



UNIVERSITÀ  
POLITECNICA  
DELLE MARCHE

FACOLTÀ DI INGEGNERIA

---

Corso di Laurea Triennale in Ingegneria Meccanica

**ANALISI DELLO STRUMENTO SOFTWARE SIMCENTER 3D  
MOTION**

**SIMCENTER 3D MOTION SOFTWARE TOOL ANALISYS**

*Relatore:*

**Prof. Matteo Palpacelli**

*Tesi di Laurea di:*

**Simone Sospetti**

*Anno Accademico 2020 / 2021*

*Ai miei nonni,  
...spero siate fieri di me anche da lontano*

# RINGRAZIAMENTI

Prima di lasciar spazio alla trattazione, vorrei utilizzare questo spazio per menzionare e ringraziare tutte le persone che mi sono state vicine in questo percorso con il loro continuo supporto.

Ringrazio infinitamente i miei genitori, il mio punto di riferimento, per avermi sostenuto, soprattutto nei momenti più difficili, e per avermi permesso di arrivare fin qui. Grazie anche a mia sorella, su cui posso ed ho sempre potuto contare in qualsiasi momento, oltre ad essere per me un esempio e una guida. Non bastano le parole per mostrarvi la mia gratitudine.

Grazie ai miei due coinquilini Davide e Simone, con i quali ho iniziato e terminato questa bellissima esperienza. Una menzione particolare va a Simone, che raffiguro come il mio compagno di studi ma soprattutto come il mio “*Guru*”, che mi ha accompagnato senza sosta in questi tre anni. Ho scoperto di avere al mio fianco, una persona che mi ha trasmesso la sua infinita forza di volontà e la sua capacità di superare ogni ostacolo, indispensabili per arrivare fino in fondo.

Non posso non ringraziare la mia seconda famiglia: Andrea, Edoardo, Federico, Lorenzo e Matteo. Tutte le scelte che ho fatto nel corso di questi tre anni di studio sono anche il frutto della loro presenza e vicinanza, soprattutto nell’ultima fase di percorso. Grazie per ogni momento di spensieratezza e per essere stati sempre al mio fianco, come fratelli.

Grazie a tutti i miei amici più stretti e a tutti coloro che sono presenti per questo bellissimo momento, che avete contribuito a raggiungere dimostrando sempre la vostra importanza.

Infine dedico questo traguardo a me stesso, alla mia tenacia e ai miei sacrifici, ma soprattutto alla mia infinita voglia di raggiungere ogni obiettivo. Che possa essere l’inizio di una lunga serie.

*Ancona, 29 Ottobre 2021*

*Simone Sospetti*



# INDICE

<b>Capitolo 1: Introduzione</b> .....	6
<b>Capitolo 2: Meccanismi e macchine</b> .....	9
<b>Capitolo 3: Strumenti principali del software</b> .....	11
3.1 Creare corpi, giunti e guide .....	11
3.2 Molle, smorzatori e boccole .....	13
3.3 Configurare un sistema.....	14
3.4 Applicare dati di lavoro.....	14
3.5 Aggiunta di carichi .....	16
<b>Capitolo 4: Caso studio</b> .....	17
4.1 Realizzazione tridimensionale del meccanismo biella manovella.....	17
4.2 Solidi di Movimento.....	19
4.3 Vincoli e gradi di libertà .....	20
4.4 Analisi dinamica e risoluzione .....	21
4.5 Riproduzione della simulazione e grafici .....	24
<b>Capitolo 5: Fonti utilizzate</b> .....	26
5.1 Bibliografia.....	26
5.2 Sitografia.....	26

# Capitolo 1: Introduzione

Software SimCenter 3D Motion by Siemens

SimCenter 3D della Siemens è una soluzione CAE (Computer-Aided Engineering, in italiano “Ingegneria Assistita dal Calcolatore”) completa e totalmente integrata all'ingegneria multifunzionale del prodotto. Il software consente analisi complesse di natura energetica, strutturale, acustica, termica, cinematica e dinamica dei corpi rigidi e flessibili, nonché ottimizzazione e simulazione multifisica . È un ambiente unificato che racchiude diversi sottoambienti di simulazione:

- Simulazione acustica (Acoustics)
- Simulazione del movimento (Motion)
- Simulazione termica (Thermal)
- Simulazione fluidodinamica computazionale (CFD)

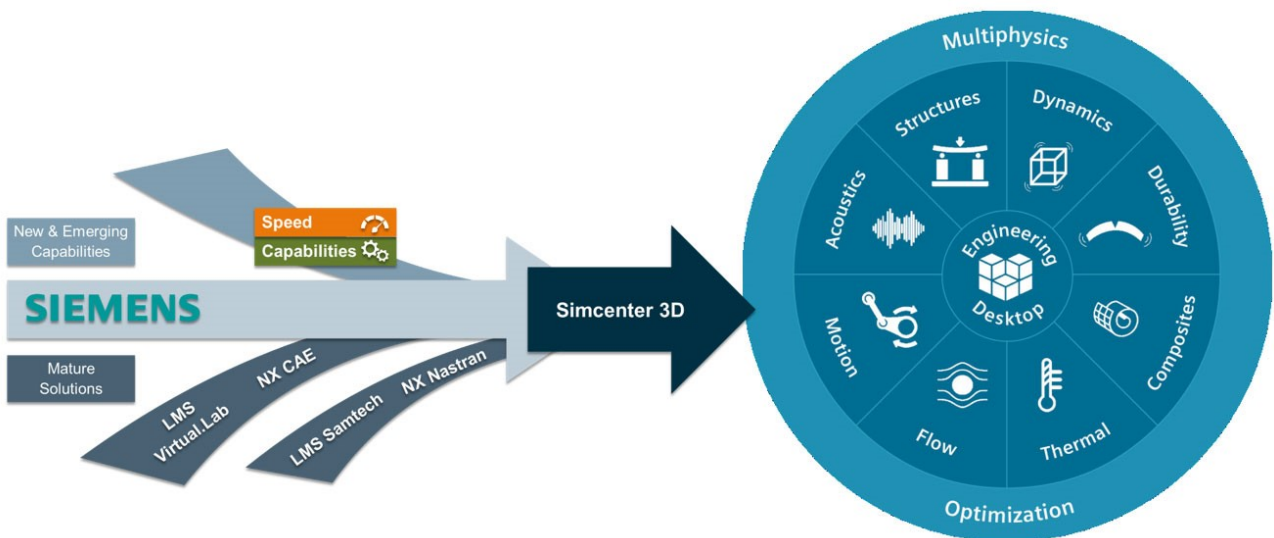


Figura 1: Ambienti di lavoro del software

Dal punto di vista ingegneristico, un problema ancora molto attuale e ricorrente è quello di comprendere le prestazioni di sistemi meccanici complessi. SimCenter 3D Motion è uno strumento che, attraverso la simulazione cinematica, consente di calcolare le forze di reazione, le coppie, le velocità, le accelerazioni e molti altri parametri dei sistemi ingegneristici: aiuta a prevedere e comprendere il comportamento funzionale di assiemi e meccanismi.

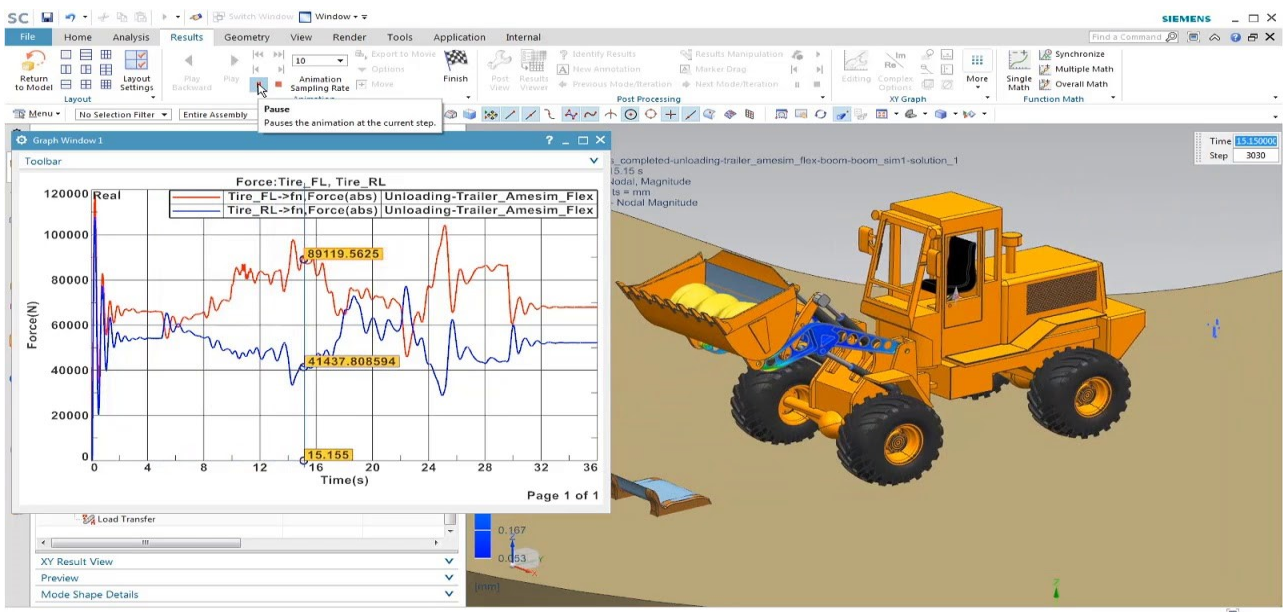


Figura 2: Simcenter 3D Motion – Interfaccia grafica di lavoro

Il software permette di convertire direttamente la geometria CAD e i vincoli di assieme in un modello di movimento accurato ma offre anche potenti funzionalità in modo che qualsiasi utente, esperto o meno esperto, abbia la capacità di creare da zero il proprio modello multicorpo. Inoltre il risolutore di movimento integrato (i cosiddetti “Motion Solvers” quali SimCenter 3D Motion Solver, NX Motion Solver...) e gli strumenti di post-elaborazione consentono di studiare un'ampia gamma di comportamenti dei meccanismi anche attraverso grafici sia di singole grandezze che combinate.

Il tipico flusso di lavoro (Workflow) dell'utente per le analisi di movimento è il seguente:

1. Creare i solidi di movimento che andranno a comporre il meccanismo;
2. Utilizzare vincoli/giunti per connettere i vari corpi;
3. Applicare carichi esterni;
4. Stabilire le condizioni e tempi di soluzione per poi risolvere ed avviare la simulazione;
5. Post-processamento attraverso l'ausilio di grafici, animazioni ecc.



## Capitolo 2: Meccanismi e macchine

### Definizioni chiave

Come già anticipato, il software che stiamo analizzando si focalizza principalmente sulle prestazioni di sistemi meccanici. Bisogna perciò evidenziare innanzitutto il significato e le differenze che distinguono un meccanismo da una macchina.

Un sistema meccanico è generalmente composto da uno o più sottosistemi, i quali sono caratterizzati da più corpi, tipicamente rigidi, capaci di movimento relativo. Tali sottosistemi vengono chiamati meccanismi o, più recentemente, *sistemi multi-body*. Perciò possiamo già dedurre che i meccanismi sono proprio componenti fondamentali di un sistema meccanico che può integrare anche altre parti fluidodinamiche, elettriche, elettroniche, o informatiche. L'illustre ingegnere meccanico tedesco di nome Franz Reuleaux (Eschweiler, 30 settembre 1829 – Charlottenburg, 20 agosto 1905) definisce una macchina come una “combinazione di corpi resistenti disposti in modo tale che attraverso di loro le forze della natura siano costrette a produrre lavoro accompagnato da certi determinati movimenti”. Mentre definisce un meccanismo come “l’assemblaggio di corpi resistenti, connessi da giunti mobili, per formare una catena cinematica chiusa con un corpo fisso ed avente lo scopo di trasformare il moto”.

L'aspetto fondamentale per entrambi è che, sia macchine che meccanismi hanno la potenzialità di sviluppare un moto relativo tra i corpi che li compongono (distinguendosi così dalle strutture) ma, mentre per le macchine i concetti predominanti sono forze, coppie, lavoro e potenza prodotta, per i meccanismi l'idea predominante è quella di ottenere un movimento desiderato. Pertanto, una macchina può essere costituita da uno o più meccanismi, ciascuno dei quali può essere considerato come un sotto-sistema.



Figura 3: Manovellismo ordinario di un motore

Ovviamente vi sono varie classificazioni a distinguere e caratterizzare sia le macchine in sé che i meccanismi più genericamente. In ogni caso, entrambe queste categorie presentano complessità di studio legate all'elevato numero di corpi e variabili presenti nei sistemi. Spesso i problemi che presenta la meccanica non possono essere risolti analiticamente, o almeno i modelli utilizzati non consentono una rappresentazione sufficientemente accurata del sistema di interesse. Gli strumenti di simulazione, come il software Simcenter 3D hanno proprio il ruolo di aiutare l'utente a risolvere casi studio complessi e difficilmente affrontabili per via analitica.

Ad esempio la simulazione di una *autovettura*, che rientra nella categoria di *macchine operatrici*, presenta una complessità elevata a causa dei numerosi sottosistemi che interagiscono: telaio, sospensioni, trasmissioni meccaniche, cambio, differenziale, ruote con pneumatici, sterzo e propulsione con motori a combustione o più recentemente tramite motori elettrici o con soluzioni ibride. In Figura 3 viene mostrato un esempio di sottosistema meccanico per una vettura, in particolare un motore a quattro cilindri contrapposti, il cui studio può essere affrontato più agevolmente tramite simulazione multibody, senza ricorrere ad approssimazioni nella modellazione che spesso riducono l'accuratezza dei risultati.

## Capitolo 3: Strumenti principali del software

### Elementi fondamentali ed elementari

L'interfaccia del programma è strutturata in maniera ordinata e intuitiva in modo da permettere all'utente, che si vuol avvicinare ad esso, di poter facilmente usufruire di tutte le capacità che SimCenter possiede. Qui di seguito verranno analizzate le principali operazioni che si possono osservare lavorando sul software:

### 3.1 Creare corpi, giunti e guide

Un corpo in movimento rappresenta un corpo rigido del meccanismo, libero di muoversi in funzione dei vincoli applicati. Creare un corpo in movimento vuol dire che l'elemento geometrico (componente) in questione parteciperà alla simulazione. Esso può essere: uno o più componenti dell'assieme; corpi solidi/piatti o geometrie primitive; curve/punti/sistemi di riferimenti... ma tutti con 6 gradi di libertà: 3 di traslazione e 3 di rotazione.

Il programma tiene conto della massa di ciascun corpo e delle conseguenti proprietà, le quali possono essere definite in 3 modalità:

- Automatica, basate sul volume e sulle proprietà del materiale assegnato (se non vi è assegnato nessun materiale, il software assegna automaticamente come materiale l'acciaio pari a  $7830 \text{ kg/m}^3$ );
- Definita dall'utente, il quale può definire massa e valori dell'inerzia di massa, in base al centro di massa scelto e al sistema di riferimento (SDR) d'inerzia;
- Nessuna proprietà, assumendo un corpo senza peso e massa.

Per quanto riguarda i giunti, essi vengono utilizzati per vincolare i movimenti dei corpi tra loro (moto relativo), riducendo i gradi di libertà degli stessi e del meccanismo. È una relazione matematica tra 2 corpi, che vincola uno o più gradi di libertà mentre consente movimenti ad altri.

Gli step da seguire quando si definisce un vincolo sono:

1. selezionare il componente mobile (l'origine e l'orientazione del vincolo viene dedotto dal programma);
2. se non fossero corretti, vanno corretti origine e/o orientazione (per orientazione si intende la direzione verso la quale è libero di muoversi);
3. definire infine il corpo di base a cui sarà anche collegato, se necessario, altrimenti il vincolo sarà definito fisso o relativo rispetto al terreno.

Il programma fornisce un "contatore" dei gradi di libertà del sistema indicato come "*Gruebler Count*": appare all'interno di una colonna in corrispondenza di ciascun meccanismo e soluzione, utilizzando tale formula valida per ogni corpo rigido (mentre per i meccanismi flessibili aggiunge 1 grado di libertà per ciascun componente flessibile)

$$\textit{Gruebler Count} = (n. \textit{ di corpi mobili} * 6) - \textit{GDL rimossi dai vincoli/giunti}$$

(Il calcolo ignora i vincoli ridondanti)

Il software presenta anche l'opzione di giunto/vincolo con movimento a scatto che permette di riposizionare, da una posizione qualunque, il meccanismo nella sua originale posizione di base (posizione di progetto). Il movimento si ha durante l'animazione/articolazione ma questo particolare vincolo è utile quando abbiamo corpi non progettati in maniera corretta.

Il programma presenta una vasta gamma di vincoli da poter realizzare (cilindrici, sferici, cerniere, giunti universali, incastri...) andando sempre a definire e scegliere in maniera esaustiva gli elementi da vincolare. Sono presenti anche strumenti che permettono di incastrare e vincolare tra

loro barre/aste semplicemente allineando o sovrapponendo superfici e fissando la base, cambiando distanze/angoli, scegliendo elementi da rendere concentrici ecc.

È possibile applicare l'attrito direttamente a un elemento di giunzione che influenza lo spostamento, la velocità, l'accelerazione e la forza / coppia nel giunto; in questo modo si riescono a riprodurre movimenti e simulazioni caratteristici solo in presenza di attrito e senza il quale non sarebbero possibili. Inoltre c'è possibilità di accoppiare pulegge/organi attraverso ruote dentate (ingranaggi) e cinghie.

Importante sottolineare anche come il programma, riguardo l'ampio mondo dei vincoli, riesca con i vari strumenti a disposizione a creare simulazioni con meccanismi fissando/vincolando un punto a una curva o superficie in modo tale che, attraverso il movimento impresso al punto, il solido si muova, con i suoi organi, di conseguenza e seguendolo. Queste riproduzioni permettono di risolvere problemi abbastanza significativi riuscendo ad assegnare determinati movimenti semplicemente tracciando il percorso da dare al punto.

### **3.2 Molle, smorzatori e boccole**

Tra i tanti modi che il Motion mette a disposizione per connettere copri tra loro, vi sono anche elementi flessibili indispensabili come le molle, di diversi tipi, in grado anche di esercitare una forza o coppia sull'oggetto attaccato. È permesso ovviamente il controllo della rigidità (lineare e non lineare), della lunghezza/angolo libero ecc.

Analogamente abbiamo anche gli ammortizzatori cui è possibile regolare lo smorzamento, la lunghezza ecc.

Infine è possibile introdurre nel simulatore anche le boccole per collegare 2 corpi di vario genere (cilindriche, sferiche, ecc) ma indipendentemente dal tipo, esse vengono definite da rigidità, smorzamento e precarico.

### **3.3 Configurare un sistema**

Quando si vuol analizzare un meccanismo predisposto, il programma permette di acquisire una certa disposizione dell'assieme (ARRANGEMENT), che consente di specificare posizioni alternative per uno o più componenti e memorizzare tali configurazioni del sistema. È possibile anche nascondere o agganciare/sganciare componenti dell'elemento per poter studiare in maniera ancor più dettagliata il solido in movimento.

I passaggi sono pochi e semplici: dopo aver risolto il modello e avergli dato movimento, il programma permette di analizzare la sequenza dei movimenti (addirittura scegliendo il numero di step), potendo arrestare il meccanismo in qualsiasi posizione voluta e in quel momento è possibile quindi memorizzare la configurazione.

Si possono, inoltre, inserire elementi geometrici primitivi (cilindri, prismi...) al modello esistente e andar a creare in seguito una nuova simulazione di movimento con tale elemento aggiuntivo.

### **3.4 Applicare dati di lavoro**

Un approccio di lavoro consentito è quello di poter lavorare, con varie metodologie, utilizzando dati che possono essere inseriti dall'esterno (con file esterni di diverso tipo: .txt, .exl) o manualmente (direttamente mentre si sta utilizzando il software).

- *Profili*: permettono di definire e controllare il movimento di alcuni solidi in movimento (controllo della velocità di una guida) ma hanno anche altre finalità come, ad esempio, la possibilità di definire la superficie di una strada o anche il coefficiente di rigidità di un ammortizzatore...

I dati che utilizza vengono ricavati da diverse fonti: curve del modello, un file esterno, dati inseriti manualmente...

Fondamentalmente inserendo dati o plottando grafici relativi ai movimenti di alcuni componenti, riusciamo a creare nuove soluzioni controllate e dirette da noi stessi;

- *Espressioni*: formule aritmetiche e condizionali che descrivono alcune caratteristiche e utilizzate per controllare alcune entità geometriche (spessori, lunghezze...), parametri di elementi in movimento (massa, costante di elasticità...), anche parametri di soluzioni vere e proprie (tempo di fine simulazione, tolleranze...) e così via. Tali formule includono combinazioni di variabili, funzioni, numeri, simboli ma comunque distinte da un nome che possiamo associare a ciascuna di esse (assegnati da noi o dal software in automatico);
- *Tabelle dei parametri*: un comando utilizzato per gestire le tabelle delle configurazioni del modello, che hanno accesso diretto alle espressioni: le configurazioni infatti sono costituite da un insieme di espressioni del modello con valori univoci, che è possibile utilizzare per seguire rapidamente il modello. Questo comando può essere utilizzato per creare, modificare, eliminare tabelle di parametri e configurazioni, per importare tabelle di configurazioni da file esterni al programma o per applicare diverse configurazioni al modello stesso. Applicata la configurazione data dalla tabella, il modello si aggiorna usando i valori delle espressioni impiegate. Questo, in breve, permette di ottenere più soluzioni mediante questa “tabella di collegamento” tra il modello e le espressioni che sono state inserite.

### 3.5 Aggiunta di carichi

Innanzitutto, forze e coppie vengono utilizzate per mettere in moto il corpo solido, per applicare carico a corpi immobili in simulazioni statiche e/o per limitare forze e movimenti opposti.

Una forza scalare è un carico applicato su di un corpo in movimento lungo una linea retta da un altro corpo o dal terreno. La direzione può essere decisa mediante una specifica direzione principale (X, Y e Z) o utilizzando due punti di attacco, così come l'intensità della forza che può essere una costante o variabile attraverso un valore dato da un'espressione algebrica, attraverso la dipendenza dal tempo o attraverso una vera e propria funzione matematica dipendente da più parametri. Può essere inoltre definita in 2 modi: solo azione o come azione-reazione (cioè il corpo può opporsi alla forza data).

La forza vettoriale, invece, sono utili per carichi di direzione costanti come vento, peso, ecc. Ovviamente la direzione può essere principale (X, Y o Z) o scelta attraverso un vettore, rimanendo costante.

Stesso discorso vale per le coppie: le coppie scalari e vettoriali sono definite da una sola direzione, e la rotazione viene assegnata seguendo la "Regola della mano destra", come l'intensità che può essere costante o variabile. Anche essa può essere solo azione o azione-reazione.



## Capitolo 4: Caso studio

### Esempio applicativo - Tutorial

Per un approccio più diretto e consolidato, utile per valutare gli aspetti più rilevanti del software, è stato realizzato un meccanismo base, come il biella manovella, per poi simulare il suo movimento e analizzare le relative prestazioni attraverso i grafici realizzati direttamente dal simulatore stesso.

#### **4.1 Realizzazione tridimensionale del meccanismo biella manovella**

Il primo step da compiere è quello di rappresentare sul foglio di lavoro vuoto il proprio modello su cui si vuol lavorare. Possono esserci diverse soluzioni e percorsi per tale realizzazione come, ad esempio, l'utilizzo delle più semplici forme geometriche di base (punto, retta, circonferenza, arco, raccordo...) per ottenere gli schizzi dei componenti base che compongono il meccanismo. Tutto ciò è possibile facendo uso della sezione di "Modellazione" (entrando in Applicazione, nella Barra Multifunzionale in alto) per poter realizzare gli *Sketch*, di dimensioni volute, da cui poi nasceranno i vari componenti. Il sistema è poi in grado di riconoscere univocamente ciascuno schizzo anche se costituito da più geometrie e ciò permette anche di poterli spostare e ruotare a piacere per comporre il proprio oggetto. Nel mio caso ho fatto sì che la biella e la manovella avessero un estremo sovrapposto, nel loro punto in cui si vanno a vincolare relativamente l'una con l'altra e che il pistone sia connesso all'altro estremo della biella.

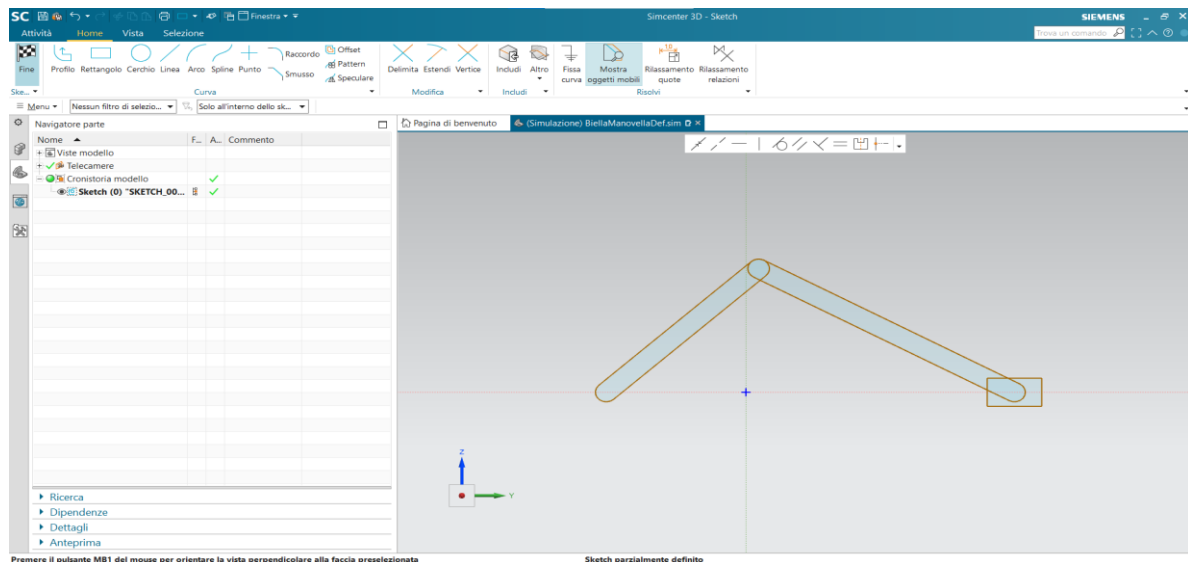


Figura 4: Schizzi base dei componenti

Per dare la tridimensionalità, quindi una certa profondità, è sufficiente utilizzare il comando Estrusione e assegnare lo spessore voluto al proprio schema realizzato precedentemente. In questo modo è già possibile osservare in 3D il proprio modello e per semplificarne poi l'approccio, quindi il successivo utilizzo, può esser utile fissare Punti e Sistemi di Coordinate (in questo caso nei punti medi dei 3 componenti oltre che negli estremi) ma anche Superfici Medie in modo da avere riferimenti opportuni per i successivi comandi.

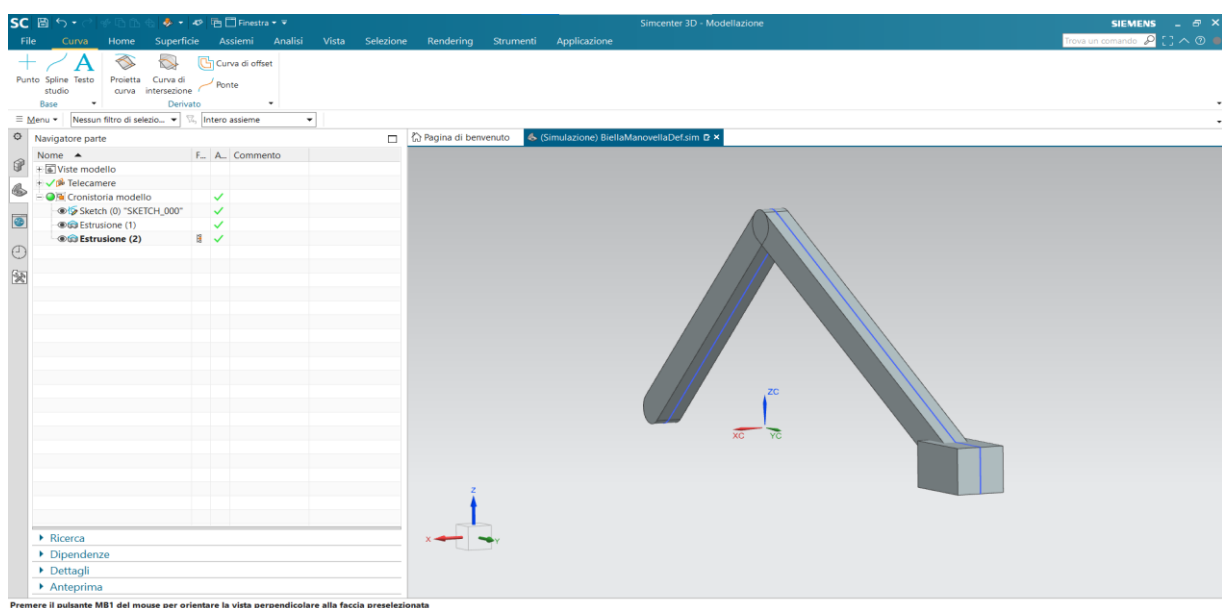


Figura 5: Meccanismo completo

## 4.2 Solidi di Movimento

Finita la modellazione è possibile passare alla “Simulazione” sbloccando il “Navigatore movimento” attraverso il quale si è in grado di dar movimento all’assieme.

Da questo punto in poi la prima cosa da fare è trasformare ogni componente in *Solido di Movimento* (attraverso il comando presente nella Barra Multifunzione in alto) per poter conferire loro il moto, selezionando uno ad uno ogni pezzo del sistema (cliccando con il cursore del mouse ogni qualvolta vengono evidenziati) con la possibilità di assegnare, eventualmente, il nome di ciascun pezzo e il materiale desiderato, oltre che la massa cliccando sulle proprietà. Ora sono in grado di avere movimento.

Non è necessario avere un corpo ben definito per poterlo rendere un Solido di movimento: infatti, in questo esempio applicativo ho appositamente realizzato un sistema di coordinate, posizionato nell’estremo in cui la biella deve esser fissata al suolo, in modo da renderlo un vincolo a terra attraverso l’opzione “Fissa il solido di movimento senza giunto”, presente nel box di caratterizzazione dei Solidi di Movimento.

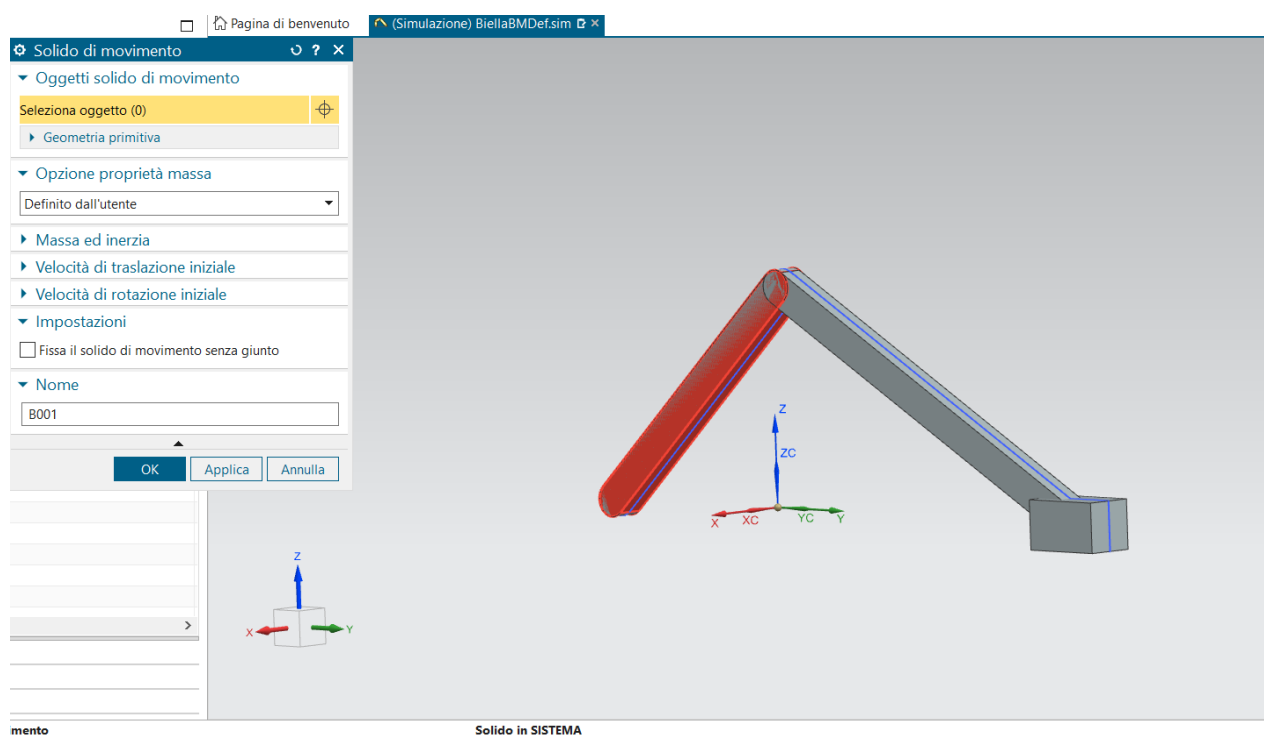


Figura 6: Creazione Solidi di Movimento

### 4.3 Vincoli e gradi di libertà

Dopodiché c'è bisogno di collegare i componenti con i *Giunti* (a cui è possibile accedere nella voce sottostante a quella del Solido di movimento nella Barra Multifunzione) in modo da vincolare i vari solidi tra loro avvalendosi dei punti e sistemi di riferimenti creati inizialmente, cosicché non si creino problemi riguardo i moti relativi tra i vari corpi. In particolare nella biella manovella si necessita di:

1. Coppia prismatica tra pattino e telaio, in modo da vincolarlo a muoversi lungo una retta coincidente con l'asse Y
2. Coppia sferica che incernieri la manovella al telaio (utilizzando come telaio il solido di movimento reso fisso al suolo)
3. Coppia sferica tra biella e pattino
4. Coppia sferica tra biella e manovella

Se tutto risulta effettuato in maniera corretta si ha a disposizione il *Numero di Gruebler*, uno strumento che permette di visualizzare i gradi di libertà del sistema e visualizzabile al fianco delle varie voci nel Menù Navigazione. Ciò che si vuole è che questo contatore si azzeri in modo da aver vincolato in maniera corretta ogni componente tra loro.

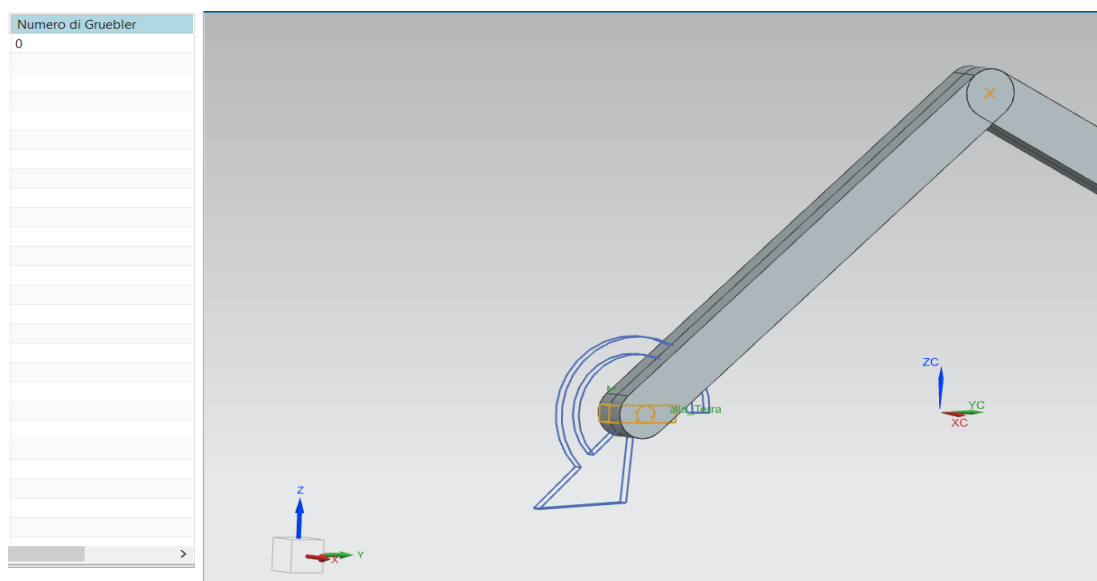


Figura 7: Gradi di libertà (Numero di Gruebler)

#### 4.4 Analisi dinamica e risoluzione

Durante lo studio, si ha necessità di sviluppare il modello dinamico di un sistema meccanico, ovvero un insieme di espressioni matematiche che siano in grado di mettere in relazione le forze e le coppie che agiscono su di esso con il movimento che ne viene generato. Tale modellazione, anche attraverso questo software, può essere sviluppata per affrontare una analisi dinamica diretta oppure inversa:

- Il problema dinamico inverso parte dalla conoscenza del movimento del sistema e si propone di ricavare le coppie (o forze) necessarie ad alimentarlo. Solitamente sono assegnati il moto del cedente e le forze resistenti agenti su di esso e si vuole calcolare la coppia motrice;
- Il problema dinamico diretto, invece, suppone note tutte le forze e coppie attive ed intende trovare il moto che ne risulta

SimCenter 3D Motion permette entrambi gli approcci a seconda di come si desidera risolvere il modello, infatti per l'analisi diretta è possibile applicare una Coppia direttamente alla manovella e di conseguenza ricavare il moto del sistema mentre per l'analisi inversa è possibile assegnare una Guida che permette di assegnare moto (nel nostro caso un moto rotoidale alla manovella) per poi ricavare forze e coppie che si generano.

Si mostra di seguito l'applicazione del Driver sulla cerniera della manovella in modo da dar luogo ad un momento che permette il moto rotazionale (di cui è possibile anche modificarne Frequenza, Spostamento, Ampiezza...).

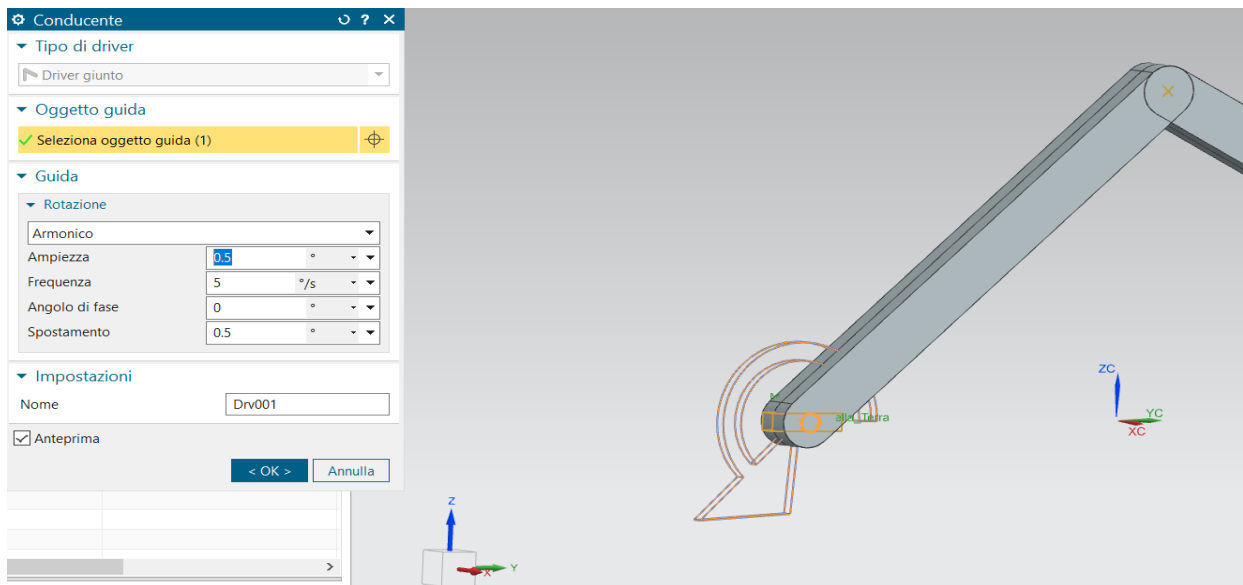


Figura 8: Analisi dinamica inversa

Ora si hanno tutti i presupposti per creare una *Soluzione* che definisce il tipo di analisi, il tipo di soluzione e i carichi in base alla soluzione e i driver di movimento. Accedendo al comando, che si trova anch'esso nella Barra Multifunzionale, si apre una finestra articolata da diverse proprietà e opzioni come la possibilità di scegliere i tempi di inizio e fine della simulazione.

Il sistema provvederà automaticamente a risolvere il sistema (determinando forze, coppie, accelerazioni...) una volta che sarà definita la soluzione e si è dato l'input *Risolvi*. Apparirà una finestra che indicherà lo stato di avanzamento di tale operazione e che sarà possibile chiudere non appena il software avrà terminato.

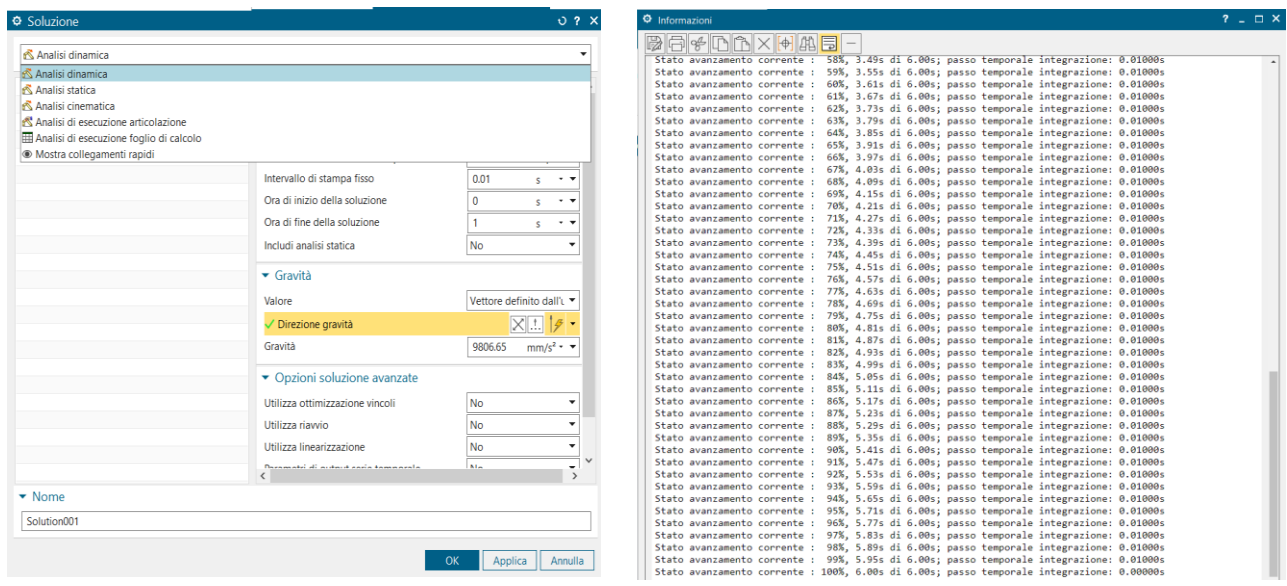


Figura 9: Box di caratterizzazione della Soluzione e finestra di completamento della risoluzione

Solution001	Attivo	Soluzione integrata di analisi dina...
Risultati		
Animazione		
Grafici XY		
Trasferimenti car...		
Preprocessamen...		

Figura 10: Finestra operativa della Soluzione

## 4.5 Riproduzione della simulazione e grafici

La Simulazione a questo punto fornisce i propri risultati nella sezione Analisi presente nella Barra Multifunzionale, entrando proprio in *Riproduzione animazioni*: da questo punto in poi è possibile far iniziare il movimento, interromperlo, riavvolgerlo o scegliere un determinato istante in cui bloccare il nostro meccanismo (potendo anche salvare una determinata posizione del sistema che si presenta durante il movimento).

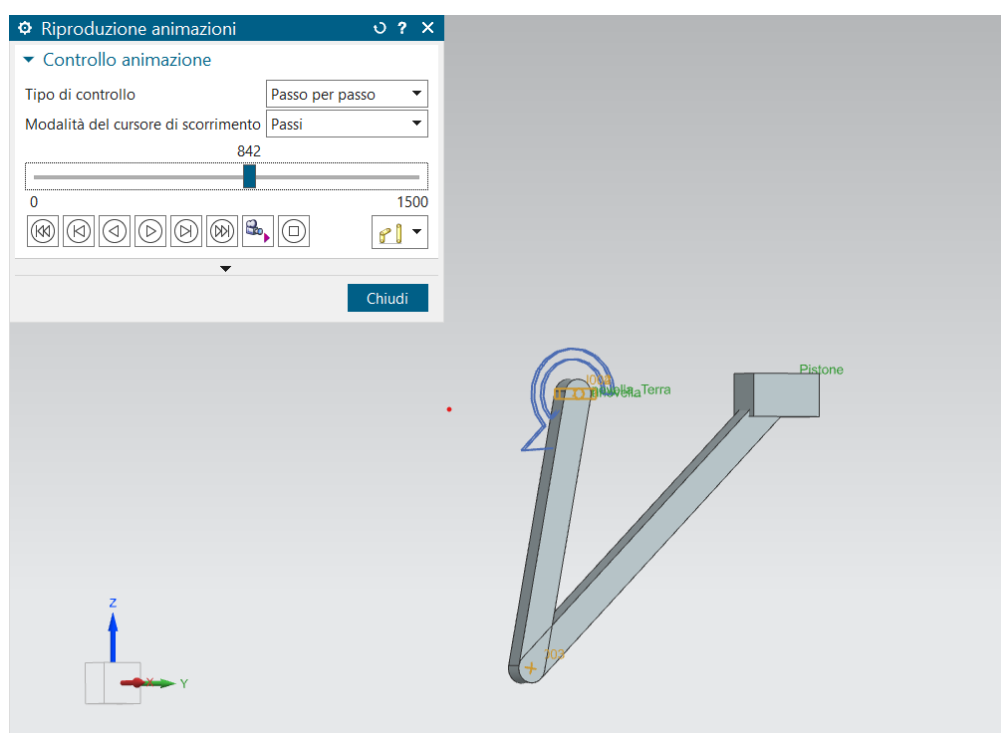


Figura 11: Movimento del sistema

Infine cliccando con il mouse qualsiasi componente ed evidenziandolo possiamo analizzare le sue prestazioni durante il moto entrando nella sezione *Vista Risultati XY* in basso a sinistra che mostra gli andamenti di spostamento, velocità, accelerazione e forze sotto forma di grafici come mostrano le figure in basso in relazione al sistema biella manovella realizzato. Tali dati possono, inoltre, essere esportati al di fuori del singolo software per poter lavorare su di essi, ad esempio trasferendoli su fogli di calcolo Excel.



▼ Vista risultati XY

Nome	Stato
Tempo	
Biella	
[-] Assoluto	
+ Spostamento	
[-] Velocità	
Grandezza	
X	
Y	
Z	
Intensità angolare	
RX	
RY	
RZ	
+ Accelerazione	
+ Forza	

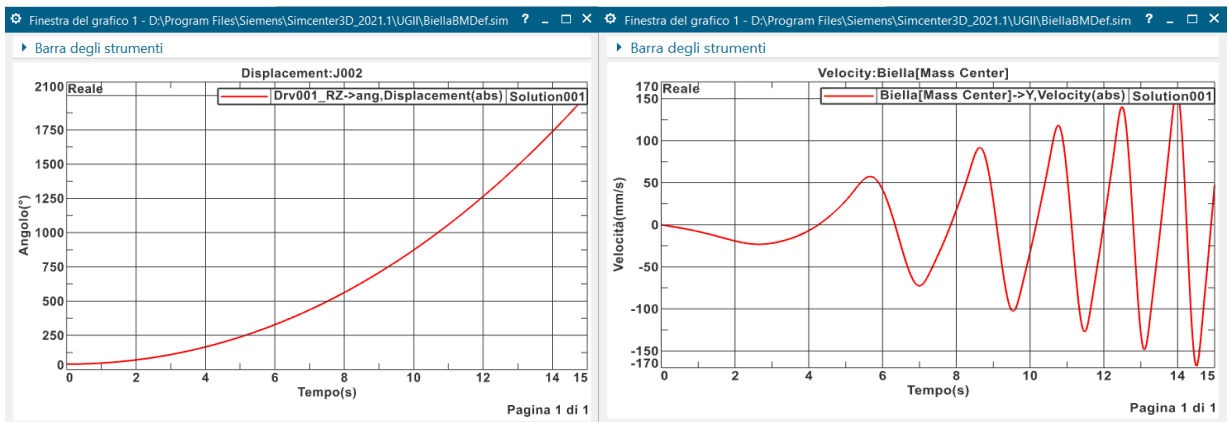
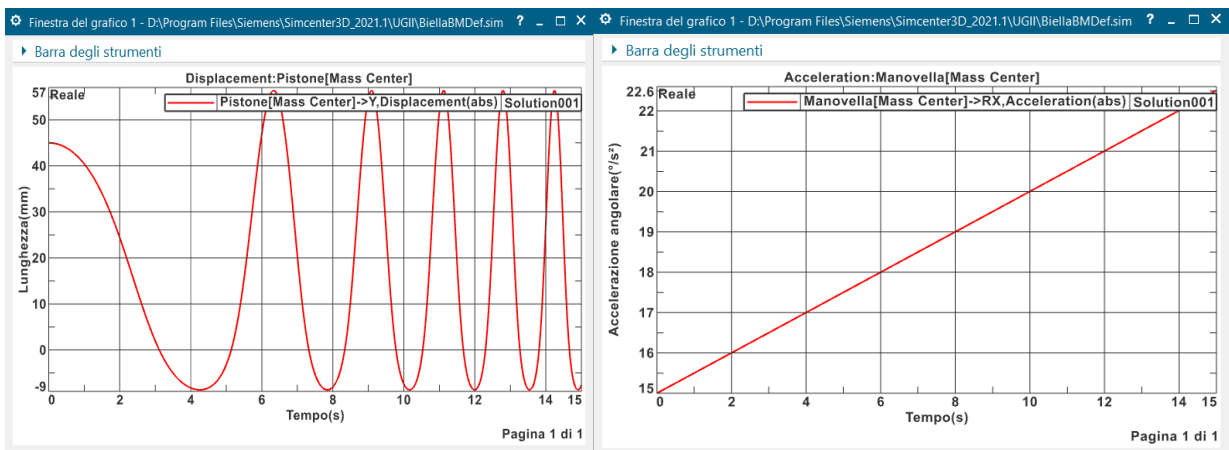


Figura 12: Grafici rappresentativi del moto

## Capitolo 5: Fonti utilizzate

### 5.1 Bibliografia

Callegari, Fanghella, Pellicano, *Meccanica applicata alle macchine*, CittàStudi Edizioni.

### 5.2 Sitografia

Wikipedia: <https://it.wikipedia.org>

Siemens Learning Advantage: <https://training.plm.automation.siemens.com/index.cfm>

**Simcenter 3D | Siemens Software:**

<https://www.plm.automation.siemens.com/global/it/products/simcenter/simcenter-3d.html>

**Siemens-PLM-Simcenter-3D-Motion-Modeling:** <https://oneplm.com/wp-content/uploads/2019/06/Simcenter-3D-Motion-Modeling-Fact-Sheet.pdf>

