

MeCad

MECHANISM COMPUTER AIDED DESIGN

MANUALE D'USO

III - PARTE III - Analisi Dinamica Inversa (Cinetostatica)

V. 1.5 - Luglio 97

INDICE

III - PARTE III - ANALISI DINAMICA INVERSA (CINETOSTATICA)	1
III - 0 INTRODUZIONE	1
III - 1 IL MODULO [Q]: GESTIONE DELLE FORZE E DELLE COPPIE	3
III - 1.1 Il menu principale del modulo	3
III - 1.2 Introduzione di forze e coppie lineari	4
III - 1.3 Introduzione di forze e coppie non lineari (da tabelle)	4
III - 1.4 Modifica del sistema di forze e coppie	5
III - 1.5 Tipologie di forze/coppie disponibili	7
III - 1.5.1 Introduzione	7
III - 1.5.2 Campo Gravitazionale	8
III - 1.5.3 Forze e Coppie	9
III.1.5.3.1 Forze Costanti.	9
III.1.5.3.2 Forze Elastiche.	9
III.1.5.3.3 Forze Viscose	10
III.1.5.3.4 Coppie elastiche e viscosi.	11
III.1.5.3.5 Forza e Coppia dipendente dal tempo	12
III.1.5.3.6 Forze e Coppie Dipendenti da due parametri	13
III - 1.5.4 Massa Concentrata	13
III.1.5.4.1 Massa concentrata costante	13
III.1.5.4.2 Massa Concentrata Variabile	13
III - 1.5.5 Momento d'inerzia variabile	14
III - 2 IL COMANDO [P]: INTRODUZIONE BARICENTRI, MASSE E MOMENTI DI INERZIA	14
III - 3 IL COMANDO [C]: ANALISI CINETOSTATICA	16
III - 4 RISULTATI DELL'ANALISI CINETOSTATICA	17
III - 5 ESEMPI DI ANALISI CINETOSTATICA	20
III - 5.1 Introduzione.	20
III - 5.2 Livello 1 - Massa concentrata costante	21
III - 5.3 Massa concentrata variabile	24
III - 5.3.1 Livello 2 - Massa dipendente dalla Velocità	24
III - 5.3.2 Livello 3 - Massa dipendente dalla Posizione	26
III - 5.3.3 Livello 4 - Massa dipendente dal Tempo	28
III - 5.4 Massa concentrata variabile - 2	30

III - 0 INTRODUZIONE

Questa parte del manuale utente illustra i moduli di **MeCad** per l'analisi cinetostatica di meccanismi piani. Per analisi cinetostatica (detta anche dinamica inversa) si intende il calcolo delle forze e delle coppie che agiscono su un meccanismo quando questo segue un movimento prefissato. Più in dettaglio l'analisi cinetostatica permette di calcolare le reazioni vincolari e le azioni motrici esercitate dagli attuatori.

In questi moduli le unità di misura utilizzate da **MeCad** sono quelle definite dal Sistema Internazionale (S.I.) e sono riassunte nella tabella seguente:

<i>Unità di misura adottate nei moduli di Cinetostatica</i>	
<i>Grandezza fisica</i>	<i>Unità di misura</i>
Massa	kg
Momento d'inerzia	kg m ²
Forza	N
Momento/Coppia	N m
Rigidità (k)	N/m
Smorzamento (r)	N s/m
Rigidità torsionale (kt)	N m/grad
Smorzamento torsionale (rt)	N m s/grad
Tempo	s
Spostamento	m
Velocità'	m/s
Accelerazione	m/s ²

NOTA:

Si noti che nei moduli di cinematica gli spostamenti, le velocità e le accelerazioni sono espresse in *millimetri* e non in *metri*:

<i>Unità di misura adottate nei moduli di cinematica</i>	
Spostamento	mm
Velocità'	mm/s
Accelerazione	mm/s ²

Qualora vi siano incertezze, si ricorda che **MeCad** scrive sempre le unità di misura sia delle grandezze da inserire che di quelle visualizzate.

Una volta digitalizzato il meccanismo ed assegnate le leggi di moto (vedi Parte II del manuale), dal **Gestore** è possibile accedere ai moduli di **MeCad** che consentono di

assegnare ad ogni membro del meccanismo massa e momento di inerzia, di introdurre le forze e le coppie che agiscono sul sistema, di compiere l'analisi cinetostatica ed infine di visualizzare e memorizzare i risultati dell'analisi. Le azioni (forze e coppie) che è possibile applicare al meccanismo sono descritte al Capitolo III - 1 e comprendono sia azioni di tipo lineare (elastiche, viscose) che altre di tipo non lineare e tempo varianti.

I comandi relativi alla cinetostatica sono stati evidenziati in grigio nel menù principale di **MeCad** riportato di seguito.

G - Menù Gestore	
A	ARCHIVIO DEI MECCANISMI
D	DIGITALIZZA UN NUOVO MECCANISMO
F	FASATURA DELLE LEGGI DI MOTO
L	ASSEGNA/MODIFICA LE LEGGI DI MOTO
M	MODIFICA IL MECCANISMO
O	OUTPUT (stampa e plottaggio schema cinematico)
R	MOTI RELATIVI
S	SIMULA IL MOVIMENTO
T	DISEGNO DELLE TRAIETTORIE
U	ANGOLO DI TRASMISSIONE
V	DIAGRAMMI SPOSTAMENTO, VELOCITÀ ED ACCELERAZIONE
B	MODIFICA I DEFAULT DELL'ANALISI CINEMATICA
I	SETTA LA TAVOLETTA
@	COMANDO (esci temporaneamente al S. 0.)
C	ESEGUE L'ANALISI CINETOSTATICA
K	RISULTATI DELL'ANALISI CINETOSTATICA
Q	INTRODUCE FORZE E COPPIE
P	MASSE, BARICENTRI E MOMENTI D'INERZIA
E	END (fine lavoro)
H	HELP
Z	ZOOM

III - 1 IL MODULO [Q]: GESTIONE DELLE FORZE E DELLE COPPIE

Con il comando [Q] del **Gestore** si accede al modulo di gestione delle azioni (forze/coppie) che agiscono sul meccanismo. E' bene notare che forze possono essere applicate solamente ai nodi del sistema mentre le coppie agiscono sulle aste. Se, ad esempio, si desidera applicare una forza in un punto diverso dagli estremi dell'asta, è necessario inserire un nodo solidale all'elemento e su questo applicare la forza.

III - 1.1 Il menu principale del modulo

Il menù principale, che compare appena attivato il modulo è il seguente:

Q - Menù Forze/Coppie	
H	HELP
Z	ZOOM
K	Tabulazione forze e coppie
W	Attiva/Disattiva visualizzazione forze e coppie
@	Campo gravitazionale
I	Introduzione forze e coppie standard
T	Introduzione forze e coppie da tabella.
M	Modifica/cancella forze e coppie
X	Cancella tutte le forze e coppie agenti
G	Torna al gestore

Descrizione comandi:

Comando [**K**]:

visualizza in una finestra blu l'elenco delle forze e delle coppie che agiscono sul meccanismo.

Comando [**W**]:

questo comando permette di "spegnere/accendere" i simboli grafici che rappresentano le forze e le coppie.

Comando [**@**]:

consente di inserire il campo gravitazionale costante che agisce nel piano in cui è rappresentato lo schema del meccanismo. Il programma chiede all'utente di inserire le componenti X ed Y del campo gravitazionale espresse in m/s^2 (vedi § III - 1.5.2).

Nel caso usuale dove l'asse Y dell'area di lavoro corrisponde all'asse verticale le componenti da introdurre sono:

componente X -> 0

componente Y -> -9.81

Comando [**I**] ([I]ntroduci):

con questo comando si accede ad un sottomenu' (vedi § III - 1.2) che consente di introdurre forze e coppie di tipo lineare.

Comando [**T**] (*[T]abelle*):

permette di applicare al meccanismo forze e coppie di tipo non lineare definite tramite una tabella di valori contenuta in un file (vedi § III - 1.3)

Comando [**M**] (*[M]odifica*):

consente di modificare il sistema di forze che agisce sul meccanismo (§ III - 1.4).

Comando [**X**]:

con questo comando vengono cancellate tutte le coppie e le forze presenti. Ovviamente prima di procedere all'eliminazione **MeCad** chiede all'utente di confermare.

III - 1.2 Introduzione di forze e coppie lineari

Dopo aver scelto l'opzione [**I**] il programma presenta il seguente menù dei comandi disponibili:

I - Inserisci forze/coppie lineari	
H	HELP
K	Scrivi una tabella di tutte le forze/coppie presenti.
W	Visualizza sul meccanismo tutte le forze/coppie presenti.
D	Forza costante
N	Forza elastica lineare
B	Forza viscosa lineare
C	Coppia costante
L	Coppia elastica lineare
V	Coppia viscosa lineare
M	Massa concentrata in un nodo
A	Motore asincrono
G	Torna al gestore

Oltre ai comandi [**K**] ed [**W**] , che sono una duplicazione dei comandi omonimi illustrati al paragrafo precedente, gli altri comandi consentono di applicare al meccanismo forze e coppie lineari. Le tipologie delle forze/coppie definite nel menù sono illustrate in dettaglio nel paragrafo III - 1.5

III - 1.3 Introduzione di forze e coppie non lineari (da tabelle)

Con il comando [**T**] si accede alla fase di introduzione di forze/coppie non lineari.

I comandi disponibili sono i seguenti:

T - Inserisci forze/coppie da tabella	
H	HELP
K	Scrivo una tabella di tutte le forze/coppie presenti.
W	Visualizza sul meccanismo tutte le forze/coppie presenti.
P	Disegna il grafico di una tabella
E	Elenco tabelle disponibili su file e in memoria
N	Forza elastica non lineare
B	Forza viscosa non lineare
L	Coppia elastica non lineare
V	Coppia viscosa non lineare
T	Forza dipendente dal tempo
S	Coppia dipendente dal tempo
D	Forza e Coppie dipendente da due parametri
M	Massa dipendente da parametri (non costante)
J	Momento d'inerzia dipendente da parametri (non costante)
G	Torna al gestore

Oltre ai comandi [**K**] ed [**W**] illustrati al paragrafo III - 1.1 e i comandi per inserire forze/coppie elastiche e viscosi (vedi § III.1.5.3.2 e § III.1.5.3.3), con questo menù è possibile definire forze/coppie dipendenti dal tempo attraverso i comandi [**T**], [**S**], nonché masse e momenti d'inerzia variabili (comandi [**M**] e [**J**]) e con il comando [**D**] forze e coppie che dipendono da due variabili (vedi § III.1.5.3.6)

Inoltre sono disponibili i comandi di visualizzazione:

P	Disegna il grafico di una tabella
E	Elenco tabelle disponibili su file e in memoria

Descrizione comandi:

Comando [**P**] (*[P]lotta*)

con questo comando è possibile visualizzare l'andamento di una forza/coppia descritta tramite tabella.

Comando [**E**] (*[E]lenca*):

Elenca a video tutte le forze/coppie non lineari presenti su disco (files **.TAB**) e quelle presenti in memoria, cioè già applicate al meccanismo.

III - 1.4 Modifica del sistema di forze e coppie

Con il comando [**M**] è possibile *modificare, cancellare, disattivare/attivare* una singola forza/coppia che agisce sul sistema.

I comandi a disposizione dell'utente sono i seguenti:

M - Modifica forze/coppie	
F	Modifica/cancella/sospendi forze
C	Modifica/cancella/sospendi coppie
T	Cambia Tabella
Q	Fine modifica
G	Torna al gestore

Scegliendo i comandi [**F**] e [**C**] si accede alla modifica rispettivamente delle forze e delle coppie.

Se si desidera modificare una forza non lineare assegnando una nuova tabella (vedi § III - 1.5.1) bisogna selezionare il comando [**T**].

Per tornare al modulo chiamante si digita [**Q**].

E' inoltre possibile ridefinire tabelle già caricate sul sistema articolato o, eventualmente sostituirle con altre. Per compiere queste operazioni accedere alla voce [**T**] del sottomenù.

Una volta scelto se modificare una forza od una coppia, per poterla identificare, **MeCad** chiede di selezionare il nodo/asta su cui agisce.

A questo punto per ogni forza/coppia che agisce sull'elemento selezionato presenta il menù seguente:

MODIFICA ? [M] - CANCELLA ? [C]
ATTIVA ? [A] - DISATTIVA ? [D]
ESCI ? [G]

L'opzione **disattivare** consente di sospendere la forza/coppia. In questo modo non viene tenuta in conto durante l'analisi dinamica pur rimanendo nel database delle forze/coppie.

Una forza/coppia disattivata può essere ripristinata mediante la voce di **attiva**.

Premendo un tasto diverso da quelli elencati si passa alla forza/coppia successiva che agisce sull'elemento.

III - 1.5 Tipologie di forze/coppie disponibili

III - 1.5.1 Introduzione

Con la denominazione **Forze/Coppie Lineari** ci si riferisce a forze e coppie con caratteristica lineare in funzione di un parametro (spostamento/velocità), mentre con **Forze/Coppie da Tabella** ci si riferisce a forze e coppie a caratteristica non lineare, il cui andamento viene definito da una tabella eventualmente non lineare.

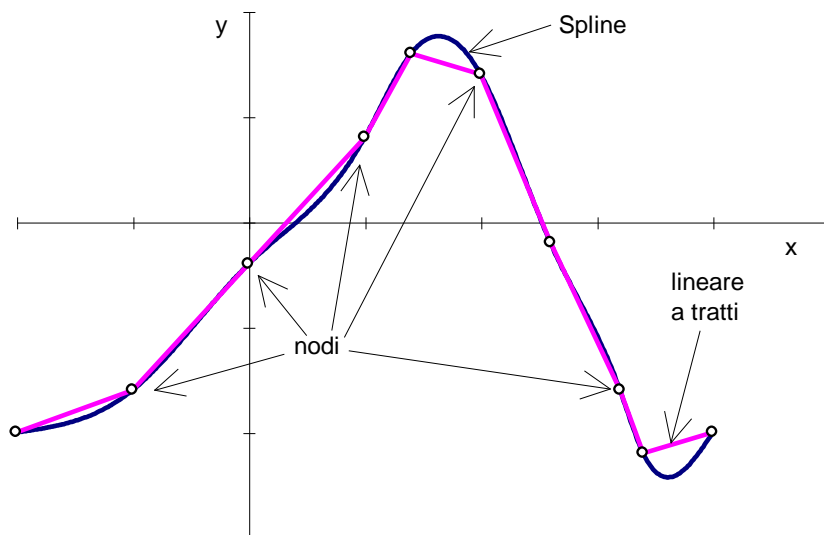
Le tabelle sono dei files in formato ASCII (editabili dunque con un comune editor) contenenti due colonne, una per la definizione della variabile indipendente (posizione nel caso di forze elastiche, velocità nel caso di forze viscosi) e l'altra la variabile dipendente (forza o coppia).

L'estensione standard per i files delle tabelle è **.TAB**.

Nota:

*la variabile indipendente (la prima colonna della tabella) deve essere strettamente crescente. Se **MeCad**, caricando una tabella, legge un valore minore del precedente in prima colonna, interrompe la lettura ignorando tutti i dati che seguono.*

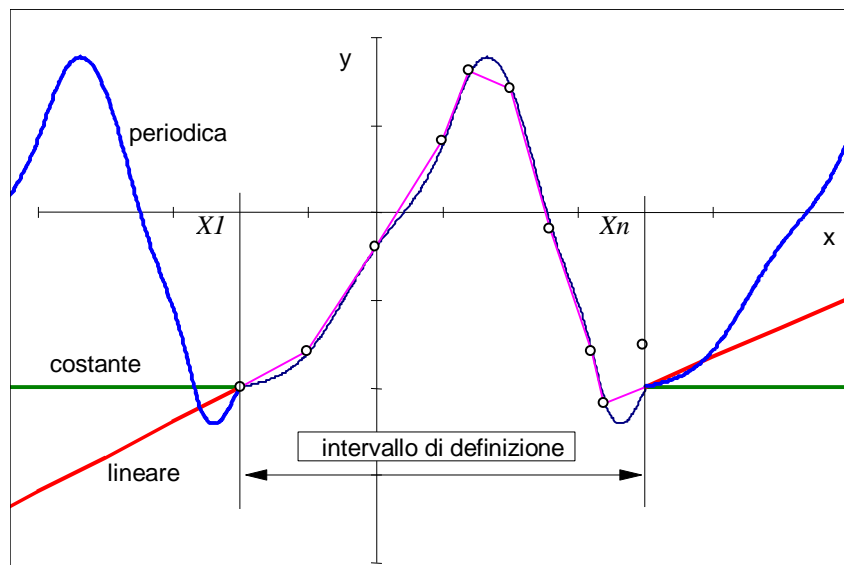
L'approssimazione dei dati nei punti intermedi fra due valori di una tabella viene calcolata in modo automatico, o mediante interpolazione lineare (un segmento unisce idealmente ogni coppia di valori della tabella) e mediante interpolazione con splines cubiche naturali (la curva che unisce i punti della tabella è continua fino alla derivata seconda).



*I tipi di interpolazione gestiti da **MeCad***

Al di fuori dell'intervallo di definizione della tabella la funzione può avere i seguenti andamenti.

- **Lineare:** prima e dopo l'intervallo di definizione coincide con le rette definite rispettivamente dai primi due e dagli ultimi due punti in tabella.
- **Periodica:** la curva ha andamento periodico, la funzione definita dalla tabella è tale che $f(x) = f(x+T)$ dove il periodo T è l'intervallo di definizione della funzione. La funzione così definita presenta delle discontinuità se i valori agli estremi dell'intervallo di definizione sono diversi, cioè se $f(x_1) \neq f(x_n)$.
Quando l'ascissa vale $x = x_1 + kT$, con k intero qualsiasi la funzione assume il valore $f(x_1)$, analogamente per valori della $x = x_n + kT$ la funzione assume il valore $f(x_n)$ del secondo estremo dell'intervallo di definizione.
- **Costante:** fuori dell'intervallo di definizione ha andamento costante uguale ai valori estremi della tabella



Possibili andamenti della funzione al di fuori dell'intervallo di definizione

Una volta che si è scelto di introdurre una forza/coppia da tabella, **MeCad** chiede il nome del file dal quale leggere (deve avere estensione **.TAB**) e quindi propone all'utente il tipo di interpolazione che si desidera e l'andamento fuori campo di definizione.

Nota:

MeCad gestisce un numero massimo di **20 tabelle** ognuna delle quali può contenere non più di **200 punti**

III - 1.5.2 Campo Gravitazionale

Il campo gravitazionale (comando [G] del menu' [Q]) viene definito tramite le componenti ortogonali g_x e g_y del vettore accelerazione di gravità **g**. L'effetto è quello di creare delle forze gravitazionali (peso) applicate nei baricentri delle singole aste, di modulo proporzionale alla massa e direzione corrispondente a quella del vettore **g**.

$$\vec{g} = g_x \cdot \vec{u}_x + g_y \cdot \vec{u}_y$$

$$\vec{F} = m \cdot \vec{g} = mg_x \cdot \vec{u}_x + mg_y \cdot \vec{u}_y$$

Nel caso usuale dove l'asse **Y** dell'area di lavoro corrisponde all'asse verticale le componenti dell'accelerazione di gravità valgono $g_x=0$ e $g_y=-9.81$

III - 1.5.3 Forze e Coppie

Si ricorda che tramite la voce di menù [**I**] si accede alla sezione relativa all'introduzione delle forze e delle coppie lineari, mentre con l'opzione [**T**] e' possibile applicare al meccanismo forze/coppie non lineari (definite da tabella).

Sono definite tre tipologie di forze ed altrettante tipologie di coppie; queste possono essere:

- **Costanti.** Sono costanti sia direzione che in modulo. Comandi [**D**] e [**C**] del menù [**I**] inserisci.
- **Elastiche.** Si è usato questo termine per sottolineare la dipendenza dalla posizione relativa fra due elementi. Comandi [**N**] e [**L**].
- **Viscose.** Analogamente al caso precedente si e' voluto evidenziare con questa definizione la dipendenza della forza/coppia di questo tipo alla velocità relativa fra due membri. Comandi [**B**] e [**V**]
- **Dipendenti dal tempo.** Comandi [**T**] e [**S**] del menù [**T**] abelle
- **Dipendenti da due variabili.** Comando [**D**] e [**S**] del menù [**T**] abelle

III.1.5.3.1 Forze Costanti.

Sono forze costanti in direzione e modulo. Vengono introdotte direttamente assegnando le componenti F_x e F_y . Per introdurre questo tipo di forze bisogna selezionare il menù di [**I**] di introduzione forze/coppie lineari (vedi III - 1.2)

III.1.5.3.2 Forze Elastiche.

Le forze elastiche sono assimilabili a molle e dunque la relazione fra forza e posizione relativa è del tipo:

$$\vec{F}_P = -k * (|P-Q| - \Delta) * \frac{(P-Q)}{|P-Q|} = -\vec{F}_Q \quad \text{Lineari}$$

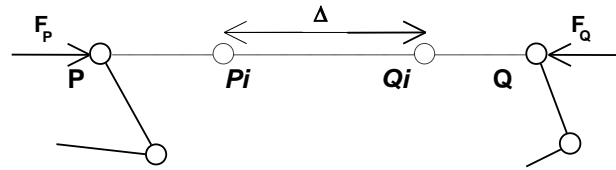
$$\vec{F}_P = f_k (|P-Q| - \Delta) * \frac{(P-Q)}{|P-Q|} = -\vec{F}_Q \quad \text{Non lineari}$$

dove (P-Q) indica il vettore fra i nodi P e Q, mentre k e $f_k(|P-Q|-\Delta)$ sono il coefficiente di proporzionalità (rigidezza della molla), nel caso di forza lineare, e l'intensità (modulo con segno) della forza nel caso non lineare.

Con Δ si indica il preallungamento dell'elemento elastico. Quando si inserisce una forza elastica tra due nodi P e Q il programma propone come default per il preallungamento Δ la

distanza tra i nodi nella configurazione iniziale. Inserendo questo valore la forza elastica, nell'istante iniziale, non esercita alcuna azione sul meccanismo.

La forza scambiata fra l'elemento e i nodi è sempre diretta come la congiungente i nodi stessi.

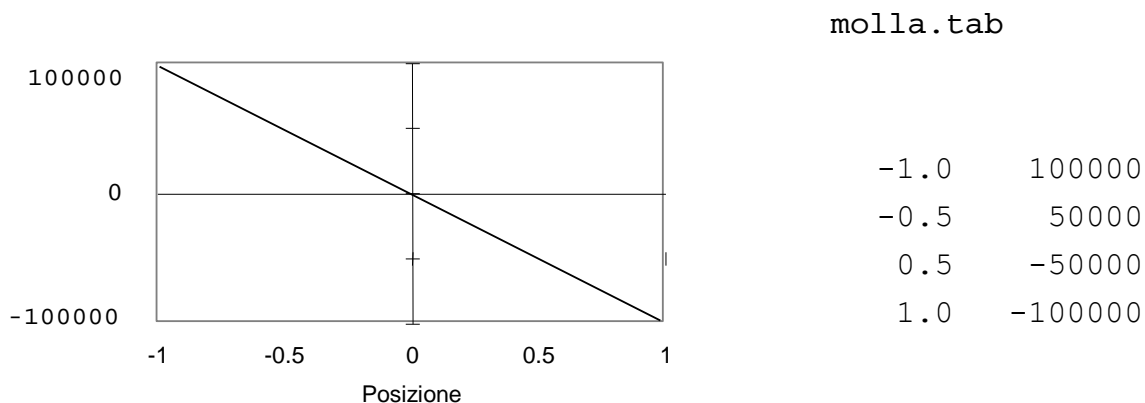


Ad esempio, una molla che agisce tra i nodi P e Q, di rigidezza $k = 100000 \text{ N/m}$ può essere simulata nei due modi seguenti:

1) Dal menù **[I]**nserisci (vedi § III - 1.2) si sceglie il comando **[N]** (forze elastiche) si indicano con il cursore i due nodi tra i quali inserire la molla e quindi si introduce il valore della rigidezza ($k = 100000$).

2) Dal menu **[T]**abelle (vedi § III - 1.3) si sceglie il comando **[N]** (forze elastiche), quindi si digita il nome del file senza estensione in cui è tabulata la caratteristica della molla.

Nella figura seguente viene riportato a titolo di esempio la tabella molla.tab ed il relativo grafico. Si noti che per simulare il comportamento della molla la pendenza della curva deve essere negativa.



III.1.5.3.3 Forze Viscose

Le forze viscosi sono assimilabili a smorzatori. Anche le forze viscosi possono essere definite da relazioni lineari o da leggi non lineari.

Le relazioni che definiscono le forze viscosi sono:

$$\vec{F}_P = -c \cdot \left(\vec{V}_{P-Q} \right) \cdot \frac{(P-Q)}{|P-Q|} = -\vec{F}_Q \quad \text{Lineari}$$

$$\vec{F}_P = f_C \cdot (V_{P-Q}) \cdot \frac{(P-Q)}{|P-Q|} = -\vec{F}_Q \quad \text{Non lineari}$$

dove (V_{P-Q}) indica la velocità relativa fra i nodi **P** e **Q** proiettata lungo la congiungente i nodi, mentre c e $f_C(..)$ sono il coefficiente di proporzionalità (smorzamento), nel caso di forza lineare, ed l'intensità della forza nel caso non lineare (caratteristica non lineare dello smorzatore). Con velocità positiva si intende un allungamento del vettore congiungente i nodi **P** e **Q**.

La forza scambiata fra l'elemento e i nodi è sempre diretta come la congiungente i nodi, e nel caso di forza viscosa lineare tende ad opporsi al moto relativo tra i nodi.

E' possibile, analogamente a quanto descritto nel § III.1.5.3.2 definire smorzatori a caratteristica lineare mediante tabella.

III.1.5.3.4 Coppie elastiche e viscosi.

In modo del tutto analogo alle forze sono definite le coppie. Le coppie elastiche sono funzione della variazione di angolo fra due aste, mentre le coppie viscosi sono funzione della velocità di variazione di angolo fra due aste.

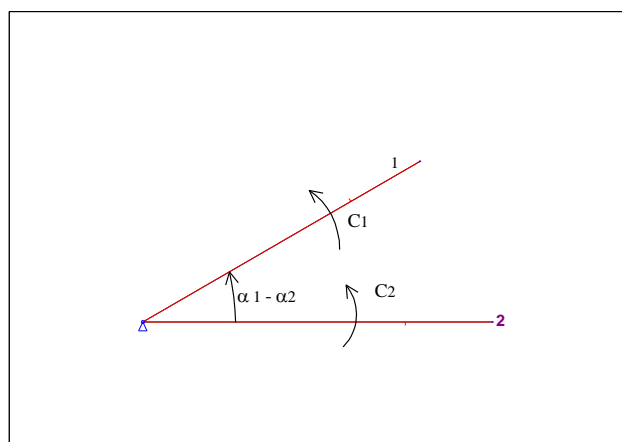
Le **coppie elastiche** sono definite dalle seguenti relazioni

$$C_1 = -kT * [(\alpha_1 - \alpha_2) - \Delta\alpha] = -C_2 \quad \text{Lineari}$$

$$C_1 = fk((\alpha_1 - \alpha_2) - \Delta\alpha) = -C_2 \quad \text{Non lineari}$$

Dove $(\alpha_1 - \alpha_2)$ e' l'angolo formato dalla prima asta selezionata con la seconda e $\Delta\alpha$ rappresenta l'angolo della molla indeformata.

Nota: in modo analogo alle convenzioni di segno usate per gli angoli, anche per le coppie si è assunta positiva la direzione antioraria.



Coppia elastica agente sull'asta 1 e sull'asta 2

k_T e $f_k((\alpha_1 - \alpha_2) - \Delta\alpha)$ sono rispettivamente la rigidezza torsionale e la coppia, funzione dell'angolo relativo, agente sull'asta.

Nota:

Per riferirsi alla rotazione assoluta di un'asta (angolo formato col telaio) è necessario, in fase di introduzione della coppia, cliccare due volte sull'asta.

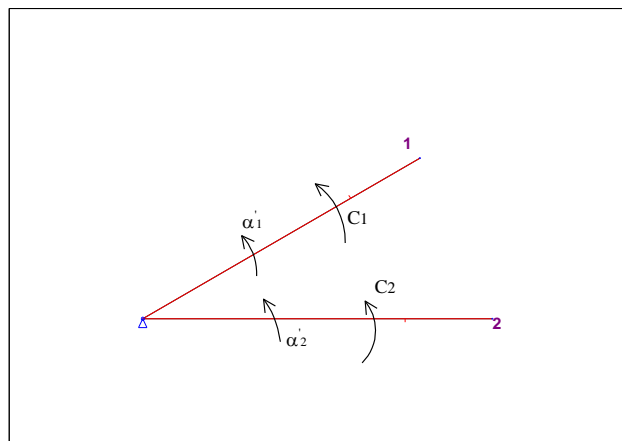
La relazione che lega le **coppie viscosi** alla velocità di angolare è la seguente :

$$C_1 = -r_T * [\dot{\alpha}_1 - \dot{\alpha}_2] = -C_2 \quad \text{Lineari}$$

$$C_1 = f_k(\dot{\alpha}_1 - \dot{\alpha}_2) = -C_2 \quad \text{Non lineari}$$

dove $(\dot{\alpha}_1 - \dot{\alpha}_2)$ è la velocità angolare relativa dell'asta 1 rispetto all'asta 2.

r_T e $f_k(\dot{\alpha}_1 - \dot{\alpha}_2)$ sono rispettivamente lo smorzamento torsionale e la coppia, funzione della velocità relativa, agente sull'asta 1.



Coppia viscosa agente sull'asta 1 e sull'asta 2

Nota:

Per riferirsi alla velocità assoluta di rotazione di un'asta è necessario, in fase di introduzione della coppia viscosa, cliccare due volte sull'asta.

III.1.5.3.5 Forza e Coppia dipendente dal tempo

E' possibile definire forze o coppie dipendenti dal tempo (comandi **[T]** e **[S]** del menù **[T]abelle**) che agiscono su un nodo o su un'asta. Il modulo dell'elemento viene definito da una tabella caricata da un file esterno (vedi esempio al § III - 5.4)

III.1.5.3.6 Forze e Coppie Dipendenti da due parametri

In molte applicazioni è necessario avere a disposizione forze o coppie che dipendono da due parametri. Ad esempio nell'operazione di stampaggio la forza da vincere è presente solo in un tratto della corsa dello stampo (dipendenza dalla posizione) e solo durante la fase di andata (dipendenza dal segno e modulo della velocità).

Il programma **MeCad** consente di definire forze e coppie che dipendono da due parametri; i tipi disponibili sono i seguenti

- | | |
|------------------------|--------------------------------------------------------------------|
| 1) $F=f_1(s) * f_2(v)$ | forza dipendente dallo <i>spostamento</i> e dalla <i>velocità</i> |
| 2) $F=f_1(t) * f_2(s)$ | forza dipendente dal <i>tempo</i> e dallo <i>spostamento</i> |
| 3) $F=f_1(t) * f_2(v)$ | forza dipendente dal <i>tempo</i> e dalla <i>velocità</i> |
| 4) $C=f_1(s) * f_2(v)$ | coppia dipendente dallo <i>spostamento</i> e dalla <i>velocità</i> |
| 5) $C=f_1(t) * f_2(s)$ | coppia dipendente dal <i>tempo</i> e dallo <i>spostamento</i> |
| 6) $C=f_1(t) * f_2(v)$ | coppia dipendente dal <i>tempo</i> e dalla <i>velocità</i> |

Ad esempio con il tipo 1) è possibile definire una forza la cui intensità è funzione dello spostamento relativo e della velocità relativa secondo la relazione seguente:

$$F = f_1(s) \times f_2(v)$$

Dove $f_1(s)$ e $f_2(v)$ sono due funzioni rispettivamente della posizione e della velocità relativa descritte tramite tabelle (vedi § III - 1.5.1) e F rappresenta l'intensità della forza.

III - 1.5.4 Massa Concentrata

III.1.5.4.1 Massa concentrata costante

La massa concentrata costante può essere inserita in un nodo e genera una forza proporzionale all'accelerazione a cui è sottoposto il nodo stesso (comando **[M]** del menu **[I]**nserisci).

Ovviamente le masse concentrate sono sensibili anche agli effetti dell'accelerazione di gravità.

$$\vec{F} = m \cdot (\vec{g} + \vec{a}) = m \cdot (g_x + a_x) \cdot \vec{u}_x + m \cdot (g_y + a_y) \cdot \vec{u}_y$$

Nota:

oltre alle masse qui descritte, ad ogni elemento del sistema può essere assegnata una massa costante e la posizione del baricentro

III.1.5.4.2 Massa Concentrata Variabile

Con il termine variabile si intende che la massa concentrata in un nodo può essere accesa o spenta in funzione di alcuni parametri (comando **[M]** del menù **[T]**abelle).

In particolare è possibile far variare una massa secondo una funzione del tempo, della posizione relativa fra in nodo a cui è applicata ed un altro nodo di riferimento ed infine la

massa concentrata può dipendere dalla velocità relativa fra il nodo a cui è applicata ed un nodo di riferimento.

$$\vec{F} = m \cdot f(t) \cdot (\vec{g} + \vec{a})$$

$$\vec{F} = m \cdot f(s) \cdot (\vec{g} + \vec{a})$$

$$\vec{F} = m \cdot f(v) \cdot (\vec{g} + \vec{a})$$

Le funzioni $f(t)$, $f(s)$, $f(v)$ vengono assegnate tramite tabelle (vedi § III - 1.3)

III - 1.5.5 Momento d'inerzia variabile

Il momento *d'inerzia dipendente* è sempre considerato solidale ad un'asta e genera una coppia proporzionale all'accelerazione angolare a cui è sottoposta l'asta stessa (comando [J] del menù [T]abelle).

I momenti di inerzia inseriti in questa sezione del programma non sono costanti per tutta l'analisi della simulazione in quanto ciascuno di essi può essere espresso in funzione di alcuni parametri. In particolare può dipendere dal tempo, dalla posizione relativa fra due aste o dalla velocità relativa fra due aste.

La relazione espressa da queste tipologie di coppie è del tipo:

$$C = J \cdot f(t) \cdot \ddot{\alpha}$$

$$C = J \cdot f(\alpha - \beta) \cdot \ddot{\alpha}$$

$$C = J \cdot f(\dot{\alpha} - \dot{\beta}) \cdot \ddot{\alpha}$$

Nota:

oltre ai momenti d'inerzia qui descritti è possibile assegnare ad ogni asta un momento d'inerzia costante (vedi capitolo III - 2)

III - 2 IL COMANDO [P]: INTRODUZIONE BARICENTRI, MASSE E MOMENTI DI INERZIA

Ad ogni asta del meccanismo e' possibile assegnare il baricentro, la massa ed il momento di inerzia. L'introduzione dei valori di queste grandezze e' avviene mediante il comando [P] del menù principale di **MeCad**.

Non appena selezionata la voce di menù [P] sulle ogni asta del meccanismo compare un cerchio che indica la posizione del baricentro e che può essere di colore diverso:

- *baricentro di colore **Blu**: nessuna massa o momento d'inerzia assegnato*
- *baricentro di colore **Giallo**: massa e/o momento d'inerzia assegnato*

Il programma chiede di puntare l'asta su cui si vuole lavorare, e una volta scelta, viene disegnato un sistema di riferimento solidale all'elemento:

l'asse **X**, diretto come l'asta, è rappresentato in **rosso**,

l'asse **Y** in **verde**.

Il baricentro dell'asta corrente viene rappresentato in colore **Ciano**

Il menu per l'assegnazione delle caratteristiche inerziali del meccanismo e' composto dalle seguenti voci:

Menù P	
V	Visualizza i valori
M	Massa
J	Momento d'Inerzia
B	Modifica coordinate Baricentri
P	Scelta nuovo elemento
H	Help
G	Gestore

Descrizione comandi:

Comando [**V**] (*[V]isualizza*):

con questa opzione è possibile visualizzare i valori attuali di massa, momento di inerzia e posizione del baricentro per l'asta selezionata.

Comando [**M**] (*[M]assa*):

permette di introdurre il valore della massa espressa in **Kg**

Comando [**J**] (*[J]ota*):

consente di inserire il valore del momento d'inerzia espresso in **Kg*m²**

Comando [**P**] :

premendo questo tasto e' possibile scegliere un altro elemento.

Comando [**B**] (*[B]aricentri*) :

con questo comando si accede ad un sottomenu' che consente di modificare la posizione del baricentro dell'asta corrente (al momento della digitalizzazione del meccanismo **MeCad** assume come baricentro del membro il suo punto medio).

Sotto Menù B	
X	modifica in coordinate cartesiane (ASSOLUTE)
R	modifica in coordinate cartesiane (RELATIVE ASTA)
C	modifica con il cursore
P	modifica tramite coordinate polari
E/ESC	fine modifica
H	Help
G	Gestore

Nel menù sopra riportato sono riassunte le modalità con le quali è possibile modificare la posizione del baricentro.

Comando [**X**] :

permette di assegnare il baricentro attraverso le sue coordinate cartesiane assolute.

Comando [**R**] :

la posizione del baricentro viene definita assegnandone le coordinate cartesiane relative al sistema di riferimento solidale al membro.

Comando [**C**] :

questa opzione permette di posizionare il baricentro in un punto qualsiasi dell'area di lavoro con il cursore del mouse. Per confermare la nuova posizione è sufficiente premere un tasto del mouse.

Comando [**P**] :

il baricentro viene assegnato per mezzo di coordinate polari assolute o relative alla sistema di riferimento solidale all'asta.

III - 3 IL COMANDO [c]: ANALISI CINETOSTATICA

Scegliendo il comando [c] del modulo **Gestore** viene eseguita l'analisi cinetostatica sul meccanismo corrente. Il programma dapprima determina il moto dell'intero sistema (analisi cinematica) e quindi note le forze esterne agenti sul meccanismo determina in modo completo le azioni scambiate tra i membri, quelle esercitate sul telaio e le azioni motrici (forze/coppie) necessarie ad assicurare il moto imposto dai moventi.

III - 4 RISULTATI DELL'ANALISI CINETOSTATICA

Premendo il tasto [K] del modulo **Gestore** e' possibile visualizzare i risultati dell'analisi cinetostatica (azioni motrici ed azioni scambiate tra i membri).

Appena premuto il tasto [K] compare il prompt:

```
PUNTA NODO / ASTA >
```

che invita l'utente a puntare con il mouse¹ l'elemento (un nodo qualunque oppure un'asta su cui e' applicato un movente rotante) di cui si vuole conoscere lo stato di carico.

Si possono distinguere i seguenti casi:

Nodo interno (non collegato a terra): se si e' scelto questo elemento **MeCad** chiede di selezionare con il mouse una delle aste che convergono al nodo in modo da poter visualizzare le componenti delle azioni (forze e momenti) che il nodo scambia con l'elemento selezionato.

Nodo a terra: nel caso dei nodi a terra è possibile ottenere le azioni (forze e momenti) trasmesse al telaio. Per far questo e' sufficiente *clicare due volte* sul nodo a terra.

Membri Moventi: se si e' selezionato un elemento (nodo o asta) al quale e' applicato un movente è possibile ottenere le azioni motrici (coppia o forza necessaria per assicurare il moto imposto).

Nel caso dei moventi lineari (il movente e' applicato ad un nodo) il programma propone il seguente menu' di scelta:

```
R : Reazioni Vincolari
M : Incognite Movente
```

che consente di ottenere le azioni motrici oppure, digitando [R], le azioni scambiate con un membro del meccanismo che converge nel nodo.

Nel caso in cui si è scelto di visualizzare le azioni scambiate tra un nodo e un'asta, viene presentato il menu' per scegliere la modalità di rappresentazione.

```
A : Componenti Assolute
R : Componenti Relative all'Asta
P : Componenti Polari
```

Con il comando [A] il programma visualizza i grafici con le componenti delle forze proiettate nel riferimento assoluto.

Con il comando [R] si ottengono i grafici delle componenti delle forze proiettate nel riferimento relativo solidale all'asta (componente assiale e normale)

¹ Si ricorda che una volta posizionato il mouse, per confermare la scelta è sufficiente cliccare oppure premere un tasto alfanumerico.

Con il comando [**P**] vengono visualizzati due differenti grafici, uno relativo alle componenti assolute, riportate in coordinate polari, l'altro per componenti relative all'asta, sempre in coordinate polari.

A questo punto **MeCad** disegna i grafici delle componenti della forza e quello del momento. Il grafico della componente *X* della forza è disegnato in **rosso**, la componente *Y* in **verde** e il momento in **giallo**.

Nella parte superiore della zona dei grafici sono riportati i valori *massimi* (**MAX**), *minimi* (**MIN**), medi (**MED**) e quadratici medi (**RMS**) delle grandezze rappresentate.

Nota:

*I segni delle azioni (forze e momenti) rappresentate nei grafici fanno riferimento alle convenzioni di **MeCad**. Ad esempio un momento di segno negativo significa che è diretto in verso orario, che ricordiamo e' il verso di rotazione assunto negativo dal programma.*

Il prompt attivo in questa parte del programma e' il seguente:

K >

I comandi disponibili sono riportati nella seguente menù che può essere visualizzato premendo il tasto [**H**]:

Menù K: Visualizzazione analisi cinetostatica	
K	Punta nuovo elemento
P	Plotta il grafico
R	Salva su file
S	Stampa i files
G	Gestore
Z	Zoom sul grafico
A	Ridisegna tutto il grafico
?	Richiesta valori
H	Help

Descrizione dei comandi.

Comando [**K**] :

permette di scegliere un nuovo elemento (nodo/asta) da analizzare.

Comando [**P**] (*[P]lotta i grafici*) :

Il comando [**P**] salva in un file di tipo HPGL il grafico presente sul video (formato UNI A4). Il file salvato potrà essere inviato al plotter oppure caricato da un qualsiasi programma (ad esempio Microsoft Word) in grado di leggere il formato HPGL.

Comando [**R**]:

salva su file il tabulato dei grafici rappresentati a video. Il nome del file di output può essere scelto dall'utente mentre l'estensione assegnata dal programma è **.TXT**.

Il file di output è organizzato in 4 colonne per ogni passo di analisi, ed il formato è il seguente.

1) In coordinate cartesiane:

tempo	Forza_X	Forza_Y	Momento
-------	---------	---------	---------

2) In coordinate polari:

Tempo	Modulo_Forza	Anomalia_Rif_Assoluto	Anomalia_Rif_Relativo
-------	--------------	-----------------------	-----------------------

Comando [**S**]:

Invia alla stampante i tabulati dei grafici rappresentati a video. Per il formato dei tabulati di output si veda il comando [**R**].

Comando [**Z**] (*[Z]oom del grafico*) :

questo comando consente di selezionare con il cursore la porzione di grafico da visualizzare.

Comando [**A**] (*zoom [A]utomatico*) :

ridisegna il grafico delle azioni in modo completo usando una scala "automatica".

Comando [**?**] (*interroga il grafico*) :

consente di interrogare, usando il cursore, il grafico delle azioni

Per terminare la sezione di richiesta informazioni bisogna premere il tasto [**ESC**].

Premendo il tasto [**T**], **MeCad** consente di introdurre da tastiera il tempo al quale si vogliono conoscere i valori delle azioni.

Nota:

I grafici polari possono essere interrogati sia nella finestra del riferimento assoluto che in quella relativa all'asta. Per passare da un grafico all'altro e' sufficiente cliccare col mouse all'interno del grafico scelto. Nel grafico attivo compare il prompt > e il bordo della finestra viene colorato in blu.

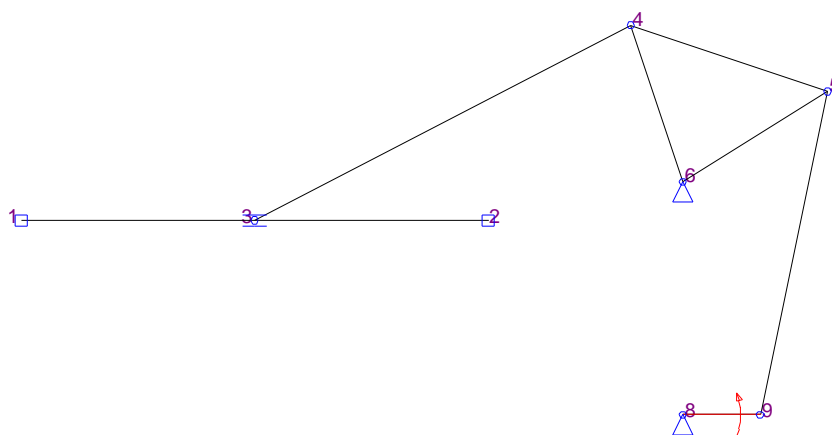
III - 5 ESEMPI DI ANALISI CINETOSTATICA

III - 5.1 Introduzione.

Negli esempi riportati in questo capitolo si illustra come è possibile, utilizzando **MeCad**, eseguire l'analisi cinetostatica su un sistema articolato. In particolare viene illustrato l'utilizzo delle masse concentrate in un nodo, sia costanti che dipendenti da parametri.

E' possibile fare riferimento al file del meccanismo allegato e denominato **DEMO-M.MEC**.

MECAD -- SCHEMA CINEMATICO DEL MECCANISMO --

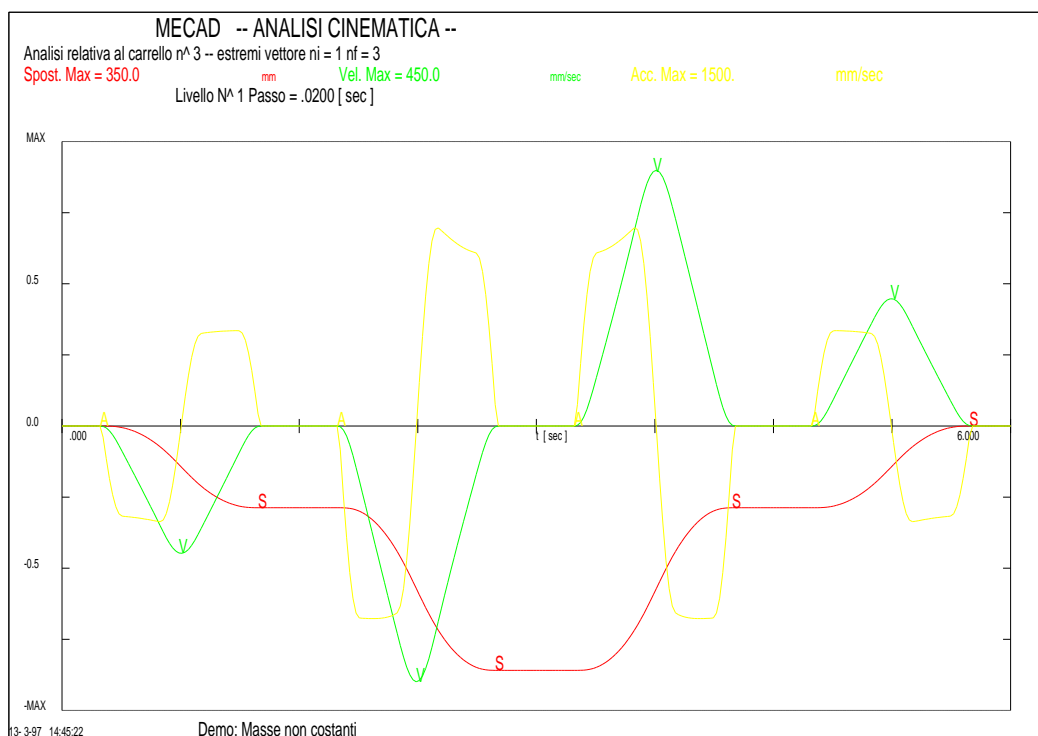


Demo: Masse non costanti

Il sistema articolato proposto prevede un carrello, nodo 3, che viene azionato da un meccanismo movimentato tramite un dispositivo a camma (movente asta 8-9).

Nel meccanismo presente sul file allegato sono presenti 4 livelli con lo stesso meccanismo. I livelli differiscono, come illustrato in seguito, per la tipologia dei carichi applicati.

Il pattino compie un movimento di andata e ritorno, lungo la direzione della guida 1-2, per una corsa totale di 30 mm secondo la legge di moto riportata nel seguente diagramma.



Legge di moto del nodo numero 3

L'analisi che verrà condotta in questo esempio è relativa allo spostamento di una massa di 50 kg, posizionata in corrispondenza del nodo 3, da parte del meccanismo.

III - 5.2 Livello 1 - Massa concentrata costante

Dopo aver caricato il file di esempio **DEMO-M.MEC** bisogna attivare il comando **[M]** modifica del modulo **Gestore** e quindi premere **[L]** per poter scegliere il livello di lavoro. A questo punto attivare il livello **I**.

In questo livello sul meccanismo è presente solo una massa concentrata e non agisce alcuna forza/coppia. La massa concentrata costante è di 50 kg ed è applicata sul nodo 3.

Per inserirla è necessario compiere i seguenti passi:

- accedere al menù **[Q]** (gestione forze/coppie § III - 1)
- accedere al sottomenù **[I]** (introduzione forze/coppie lineari § III - 1.2)
- selezionare la voce **[M]** (massa concentrata in un nodo § III - 1.5.4)
- selezionare il nodo 3 ed impostare il valore della massa pari a 50 kg.

A questo punto è possibile eseguire l'analisi cinetostatica, opzione **[C]** del menù principale (**Gestore**).

N.B. non è strettamente necessario eseguire esplicitamente l'analisi cinetostatica perché, in modo automatico, viene eseguita, se necessario, prima di accedere alla visualizzazione dei risultati.

Accedendo alla visualizzazione dei risultati dell'analisi cinetostatica (voce [K] del **Gestore**), si può vedere la coppia necessaria al movente per eseguire lo spostamento del carico. Per fare ciò è necessario selezionare il movente indicato in *magenta*.

Nel grafico sotto riportato è indicato il diagramma della coppia.



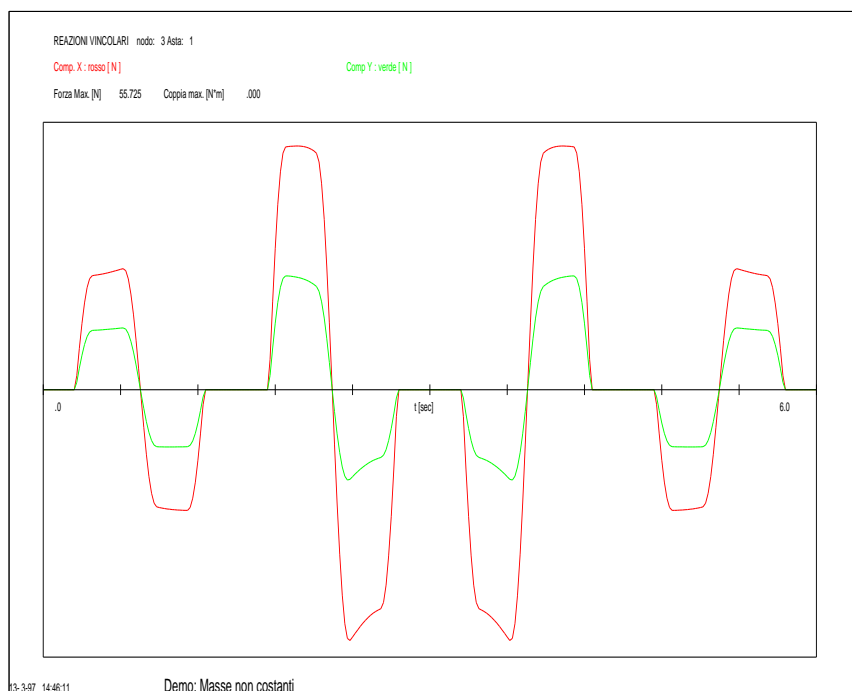
Coppia agente sul movente (asta 8-9)

Analogamente è possibile visualizzare le azioni scambiate fra la biella (asta 3-4) ed il nodo 3. Per fare ciò è necessario prima selezionare il nodo 3 e quindi l'asta 3-4.

Selezionare l'output desiderato in termini di componenti assolute (direzione X ed Y), relative (cioè proiettate lungo l'asta) o secondo un diagramma polare.

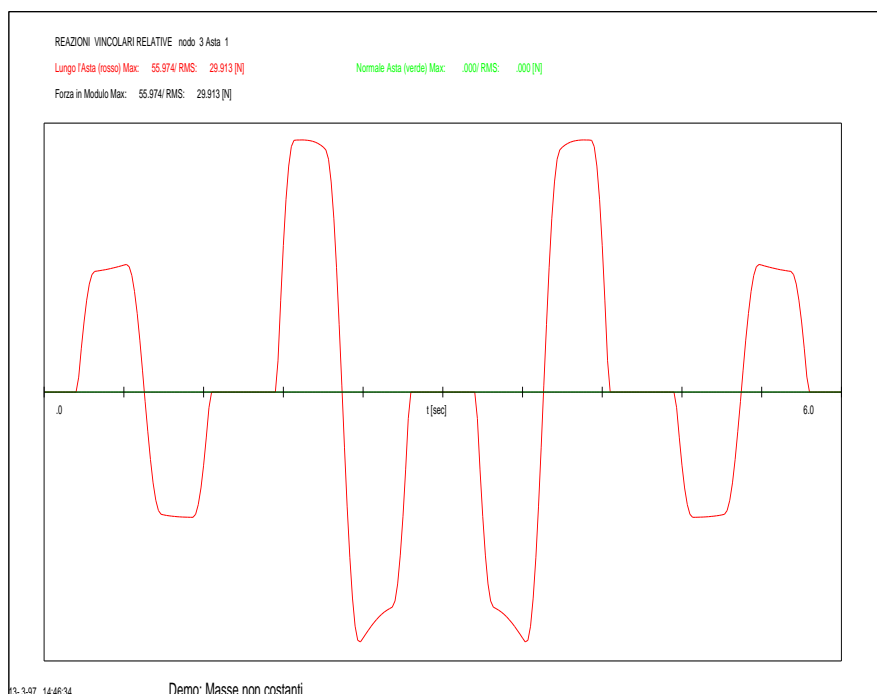
Nel grafico di seguito riportato sono indicate le componenti assolute delle forze scambiate dal nodo 3 con l'asta 3-4.

Si può osservare che la componente lungo X è esattamente la forza di inerzia della massa applicata al nodo 3.



Azioni scambiate tra il nodo 3 e asta 3-4 (componenti assolute)

Nel grafico seguente invece si è riportato l'andamento delle azioni scambiate fra il nodo 3 e l'asta 3-4, proiettate sull'asta stessa. Si può osservare che l'asta si comporta come una biella, cioè risulta soggetta solamente a carichi assiali, essendo scarica.



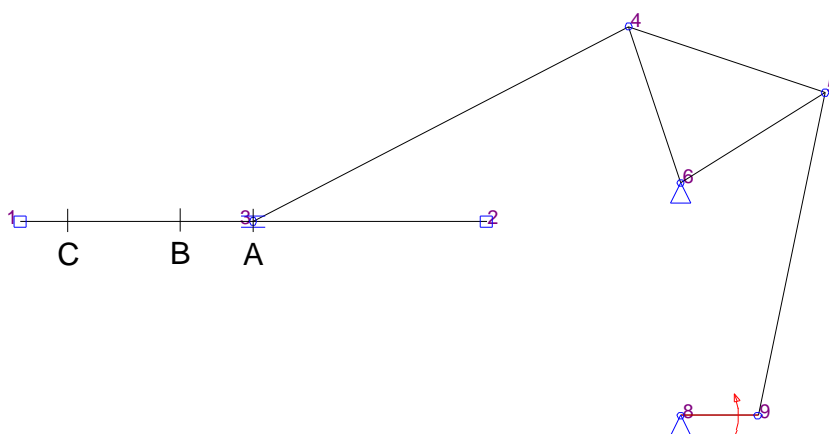
Azioni scambiate tra il nodo 3 e asta 3-4 (componenti assolute)

In modo del tutto simile è possibile vedere il diagramma delle azioni scambiate in ogni altro nodo.

III - 5.3 Massa concentrata variabile

In questo paragrafo vengono descritti brevemente tre casi, memorizzati nei livelli **2**, **3** e **4** del meccanismo in esame, in cui la massa trasportata dal carro (nodo 3) è variabile. Questi esempi, oltre ad illustrare l'uso delle masse variabili, servono a chiarire le modalità di utilizzo delle forze/coppie dipendenti da tabelle.

MECAD - SCHEMA CINEMATICO DEL MECCANISMO



Demo: Masse non costanti

Nelle analisi riportate di seguito si è ipotizzato che la massa presente sul nodo 3 sia, nel primo caso solamente spostata verso il nodo 1 di 30 mm da A a C e poi venga scaricata, nel secondo caso che la massa venga caricata in B, venga spostata in C e dunque riportata in B, mentre nel terzo caso si considera che la massa sia caricata in B e scaricata in C.

Questi casi vengono risolti rispettivamente con:

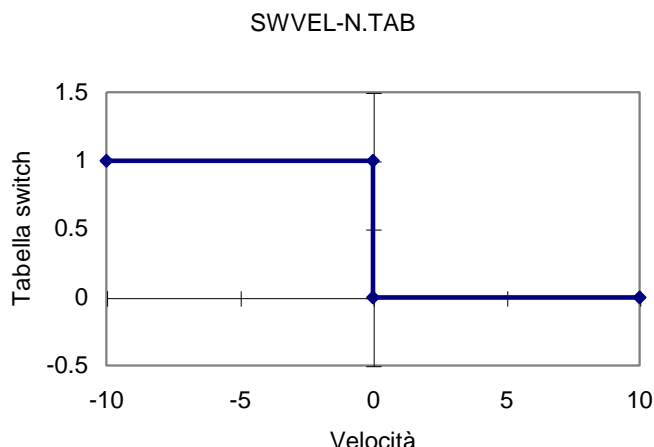
- 1) massa dipendente dalla **velocità**
- 2) massa dipendente dalla **posizione**
- 3) massa dipendente dal **tempo**

III - 5.3.1 Livello 2 - Massa dipendente dalla Velocità

In questo caso la massa presente sul nodo 3 viene trasportata A verso C e qui scaricata.

Per poter eseguire questa analisi è necessario utilizzare la tipologia di azione denominata Massa non costante (§ III.1.5.4.2) ed in particolare dipendente dalla velocità.

Per fare questo è necessario definire una tabella di *switch* che accenda e spenga la massa quando necessario. In questo caso si è fatta dipendere la massa dalla velocità relativa fra il nodo 3 ed il nodo 1. La tabella utilizzata è costituita da quattro righe ed è di seguito riportata con il relativo grafico.



SWVEL-N.TAB

-10	1
0	1
0.0001	0
10	0

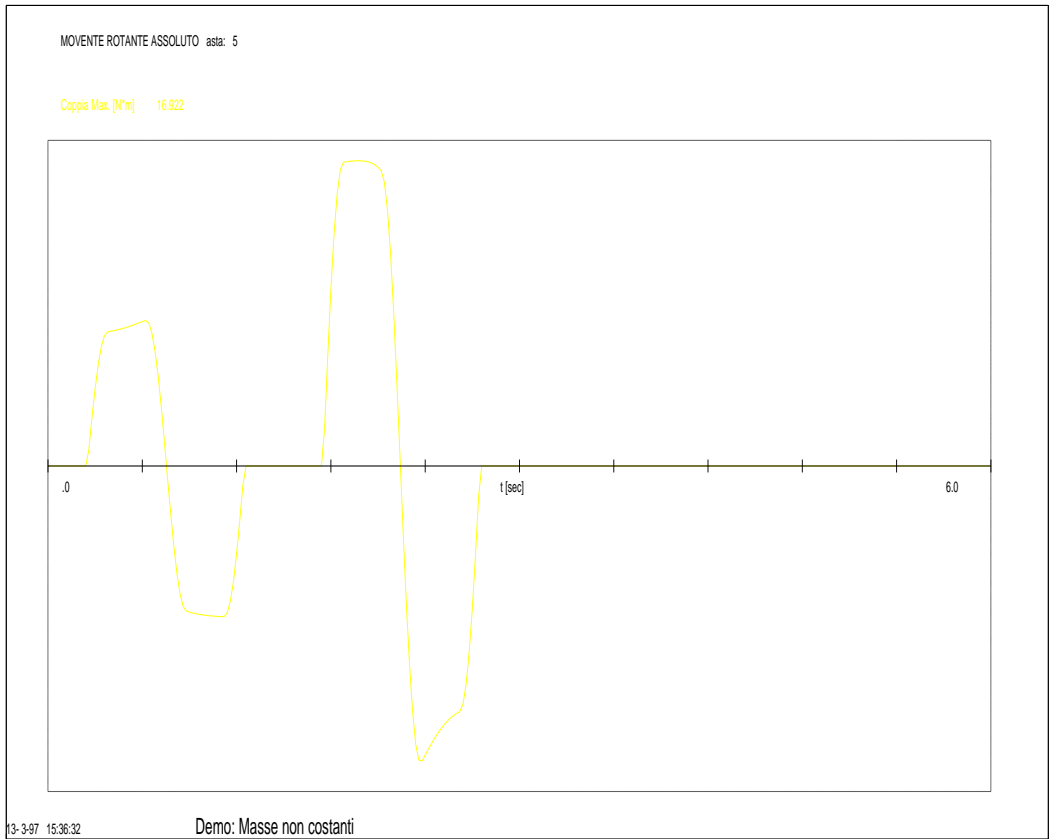
Nella tabella soprariportata sono stati introdotti i due punti ($V=0.$, $M=1.$) e ($V=0.0001$, $M=0.$) per simulare la discontinuità presente nella tabella per $V=0.$

Poiché il nodo 3 si avvicina al nodo 1, la tabella assumerà valore unitario durante la fase di avvicinamento (riduzione del vettore 1-3 \rightarrow velocità negativa) mentre avrà valore nullo durante la fase di allontanamento (estensione del vettore 1-3 \rightarrow velocità positiva).

Le operazioni da compiere per introdurre la massa non costante sono:

- costruire il file della tabella **SWVEL-N.TAB** utilizzando un comune editor (ad esempio il "Blocco Note" di Windows o "Edit" del DOS).
- selezionare [**Q**] dal menù principale (forze/coppie § III - 1)
- selezionare il sottomenù [**T**] (introduzione forze/coppie non lineari § III - 1.3)
- selezionare la voce [**M**] (massa non costante III.1.5.4.2)
- selezionare l'opzione [**3**] (massa dipendente dalla velocità)
- selezionare il nodo 3
- introdurre il valore della massa (50 kg)
- selezionare il nodo di riferimento (nodo 1)
- caricare la tabella (assegnando il nome del file senza estensione **SWVEL-N**)
- scegliere tra le modalità di interpolazione l'opzione **interpolazione lineare**
- scegliere la voce **costante** per l'andamento fuori campo di definizione della tabella.

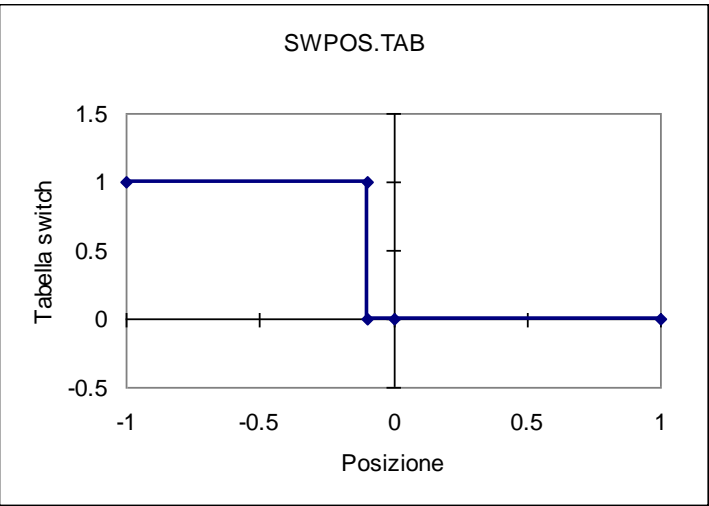
Nel grafico sotto riportato è indicato l'andamento della coppia sul movente. Si può osservare che correttamente il valore della coppia assume valore nullo dopo i primi tre secondi di analisi (fase di ritorno del carrello).



Coppia motrice agente sull'asta 8-9

III - 5.3.2 Livello 3 - Massa dipendente dalla Posizione

In questo esempio la massa viene caricata in B, trasportata in C e riportata in B dove viene scaricata. Per poter eseguire questa analisi è necessario utilizzare la tipologia di azione denominata Massa non costante (§ III.1.5.4.2) ed in particolare dipendente dalla posizione. Per fare questo è nuovamente necessario definire una tabella di *switch*. In questo caso si è fatta dipendere la massa dalla posizione relativa del il nodo 3 dal nodo 1. La tabella definita è di seguito riportata con il relativo grafico.



SWPOS.TAB

-1	1
-0.1005772	1
-0.1005771	0
0	0
1	0

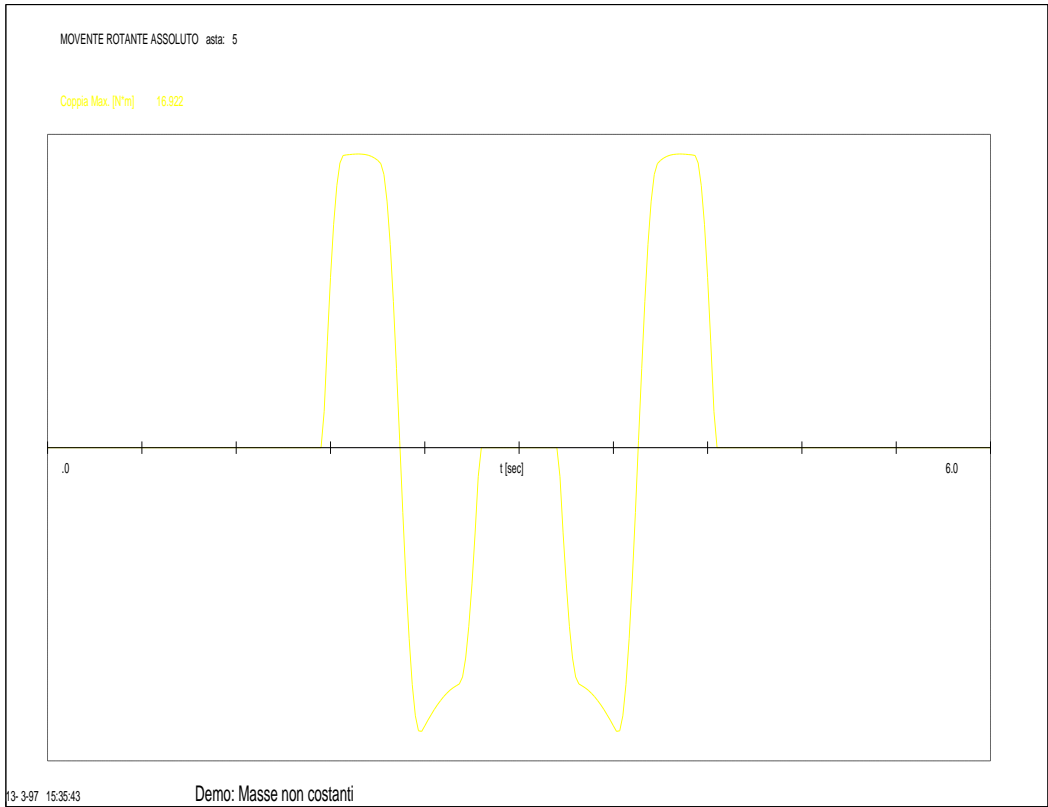
Riferendoci al grafico della legge di moto del nodo 3 riportato al § III - 5.1 si nota che il suo spostamento è negativo in quanto il vettore 1-3 si accorcia. Inoltre la prima stazione (punto B) corrisponde ad uno spostamento di -0.100577 m del nodo 3.

Durante la fase di avvicinamento del carro (nodo 3) alla stazione B il valore della massa deve essere nullo. In B viene caricata la massa di 50 Kg, trasportata in C, riportata in B e qui scaricata. Per simulare queste variazioni della massa trasportata, la tabella deve assumere valore nullo quando il carro si trova a destra del punto B (spostamenti maggiori, in segno, di -0.100577 e valore unitario quando il nodo 3 si trova a sinistra della stazione B (spostamenti minori di -0.100577). Anche in questo caso (vedi § III - 5.3.1) la discontinuità viene approssimata con un tratto in forte pendenza.

Le operazioni da compiere per introdurre la massa non costante sono:

- costruire il file della tabella (**SWPOS.TAB**) utilizzando un comune editor (ad esempio il "Blocco Note" di Windows o "Edit" del DOS).
- selezionare [Q] dal menù principale (forze/coppie § III - 1)
- selezionare il sottomenù T (introduzione forze/coppie non lineari § III - 1.3)
- selezionare la voce [M] (massa non costante)
- selezionare l'opzione [2] (massa dipendente dalla posizione)
- selezionare il nodo 3
- introdurre il valore della massa (50 kg)
- selezionare il nodo di riferimento (nodo 1)
- caricare la tabella (**SWPOS**)
- definire il preallungamento pari a 0.6 m (posizione iniziale)

Nel grafico sotto riportato è indicato l'andamento della coppia sul movente. Si può osservare che le azioni sulla manovella si hanno solo per il movimento da B a C e relativo ritorno in B.



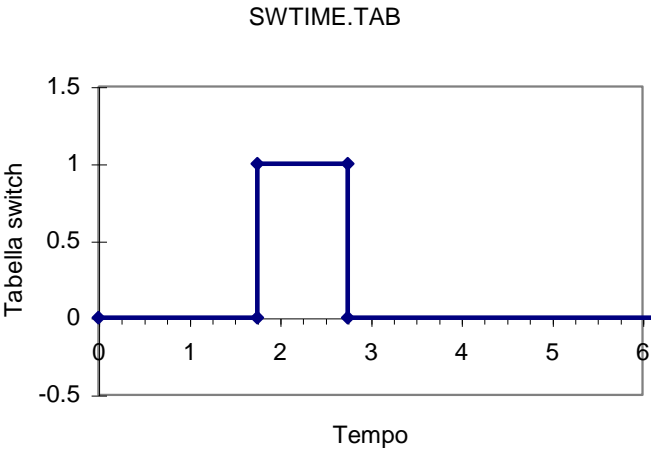
Coppia motrice agente sull'asta 8-9

III - 5.3.3 Livello 4 - Massa dipendente dal Tempo

In questo terzo esempio la massa è caricata in B e scaricata in C. Per poter eseguire questa analisi è necessario utilizzare la tipologia di azione denominata Massa non costante ed in particolare dipendente dal tempo.

Per fare questo è necessario definire una tabella di *switch*. In questo caso si è fatta dipendere la massa dal tempo. La tabella definita è di seguito riportata con il relativo grafico.

SWTIME.TAB

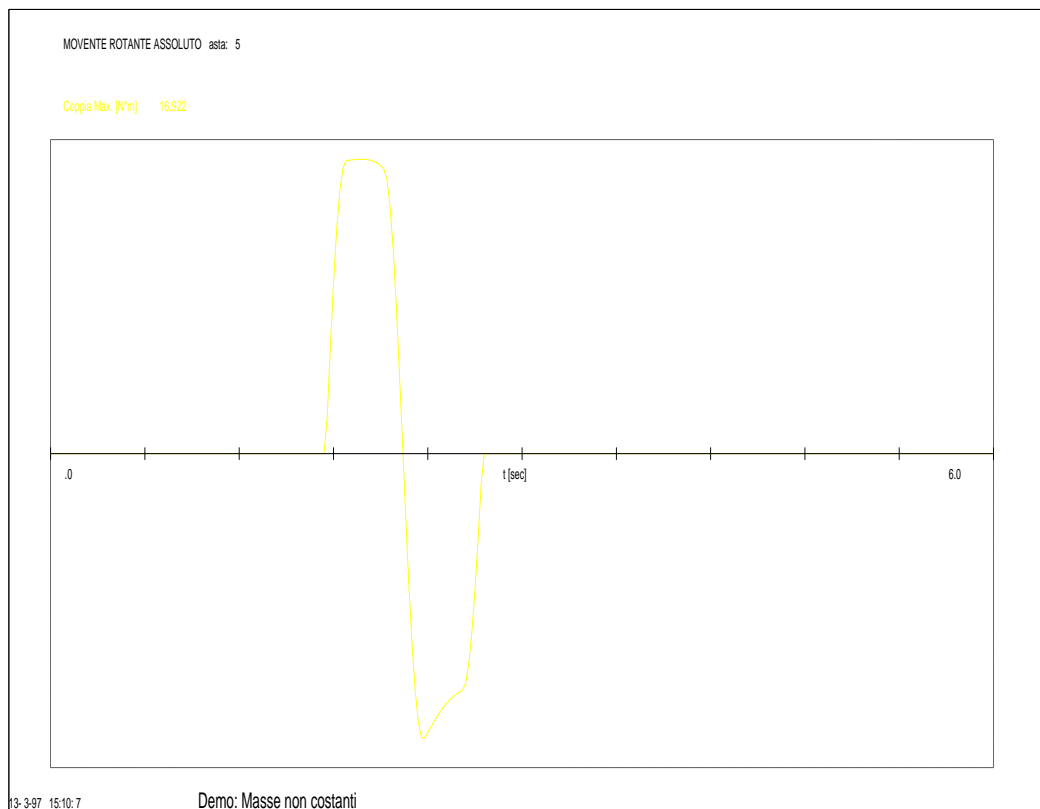


0	0
1.7499	0
1.75	1
2.75	1
2.7501	0
10	0

Le operazioni da compiere per introdurre la massa non costante sono:

- costruire il file della tabella (**SWTIME.TAB**) utilizzando un comune editor (ad esempio il "*Blocco Note*" di Windows o "*Edit*" del DOS).
- selezionare [**Q**] dal menù principale (forze/coppie § III - 1)
- selezionare il sottomenù T (introduzione forze/coppie non lineari § III - 1.3)
- selezionare la voce [**M**] (massa non costante)
- selezionare l'opzione [**1**] (massa dipendente dal tempo)
- selezionare il nodo 3
- introdurre il valore della massa (50 kg)
- caricare la tabella (assegnando il nome del file senza estensione **SWTIME**)

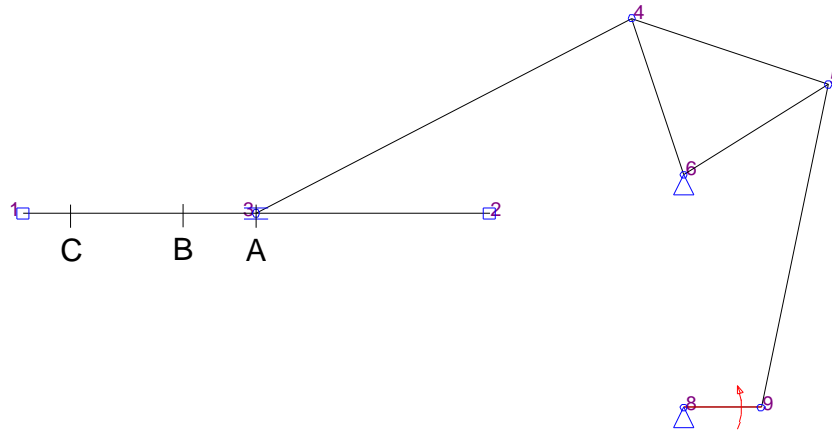
Nel grafico sotto riportato è indicato l'andamento della coppia sul movente. Si può osservare che le azioni sulla manovella si hanno solo per il movimento da B a C senza il ritorno in B.



Coppia motrice agente sull'asta 8-9

III - 5.4 Massa concentrata variabile - 2

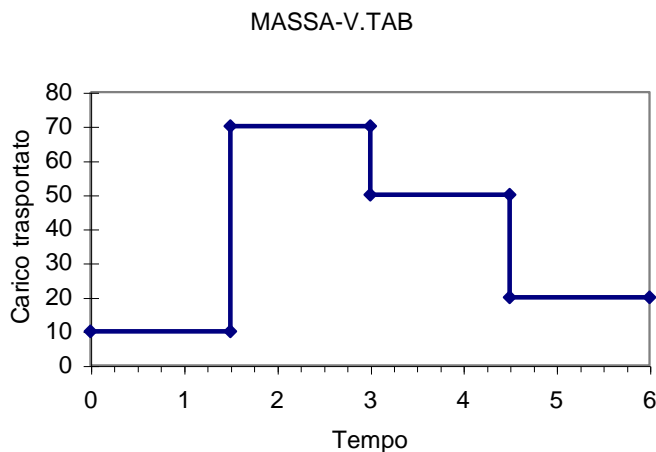
L'esempio riportato in questo paragrafo si riferisce allo stesso sistema articolato del paragrafo precedente. Illustra una seconda modalità di utilizzo delle masse dipendenti da parametri.



Demo: Masse non costanti

Con riferimento alla figura sopra riportata consideriamo il caso in cui il carrello indicato dal nodo 3 trasporti una slitta su cui in B viene in un primo tempo caricato un pezzo, poi entrambi vengano trasportati in C, qui il pezzo subisce una lavorazione che gli fa perdere massa, quindi vengano spostati nuovamente in B dove il pezzo viene scaricato dalla slitta a meno di un secondo supporto che viene portato in A e dunque scaricato dalla slitta.

Il diagramma sotto riportato indica, nel tempo come varia il carico trasportato dal nodo 3.



MASSA-V.TAB

0	10
1.5	10
1.5001	70
3	70
3.0001	50
4.5	50
4.5001	20
6	20

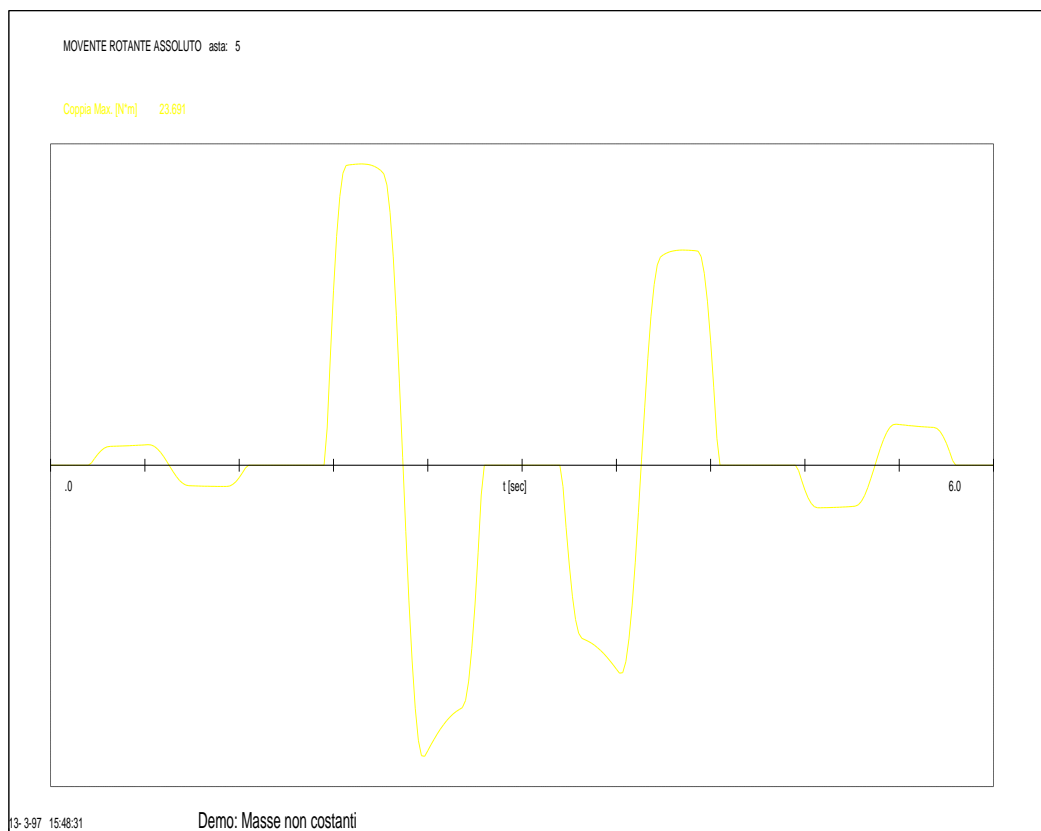
Le operazioni da compiere per introdurre la massa non costante, variabile nel tempo, sono:

- costruire il file della tabella (**MASSA-V.TAB**)
- selezionare [**Q**] dal menù principale (forze/coppie § III - 1)
- selezionare il sottomenù **T** (introduzione forze/coppie non lineari § III - 1.3)

- selezionare la voce [**M**] (massa non costante)
- selezionare l'opzione [**1**] (massa dipendente dal tempo)
- selezionare il nodo 3
- introdurre il valore della massa (1 kg)
- caricare la tabella (assegnando il nome del file senza estensione **MASSA-V**)

Si osservi che in questo caso la massa viene impostata al valore unitario mentre è la tabella ad impostare il valore corrente della massa complessiva.

Nel grafico sotto riportato è indicato l'andamento della coppia sul movente.



Coppia motrice agente sull'asta 8-9