

# Ottimizzazione Multi-Obiettivo

modeFRONTIER fornisce al progettista una piattaforma di ottimizzazione, dove possono essere combinati in modo sinergico strumenti CAD e CAE per analizzare le possibili varianti di un progetto e fornire uno spettro di soluzioni che ottimizzano una serie di parametri definiti come obiettivi o vincoli

**N**ell'ambito progettuale, si verificano situazioni in cui più parametri di un apparato devono essere ottimizzati contemporaneamente. In un approccio tradizionale, spesso basato sull'esperienza, dopo una prima soluzione sono analizzate le prestazioni, apportate le modifiche ed esaminata la nuova configurazione. Il rischio principale a cui si va incontro è che non si disponga di abbastanza tempo per vagliare tutte le possibilità in modo esaustivo. ESTECO propone una soluzione a questo problema con modeFRONTIER: una piattaforma dove il progettista, per prima cosa, definisce il problema indicando i parametri liberi modificabili attraverso l'ottimizzazione, specifica gli obiettivi che desidera massimizzare o minimizzare e quali sono i vincoli da rispettare; successivamente, relaziona queste informazioni attraverso gli strumenti software che tipicamente usa nella progettazione, indicandone gli input e gli output. Dopo queste impostazioni, modeFRONTIER si occupa di inizializzare opportunamente i parametri liberi, calcolare gli output attraverso i software specifici per l'applicazione e verificare il rispetto dei vincoli, procedendo in modo iterativo sotto la supervisione degli algoritmi di ottimizzazio-

ne facenti parte della piattaforma. I diversi strumenti software inseriti nel processo sono così eseguiti in sequenza, modificando i parametri liberi e generando uno spettro di soluzioni che soddisfano i vincoli desiderati, in modo che il progettista possa selezionare la soluzione ottimale tra quelle ammesse.

Una caratteristica molto importante di modeFRONTIER è quella di utilizzare in modo sinergico software di tipo diverso e di diversi produttori, abbinando, ad esempio, un sistema per il calcolo strutturale ad uno fluido-dinamico o utilizzato in ambito chimico. Per integrare software esterni, ESTECO propone due modalità diverse. Nella prima, denominata integrazione diretta, modeFRONTIER comunica direttamente con l'applicazione attraverso l'interscambio automatico di file o chiamate procedurali; nella seconda, ovvero per un'integrazione indiretta, un apposito wizard guida il progettista nella specifica dei dati da elaborare secondo una "ricetta" prestabilita, che abilita l'assegnamento e la lettura, rispettivamente, dei parametri liberi del problema e delle variabili di output da parte del processo di ottimizzazione.

Le diverse fasi operative sono implemen-

tate nell'interfaccia grafica di modeFRONTIER con tre ambienti (altrettanti tab sovrapposti), che separano le principali funzioni: in Workflow viene specificato il processo di ottimizzazione definendo le variabili di input e di output, i parametri liberi del problema e le modalità di interazione tra i diversi software che svolgono l'elaborazione; in Run Analysis è possibile controllare lo stato dell'esecuzione di ciascuna applicazione e i risultati parziali; infine in Design Space vengono analizzati i risultati ottenuti, proposti i valori degli obiettivi e viene fornita una serie di strumenti per l'analisi statistica dei risultati.

Nella descrizione che segue e nelle immagini proposte, si accenna all'ottimizzazione di un modello 3D parametrico realizzato con Catia, variando alcuni parametri dimensionali per ridurre il peso mantenendo sotto controllo lo stress meccanico computato con il CAE strutturale Abaqus, per il quale viene considerata un'ipotetica integrazione indiretta.

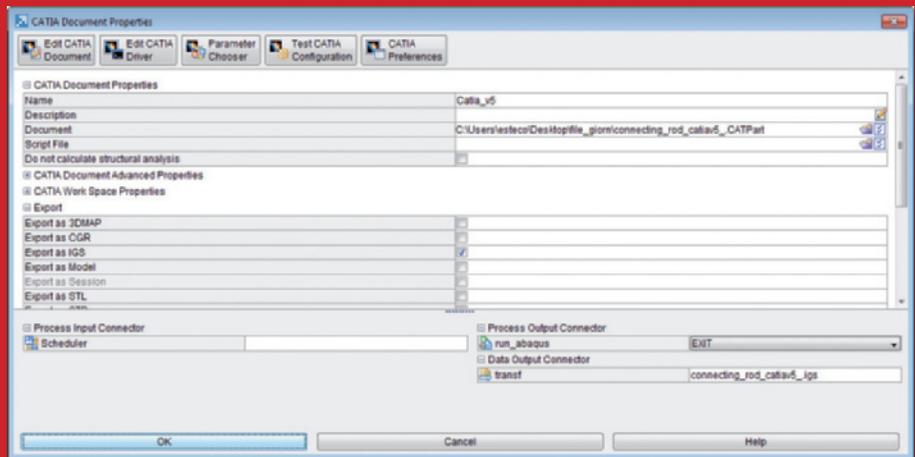
## Definizione del problema

La specifica dell'ottimizzazione da svolgere avviene nell'ambiente Workflow attraverso la stesura di un grafo. Nel suo sviluppo orizzontale è rappresentato il flusso logico o delle applicazioni da eseguire per valutare il design candidato, mentre nella direzione verticale è specificato il flusso dei dati, incluse variabili di input, output e obiettivi. Ciascuno di questi componenti costituisce

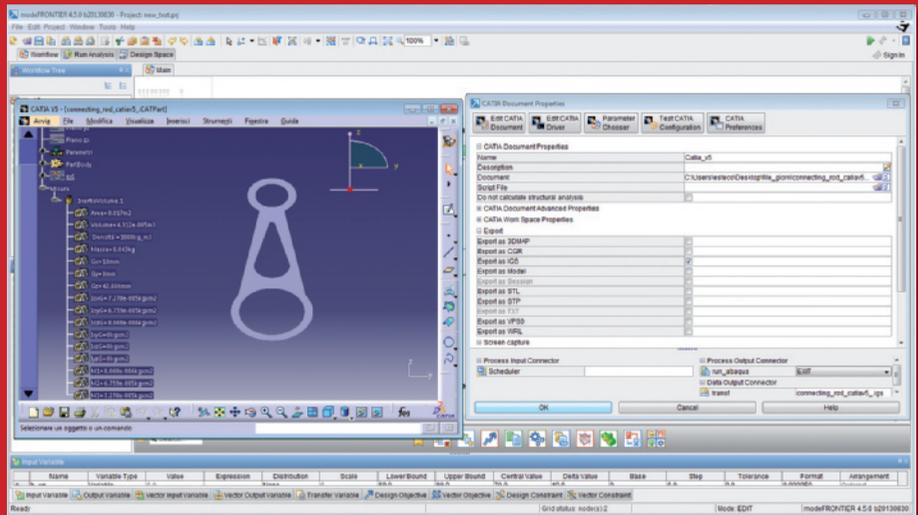


prodotti dal software stesso. Per semplificare questa l'attività, modeFRONTIER mette a disposizione una funzionalità dedicata proposta sotto forma di un dialog-box: vengono definite le regole di estrazione dei dati dai file e il relativo assegnamento alle variabili integrate nel flusso di ottimizzazione. Le regole permettono di analizzare il contenuto di un file testuale generico, con opzioni, ad esempio, per indicare la linea dove leggere il valore, per specificare la label identificante il dato, per ridurre la mole dei dati da analizzare (troncando la parte iniziale o finale di un file) e per definire il verso di lettura. La connessione, sia grafica che logica, tra i nodi applicativi avviene attraverso Transfer File, il componente che si occupa di implementare lo scambio di file tra i diversi software inseriti nel grafo. Con questo meccanismo, nel caso specifico, il file col modello geometrico generato da Catia è reso disponibile ad Abaqus in un formato compatibile tra i due sistemi.

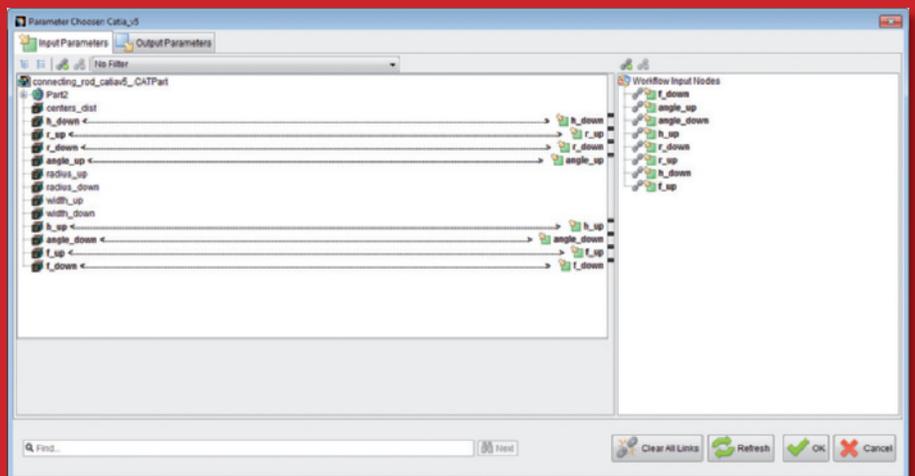
In un processo di ottimizzazione è di particolare importanza la configurazione iniziale delle variabili di input; questa operazione è svolta attraverso un apposito nodo, denominato DOE (Design Of Experiments). Nella relativa interfaccia di personalizzazione può essere scelto, ad esempio, di inizializzarle in modo casuale all'interno di range definiti, oppure adottare tecniche più raffinate che permettano una distribuzione uniforme nello spazio delle variabili di input. Nel caso si voglia procedere direttamente ad un'ottimizzazione, l'inizializzazione può avvenire in maniera causale, in quanto l'algoritmo di ottimizzazione è in grado di effettuare la selezione di design progressivamente migliori in termini di obiettivi e vincoli definiti nel problema. Al contrario, l'inizializzazione accurata dello spazio delle variabili di input diventa molto importante nel caso si voglia, come prima fase, operare un'analisi statistica per individuare, ad esempio, in che modo e quali variabili influenzano maggiormente gli obiettivi e i vin-



modeFRONTIER mette a disposizione numerose tipologie di nodi che implementano l'integrazione diretta di uno strumento CAD/CAE: il relativo dialog-box di personalizzazione accede direttamente al rispettivo database o fornisce una funzione di interscambio automatico di file



Con la modalità di integrazione diretta di modeFRONTIER l'utente è in grado di interagire direttamente col software, ad esempio richiamando la visualizzazione di un modello o selezionando interattivamente i parametri su cui agire



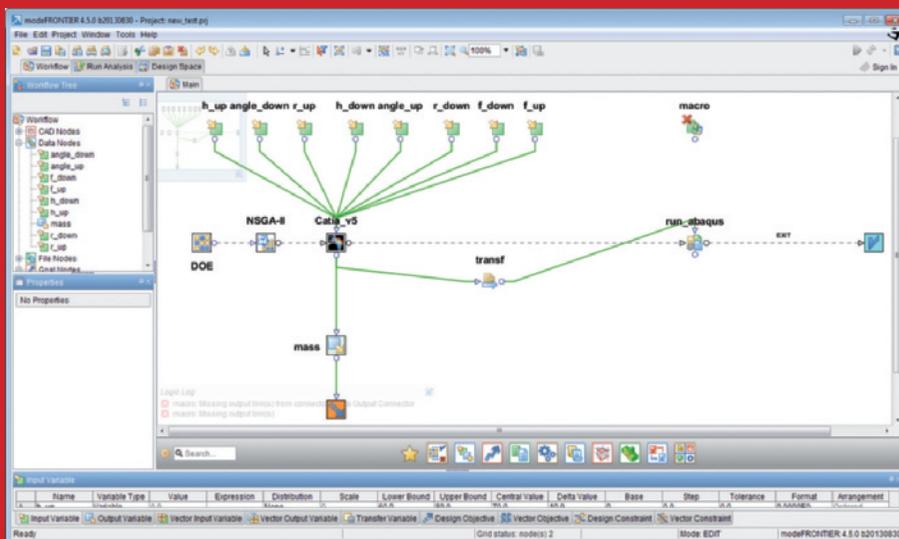
modeFRONTIER estrae i parametri dal modello solido parametrico in corso di ottimizzazione e li presenta all'utente: quelli selezionati e trasferiti sul lato destro del dialog-box sono estratti a livello grafico nel workflow e quindi diventano variabili di input/output dell'ottimizzazione

coli del problema.

Un altro nodo, di particolare importanza, consente di indicare l'algoritmo di ottimizzazione da applicare: l'elenco comprende un ampio spettro di quelli disponibili in letteratura; meritano una menzione quelli ispirati all'evoluzione genetica, molto robusti ed in grado di esplorare in modo efficiente lo spazio delle soluzioni, senza focalizzarsi su una specifica zona delle variabili di input, come conseguenza di una inizializzazione "infelice". Sono disponibili anche algoritmi a gradiente e ulteriori varianti miste ed euristiche, inclusa la possibilità di utilizzare algoritmi scritti dall'utente in Matlab o Scilab.

## Controllo dell'esecuzione

Come anticipato, un sistema come modeFRONTIER prevede l'esecuzione di numerose valutazioni di design e la conseguente generazione di una vasta mole di dati da analizzare in modo globale. Scopo dell'ambiente Run Analysis è quello di affrontare il primo problema, proponendo un'area di lavoro personalizzabile con dei gadget grafici per controllare il run in corso. Uno di questi è Engine Table: lo scopo è di riportare lo stato del design in corso di valutazione (l'utente può operare in contemporanea su più design), l'applicazione in quel momento attiva e il relativo tempo di esecuzione (incluso lo storico). Ogni design è annotato con un colore, per evidenziare quelli valutati con successo e se i vincoli sono stati soddisfatti. È possibile accedere anche alle directory e ai file creati da ciascuna applicazione durante l'esecuzione, in modo da risolvere eventuali malfunzionamenti dei software integrati e di avere un'anteprima dei risultati per i design valutati correttamente. Nel caso specifico, ad esempio, è possibile impostare il nodo Catia e Abaqus in modo che sia memorizzato uno screenshot della geometria creata e dello stato tensionale, per analizzare gli specifici andamenti ed eventualmente combinarli in un filmato.



Variable	Value	Expression	Distribution	Scale	Lower Bound	Upper Bound	Central Value	Delta Value	Base	Step	Tolerance	Format	Arrangement
57397	28695	1	1.09919E+03										
57398	28696	1	1.03154E+03										
57399	28697	1	828.715										
57400	28698	1	896.889										
57401	28699	1	851.696										
57402	28700	1	1.11242E+03										
57403													
57404													
57405	Minimum		3.18429										
57406	At Element		28897										
57407	Int Pt		1										
57408													
57409	Maximum												
57410	At Element												
57411	Int Pt												
57412													
57413	Total												
57414													
57415													
57416													

Lo scambio di informazioni tra i nodi del grafo avviene attraverso file o variabili. Queste ultime, rappresentate anche in una tabella riassuntiva, sono personalizzabili con una descrizione e un intervallo di variazione

Nel caso di integrazione indiretta, l'utente dispone di un dialog-box per specificare le regole di interpretazione di un eventuale file testuale generato dal software integrato, allo scopo di assegnare i valori alle variabili da passare a modeFRONTIER

M	CATEGORY	angle_d	angle_up	f_down	f_up	h_down	h_up	r_down	r_up
1	ULHL	1.05716E2	1.20711E1	5.52136E0	5.65338E0	4.48926E1	7.51168E1	1.32946E1	4.19980E0
2	ULHL	8.41026E1	8.18235E1	1.22986E1	3.15086E0	4.53086E1	7.87195E1	1.13456E1	4.28936E0
3	ULHL	1.48158E2	1.44618E2	8.53698E0	3.97258E0	4.36788E1	7.39558E1	1.40288E1	4.60318E0
4	ULHL	1.38568E2	7.8048E1	1.37828E1	8.80818E0	4.95578E1	6.59328E1	1.14168E1	5.67488E0
5	ULHL	1.41992E2	7.79548E1	8.84898E0	8.84898E0	4.28578E1	6.40448E1	1.18298E1	5.54388E0
6	ULHL	1.17348E2	7.58898E1	7.58548E0	3.62248E0	3.62278E1	6.80438E1	1.35028E1	3.04448E0
7	ULHL	1.22862E2	8.93428E1	1.18188E1	7.17328E0	4.44488E1	7.78818E1	1.01648E1	3.88588E0
8	ULHL	1.18162E2	1.02442E1	1.33568E1	4.28878E0	3.48848E1	6.14288E1	8.05868E0	8.90878E0

La configurazione delle variabili di partenza fornisce a modeFRONTIER uno stato iniziale per l'ottimizzazione: è possibile indicare, ad esempio, una modalità di inizializzazione casuale oppure una distribuzione uniforme nello spazio delle variabili di input

## SCHEDE TECNICA

**Sistema:** modeFRONTIER 4.5

**Produttore:** ESTECO S.p.A - Area Science Park, Padriciano 99 - 34149 Trieste – Tel. +39 040 3755548 – Fax. +39 040 3755549

**URL:** <http://www.esteco.com>

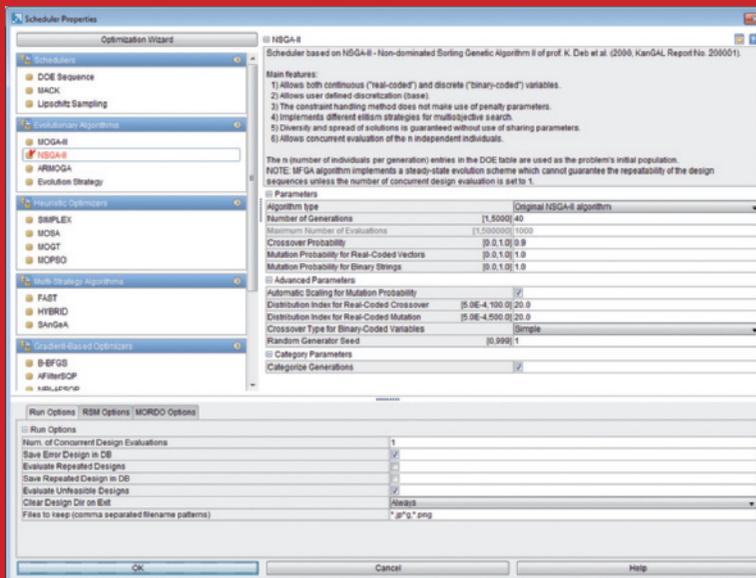
**E-mail:** [info@esteco.com](mailto:info@esteco.com), [ferro@esteco.com](mailto:ferro@esteco.com)

**Requisiti minimi di sistema:** Intel(R)

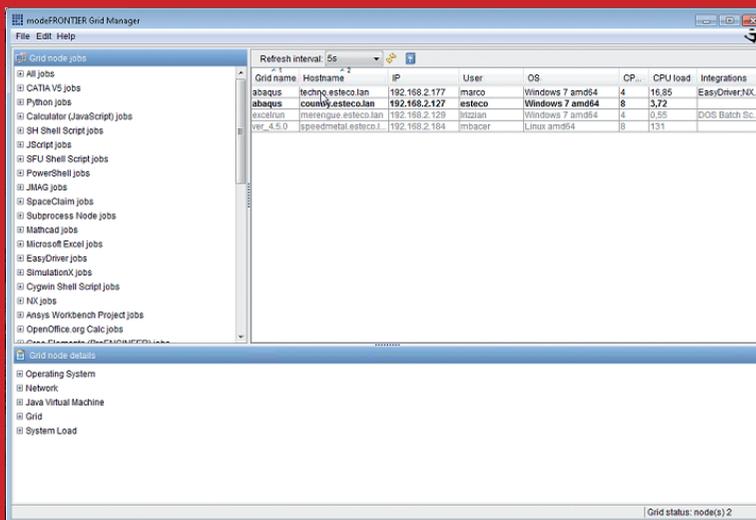
Core™ i7 CPU 2.6GHz o superiore, 4GB di RAM, sistema operativo Windows 7 64bit o successivi, scheda grafica con risoluzione 1920x1084

## Selezione dei risultati

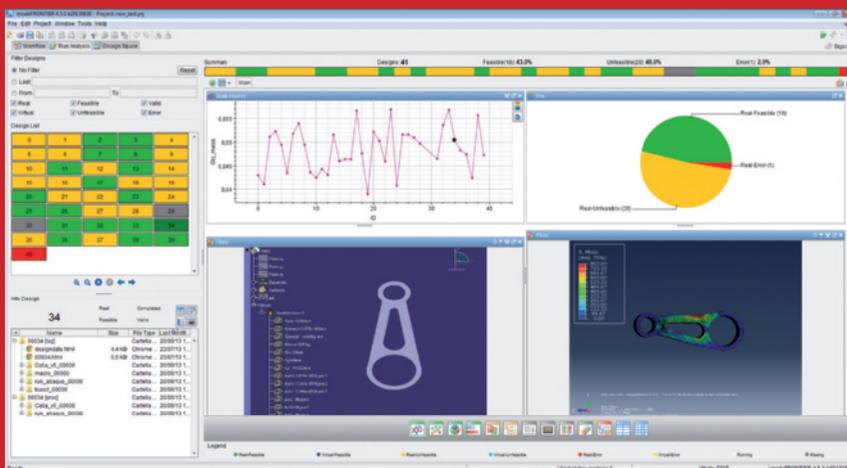
Col procedere dell'esecuzione e col crescere del numero dei design valutati, nell'ambiente Design Space si possono valutare le possibili opzioni. Bisogna tenere presente che, nel caso di un'ottimizzazione multi-obiettivo e multi-disciplinare, non si può parlare di una singola soluzione, ma più propriamente di un insieme ottimale tra cui non è possibile scegliere, in quanto un design migliore per uno o più obiettivi del problema, è peggiore per almeno uno degli altri. Queste soluzioni si collocano su un fronte, usualmente denominato Fronte di Pareto, che può essere evidenziato facilmente, attraverso una specifica opzione, in ogni grafico disponibile nell'ambiente Design Space. Esistono, infatti, diversi tipi di grafici che permettono di rappresentare i risultati dell'ottimizzazione in modo monodimensionale (History Chart), bi/tri-dimensionale (Scatter Chart) e multidimensionale (Bubble Charts, Parallel Coordinates). modeFRONTIER mantiene la sincronizzazione tra tutti i grafici creati: i risultati selezionati in un qualunque grafico sono automaticamente riportati su tutti gli altri, in modo da esplorare in modo efficiente i design valutati ed evidenziare le possibili alternative di progetto. In aggiunta, con la funzionalità MCDM (Multi Criteria Decision Maker) il progettista può formalizzare il processo di valutazione soggettiva successivo all'ottimizzazione, che consiste nello scegliere la soluzione migliore una volta introdotti criteri aggiuntivi per classificare i design calcolati. Tra due soluzioni facenti parte del Fronte di Pareto,



L'utente può selezionare l'algoritmo di ottimizzazione tra una lunga serie, che comprende algoritmi genetici, di tipo a gradiente, euristici e misti. Ogni algoritmo è personalizzabile e pilotabile con specifiche opzioni ed è prevista la possibilità di integrarne di proprietari



I software integrati nel flusso di ottimizzazione non devono essere necessariamente installati ed eseguiti sulla stessa macchina dove è in esecuzione modeFRONTIER: l'utente può indicare quale sistema della rete aziendale può essere sfruttato ed eventualmente segnalare la possibilità di utilizzare una grid computazionale



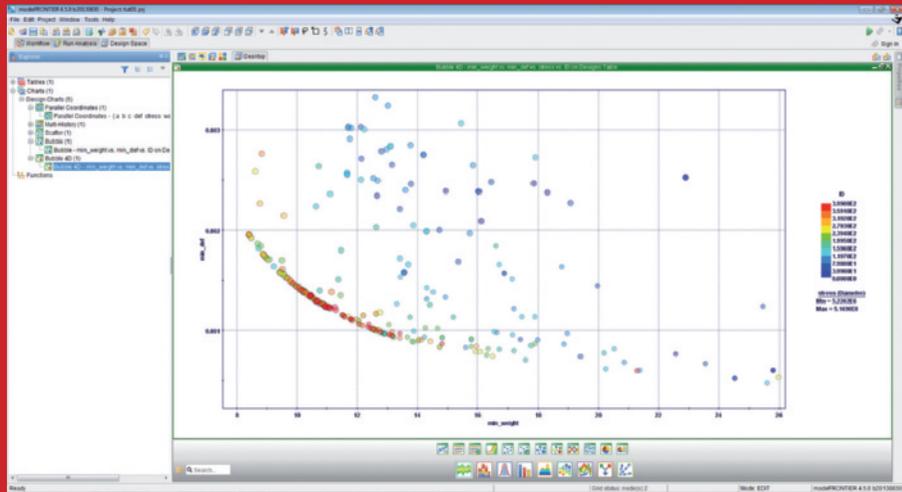
Il controllo dell'esecuzione è affidato all'ambiente Run Analysis, popolabile con diversi gadget grafici che permettono di controllare quale design e applicazione sia in elaborazione, con annotazioni cromatiche per riportare lo stato della valutazione

potrebbe, ad esempio, essere selezionata quella che ha un certo obiettivo più alto, introducendo un criterio di preferenza tra gli obiettivi del problema (non più considerati equivalenti): queste impostazioni permettono alla funzione MCDM di classificare i design in modo congruente. In generale, questo approccio consente di svolgere una fase di post-elaborazione sulla popolazione di design valutati appartenenti al fronte di Pareto, senza dover rieseguire l'intero processo o elaborando ipotesi che possano essere codificate in un secondo momento.

Tra i vari strumenti di post processing, modeFRONTIER offre anche la possibilità di costruire delle funzioni matematiche, denominate Superfici di Risposta, partendo da un database iniziale (database di training), che può provenire da design calcolati attraverso il Workflow o importati da tabelle esterne. Le Superfici di Risposta, create attraverso un processo di interpolazione, forniscono un modello matematico semplificato in grado di calcolare rapidamente gli output corrispondenti ad un set di variabili di input non disponibile nel database di training. Nella versione 4.5, la validazione delle varie superfici, create utilizzando algoritmi differenti (Polinomiali, Radiali, Reti Neurali, Kriging), può essere eseguita attraverso uno strumento che confronta le prestazioni delle diverse superfici con i dati reali disponibili in una tabella di riferimento.

Occorre sottolineare che l'algoritmo di ottimizzazione FAST presente in modeFRONTIER permette di creare automaticamente le Superfici di Risposta e di utilizzarle in fase di ottimizzazione. In questo caso la loro creazione, validazione e applicazione avviene in modo automatico, senza l'intervento dell'utente: l'unico effetto riscontrato è la generazione dei design del Fronte di Pareto molto più velocemente, cioè con un numero di valutazioni di design reali inferiore a quello di un algoritmo di ottimizzazione classico. ■

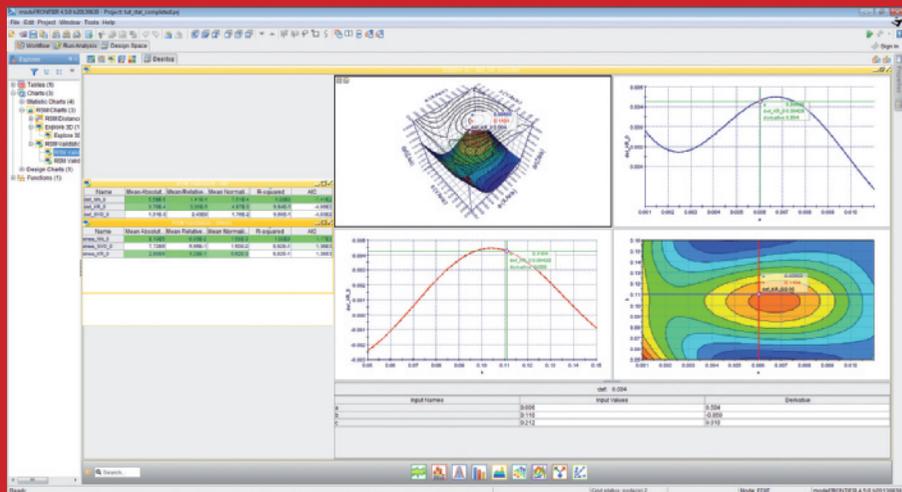
© RIPRODUZIONE RISERVATA



Dal grafo Bubble Chart traspare in modo evidente il Fronte di Pareto delle soluzioni che soddisfano i vincoli impostati: l'utente può selezionarne una e accedere ai dati progettuali da essa rappresentati



Per vagliare le soluzioni è disponibile, ad esempio, il grafo Parallel Coordinate. Le variabili di input e output selezionate sono mostrate verticalmente e ogni design è rappresentato da una poli-linea, che viene colorata in base al valore della variabile selezionata



Con la versione 4.5 è stato introdotto il concetto di Superfici di Risposta, per valutare più rapidamente - attraverso l'interpolazione di una popolazione di dati esistente - una nuova configurazione del design: viene drasticamente ridotto il cycle time per progetti che richiedono un significativo tempo computazionale