

# UN NUOVO MODO DI PROGETTARE LA MOVIMENTAZIONE CONTROLLATA

La simulazione al calcolatore del funzionamento dell'intero sistema di movimentazione tramite l'utilizzo di software specialistici da parte dei progettisti con specifiche competenze nell'automatica garantisce il raggiungimento di elevate prestazioni del sistema controllato. Come esempio la progettazione di un sistema di movimentazione a tre assi

**S**ovente la realizzazione di un sistema di movimentazione viene effettuata quasi esclusivamente dal progettista della parte meccanica che, oltre ad occuparsi della progettazione dei cinematismi e della struttura di supporto, fissa anche i profili di coppia e velocità da imporre ai singoli assi, senza preoccuparsi se potranno essere effettivamente ottenute per raggiungere le prestazioni desiderate nella movimentazione. La realizzazione della movimentazione, ossia la scelta degli azionamenti e dell'altra strumentazione, viene per lo più lasciata al fornitore di fiducia. Quest'ultimo annaspa nella scelta mentre invece sarebbe certamente facilitato se gli venissero fornite informazioni più dettagliate sulle modalità di impiego degli azionamenti e sui reali profili di velocità e di coppia che devono essere imposti al carico per raggiungere le prestazioni desiderate.

Le difficoltà di dialogo sono però enormi, spesso insormontabili!

Il motivo di questa mancata integrazione delle competenze scaturisce dalle profonde carenze culturali nella mecatronica sia del progettista della parte meccanica sia del fornitore della componentistica.

Per tale motivo il progettista della parte meccanica preferisce realizzare la movimentazione esclusivamente con dispositivi meccanici e il fornitore di azionamenti applica criteri empirici e tradizionali per rendere operativa la movimentazione.

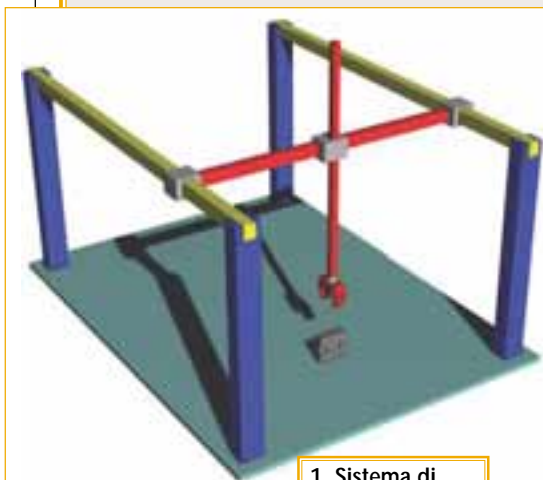
Molte volte l'applicazione di criteri empirici comporta effetti indesiderati, eliminati in genere sia con il sovradimensionamento della struttura meccanica di supporto e degli azionamenti sia con il degrado delle prestazioni dinamiche desiderate.

In ogni caso, la maggiore preoccupazione non è quella di ottimizzare il rapporto costo/prestazioni ma di fare credere all'utente finale che la soluzione proposta è l'unica valida e conveniente. Una progettazione sistematica è però ancora molto poco diffusa.

Perché dunque non affidare la progettazione del sistema di movimentazione ad un progettista dei sistemi di movimentazione, verificando che le sue effettive competenze non si limitino alla conoscenza per lo più superficiale delle prestazioni di alcuni azionamenti ma si estendano anche all'analisi del comportamento dinamico della movimentazione controllata e alla progettazione delle modalità di controllo più idonee e non solo a quelle più banali?

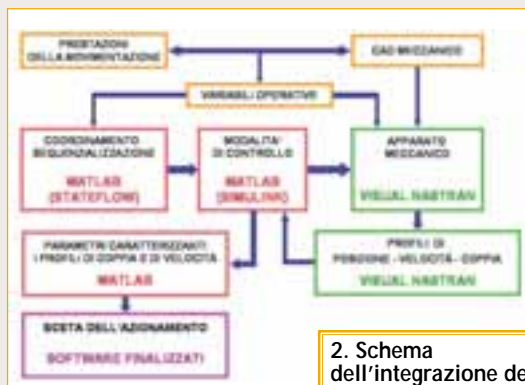
## UN ESEMPIO PRATICO

Per favorire la comprensione di quanto esposto viene fatto riferimento alla realizzazione del sistema di movimentazione a portale (figura 1). Il primo passo consiste nella progettazione dell'intera apparecchiatura tenendo conto in maniera dettagliata dei cinematismi, della struttura di supporto nonché della natura del carico. Tale passo può essere efficacemente affrontato con un



1. Sistema di movimentazione a portale.

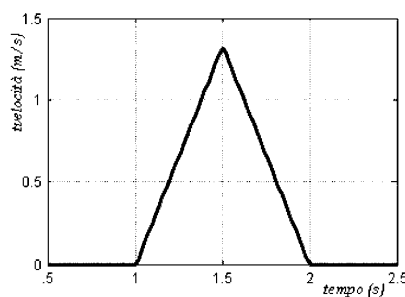
programma di simulazione dinamica tridimensionale basato sulla individuazione dei corpi rigidi e dei vincoli che realizzano la movimentazione, ad esempio con Visual Nastran 4D della MSC Software. In tale caso, la semplicità dell'interfaccia grafica permette di importare direttamente il progetto CAD della struttura meccanica del sistema di movimentazione e di svincolarsi dalla formulazione analitica del modello matematico delle singole parti. Anche se Visual Nastran permette di includere nella simulazione controllori sequenziali, grazie all'integrabilità con Matlab è possibile analizzare le modalità di coordinamento di un sistema di movimentazione complesso nonché quello di controllo dei singoli assi. Infatti Matlab è senza dubbio lo strumento software più indicato per la progettazione delle modalità di coordinamento e di



2. Schema dell'integrazione dei diversi software per la progettazione del sistema di movimentazione.

controllo. In particolare la toolbox Stateflow del Matlab consente di progettare le modalità di coordinamento di una movimentazione complessa mentre la toolbox Simulink quelle di controllo a livello locale al fine di ottenere la fedeltà di risposta che assicura il raggiungimento delle prestazioni desiderate. L'integrazione funzionale dei software consente pertanto di verificare la validità globale della progettazione del sistema di movimentazione. Una volta individuati i profili di

velocità e di coppia relativi ai singoli assi, una ulteriore elaborazione, mediante le istruzioni del Matlab, consente di ricavare il valore delle grandezze utilizzate per effettuare la

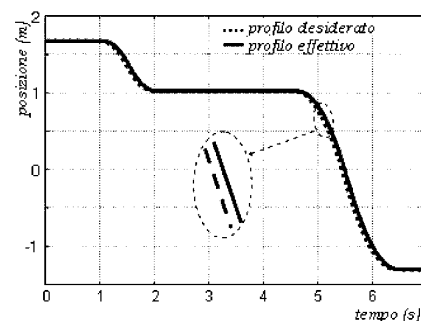


3. Profilo longitudinale di velocità da imporre al carico verificato con Matlab.

dell'azionamento utilizzando uno dei software specialistici che vengono messi a disposizione da alcuni costruttori di azionamenti.

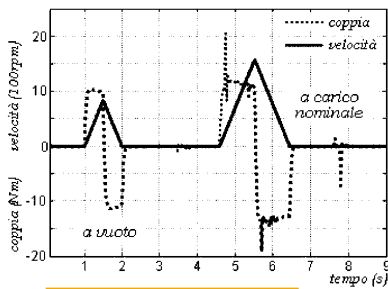
Nella figura 2 è schematizzato quanto detto sulla integrazione dei software. Sono facilmente individuabili i blocchi rappresentativi di Matlab, Visual Nastran e del software finalizzato alla scelta dell'azionamento nonché il loro ruolo nella simulazione in realtà virtuale.

Nel caso presentato come esempio, la simulazione ha messo in evidenza che lo scostamento tra le prestazioni desiderate e quelle ottenute è molto limitato. Per ottenere tale risultato è stato necessario



4. Profilo di posizione del carico.

effettuare una opportuna scelta della modalità di controllo della movimentazione e verificare che fosse compatibile con la modalità di controllo del motore, insita nell'azionamento. La simulazione in realtà virtuale ha permesso di effettuare tale verifica prima della realizzazione. Inoltre, tramite la simulazione è stato possibile verificare che la struttura di supporto fosse idonea a rendere operativa la movimentazione con le prestazioni desiderate. Infatti potrebbe accadere che le sollecitazioni sulla struttura siano tali da provocare effetti indesiderati durante il funzionamento. Nel caso particolare, il controllo della movimentazione è stato realizzato con un anello esterno di posizione ed uno interno di velocità. Nell'anello esterno è stato reso operativo un controllore di tipo proporzionale con feedforward di velocità, nell'anello interno un



5. Profilo di coppia e velocità.

controllore proporzionale e integrale con feedforward di coppia. Dalla simulazione possono essere ricavati tutti i profili coinvolti nella movimentazione nonché i valori di quelle grandezze che consentono di effettuare la scelta guidata dell'azionamento più idoneo.

A titolo di esempio, nella figura 3 è illustrato il profilo di velocità ricavato dalla simulazione, nella figura 4 l'andamento della posizione del carico e nella figura 5 sono illustrati i profili di velocità e di coppia relativi al funzionamento a vuoto e a carico nominale. Le prestazioni desiderate possono essere così sintetizzate: errore nullo di posizione a regime permanente, tempo di risposta al gradino inferiore a 0,6 secondi ed errore nell'inseguimento di una traiettoria a rampa lineare inferiore a 10 cm. Da tali profili vengono ricavate le grandezze caratteristiche per la scelta degli azionamenti, ossia: la potenza nominale e la velocità nominale, il valore medio e l'escursione massima della coppia e della velocità, nonché i profili di velocità validi per ottenere dalla movimentazione le prestazioni desiderate.

Disporre di tali informazioni trasforma completamente il modo di utilizzare il software di dimensionamento per la scelta dell'azionamento. Infatti tale approccio consente il passaggio da un utilizzo sprovveduto e passivo, che il più delle volte porta ad un precauzionale sovradimensionamento, ad un utilizzo consapevole ed attivo che scaturisce dalla possibilità di confronto fra varie soluzioni, al fine di ottenere movimentazioni in cui è stato realmente ottimizzato il rapporto costo/prestazioni.

## TENDENZE EVOLUTIVE

Nella progettazione di un sistema di movimentazione il primo passo consiste nell'individuazione degli obiettivi che devono essere raggiunti e che verranno via via tradotti nelle prestazioni richieste delle varie parti in cui può essere scomposto un sistema di movimentazione complesso. Inoltre, vanno definiti in maniera quantitativa i valori nominali delle variabili che qualificano la movimentazione, nonché le tolleranze ammesse rispetto ai valori nominali relativi al funzionamento a regime.

È doveroso sottolineare come sia l'integrazione delle competenze da parte del progettista della parte meccanica e del progettista della movimentazione a fissare in modo realistico le prestazioni che possono essere effettivamente raggiunte. Naturalmente è poi il costruttore del sistema controllato a fissare i vincoli economici, temporali, strategici.

Il progettista della struttura meccanica di supporto dovrebbe essere in grado di illustrare le particolarità del carico mentre quello del sistema di movimentazione, grazie alla sua professionalità nel settore, dovrebbe individuare le prestazioni globali che possono essere ottenute in funzione delle prestazioni dei singoli azionamenti e della modalità di controllo della movimentazione. Solo in tale modo è possibile ottimizzare la scelta della strumentazione in funzione del rapporto costo/prestazioni.

Rivolgersi a un professionista dei sistemi di movimentazione, a fronte di una spesa iniziale aggiuntiva, consente di ottenere prestazioni mai raggiungibili affidandosi ai metodi empirici e/o tradizionali, dal momento che è proprio la scelta adeguata degli azionamenti e della modalità di controllo ad avere il peso determinante sulle prestazioni globali di un sistema di movimentazione.

Ovviamente effettuare una scelta opportuna richiede competenze specifiche in diversi settori disciplinari, ma risulta gratificante se l'obiettivo è quello di ottimizzare le prestazioni globali. A conti fatti, il

maggiore onere finanziario per la progettazione della movimentazione può essere recuperato sia con una scelta più appropriata degli azionamenti e dell'altra strumentazione sia con una migliore efficienza del sistema di movimentazione.

In che modo è opportuno allora che operi un progettista dei sistemi di movimentazione?

La progettazione della movimentazione conviene che avvenga passando per la simulazione al calcolatore del funzionamento dell'intero sistema di movimentazione tramite l'utilizzo di software specialistici che consentano di simulare in una realtà virtuale il funzionamento dei cinematismi, l'elaborazione delle variabili coinvolte e la verifica di validità delle modalità di controllo applicate.

In questo modo diventa semplice osservare l'efficacia dell'azione di controllo prescelta e dimensionare opportunamente gli azionamenti senza ricorrere ad un sovradimensionamento precauzionale.

L'impiego di tali software presuppone però una buona conoscenza delle discipline che caratterizzano la mecatronica.

Infatti la simulazione consente di osservare direttamente se le specifiche imposte nella primissima fase di progettazione potranno essere raggiunte o meno, specialmente quando nella modellazione vengono prese in considerazione, oltre che le coppie dissipative, anche quelle di diversa natura che sono quasi sempre presenti nella movimentazione, nonché le non linearità dovute agli organi di riduzione e altre proprie di alcuni azionamenti.

Tutti questi fattori sono generalmente difficili da analizzare applicando approcci empirici o procedure basate su modelli dinamici eccessivamente semplificati e idealizzati.

In pratica, una volta verificata in simulazione la validità della struttura cinematica, di quella di supporto e delle modalità di controllo, durante le evoluzioni in realtà virtuale possono essere ricavati tutti i profili di posizione, di velocità, di

coppia che consentono di raggiungere le prestazioni desiderate prima di passare alla scelta degli azionamenti.

È inoltre possibile prendere visione di quale potrà essere il comportamento del sistema di movimentazione in condizioni operative che si discostano anche sensibilmente da quelle nominali nonché in condizioni critiche o di guasto. Solo con il supporto di una realtà virtuale attendibile può essere affrontato secondo approcci sistematici il problema del coordinamento degli allarmi e della diagnosi preventiva dei guasti. Una volta caratterizzate le prestazioni richieste agli azionamenti, per la loro scelta sono disponibili software specializzati di valido ausilio al progettista della movimentazione. Affrontare la progettazione attraverso la simulazione si traduce in modo immediato in un miglioramento del comportamento globale del sistema, ovviamente a patto che risulti attendibile la simulazione del comportamento dei singoli elementi che compongono un sistema di movimentazione complesso.

## CONCLUSIONI

L'approccio innovativo basato sulla simulazione in realtà virtuale dell'intero sistema di movimentazione nelle condizioni operative più significative può sembrare meno immediato di quello fondato sulla realizzazione e ottenuto dimensionando e scegliendo con criteri empirici l'azionamento e la modalità di controllo della movimentazione. In genere vengono preferite quelle più semplici in quanto possono essere rese operative senza particolari difficoltà.

In genere, seguendo tale procedura, il progettista della movimentazione accetta passivamente le prestazioni che riesce ad ottenere ed eventualmente cerca di migliorarle con il sovradimensionamento.

Molti imprevisti vengono infatti mascherati degradando le prestazioni dinamiche e di conseguenza l'efficienza della movimentazione. L'approccio innovativo consente di raggiungere prestazioni di qualità superiori e di evitare il sovradimensionamento degli azionamenti e la perdita di tempo per la messa a punto per tentativi di modalità di controllo di tipo empirico.

Con la simulazione la scelta dell'azionamento più opportuno è quanto mai adeguata alle problematiche tipiche della movimentazione, che sono collegate alle particolarità delle modalità di controllo scelte per la movimentazione, al tipo di azionamento e all'andamento dei profili di velocità.

Alla lunga, il maggiore onere finanziario immediato collegato alla progettazione della movimentazione si traduce in un risparmio durante l'esercizio! Infatti, per raggiungere la produttività prevista dal sistema di produzione, all'utente finale costa chiedere la modifica delle modalità di controllo della movimentazione di una sola macchina oppure acquistarne due controllate in modo convenzionale e poco efficiente?

---

A. De Carli, O. Marinelli,  
Dipartimento di Informatica e  
Sistemistica, Università degli Studi  
di Roma "La Sapienza".