

Università degli Studi di Ferrara
Facoltà di Scienze MM.FF.NN.
CdL in Tecnologie Fisiche Innovative

Progettazione CAD/CAM II

Prof. Nicola Baldanza
Prof. Michele Benedetti

Modulo II parte 2 Simulazione cinetodinamica (Multibody analysis)

www.programmaquadrifoglio.it

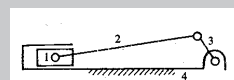
Richiami di meccanica

Meccanismo: sistema di corpi finalizzato al trasferimento del moto e delle forze da un corpo ad un altro corpo, avente almeno un corpo o membro fisso (telaio)

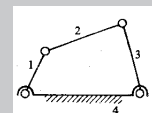
I corpi, o membri dei meccanismi sono in contatto tra loro. Se chiamiamo elemento cinematico la superficie di contatto, l'insieme di due elementi cinematici costituisce una coppia cinematica

Coppia elementare: coppie cinematiche rigide e combacianti (a contatto su superfici non nulle)

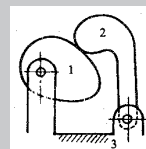
Coppie superiori: non definiscono in modo completo il moto tra i due membri a contatto (o rigide o combacianti)



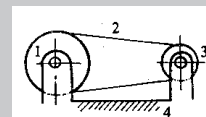
Manovellismo di spinta



Quadrilatero articolato



Meccanismo a camma



Meccanismo a cinghia

Richiami di meccanica

Sistema articolato: meccanismo che contiene solo coppie elementari

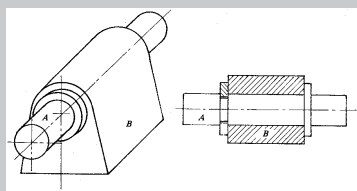
Gradi di libertà (DOF): ogni membri ha 3 gdl nel piano e 6 gdl nello spazio

Principali coppie cinematiche

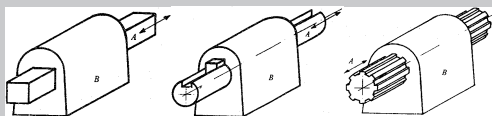
dof	Descrizione	Categoria	Elementare	Denominazione	Movimenti permessi		
					rotazioni	traslazioni	moti elicoidali
1	Coppia rotoidale	C1	SI	R	1	0	0
1	Coppia prismatica	C1	SI	P	0	1	0
1	Coppia elicoidale	C1	SI	E	0	0	1
2	Coppia R senza spallamenti	C2	SI	C	1	1	0
3	Sfera entro sede sferica	C3	SI	S	3	0	0
3	Piano su piano	C3	SI	Pp	1	2	0
4	Cilindro su piano	C4	NO	Cc	2	2	0
5	Sfera su piano	C5	NO	Ss	3	2	0

Corso Tecnologia Meccanica di Produzione – Tecnologie Fisiche Innovative - UNIFE

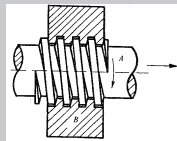
Richiami di meccanica



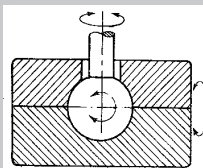
Coppia rotoidale



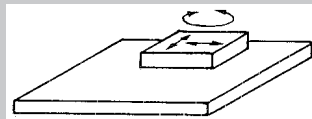
Coppie prismatiche



Coppia elicoidale



Sfera entro sede sferica



Piano su piano

Corso Tecnologia Meccanica di Produzione – Tecnologie Fisiche Innovative - UNIFE

Richiami di meccanica

Meccanismo piano: tutti i membri sono vincolati in modo che ciascun loro punto può descrivere solamente traiettorie parallele ad un piano

Formula di Grubler

Meccanismi piani

$$l = 3(m - 1) - 2C_1 - C_2$$

Meccanismi nello spazio

$$l = 6(m - 1) - 5C_1 - 4C_2 - 3C_3 - 2C_4 - C_5$$

l = gradi di libertà

m = numero di membri

C_1 = coppie che lasciano 1 dof

C_2 = coppie che lasciano 2 dof

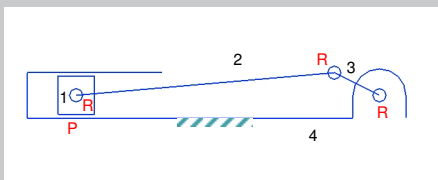
C_3 = coppie che lasciano 3 dof

C_4 = coppie che lasciano 4 dof

C_5 = coppie che lasciano 5 dof

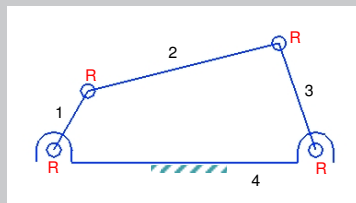
Richiami di meccanica

Esempi: meccanismi piani



Manovellismo di spinta

$$l = 3(m - 1) - 2C_1 - C_2 = 3 * 3 - 2 * 4 = 1$$



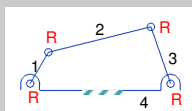
Quadrilatero articolato

$$l = 3(m - 1) - 2C_1 - C_2 = 3 * 3 - 2 * 4 = 1$$

Richiami di meccanica

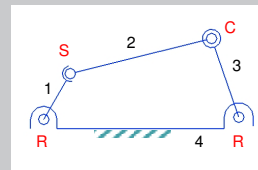
Esempi: meccanismi nello spazio

Quadrilatero articolato

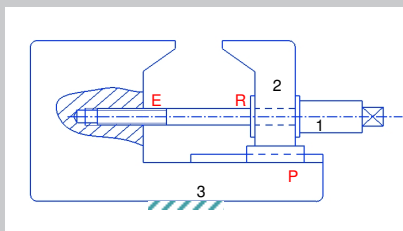


$$l = 6(m-1) - 5C_1 - 4C_2 - 3C_3 - 2C_4 - C_5 =$$

$$= 6 \cdot 3 - 5 \cdot 4 = -2$$



$$l = 6 \cdot 3 - 5 \cdot 2 - 4 \cdot 1 - 3 \cdot 1 = 1$$



Morsa

$$l = 6(m-1) - 5C_1 - 4C_2 - 3C_3 - 2C_4 - C_5 =$$

$$= 6 \cdot 2 - 5 \cdot 3 = -3$$

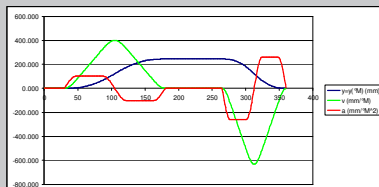
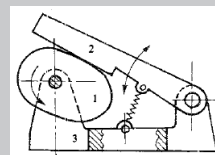
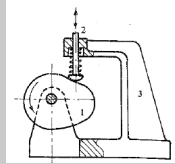
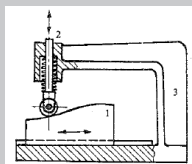
Grazie ad una costruzione precisa (parallelismi, coassialità) il movimento è reso possibile

Corso Tecnologia Meccanica di Produzione – Tecnologie Fisiche Innovative - UNIFE

Richiami di meccanica

Meccanismi con camme

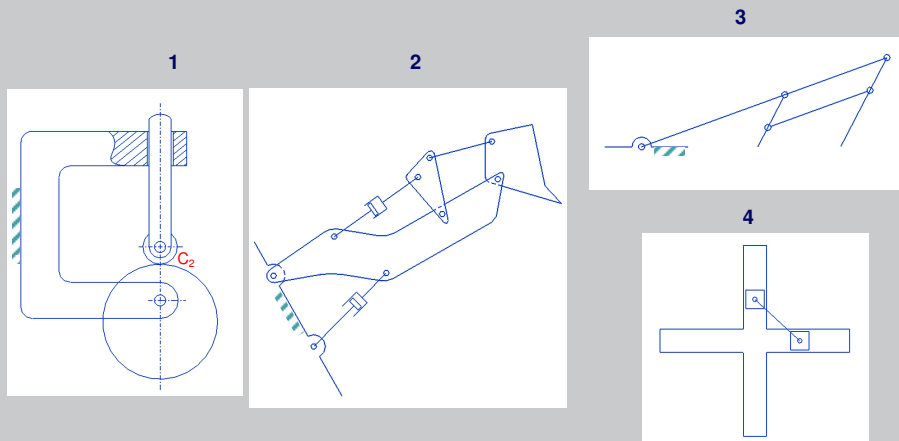
Camma: organo meccanico finalizzato alla realizzazione di una determinata legge di moto, il cui andamento dipende dalla forma della camma stessa



Corso Tecnologia Meccanica di Produzione – Tecnologie Fisiche Innovative - UNIFE

Richiami di meccanica

Esercizio: determinare il numero di gradi di libertà dei seguenti meccanismi e descriverne il funzionamento

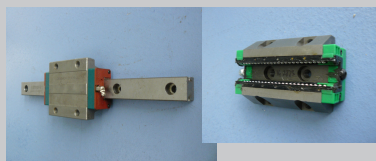


Corso Tecnologia Meccanica di Produzione – Tecnologie Fisiche Innovative - UNIFE

Esempio di coppie elementari “reali”



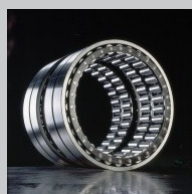
Cuscinetto a sfere: coppia rotoidale (R)



Guida a ricircolo di sfere: coppia prismatica (P)



Vite a ricircolo di sfere: coppia elicoidale (E)



Cuscinetto a rulli cilindrici: coppia R senza spallamenti (C)



Testa a snodo: sfera entro sede sferica (S)



Coppia R o P?

Corso Tecnologia Meccanica di Produzione – Tecnologie Fisiche Innovative - UNIFE

Cinematica e dinamica

L'analisi che si compie sui meccanismi può essere:

• Cinematica

- posizione
- velocità
- accelerazione



Individuazione della posizione di un membro rispetto al sistema di riferimento solidale al telaio.
Sistema di equazioni algebriche

• Dinamica

- cinetostatica
- diretta
- inversa
- attriti
- urti



Subentrano forze d'inerzia, attriti, urti.
Sistema di equazioni differenziali



Soluzione numerica

Corso Tecnologia Meccanica di Produzione – Tecnologie Fisiche Innovative - UNIFE

Tappe del metodo

A. Pre-processing

1. Definizione dei membri (link): geometria, proprietà di massa,.....
2. Definizione delle coppie cinematiche (joint): tipologia, leggi di moto,.....
3. Definizione di altri elementi: forze, molle, smorzatori, attriti,.....

B. Processing

4. Definizione del tipo di analisi: statica, cinematica, dinamica
5. Definizione della durata e del frazionamento dell'analisi

C. Post-processing

6. Verifica delle funzionalità, delle traiettorie, delle interferenze, misure,.....
7. Calcolo delle velocità, accelerazioni, forze, coppie,.....
8. Interpretazione dei risultati

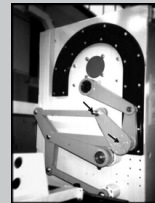
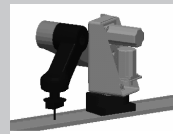
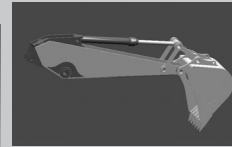
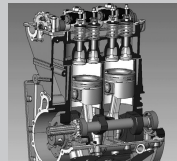


Corso Tecnologia Meccanica di Produzione – Tecnologie Fisiche Innovative - UNIFE

Campi di applicazione

Principali settori di applicazione

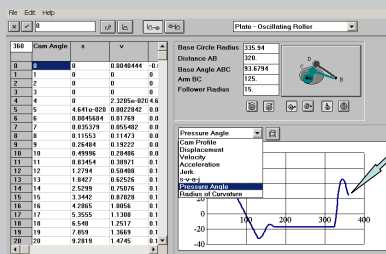
- Macchine automatiche
- Robotica
- Automotive
- Macchine movimento terra
- Bioingegneria



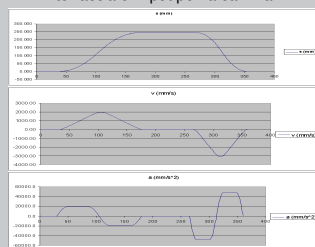
Tipici fini posso essere quelli di modifica delle geometrie, dei rapporti di riduzione, dei materiali per modificare sollecitazioni di alcuni componenti, velocità o accelerazioni non compatibili con il trattamento dei prodotti da manipolare, fasi tra movimenti che si intersecano o concorrono ad una operazione comune,....

Corso Tecnologia Meccanica di Produzione – Tecnologie Fisiche Innovative - UNIFE

Esempio: camma per spingitore

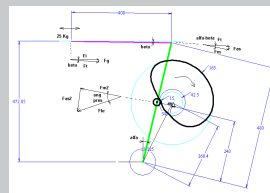


Interfaccia di input per la camma

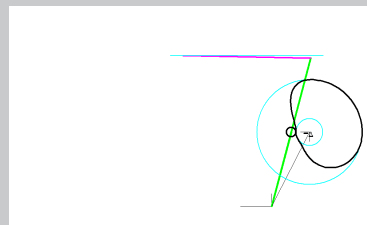


Diagrammi di s, v, a, j

Angolo di pressione: angolo tra la normale ai due profili nel punto di contatto e la direzione di movimento del cedente



Meccanismo in cui la camma è inserita



Simulazione

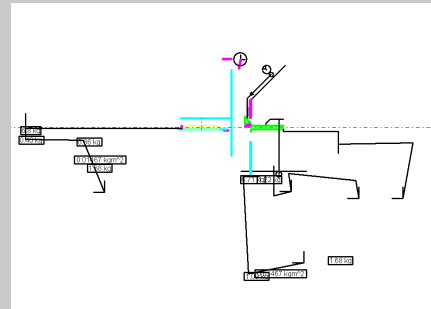
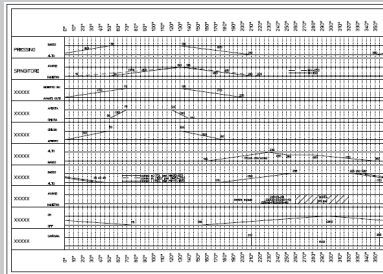
Corso Tecnologia Meccanica di Produzione – Tecnologie Fisiche Innovative - UNIFE

Esempio: macchina automatica



Macchina automatica: insieme di componenti meccanici, elettrici ed elettronici assemblate secondo un progetto con lo scopo di raggiungere una determinata produzione di beni o merci

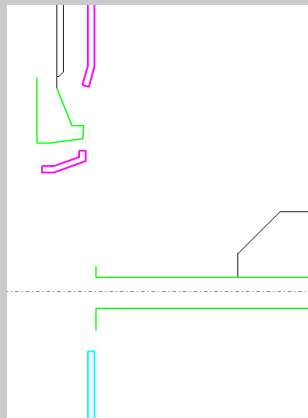
Diagramma di fase: diagramma delle posizioni dei mezzi operativi in funzione della fase di macchina (gradi macchina)



Simulazione

Corso Tecnologia Meccanica di Produzione – Tecnologie Fisiche Innovative - UNIFE

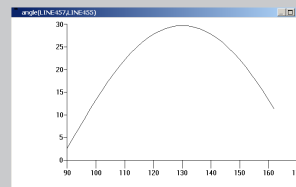
Esempio: macchina automatica



Dettaglio della simulazione

step	x	angolo LINE 452 (INE 450)
98	2.5991	
102	6.8033	
104	6.950	
106	71.402	
108	13.278	
110	13.288	
112	15.28	
114	17.164	
116	18.965	
118	20.615	
120	22.152	
122	23.678	
124	24.695	
126	25.999	
128	27.588	
130	28.49	
132	29.015	
134	29.401	
136	29.628	
138	29.704	
140	29.628	
142	29.401	
144	29.015	
146	28.49	
148	27.588	
150	25.999	
152	24.695	
154	23.678	
156	22.152	
158	20.615	
160	18.965	
162	17.164	
164	15.28	
166	13.288	
168	13.278	
170	71.402	
172	6.950	
174	6.8033	
176	2.5991	

Output tabella



Output grafico



Esportazione in .xls

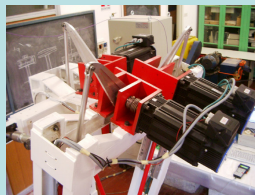
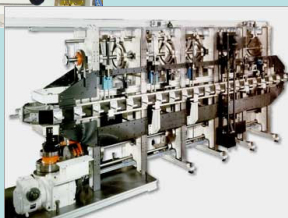
Corso Tecnologia Meccanica di Produzione – Tecnologie Fisiche Innovative - UNIFE

Meccatronica

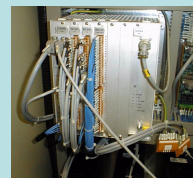
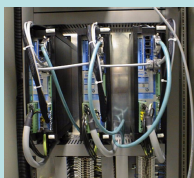
Nasce dall'unione-sintesi dei due termini meccanica ed elettronica. Un approccio meccatronico può permettere una notevole semplificazione delle macchine e consente una flessibilità molto più alta dei sistemi puramente meccanici



Esempi di macchine e trasmissioni puramente meccaniche



Esempio di parte di macchina a con servomotori

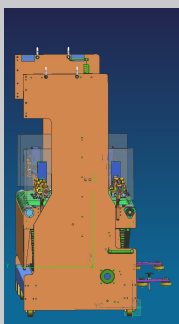


Corso Tecnologia Meccanica di Produzione – Tecnologie Fisiche Innovative - UNIFE

Esempio: elevatore con servomotore



Gruppo di macchina automatica

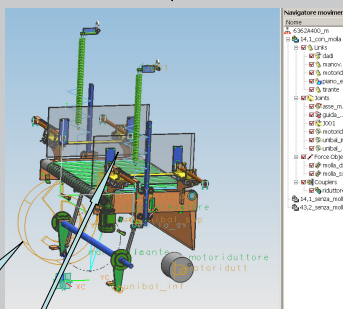


Modello CAD con albero dei componenti

Ruote dentate

Molla

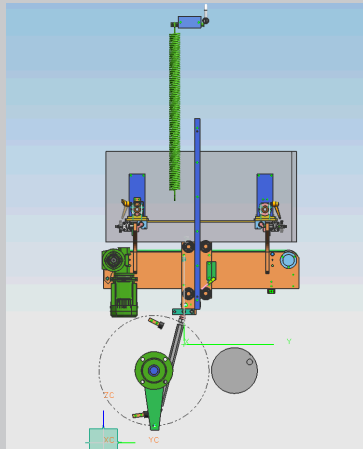
Ambiente integrato: passaggio automatico delle proprietà, delle modifiche,.....



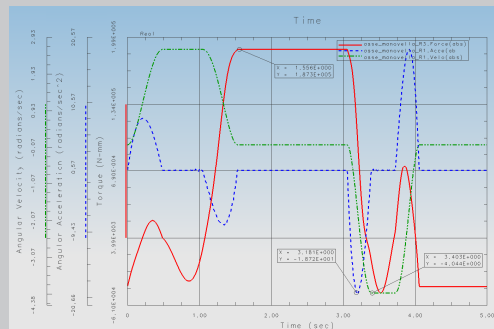
Ambiente di analisi con albero dei link, joint,

Corso Tecnologia Meccanica di Produzione – Tecnologie Fisiche Innovative - UNIFE

Esempio: elevatore con servomotore

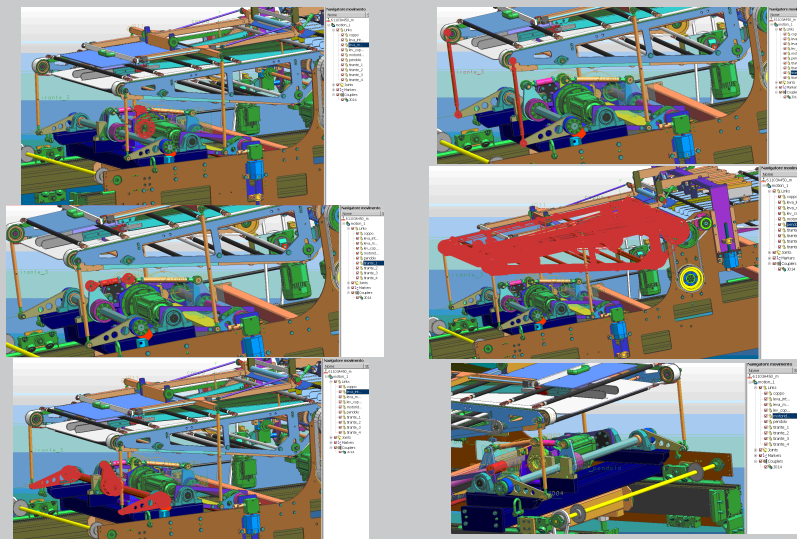


Simulazione



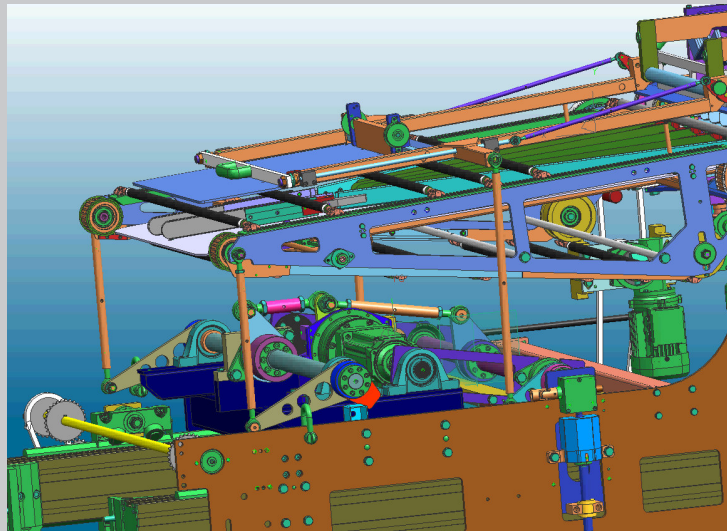
Corso Tecnologia Meccanica di Produzione – Tecnologie Fisiche Innovative - UNIFE

Esempio: insieme di quadrilateri articolati



Corso Tecnologia Meccanica di Produzione – Tecnologie Fisiche Innovative - UNIFE

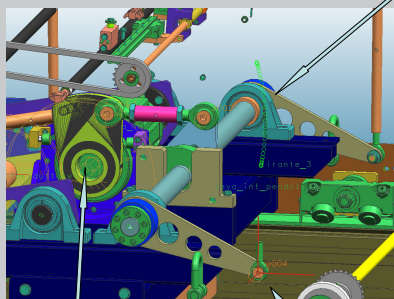
Esempio: insieme di quadrilateri articolati



Corso Tecnologia Meccanica di Produzione – Tecnologie Fisiche Innovative - UNIFE

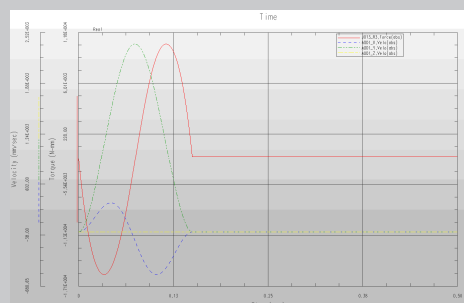
Esempio: insieme di quadrilateri articolati

Tracce di un punto del tirante



Tracce della prima leva

Punto d'indagine (marker)



Output grafico

Corso Tecnologia Meccanica di Produzione – Tecnologie Fisiche Innovative - UNIFE



Attriti ed elementi deformabili

E' possibile simulare ed analizzare anche:

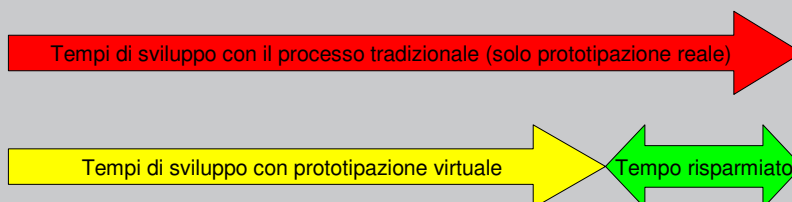
- Cedimenti dei giunti
 - rigidzze nelle diverse direzioni
 - smorzamenti nelle diverse direzioni
 - precarichi
- Contatti tra superfici
 - profondità di compenrazione
 - rigidzza
 - smorzamento
 - attrito (statico, dinamico)
- Corpi deformabili
 - associando corpi rigidi ad altri analizzabili tramite gli elementi finiti nelle varie condizioni di carico



Prototipazione virtuale

La prototipazione virtuale influisce sul ciclo di vita e sul time to market:

- Aumentando qualità e performance
- Riducendo il time to market
- Riducendo i costi
- Aumentando l'affidabilità e la sicurezza nel tempo





Parole chiave

- ☐ Meccanismi
- ☐ Gradi di libertà (DOF)
- ☐ Camme e leggi di moto
- ☐ Membri e coppie cinematiche (link e joint)
- ☐ Prototipazione virtuale
- ☐ Integrazione