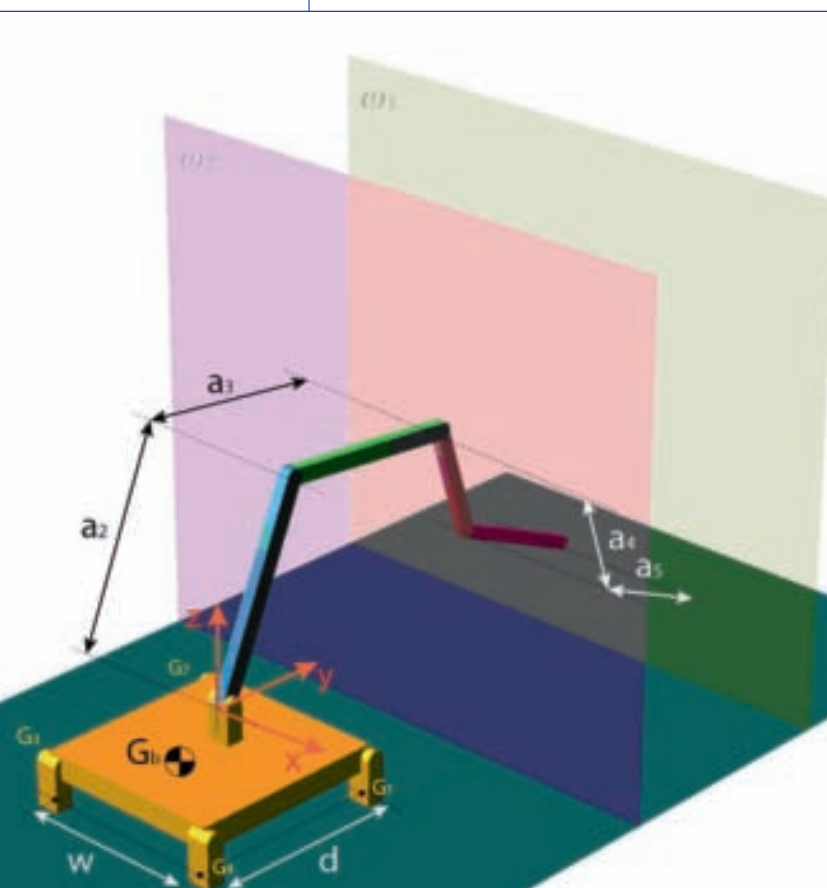


# SIMULAZIONE MULTIBODY PER LA STABILITÀ DI UNA MACCHINA OPERATRICE

A cura di Giovanni Albertario

**Monitorare il comportamento di una macchina operatrice significa poter prevenire situazioni critiche in fase operativa.**

**È questo l'obiettivo principale dell'analisi svolta presso il Dipartimento di Ingegneria Civile e Industriale dell'Università di Pisa, attraverso la simulazione software di un modello di macchina operatrice automatizzata destinata al mondo delle demolizioni.**



Esempio di modello cinematico preliminare, sviluppato in ambiente MSC Adams.

## PARTNERSHIP PER LA PROGETTAZIONE

Nell'ambito delle attività di ricerca condotte dal Dipartimento di Ingegneria Civile e Industriale dell'Università di Pisa (DICI) si colloca l'analisi relativa alla progettazione di un'innovativa macchina per le operazioni di demolizione.

“Si tratta di uno studio in linea con le molteplici tematiche affrontate nel nostro dipartimento che”, come precisa Francesco Frenzo, professore associato di Progettazione Meccanica e Costruzione di Macchine presso il DICI, “ha, tra le varie competenze, problematiche progettuali che vanno dalla resistenza dei materiali alla dinamica dei veicoli”.

Gli obiettivi della ricerca per una nuova macchina destinata al settore della demolizione sono riconducibili a una collaborazione in atto fra il DICI e la multinazionale giapponese Yanmar, azienda presente in Italia con un Centro Ricerche a Firenze e che vanta un ampio catalogo di soluzioni meccaniche, a partire da grandi motori fino a macchine per movimento terra e sistemi per la produzione di energia. La partnership con Yanmar si sviluppa su uno dei due filoni di ricerca avviati dal centro fiorentino, quello destinato al progetto di una nuova macchina per la demolizione, cui il dipartimento dell'Università di Pisa contribuisce, insieme ad altri partner, nello studio e definizione del braccio meccanico, considerandone le peculiarità funzionali e dimensionali predefinite dal progetto.

## OBIETTIVI DELLA RICERCA

La macchina da demolizione oggetto dello studio è caratterizzata da dimensioni contenute, per potersi muovere con disinvoltura in ambienti ristretti.

Per questa tipologia d'impiego essa deve presentare doti di versatilità e una moderna interfaccia operativa, senza tuttavia rinunciare alle prestazioni e al rispetto di rigorosi livelli di sicurezza.

Già nei primi contatti con i responsabili dell'azienda Yanmar il team del DIC1 acquisisce gli obiettivi progettuali, ovvero le specifiche tecniche che indirizzeranno le analisi per definire la struttura ottimale della macchina.

“Il nostro obiettivo”, spiega Francesco Frendo, “è stato quello di collaborare con l'azienda Yanmar nella definizione della struttura cinematica del sistema, stabilendo quindi il numero di elementi che compongono il braccio e la tipologia e l'orientamento dei giunti, al fine di assolvere i compiti funzionali richiesti cercando di ottimizzare alcune funzionalità operative”.

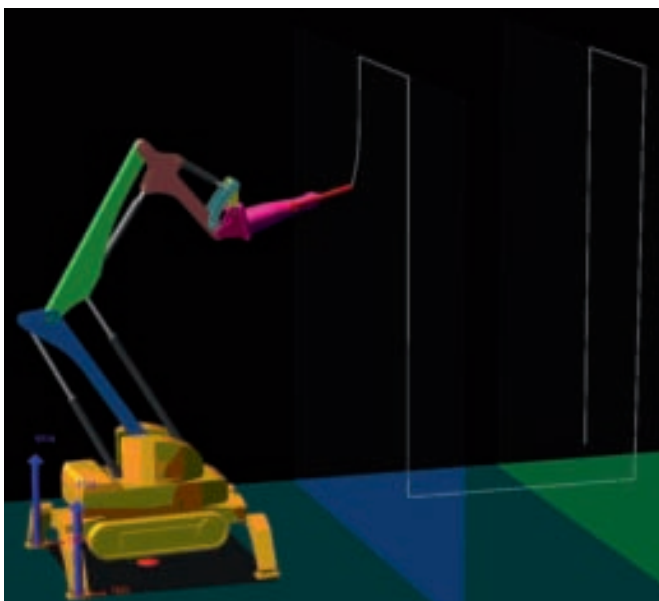
Funzionalità aggiuntive rispetto allo standard e caratteristiche innovative devono qualificare il progetto, mettendo la nuova macchina in condizione di poter svolgere compiti inediti, nel pieno rispetto dei principi di precisione operativa, semplicità ed ergonomia d'impiego, con un occhio attento anche alla riduzione dei consumi.

Trattandosi di una macchina da demolizione, una particolare attenzione deve essere posta alle condizioni operative e, soprattutto, ai rischi che ne derivano, come ad esempio quello del ribaltamento, quando la macchina si trova a lavorare su aree in pendenza o a causa di un uso inappropriato del braccio meccanico.

## SVILUPPO DELLA RICERCA

Sono stati delineati dei modelli parametrici della struttura del braccio, definendone i gradi di libertà e impostandone successivamente l'ottimizzazione attraverso una funzione obiettivo che tenesse conto di vari aspetti, dal peso del braccio alla potenza necessaria per svolgere le singole operazioni, nonché della manipolabilità e della flessibilità operativa.

Vari sono i modelli sviluppati sulla base di tali considerazioni, ciascuno con specifiche



Esempio di condizione di incipiente ribaltamento causato da una forza elevata all'utensile, in cui la forza di contatto sugli appoggi anteriori si è annullata.

caratteristiche cinematiche. Per ciascuno dei modelli architetturali così definiti viene ricercata una soluzione di ottimo.

La verifica di ciascuna ipotesi è stata successivamente svolta congiuntamente con i responsabili dell'azienda Yanmar, non solo per avallare l'efficienza funzionale del sistema ipotizzato, ma anche per tenere conto degli aspetti produttivi e di costo.

Si è giunti in questo modo alla scelta della struttura ottimale, da sottoporre a verifiche di dettaglio.

Le strutture concettuali sono state anche tradotte in un modello multibody, importato in ambiente MSC Adams per le verifiche di funzionalità, mediante simulazione virtuale delle possibili manovre operative.

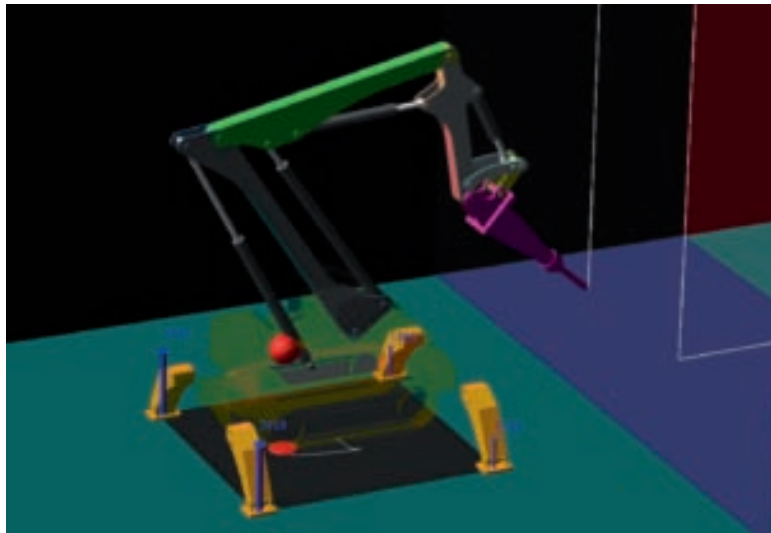
La simulazione virtuale con codice multibody è risultata molto utile anche per la validazione di alcuni algoritmi di monitoraggio della stabilità della macchina, per garantirne la resistenza al ribaltamento della macchina operatrice durante le operazioni di demolizione.

## MODELLO MULTIBODY IN AMBIENTE MSC ADAMS

Il modello multibody riproduce accuratamente la cinematica e, in maniera ragionevolmente approssimata, le caratteristiche inerziali relative alla struttura prescelta.

Seppur semplice da un punto di vista grafico, il modello consente di svolgere un'analisi funzionale accurata, preliminare alla successiva progettazione di dettaglio dei vari componenti.

Valutazione statica della stabilità della macchina operatrice applicabile se le forze esterne agenti sulla macchina sono ridotte e la macchina stessa si muove lentamente. Secondo l'approccio statico, se la proiezione del baricentro della macchina sul pavimento (rappresentata dal cerchio rosso) rimane all'interno della base (parte ombreggiata) la macchina è stabile.



valutare l'andamento delle principali grandezze meccaniche in gioco (forze, velocità ed accelerazioni) ed il livello di stabilità della macchina.

Si pensi ad esempio alle varie modalità con le quali una data operazione può essere svolta, agendo diversamente sugli attuatori presenti nel braccio. Particolare attenzione viene posta alla modellazione delle forze

In ambiente MSC Adams è infatti possibile gestire la parte grafica e svolgere simulazioni sul sistema meccanico così configurato.

La simulazione con il modello dinamico multibody in ambiente MSC Adams consente di

di contatto tra il suolo e gli stabilizzatori della macchina. Dopo aver assegnato all'utensile demolitore una traiettoria di lavoro è possibile analizzare diversi casi, evidenziando come la forza (modulo e direzione) di reazione applicata all'utensile abbia una notevole influenza sulla resistenza a ribaltamento della macchina.

Il livello di stabilità della macchina viene visualizzato nelle varie situazioni operative attraverso un indice di facile interpretazione.

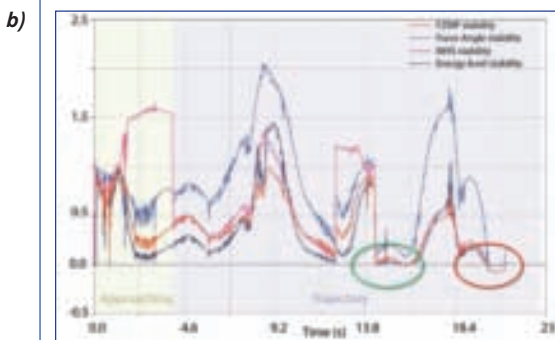
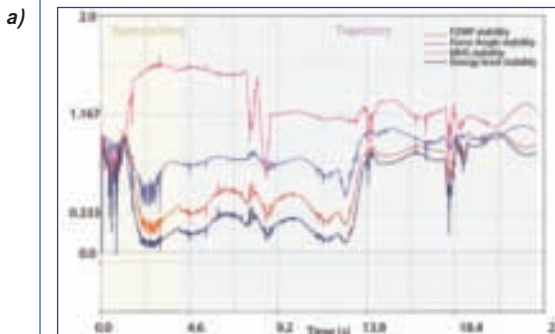
Si può immaginare ad esempio come, considerando una base quadrilatera con quattro appoggi agli angoli, l'analisi della stabilità possa essere condotta monitorando il valore della forza sugli appoggi ed osservando come, a fronte di una particolare operazione, si possa instaurare una situazione di incipiente instabilità per annullamento della forza di contatto a terra relativamente ad uno o più appoggi.

La visualizzazione delle forze a terra viene ottenuta grazie a specifici tool personalizzati in ambiente MSC Adams.

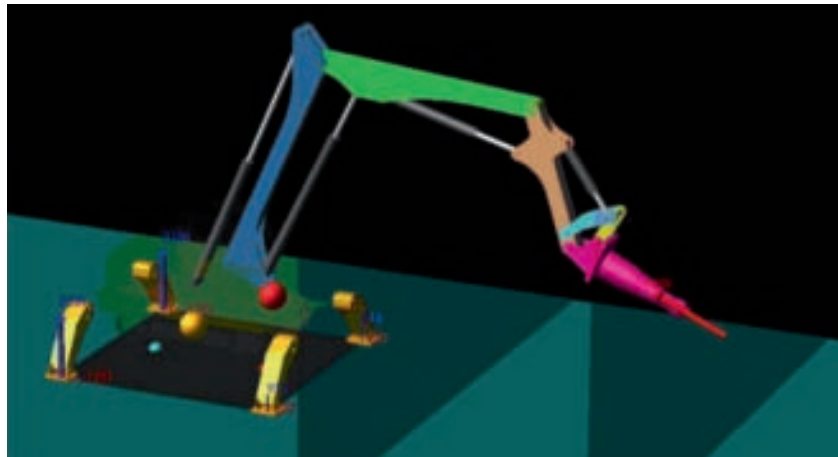
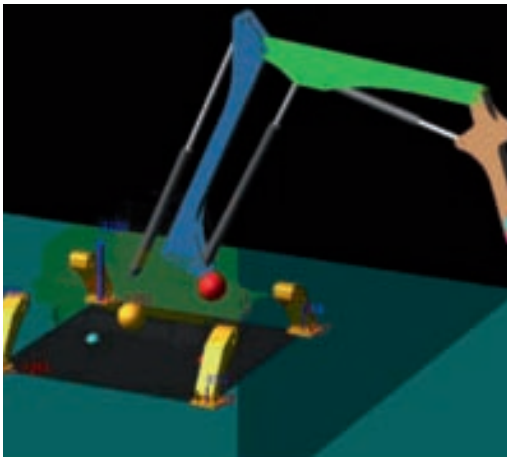
Applicati alle varie situazioni, gli algoritmi di monitoraggio della stabilità confermano l'importanza di definire degli indici dinamici rispetto a delle valutazioni unicamente statiche; infatti movimenti con elevate accelerazioni possono produrre azioni inerziali il cui effetto risulta determinante per prevenire il rischio di ribaltamento della macchina.

Attraverso la simulazione multibody in ambiente MSC Adams è possibile, in definitiva, analizzare il comportamento dinamico della macchina in varie condizioni operative e stabilirne i limiti di stabilità, senza dover ricorrere a prototipi fisici.

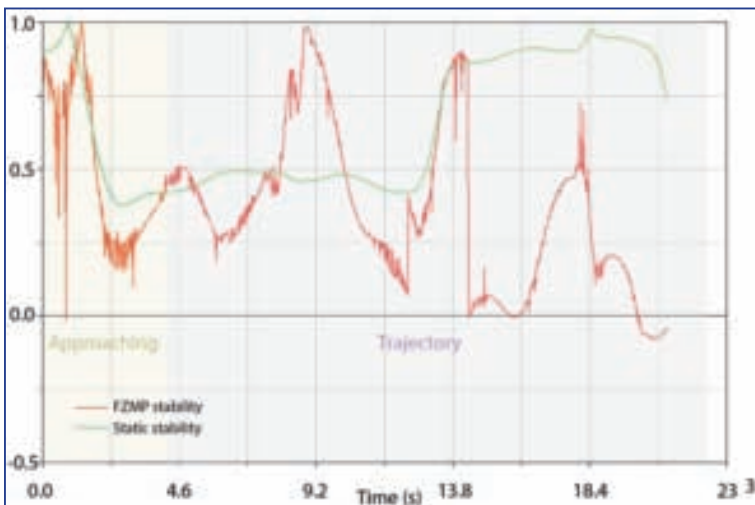
“Queste simulazioni”, sottolinea il Professor



Confronto tra diversi indici dinamici reperiti in letteratura per la valutazione della stabilità di una macchina operatrice. Figura a) - Macchina stabile, tutti gli indici presentano valore positivo durante la manovra. Figura b) - Gli indici evidenziano la condizione di incipiente ribaltamento all'interno dei cerchi verde e rosso, ove le forze di contatto a terra si annullano.



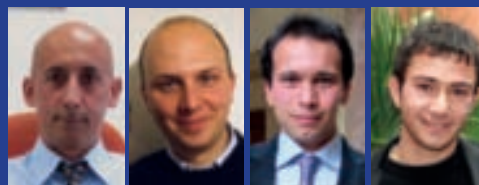
Confronto tra valutazione statica e dinamica della stabilità della macchina. La sfera color ciano considera anche gli effetti inerziali oltre alle forze esterne agenti sulla macchina. Essa dà una misura più veritiera della resistenza a ribaltamento rispetto alla valutazione statica (rappresentata dalla sfera color rosso). Finché la proiezione della sfera color ciano rimane all'interno della base (parte ombreggiata) la configurazione è stabile.



Confronto tra un indice dinamico ( FZMP ) e una valutazione statica della stabilità in presenza di elevati carichi esterni agenti sulla macchina. È evidente come una valutazione unicamente statica (basata sulla proiezione a terra del baricentro globale) non sia sufficiente a prevedere una condizione di instabilità della macchina. L'indice statico assume un valore sempre positivo diversamente da quanto mostrato dall'indice dinamico.

Francesco Frendo, “risultano particolarmente utili nel caso di macchine complesse, per le quali ogni verifica su prototipi fisici sarebbe economicamente molto onerosa”.

“Il progetto Yanmar”, conclude Francesco Frendo, “ha costituito un concreto esempio di collaborazione fra azienda e Università. Esso ha consentito di coniugare competenze complementari e avvalersi, per quanto ci riguarda, dell’approccio rigoroso che contraddistingue l’attività di ricerca svolta dalle nostre persone nello sviluppo di soluzioni meccaniche, con il supporto di avanzati ed efficaci strumenti di simulazione virtuale. Questi riducono i tempi di sviluppo progettuale e semplificano il processo di selezione fra possibili scelte alternative, a beneficio di un prodotto ottimizzato sotto il profilo funzionale ed economico”.



Il team progettuale, coordinato dal Professor Francesco Frendo, ha svolto un’accurata analisi delle richieste formulate dall’azienda Yanmar e, con il supporto di appropriate simulazioni software, ha formulato precise ipotesi sulla struttura cinematica ottimale per la nuova macchina da demolizione.

*Dalla sinistra: Prof. Francesco Frendo, Ing. Marco Gabiccini, Ing. Francesco Bucchi e Ing. Antonio Alba.*