

Umberto Fioretti

# La progettazione di macchine con SolidWorks Motion

Analisi statiche, cinematiche e dinamiche



**tecniche nuove**

# Sommario

<b>Prefazione</b> .....	<b>VII</b>
<b>Introduzione</b> .....	<b>1</b>
<b>Capitolo 1 – Workflow di analisi in SolidWorks Motion.</b> .....	<b>3</b>
1.1 Considerazioni sul calcolo della soluzione .....	3
1.2 Classificazione dei corpi rigidi .....	4
1.3 Analisi cinematica e dinamica .....	6
1.3.1 Analisi cinematica .....	6
1.3.2 Analisi dinamica .....	7
1.4 Risultati cinematici e dinamici .....	9
1.5 Dal modello CAD ai risultati .....	9
1.5.1 Preparazione del modello CAD .....	10
1.5.2 Impostazione dello studio .....	16
1.5.3 Risultati e loro analisi critica .....	16
<i>Riassumendo</i> .....	18
<b>Capitolo 2 – Accoppiamenti e ridondanze</b> .....	<b>21</b>
2.1 Accoppiamenti e gradi di libertà (Gdl) .....	21
2.2 Vincoli primitivi .....	23
2.3 Accoppiamenti da evitare .....	24
2.4 Gradi di libertà ed equazioni di calcolo .....	25
2.5 Lettura dei gradi di libertà in MOTION .....	28
2.6 Ridondanze .....	32
2.7 Esercizio 1 – Mescolatore .....	35
2.8 Esercizio 2 – Collegamento con perno .....	55
2.9 Bronzine .....	65
2.10 Bronzine globali e locali .....	66
2.10.1 Bronzine globali .....	66
2.10.2 Bronzine locali .....	68
2.11 Approccio alla risoluzione delle ridondanze .....	71
2.12 Altri aspetti relativi alla gestione delle ridondanze .....	73
2.13 Esercizio 3 – Meccanismo a ribalta .....	73
<i>Riassumendo</i> .....	97

<b>Capitolo 3 – Risultati e loro rappresentazione</b> .....	<b>99</b>
3.1 Risultati cinematici .....	102
3.2 Risultati di forza .....	113
3.3 Risultati di energia e potenza .....	120
3.4 Altri risultati. ....	127
3.5 Risultati combinati .....	134
3.6 Esportare e organizzare i dati ottenuti da MOTION .....	135
3.6.1 Ridefinire i range min/max dei grafici. ....	135
3.6.2 Esportare i risultati per Simulation .....	138
3.6.3 Esportare i risultati per l'elaborazione in Excel. ....	140
3.7 Esercizio 4 – Meccanismo di sollevamento .....	144
<i>Riassumendo</i> .....	157
<b>Capitolo 4 – Leggi di moto e motori</b> .....	<b>159</b>
4.1 Tipologie di motori e loro applicazione .....	160
4.1.1 Velocità costante .....	162
4.1.2 Distanza .....	163
4.1.3 Oscillante .....	164
4.1.4 Segmenti .....	164
4.1.5 Punti dati .....	168
4.1.6 Espressione. ....	169
4.2 Esercizio 5 – Motore con avanzamento, pausa e ritorno .....	171
4.3 Esercizio 6 – Cinematica inversa e dimensionamento motori. ....	180
4.4 Esercizio 7 – Caratteristica motore .....	195
<i>Riassumendo</i> .....	214
<b>Capitolo 5 – Contatti e attrito</b> .....	<b>215</b>
5.1 Tipologie di contatto. ....	216
5.1.1 Selezioni .....	218
5.1.2 Materiale. ....	220
5.1.3 Attrito di contatto. ....	222
5.1.4 Proprietà elastiche .....	223
5.2 Precisione del contatto .....	226
5.3 Attrito di accoppiamento .....	227
5.4 Linee guida sui contatti. ....	231
5.5 Esercizio 8 – Arpionismo con avanzamento controllato. ....	233
5.6 Esercizio 9 – Vite di manovra con azionamento verticale .....	249
<i>Riassumendo</i> .....	261
<b>Capitolo 6 – Camme</b> .....	<b>263</b>
6.1 Esercizio 10 – Camma a comando positivo .....	264
6.2 Esercizio 11 – Estrazione di alzata, velocità e accelerazione da camma nota. ....	275
<i>Riassumendo</i> .....	285

<b>Capitolo 7 – Opzioni di calcolo e metodi di integrazione . . . . .</b>	<b>287</b>
7.1 Opzioni di calcolo . . . . .	288
7.1.1 Fotogrammi al secondo. . . . .	289
7.1.2 Precisione . . . . .	289
7.1.3 Impostazioni ciclo . . . . .	290
7.1.4 Default grafici . . . . .	291
7.1.5 Opzioni generali. . . . .	291
7.2 Opzioni avanzate e metodi di integrazione . . . . .	292
7.2.1 Tipo di integratore . . . . .	293
7.2.2 Iterazioni massime. . . . .	295
7.2.3 Dimensione fase di integratore iniziale . . . . .	295
7.2.4 Dimensione fase di integratore minimo. . . . .	295
7.2.5 Dimensione massima fase integratore . . . . .	295
7.2.6 Rivalutazione jacobiana . . . . .	296
7.3 Suggerimenti per far convergere le analisi . . . . .	296
7.4 Esercizio 12 – Sollevamento di una struttura. . . . .	297
<i>Riassumendo</i> . . . . .	314
<b>Capitolo 8 – Layout 2D e 3D . . . . .</b>	<b>315</b>
8.1 Analisi statiche. . . . .	316
8.2 Analisi cinematiche. . . . .	317
8.3 Analisi dinamiche . . . . .	319
8.4 Considerazioni operative . . . . .	320
8.5 Esercizio 13 – Analisi statica con modello unifilare. . . . .	322
8.6 Esercizio 14 – Analisi cinematica con layout 2D. . . . .	337
<i>Riassumendo</i> . . . . .	351
<b>Capitolo 9 – Soluzioni ai dubbi più frequenti. . . . .</b>	<b>353</b>
9.1 Come modificare il carattere dei grafici di default per tutti gli studi? . . . . .	353
9.2 Come disattivare l'orientamento automatico della vista durante l'animazione? . . . . .	355
9.3 Come modificare in maniera permanente le impostazioni di default di calcolo (fotogrammi, precisione, ecc.)? . . . . .	355
9.4 Quando usare la gravità? . . . . .	357
9.5 Esistono delle unità di misura specifiche per MOTION? . . . . .	358
9.6 È possibile copiare un motore da uno studio e incollarlo in un altro? . . . . .	358
9.7 Perché occorre molto tempo di caricamento all'apertura del file? . . . . .	359
9.8 In che modo disattivare (spegnere) un motore a un preciso istante temporale? . . . . .	360
9.9 Come e quali funzioni è possibile aggiungere nella libreria? . . . . .	361
9.10 Come aggiungo i decimali ai grafici dei risultati? . . . . .	363
9.11 Come impostare i decimali necessari quando inserisco i valori temporali nel Motion Builder? . . . . .	365
9.12 Come modificare l'accoppiamento per cambiare segno ai risultati? . . . . .	366
9.13 In che modo verificare l'interferenza tra corpi durante il moto? . . . . .	370
9.14 Come posso tener conto della presenza di un riduttore? . . . . .	371
9.15 Come si salva una determinata posizione dello studio di moto, all'interno dell'assieme? . . . . .	371
<b>Bibliografia . . . . .</b>	<b>373</b>
<b>Indice analitico . . . . .</b>	<b>374</b>

# Prefazione

La stragrande maggioranza degli uffici tecnici di aziende medie o grandi ha la necessità di introdurre innovazione a un ritmo freneticamente elevato. Inoltre i consumatori sono sempre più esigenti e attenti in merito alle tematiche legate all'utilizzo delle risorse naturali, riducendo la vita utile dei prodotti e accelerando così i cicli di progettazione. Se a tali necessità si aggiungono poi la competitività e la redditività, ecco che strumenti come la simulazione e la produzione rapida diventano la sola opportunità di successo. Bisogna iterare quante più idee possibili, in tempi brevi e al costo più basso.

Questo significa che l'ecosistema di competenze richieste al progettista moderno è in rapida espansione e, paradossalmente, maggiori sono le tecniche e le nozioni da acquisire, minore è il tempo a disposizione per farlo.

Negli ultimi quindici anni mi sono occupato prevalentemente di progettazione di macchinari per l'automazione industriale in settori come la lavorazione alimentare (*Food Processing*), la movimentazione dei materiali (*Material Handling*), il minerario, l'automotive e la cosmetica. Sin da bambino, e grazie alle esperienze estive maturate accanto a mio padre in azienda, ho coltivato la passione e la dedizione allo studio delle macchine. Durante il percorso di formazione universitaria ho avuto modo di apprendere l'arte della progettazione da esperti noti in ambito internazionale. Ad oggi, ho avuto l'onore di progettare circa 500 macchinari, semplici e complessi, manuali, semimanuali e altamente automatizzati, sia per piccole realtà locali sia per grandi e importanti colossi multinazionali.

Ho avuto il piacere di conoscere Umberto Fioretti durante l'appuntamento annuale con il "Solidworks World" a Los Angeles nel 2017. Il nostro rapporto professionale è nato spontaneamente grazie alle tante circostanze che ci accomunano; la professione, la passione per la progettazione di macchinari, l'uso del software Solidworks e la continua ricerca di risorse che colmassero il vuoto esistente tra l'aspetto teorico e quello pratico-frenetico dell'ufficio tecnico, nella sintesi e nell'analisi dei meccanismi tramite l'uso di Solidworks Motion.

È nato così l'interesse comune di raccogliere appunti su progetti vari svolti da entrambi negli ultimi anni e di organizzarli in una guida che fosse pratica, semplice da consultare e allo stesso tempo ricca di contenuti tecnici, destinata a chi ogni giorno viene chiamato a generare soluzioni ingegneristiche complesse, non intuitive e proibitive in termini di costi per la sperimentazione.

Fioretti ha saputo creare questa guida tenendo a mente le necessità del lettore, il quale – che sia uno studente di ingegneria, un ricercatore, un ingegnere junior, senior oppure manager di un team di progettazione – troverà in questa guida i concetti pratici per raggiungere un livello di confidenza nell'uso di Solidworks Motion che non ha precedenti.

Il libro inizia con un breve ripasso di cinematica e dinamica del corpo rigido e fornisce una prima introduzione al lettore su come analizzare in modo critico e scrupoloso i risultati forniti dal solutore interno al MOTION.

Subito dopo si trova uno dei capitoli più importanti in assoluto, ovvero quello dedicato agli accoppiamenti e alle ridondanze. La tipologia dei vincoli di accoppiamento, il loro uso e la catena cinematica che ne deriva sono la causa primaria della notevole diffidenza da parte dei progettisti nell'uso del software. L'Autore fornisce una linea guida atta a creare un modello di calcolo solido e robusto, che possa diminuire la possibilità di compromettere il calcolo e i risultati attraverso la riduzione delle ridondanze tramite l'uso delle bronzine.

Il Lettore apprenderà come i parametri di rigidità e smorzamento alla traslazione e rotazione possono influenzare la validità di un'analisi (ho personalmente utilizzato questo *workflow* nel mio team). Il testo si chiude con un'esauritiva lista di domande e risposte da consultare, al bisogno, durante un progetto.

Il libro, grazie a esempi pratici e dettagliati, accompagna il Lettore in modo magistrale ad acquisire la dimestichezza necessaria per affrontare studi di cinematica inversa e calcolo di traiettorie, reazioni vincolari, caratteristiche motore e sintesi di camme e meccanismi. Vengono esposte le diverse opzioni di calcolo, tra cui quelle sui metodi di integrazione e le tecniche adatte a raggiungere la convergenza delle analisi.

Auguro a tutti una buona lettura.

New York, Ottobre 2020

**Ing. Gianluca Mattaroccia**

*Engineering Fellow*

*The Estée Lauder Companies*