare il tipo di giunto con il menu a tendina in *Type*.

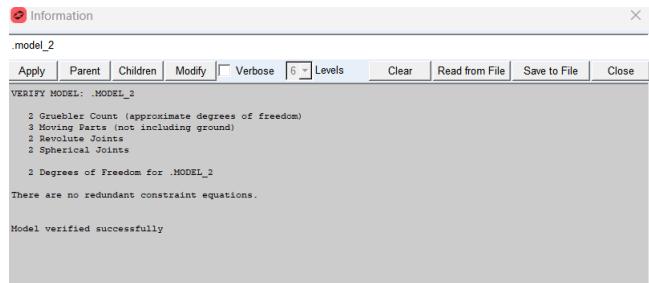


Si potrebbe pensare di convertire anche il giunto in alto da *rotoidale* a *sferico*, seguendo la stessa procedura.

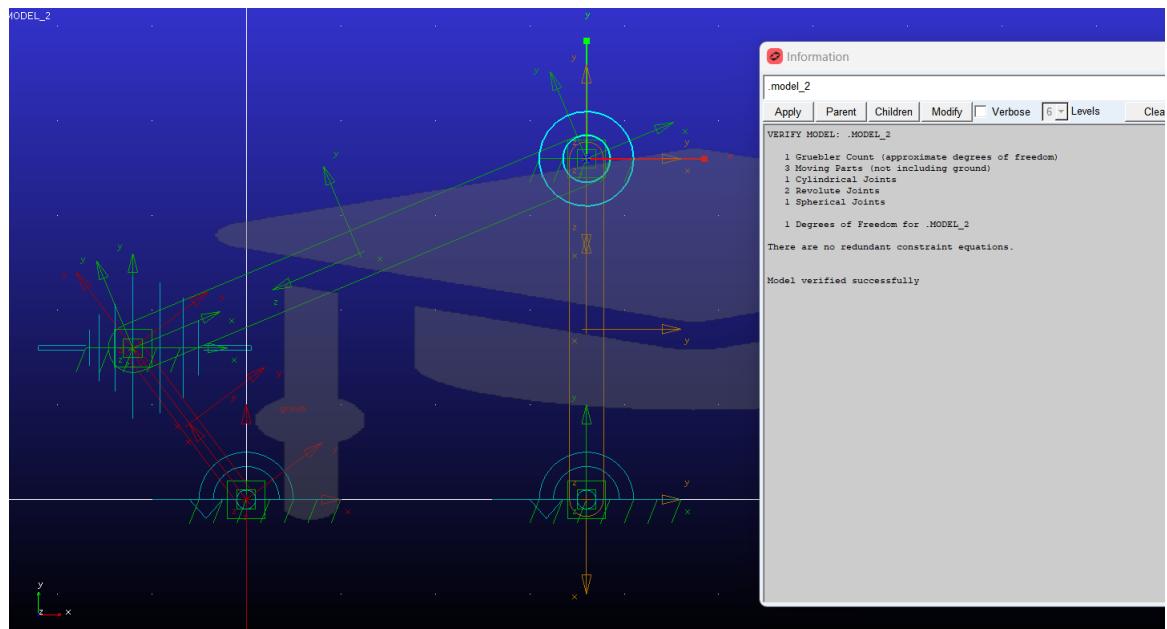


Con il *Tools>Model verify* non ci sono equazioni ridondanti di vincolo però sono stati tolti meno gradi di libertà di quanti ne servano: rimanendo 2 g.d.l. il modello è labile.

$$6 * 3 \text{ corpi} - 2(\text{cerniere}) * 5 - 2(\text{sferici}) * 3 = 18 - 10 - 6 = 2$$



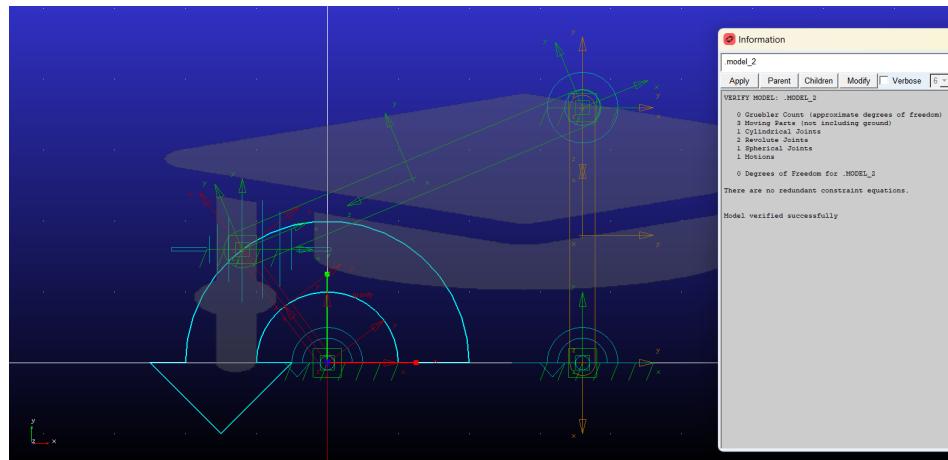
Occorre quindi imporre sul JOINT_3 un altro tipo di giunto, non sferico, ma capace di imporre una sola rotazione (se si inserisse un *Revolute* si tornerebbe ad essere sovravincinati). Si vuole provare con il *cilindrico*. Tale giunto permette una rotazione attorno all'asse (z) e la traslazione lungo z: quest'ultima è però comunque impedita perché in basso vi è il *Revolute* e a sinistra in basso vi è quello sferico. Dunque, a rigore, nel modello ideale, non ci dovrebbero essere traslazioni lungo z della biella: chiaramente in condizioni reali, in presenza di gioghi o meno, la biella tenderà comunque ad uscire in traslazione.



Si ottiene infatti in questo modo un solo g.d.l. per il sistema corrispondente alla rotazione attorno z nel piano xy.

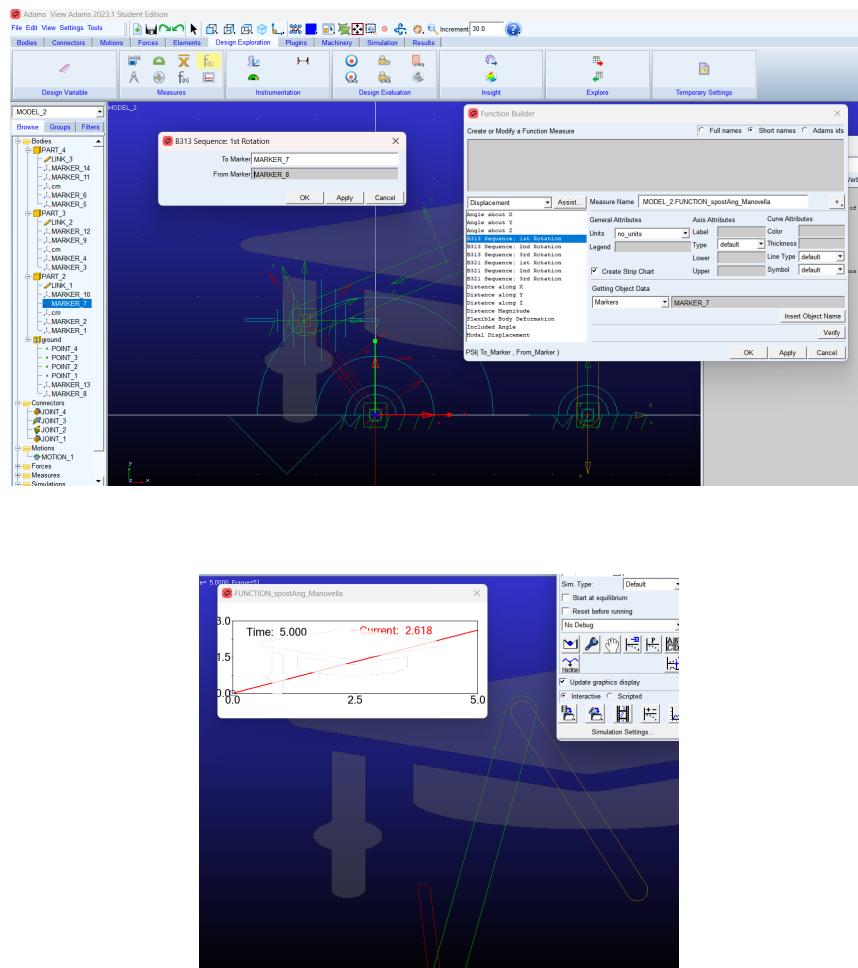
$$6 * 3 \text{ corpi} - 2(\text{cerniere}) * 5 - 1(\text{sferico}) * 3 - 1(\text{cilindrico}) * 4 = 18 - 10 - 3 - 4 = 1$$

Per ottenere il modello cinematicamente determinato (0 g.d.l.) va imposta una *motion* applicata nel vincolo tra manovella e telaio (JOINT_1).

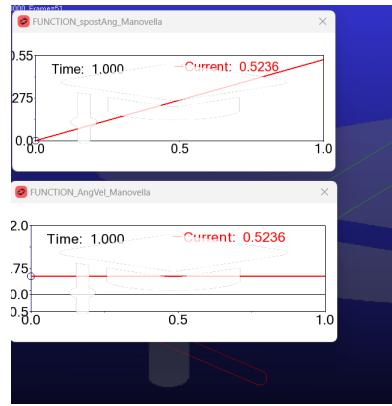


Ora interessano lo spostamento angolare della manovella rispetto alla biella e la velocità angolare della manovella.

Per lo spostamento angolare si può utilizzare il *Function Measure* in *Design Exploration* e effettuare un *Displacement* del MARKER_7 rispetto al MARKER_8 del ground. Si ottiene così uno spostamento angolare lineare (avendo lasciato come *speed* $30^\circ/s$).

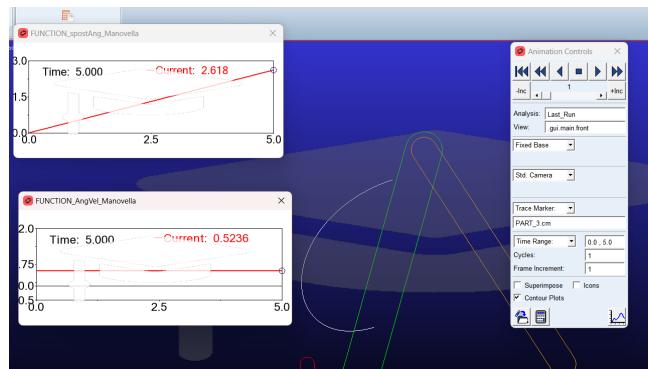


Andando invece a vedere l'*Angular Velocity* della componente z relativamente alla manovella sempre, si ottiene impostando come *End Time* 1s una velocità angolare costante di circa 30° (che ovviamente è una idealità).

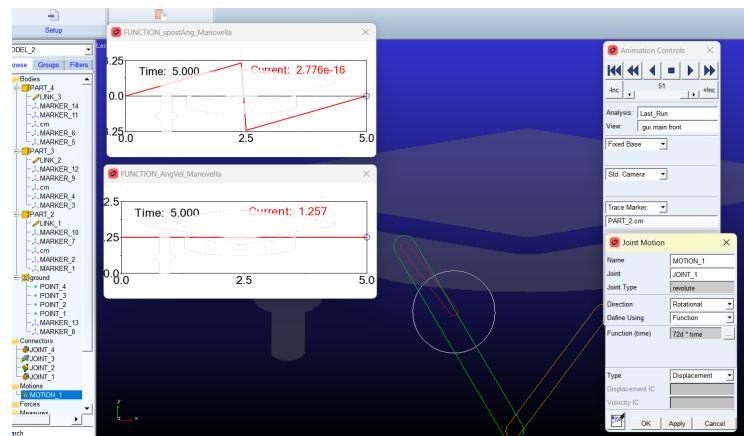


Adesso si vuole vedere come cambia la traiettoria di biella modificando il meccanismo in maniera parametrica. La traiettoria di biella può essere tracciata in due modi: si può prendere il centro di massa (PART_3.cm), si fanno le measure su di esso, per poi plottare le measure di spostamento orizzontale e verticale nel post processor andando a spuntare *Data* invece di *Time*, quindi avendo sull'asse delle x lo spostamento orizzontale e sulle y quello verticale; oppure è possibile usare direttamente il *Trace Marker* nel *post processing*.

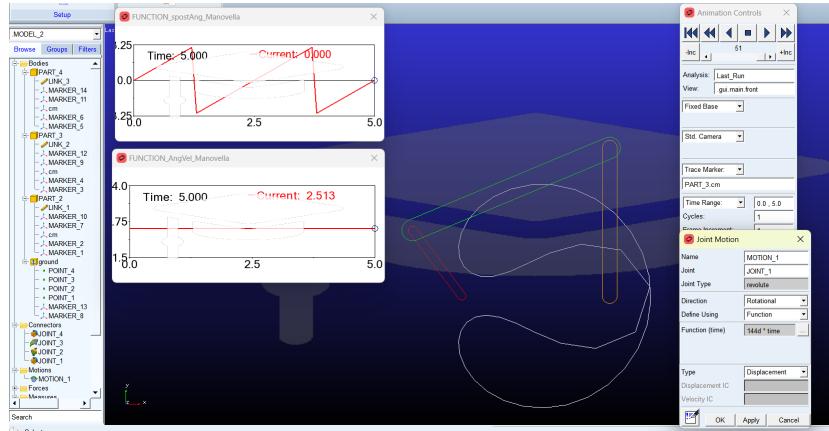
In poche parole, è possibile anche andare direttamente nella simulazione animata e utilizzare il *Trace Marker* proprio sul marker PART_3.cm per tracciare la traiettoria di biella.



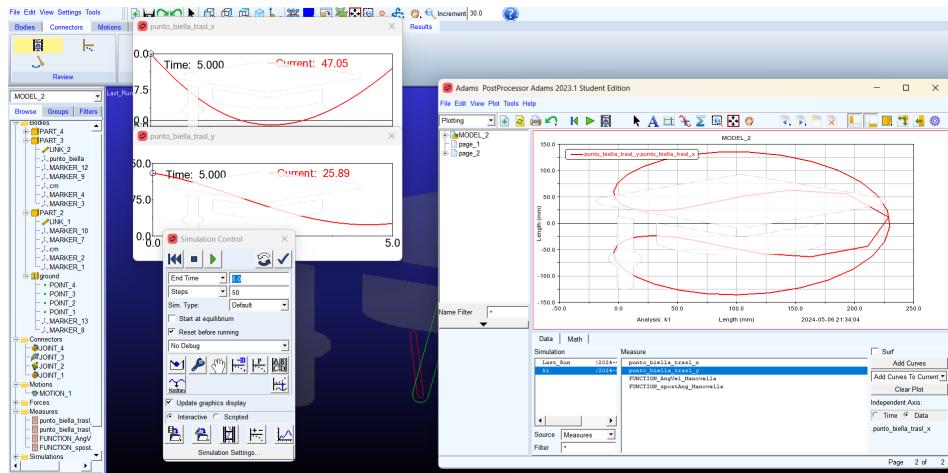
Per tracciare un ciclo completo di biella (usando come *marker* il *cm* di PART_2) in 5s occorre fare $360^\circ/5\text{s} = 72^\circ/\text{s}$ e quindi va modificata la *Motion* con *Modify*.



Per far svolgere due giri completi (usando però come *marker* il *cm* di PART_3) in 5s occorre fare $720^\circ / 5\text{s} = 144^\circ/\text{s}$ e quindi va modificata la *Motion* con *Modify*. Ovviamente aumentando i passi di calcolo (da 50 passare a 200 ad esempio) la curva tracciata risulta meno segmentata.



Si può tracciare la traiettoria anche nell'altro modo. Bisogna creare un nuovo marker sulla PART_3 nella stessa posizione del *cm*. In *Bodies > Construction* è possibile creare un *marker* selezionando *Add to Part* e *Global XY Plane*. Successivamente si creano con *Measure* le misure di traslazione lungo x ed y per tale *marker* ed si effettua la simulazione per poi vedere i risultati sul *post processor*. Dopo aver salvato la simulazione come *k1* nel *post processor* va scelta come *Simulation* e impostando come *Source Measures*. Spuntando *Data* e ponendo la misura di *traslazione y* in funzione della *traslazione x* si ottiene lo stesso grafico di traiettoria.

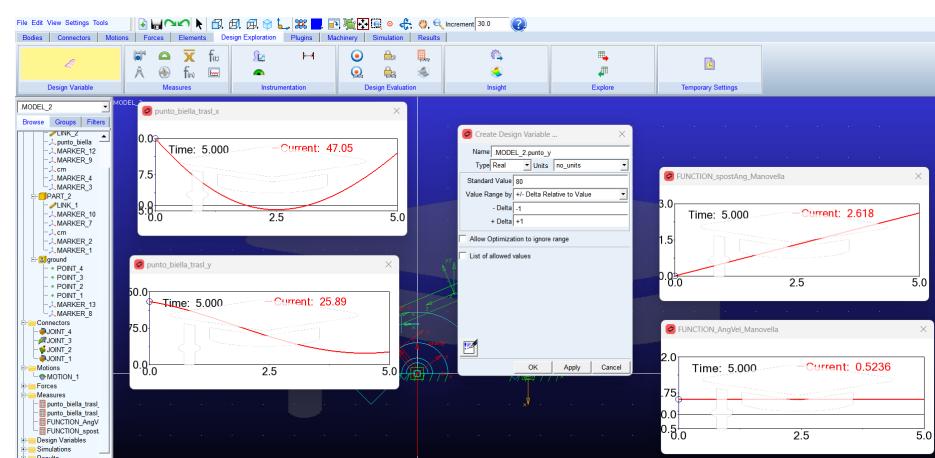
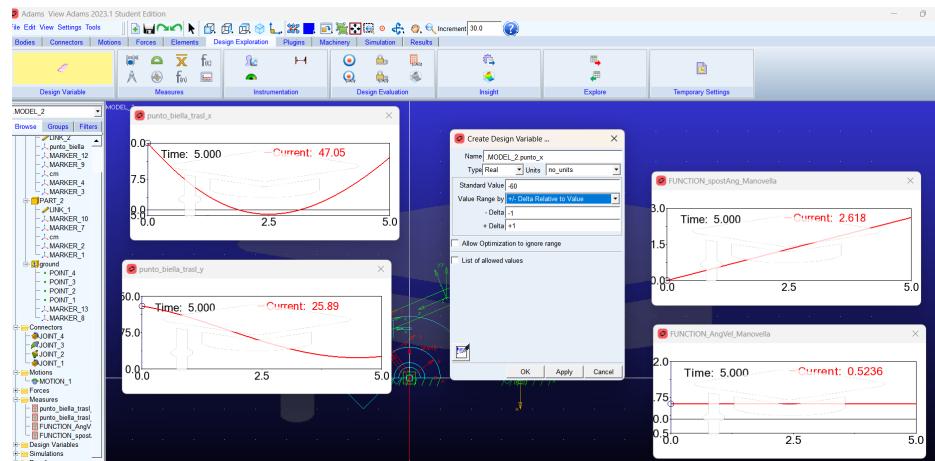


Adesso si vuole invece provare a cambiare il meccanismo e a vedere come cambia la traiettoria di biella. Quando si modella ci sono delle procedure e degli algoritmi per ottenere la traiettoria di biella desiderata, non si dovrebbe quindi andare per tentativi.

Si può provare a *cambiare la lunghezza di biella e manovella*. Ad esempio si può parametrizzare il POINT_1 attraverso due variabili x e y a cui poi si assegna un valore.

Questo è comodo sia per modificare la geometria del modello solo cambiando il valore di queste due variabili ma si potrebbe successivamente creare uno studio di ottimizzazione parametrica: il solutore fa partire tante simulazioni cambiando una o più variabili e facendo vedere come cambia il comportamento del modello fino a raggiungere una certa ottimizzazione (minimizzare la coppia necessaria al motore per far muovere il meccanismo, massimizzare la velocità del punto di biella...)

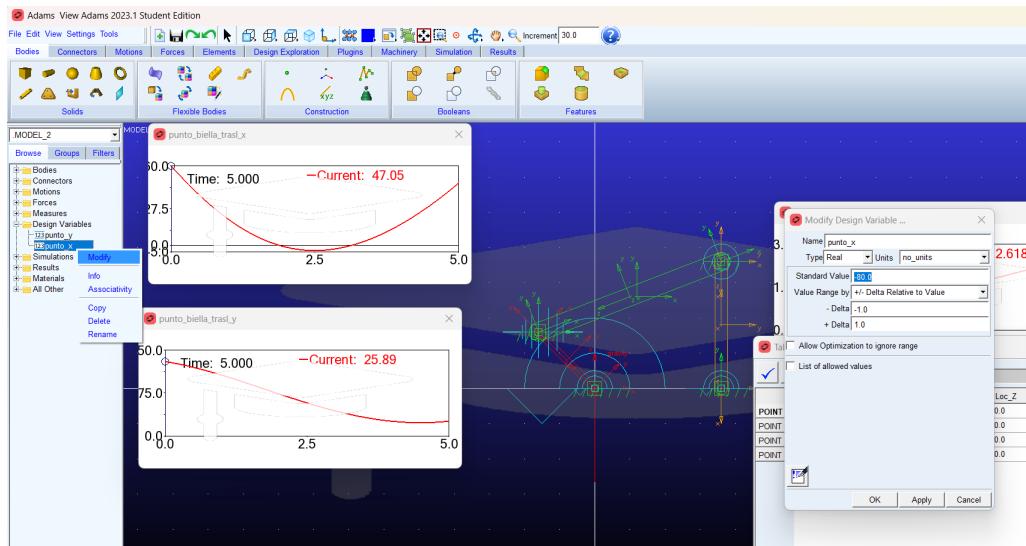
Nella scheda in alto *Design Exploration* viene creata una *Design Variable* chiamata *punto_x* che ha come *Standard Value* -60, che corrisponde alla coordinata lungo x del POINT_2. Il menu a tendina *Value Range By* permette all'ottimizzatore di definire il range di variazione della variabile nel suo studio: viene lasciato il *Delta Relative to Value* in modo da farlo variare tra -61 e -59, ma si può decidere anche di mettere un minimo ed un massimo. Si crea una seconda variabile *punto_y* di *Standard Value* 80, che corrisponde alla coordinata lungo y sempre del POINT_2.



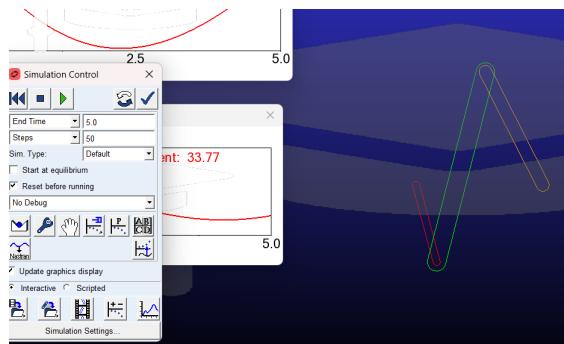
Adesso nella *table* si modificano i valori del POINT_2 con tali variabili (che vanno aggiunte tra parentesi tonde).

Table Editor for Points in .MODEL_2			
	Loc_X	Loc_Y	Loc_Z
POINT 1	0.0	0.0	0.0
POINT 2 (punto_x)	(punto_y)	0.0	
POINT 3	180.0	180.0	0.0
POINT 4	180.0	0.0	0.0

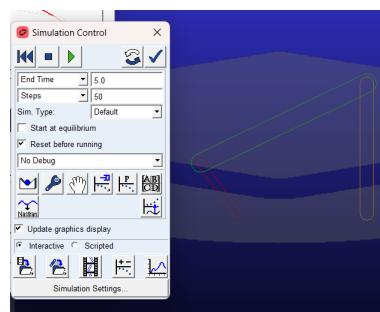
Una volta create le variabili le si va a modificare. Ad esempio si modifica il valore di *punto x* da -60 a -80. Viene ovviamente modificato il modello.



Nell'eseguire la simulazione con la nuova configurazione il modello si blocca, si impunta, perché molto probabilmente il quadrilatero non è più di Grashof.

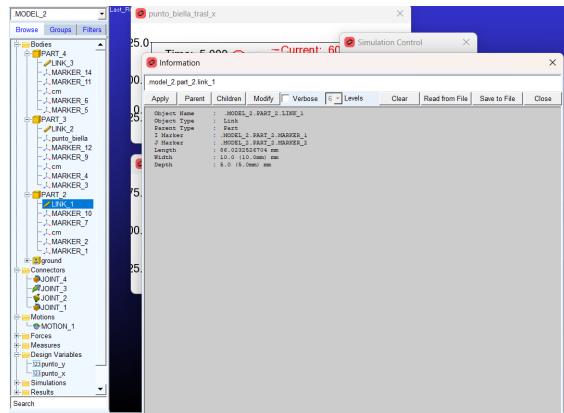


Si prova a cambiare nuovamente il valore a -50 per il *punto x* e 70 per il *punto y* e questa volta la *manovella* riesce a compiere un giro completo.



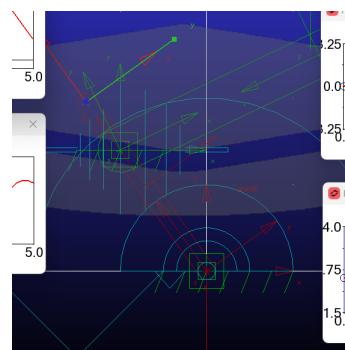
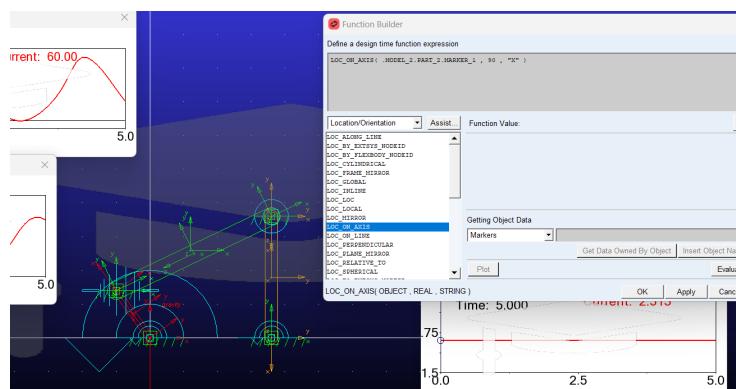
Se nel meccanismo precedente la biella poteva assumere due configurazioni: ognuna con il 50% di probabilità di avverarsi ma è il solutore poi a scegliere l'una o l'altra a seconda dell'errore numerico; adesso non è più in grado di assumerle entrambe ma è obbligato ad assumerne una soltanto.

Andando a sinistra su *Browse* e selezionando il *link* della PART_2 si osserva nelle *Info* come la lunghezza di esso sia circa 86. Di solito quando si va a modellare il meccanismo si osserva la lunghezza del link: quindi è preferibile definire in maniera parametrica non la posizione in x e y del punto, che è scomodo, ma la sua *lunghezza*.

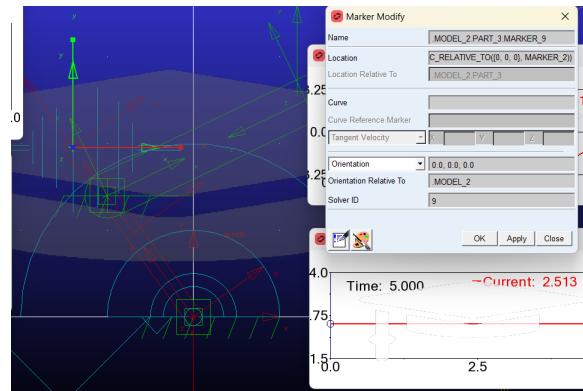


Ci si appresta allora a definire il *marker* geometrico terminale come lunghezza della manovella e a scambiare i due marker del vincolo sferico per trovarsi non più nel POINT_2 (che rimane fissato nella sua posizione) ma per far seguire loro il marker geometrico in termini di posizione.

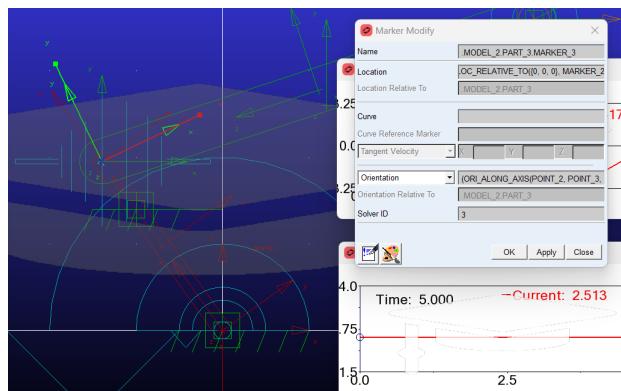
Con *Modify* sul MARKER_2 si cancella la funzione, si utilizza con il tasto destro *Parametrize>Expression Builder* e si sceglie nel menu a tendina l'opzione *Location/Orientation*. Si sceglie come funzione *LOC_ON_AXIS* che permette il posizionamento ad una certa distanza lungo un asse di riferimento: come *Frame Object* si sceglie il MARKER_1 e lo si posiziona ad una distanza di 90 (e poi di nuovo di 120) lungo l'asse x.



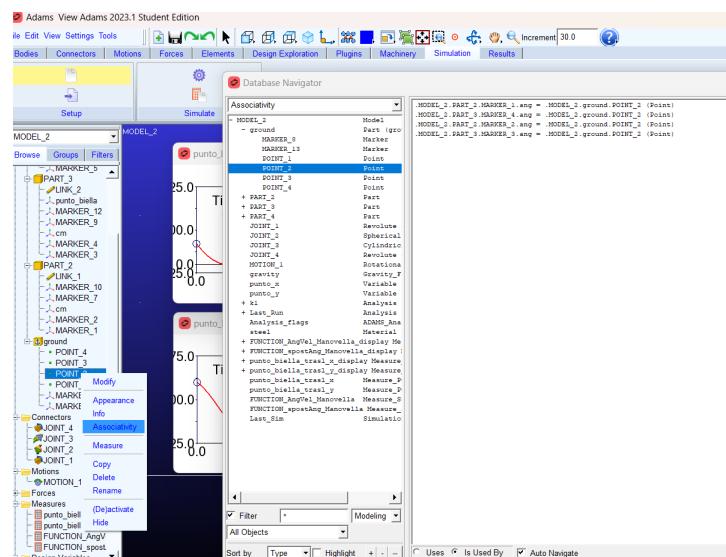
Poiché la parte si è spostata insieme al MARKER_2 mentre il vincolo sferico nel POINT_2 è rimasto lì dove era, è opportuno traslare anche i *markers* di tale vincolo, che sono il MARKER_9 ed il MARKER_10. Quando si va su di essi con *Modify* invece di avere (LOC_RELATIVE_TO{0,0,0}, POINT_2) va sostituito il POINT_2 con MARKER_2.



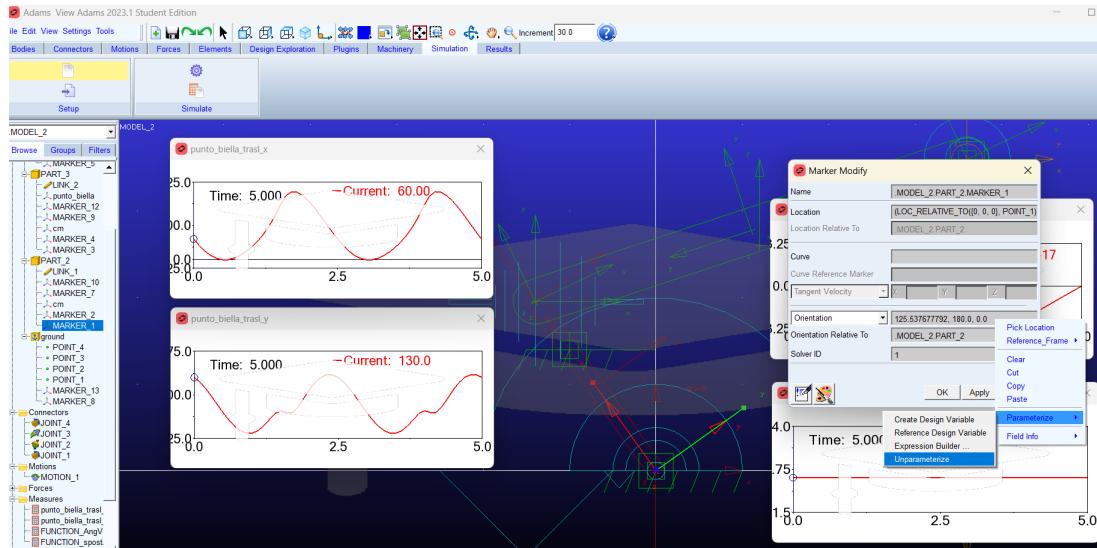
Va modificato anche il MARKER_3 della geometria, e quindi viene lasciato solo il punto nella posizione precedente.



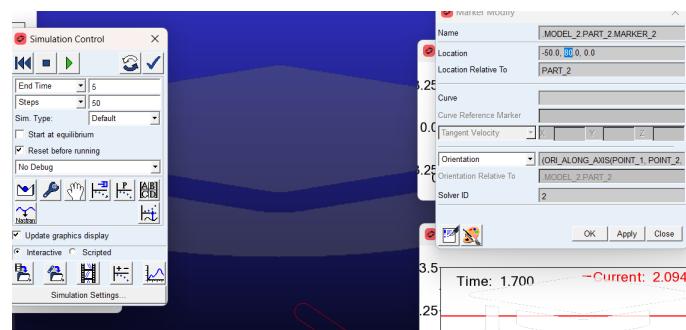
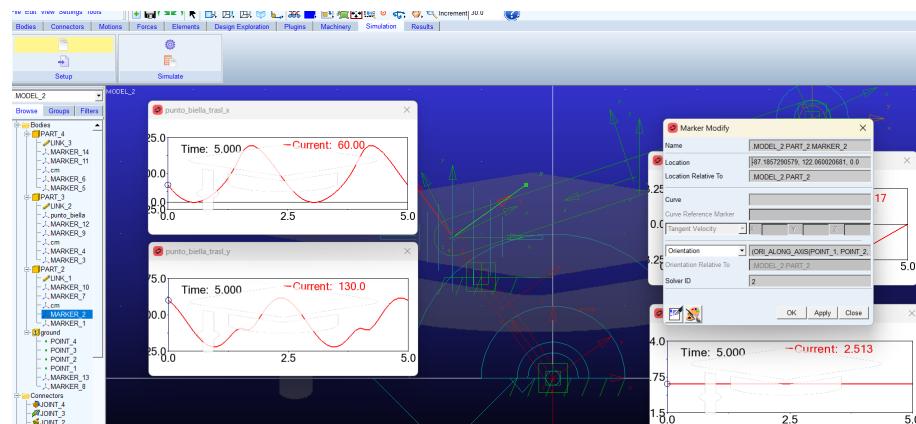
Andando sul POINT_2 e cliccando con il tasto destro poi su *Associativity*, si nota come questo abbia solo dipendenze di angolo.



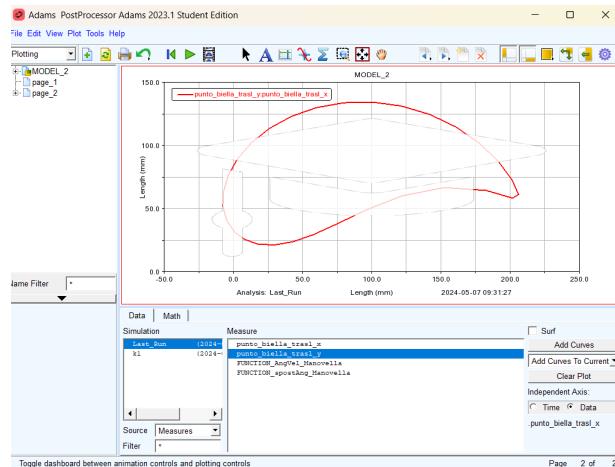
In realtà, dal punto di vista dell'orientamento, c'è ancora la dipendenza del MARKER_1 dal POINT_2. È necessario dunque non parametrizzarlo con *Parametrize*>*Unparametrize* ed esce il valore di angolo che possiede.



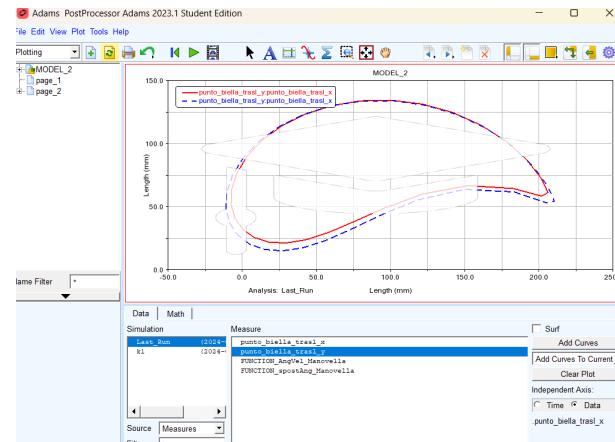
Si “sparametrizza” anche la lunghezza del MARKER_2 e la si imposta ad 80 lungo y. In questo modo, qualsiasi operazione venga fatta, viene modificata in automatico la lunghezza della manovella lungo l'asse definito come l'angolo di configurazione iniziale tra POINT_1 e POINT_2 (se si volesse modificare tale angolo basta modificarlo all'inizio).



Adesso al cambiare della lunghezza di manovella si vuole osservare come cambia la curva di biella. SI va nel *post processor*, si elimina il plot precedente (se presente), si selezione *Measures* e poi con data si plotta *traslazione y* su *traslazione x*.

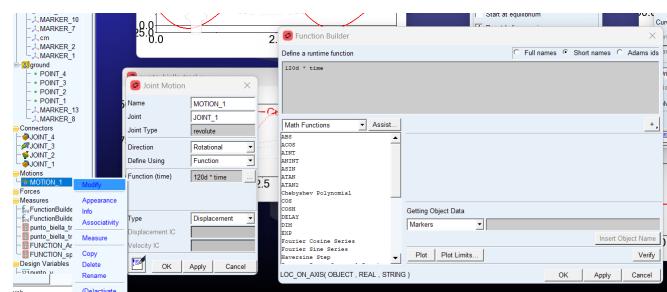


Provando a cambiare a d 85 la lunghezza del MARKER_2 si ottiene un'altra curva. Si sceglie tale valore perché con 90 ci potrebbe essere il rischio che il quadrilatero non fosse più di Grashof.



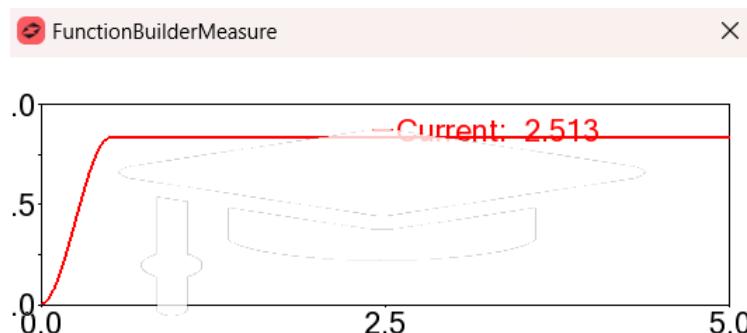
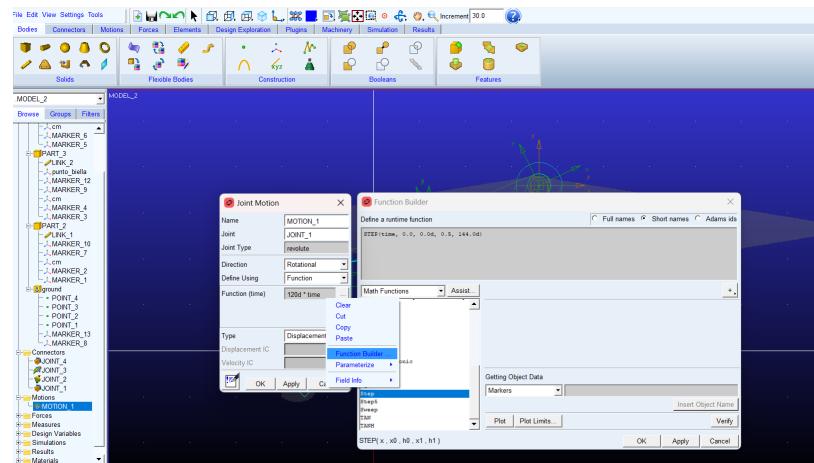
Le leggi di moto applicate sono ideali: nella realtà si utilizza un motore il quale presenta una legge di moto che dipende dal tipo e dal segnale in input. Chiaramente nessun motore imprime velocità costante all'istante zero.

Se si vuole effettuare una simulazione dinamica non si può lavorare con una legge di moto che restituisce una botta secca all'istante iniziale di $144^\circ/\text{s}$. Bisogna arrivarcici in maniera graduale. Quindi occorre modificare la MOTION con *Modify* e premendo sul quadratino che restituisce la *function builder*.



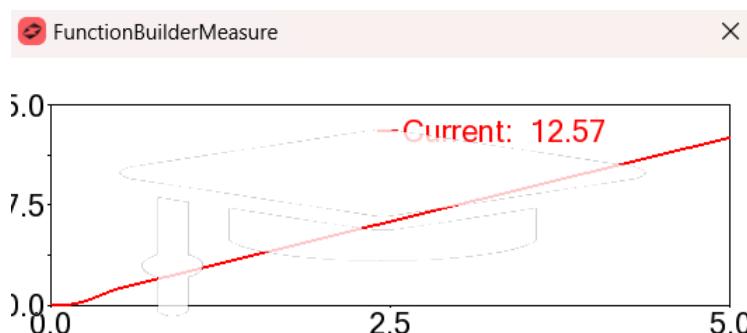
La funzione che viene in aiuto è la funzione *step*.

Essa crea un gradino (non che da 0 passa subito ad 1), più propriamente un *gradino polinomiale*, ossia che arriva al valore unitario con una curva del terzo ordine partendo da un istante iniziale x_0 fino ad arrivare ad uno finale x_1 . Più aumenta questa differenza di tempo e più si arriva ad 1 in maniera dolce. h_0 ed h_1 corrispondono rispettivamente al valore y nell'istante iniziale e quello raggiunto nell'istante finale.



Poiché non si vuole uno spostamento angolare di 144° , ma una velocità angolare di $144^\circ/\text{s}$, conviene moltiplicare la formula della funzione per il tempo ottenendo una legge lineare.

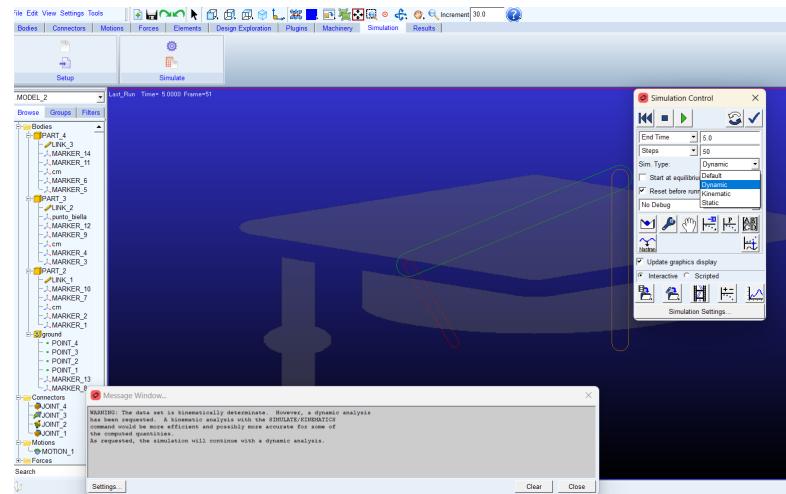
Si effettua la simulazione e la si salva come k2.



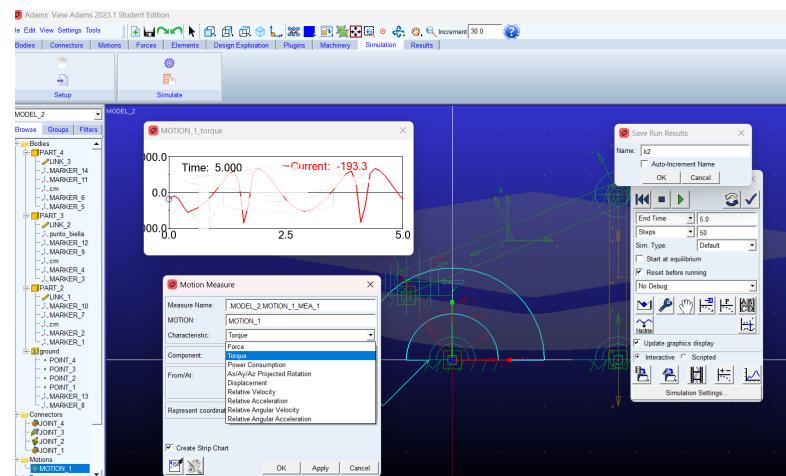
Il prossimo passo sarebbe quello di passare dalla legge di moto alla *legge di coppia*, cioè alla coppia applicata, in modo da simulare un modello non più cinematicamente determinato ma dinamico.

Se da simulazione si provasse ad impostare la *Sim. Type* in *Dynamic* uscirebbe un messaggio di errore dato che il modello è ancora cinematicamente determinato.

La soluzione cinematica sarebbe più semplice ma il solutore nel messaggio afferma che comunque prova a trovare anche la soluzione dinamica.

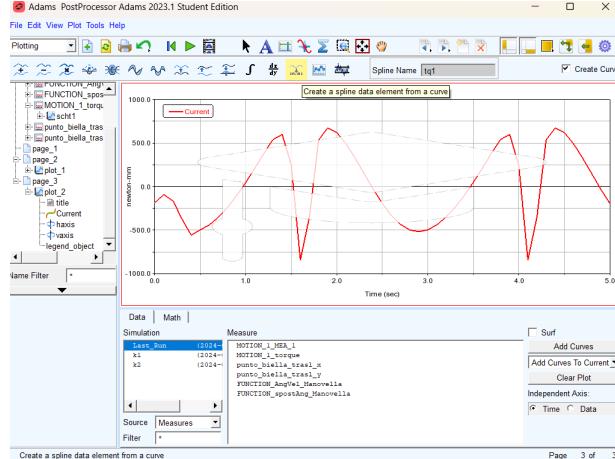


Imponendo una *legge di coppia* il problema deve necessariamente passare dall'essere cinematicamente determinato all'essere dinamico. Per applicarla bisogna prima sapere quale sia questa coppia. Con *Measure* scelta sulla *motion* si va a misurare la *Torque* (esce il grafico corrispettivo) e si va a fare la simulazione ridenominandola *k2* in modo da sovrascrivere il salvataggio precedente.

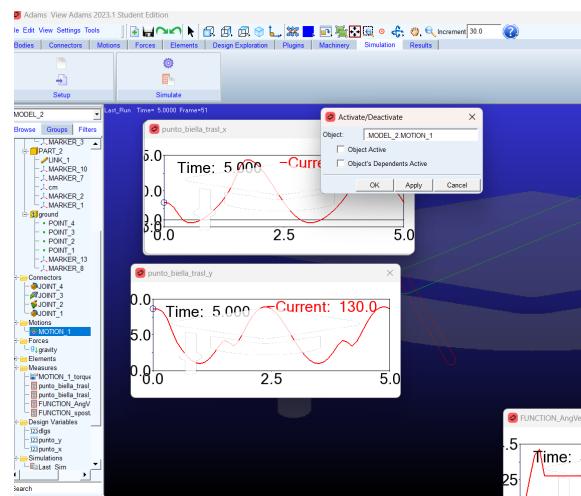


La forza da applicare come legge di coppia al posto della legge di moto va presa dal plot e definita come una *spline*. La *spline* è una serie di punti, cioè i valori assunti dalla misura per ciascun passo di integrazione e che quindi rappresentano ciascuno dei time steps dell'asse x; tra questi punti c'è una curva interpolante che è o una cubica o una *Akima* (legge di interpolazione di questo studioso): l'ultima più usata per addolcire il plot mentre la cubica più precisa a meno di grosse variazioni.

Occorre dunque con il tasto destro del mouse eseguire il *Transfer to Full Plot* in modo da plottare la curva ottenuta con la *Measure* nel *post processor* (lo stesso si poteva fare direttamente lì plottando nel tempo la *torque* dopo aver selezionato come *Source* le *Measures*). Premendo sulle *Sigma* è possibile fare varie operazioni tra più curve (addizione, sottrazione, valore assoluto, negata, interpolazione, derivata, integrale...). Si sceglie di eseguire la *Create a spline data element from a curve*: prima si clicca su *spline*, poi si inserisce il nodo della spline, e poi cliccare sulla curva.

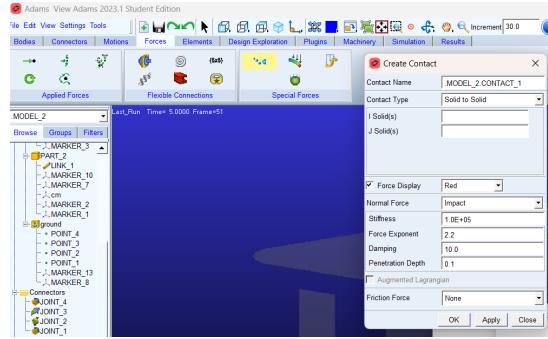


Bisogna adesso disabilitare la legge di moto: con tasto destro si usa *(De)activate* su *motion* e si leva la spunta su *Object Active*.



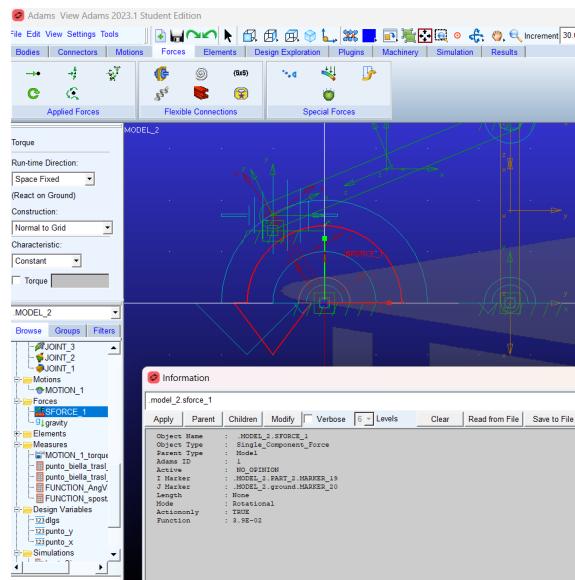
Andando sulla scheda in alto *Forces* ci sono essenzialmente le forze di tipo molla-smorzatore, oppure i beam, i general bushing ecc. In *special forces* ci sono le forze di contatto: le parti vengono viste come compenetrate tra di loro, ma questo il codice non lo sa a meno che non glielo venga esplicitato tramite contatto. Il contatto, nella sua formulazione di default, crea una forza di impatto in modo che si abbia una componente rigida ed una di smorzamento. La componente rigida è non lineare perché avente un esponente e tale da opporre una forza alla compenetrazione: presenta un coefficiente di rigidezza per la compenetrazione relativa tra le geometrie elevata ad un esponente, più una componente di smorzamento moltiplicata per la velocità di compenetrazione. Arriva da zero al valore massimo secondo una legge step che dipende dalla compenetrazione massima (*penetration depth*).

Andando infatti su *Forces>Special Forces* e cliccando su *Create a Contact* si apre una finestra in cui: il *Contact Type* impostato di default significa che si vede un contatto tra due geometrie solide e poi viene permesso di impostare i due solidi (I e J); *stiffness* indica la rigidezza, ossia il coefficiente che si applica alla compenetrazione come spostamento; il *damping* è il massimo valore del coefficiente di smorzamento che scala la velocità di compenetrazione; il *penetration depth*, di default di 0.1 mm, indica la compenetrazione per la quale si ha il damping nominale; inoltre si può abilitare anche l'attrito che può essere di Coulomb ad esempio.

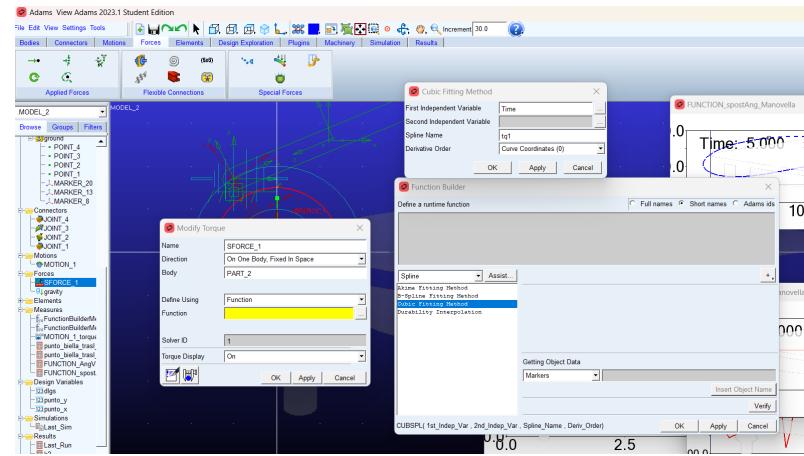


In *applied forces* ci sono le forze definite tramite due o tre componenti (lineari), la coppia con due o tre componenti e la forza generale con sei assi (3 di rotazione e 3 di traslazione). Si sceglie la coppia (*torque*). La *Run Time Direction* determina il modo in cui scarica la reazione e il modo in cui la coppia è applicata: *Space Fixed* significa dire che la coppia è applicata fissa lungo tutta la simulazione nel marker in cui è definita; la reazione è così scaricata sul ground ma essa non è di interesse al momento; l'opzione *Body Fixed* invece significa che la reazione è sempre sul ground ma prende via via l'orientamento del corpo; l'opzione *Two Bodies* significa invece che c'è un sistema relativo di cui si vuole conoscere la reazione scaricata. Si sceglie l'opzione *Space Fixed* dato che l'asse z della manovella non cambia durante la simulazione. Per la costruzione si sceglie quella normale alla griglia (*Normal to Grid*) altrimenti con *Pick Feature* bisognerebbe selezionare l'asse. Non si vuole una caratteristica *Constant* ma una *Custom* che poi si va a definire modificando la coppia. Si seleziona poi il corpo cui è applicata la coppia (PART_2) e il punto di applicazione (POINT_1): si viene a creare così un nuovo marker, il MARKER_19, che è il marker di azione (*marker I*) e il MARKER_20 che è quello di reazione (*marker J*).

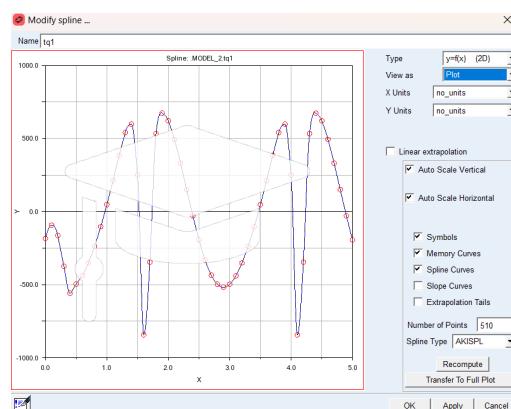
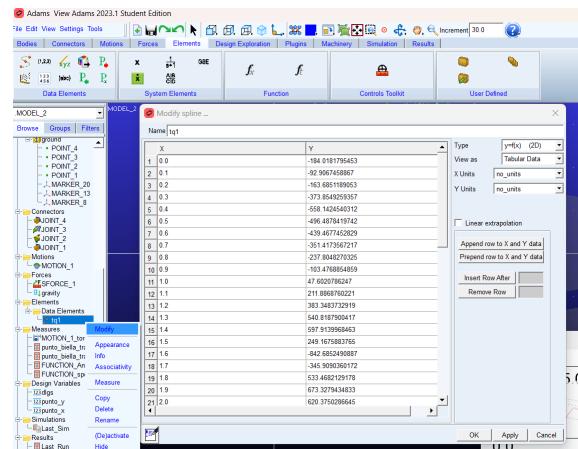
Premendo sulle *Info* della coppia è possibile controllare tali marker.



Con *Modify* scelto sulla coppia (SFORCE_1) si apre una finestra in cui compare *Function* (dovuta alla scelta di *Custom* durante la definizione della coppia) e si sceglie come *funzione* la *spline*. Si sceglie poi *Cubic Fitting Method* secondo cui la variabile indipendente è il tempo mentre non ce n'è una seconda; come *Spline name* si cerca con *Browse* la *tq1* precedentemente misurata; vi è anche la possibilità di derivarla una o più volte con *Derivative Order*.

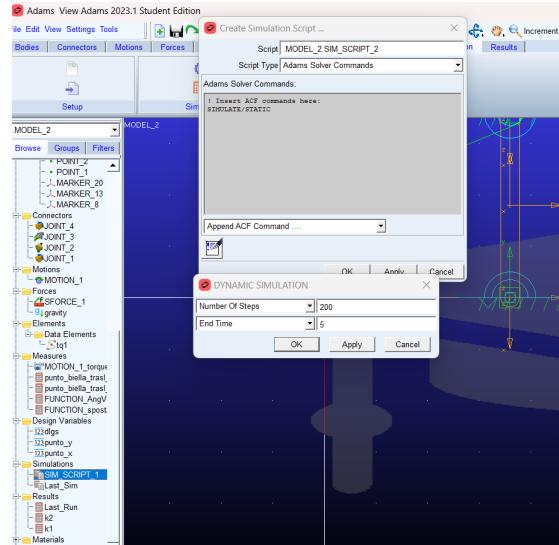


Alle spline è possibile accedere a sinistra andando su *Elements>Data Elements* e poi cliccando con *Modify* su *tq1*. Sulla x ci sono gli istanti temporali mentre sulla y i valori della coppia. Cambiando da *Tabular Data* a *Plot* si hanno i punti come cerchi rossi e la curva interpolante come curva in blu. Con *Linear Extrapolation* applica una estrapolazione lineare quando non si sono dati sufficienti per completare la simulazione (pratica non consigliata).

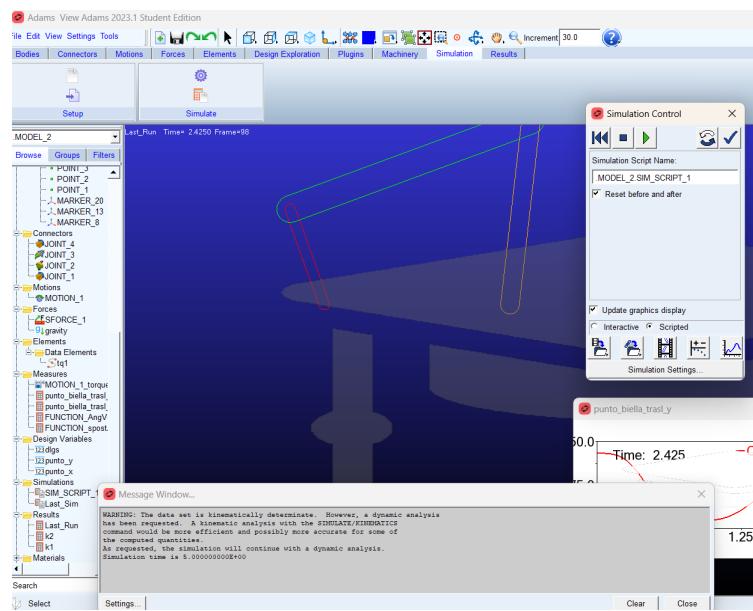


Per avere più controllo sulla simulazione dinamica si potrebbe creare uno *script*.

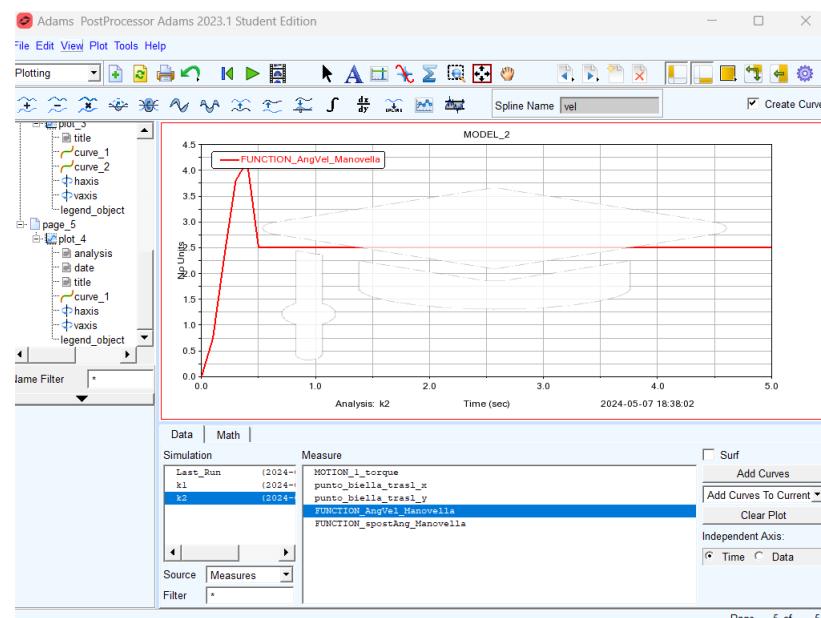
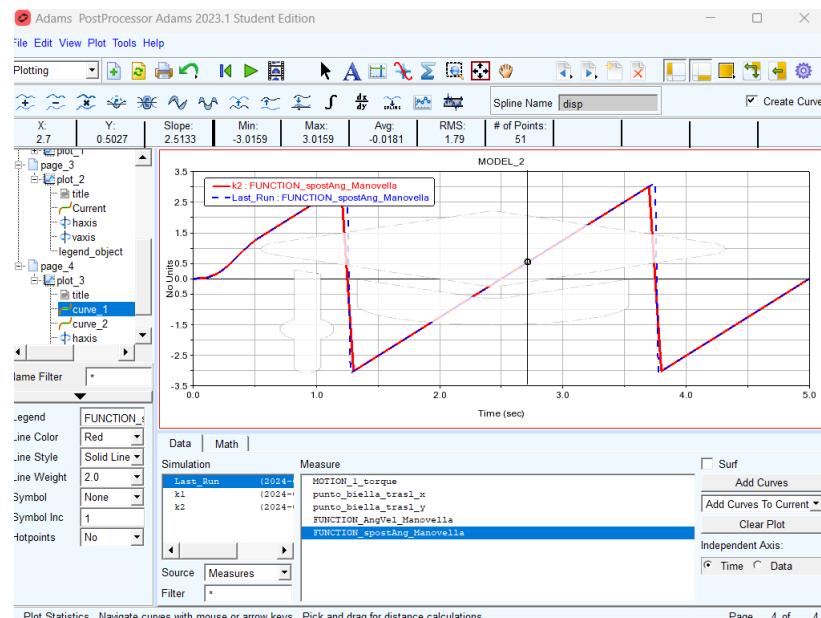
Si va in alto in *Simulation* e poi si clicca su *Create a new simulation script*. Come *Script type* si sceglie *Adams Solver Commands* in modo da dare direttamente i comandi al solver. I comandi in ACF possono essere scelti spuntando il menu a tendina *Append ACF Command* e conviene inserire prima *Kinematic Simulation* e poi *Dinamic Simulation*, impostando un *Number of Steps* di 200 ed un *End Time* di 5. Si crea così il SIM_SCRIPT_1.



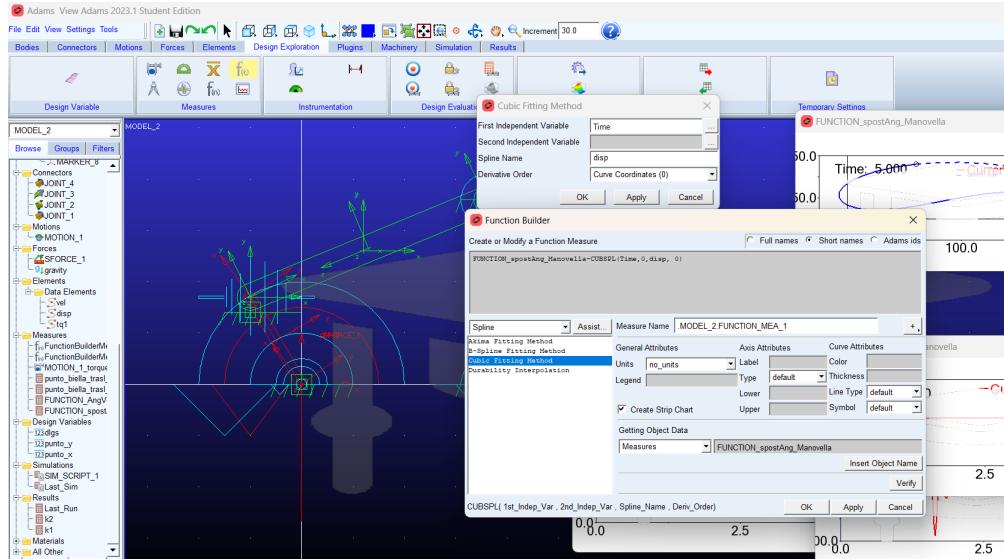
Andando in alto in *Simulation* e cliccando su *Run a Scripted Simulation* si carica lo script appena creato. Svolgendo la simulazione la coppia non ce la fa: questo perché è stata presa la coppia applicata da una legge di moto ideale in ambiente cinematico ed è stata applicata su un sistema dinamico che usa tutto un altro set di equazioni e tiene conto delle inerzie e delle masse.



Se si vuole dunque ottenere la legge di spostamento lineare di prima, bisogna necessariamente creare un sistema di *controllo PD* della coppia. Sono già state create le misure di spostamento angolare e di velocità angolare della coppia che possono servire per impostare il PD. SI av quindi nei *Results* in alto e si apre il *post processor* creando una nuova pagina. Dalla *Simulation* chiamata *k2* si ricavano come *Source* le *Measures*. Si plotta la misura di spostamento angolare *FUNCTION_spostAng_Manovella* e si ricava la spline (*disp*) che sarà il riferimento. Si vuole creare una misura che prende il valore attuale della misura di spostamento angolare (ottenuta dal *Last Run*) e che facendone la differenza lo confronta con la spline creata relativa al riferimento. la componente proporzionale del controllore prende l'errore (differenza) e la moltiplica per un guadagno; la stessa cosa viene fatta con la velocità per ottenere il contributo derivativo del controllo. Viene quindi creata la spline (*vel*) anche per la misura di velocità angolare *FUNCTION_AngVel_Manovella* ottenuta dalla *k2*.

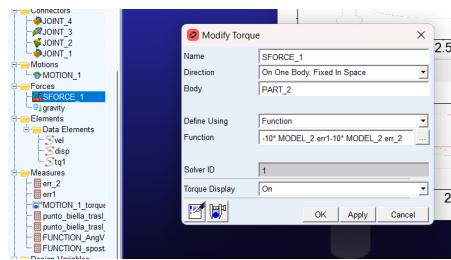


Ora bisogna creare le misure di errore. In alto andando su *Design Exploration* la F(t) consente di definire una *Function Measure*. Nel menu a tendina *Getting Object Data* scegliere *Measure* e nel riquadro grigio con *Browse* scegliere la misura di spostamento angolare; poi quando compare nel quadratino grigio inserire il segno meno e cercare tra le funzioni *spline* quella cubica; con assist si usa poi come *Spline Name* la *spline* chiamata *disp* e prima creata. La misura creata viene poi ridenominata *err1*.

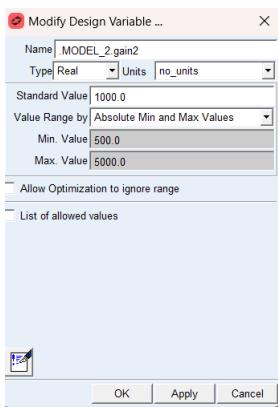
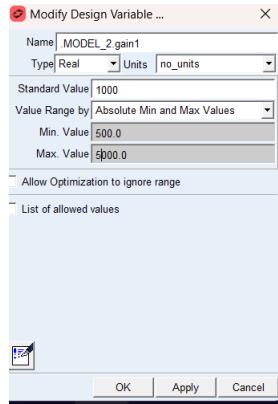


Si fa ripartire la simulazione (salvata come *d1*) e si nota che l'errore si discosta troppo dall'ideale. La stessa cosa vien fatta per la velocità angolare, quindi ottenendo *err_2* come errore e avendo posto come *Spline Name* la *vel*.

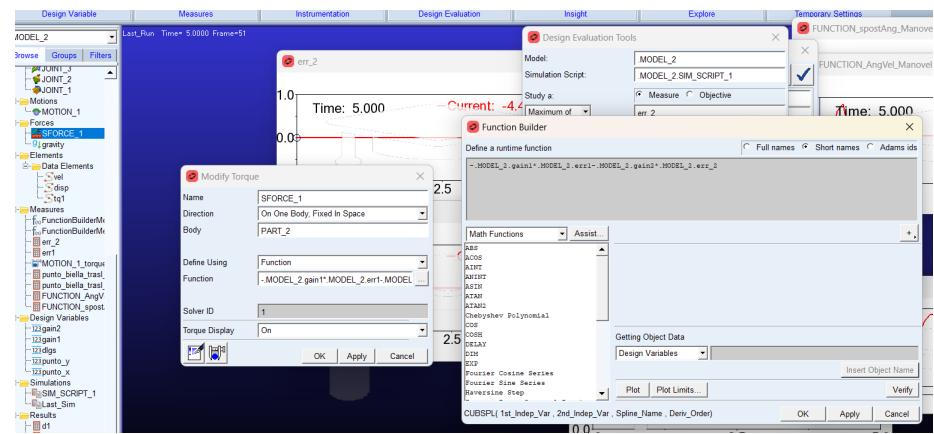
Bisogna allora modificare la coppia. Si va giù a sinistra in *Forces*, si seleziona SFORCE_1 con *Modify*. Cliccando sul quadratino della funzione si scrive nella finestra che si apre $10^*err1-10^*err_2$ e si nota un miglioramento minimo dell'andamento dell'errore.



Inizialmente si prova a modificare i guadagni ponendoli a 100. L'errore infatti così scende. Una cosa però è trovare i valori dei guadagni per tentativi mentre un'altra è fare quello per cui questi software sono nati, e quindi un'*analisi parametrica*. Bisogna creare due variabili: *gain1* e *gain2*.



Prima bisogna parametrizzare la forza andando sul *Function Builder* e inserendo al posto dei valori i parametri *gain1* e *gain2*.



Si va in *Design Exploration>Design Evaluation* e si sceglie *Design Evaluation Tools*. Si inserisce la misura dell'errore sulle velocità (*err_2*). Il *Design Study* studia il comportamento del sistema al variare di una sola variabile del sistema. Al parametro *Design Variable* vengono fatti assumere un numero di valori pari a *Default Levels*. Definiti questi si preme su *Start*. Per ogni parametro vengono visualizzate le varie curve: se non si vogliono vedere tutte le curve si va in basso in *Settings>Display>* (si spunta su *more*)*Design Evaluation Display>Save Curves* e spuntare no, e le si disattiva. SI possono ottenere anche dei valori tabellati con le icone in basso.

