

COMSOL - Le analisi multifisiche aiutano a proteggere il nostro passato

Studenti e consulenti collaborano per migliorare l' "ambiente costruito" e salvaguardare strutture e manufatti storici grazie alle app di simulazione.

C'è sempre un margine di miglioramento per le cose create da noi esseri umani, e non vi è nulla di più vero se pensiamo al cosiddetto "ambiente costruito", termine usato per indicare lo spazio fisico edificato dall'uomo, in cui viviamo, lavoriamo e trascorriamo il nostro tempo libero.

L'ambiente costruito include qualsiasi cosa, dalle grandi aree metropolitane fino agli edifici privati, i parchi, le strade e tutte le infrastrutture con cui abbiamo a che fare nel corso della nostra vita. Sebbene spesso non lo percepiamo come uno spazio dinamico, l'ambiente costruito viene continuamente influenzato da una miriade di processi legati a diversi fenomeni fisici, come il trasferimento di calore, i flussi d'aria e il trasporto di umidità, che si verificano su scale diverse (Figura 1).

La capacità di modellare e simulare con precisione questi processi può portare miglioramenti significativi in molti ambiti rilevanti, come l'efficienza energetica, la salute e la sicurezza, i costi di gestione, la durata nel tempo e, in particolare, la conservazione del patrimonio storico.

Profondamente impegnato in questo lavoro è Jos van Schijndel, fondatore dell'azienda di consulenza CompuToolAble, con sede in Olanda, e professore assistente alla Eindhoven University of Technology, dove è specializzato in modellazione matematica della fisica delle costruzioni.

"Per me è fonte di gioia e di energia lavorare su progetti che non solo

coinvolgono ricerche all'avanguardia, ma sono anche importanti per la società e possono essere d'ispirazione per i miei studenti," racconta van Schijndel. "Ho creato CompuToolAble per mettere a disposizione dei clienti la nostra esperienza nell'ambito della matematica avanzata e degli strumenti computazionali e per offrire l'opportunità di eseguire esperimenti numerici complessi, che consentano di realizzare progetti innovativi e ottimizzarne la performance."

Nella sua attività di consulente e docente, van Schijndel ha spesso la necessità di rendere accessibili idee complesse ai suoi clienti, che non sono esperti di simulazione, o ai suoi studenti, che stanno ancora imparando a modellare e simulare. Come utente del software COMSOL Multiphysics, van Schijndel può sfruttare l'Application Builder, che gli permette di costruire interfacce utente intuitive basate su un modello realizzato in COMSOL. Questo gli consente di collaborare in modo efficace, in qualità di esperto di simulazione, con clienti e colleghi di altre organizzazioni e dipartimenti.

Le app semplificano l'uso della simulazione numerica

Ai suoi clienti van Schijndel offre la possibilità di effettuare analisi numeriche e test tramite queste interfacce utente personalizzate, dette anche "app", costruite a partire da modelli realizzati in COMSOL. Per un utente che non ha mai usato prima un software di simulazione o che non ha il background tecnico per creare un modello, le app rendono più semplice eseguire test virtuali su diverse modifiche di

FIGURA 1 - Da sinistra a destra, le immagini mostrano le diverse scale di strutture che riguardano l'ambiente costruito, da vaste distese territoriali fino ai materiali utilizzati per realizzare una finestra



progetto basate su esigenze specifiche.

In ambito universitario, van Schijndel usa lo stesso software per introdurre gli studenti alla simulazione multifisica e alla progettazione di app. L'uso delle app di COMSOL offre agli studenti una iniziale via d'accesso alle analisi numeriche e ai sistemi fisici, prima di procedere alla costruzione da zero dei propri modelli. Una volta raggiunta una sufficiente familiarità con i concetti e le tecniche di modellazione, possono infine creare le proprie app con l'Application Builder, ampliando ulteriormente le proprie conoscenze e le capacità generali di analisi.

"L'Application Builder è molto importante per me, in due modi diversi," spiega van Schijndel. "In università, è una sfida continua motivare gli studenti a usare la propria creatività e il proprio ingegno, prima che si 'immergano' troppo in profondità nella modellazione mate-



FIGURA 2 - A sinistra, il Castello di Amerongen è un esempio di struttura storica soggetta nel tempo agli effetti potenzialmente dannosi di sollecitazioni dovute al calore e all'umidità. Questo riguarda sia l'edificio stesso sia i tesori che il castello contiene, come la porta dell'armadio sulla destra (fonte: Rijksmuseum Amsterdam)

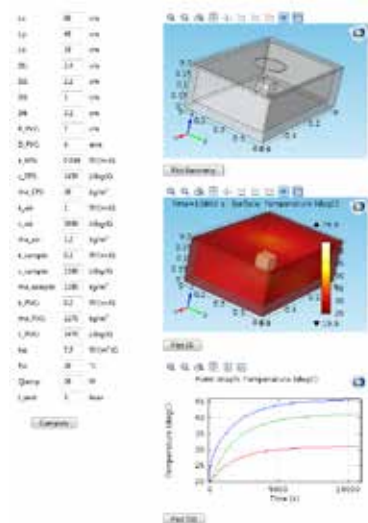


FIGURA 3 - Gli utenti delle app possono esplorare una varietà di progetti e ipotesi operative, come diversi parametri della geometria o differenti proprietà dei materiali

matica. Ora, però, posso realizzare facilmente app di simulazione coinvolgenti, costruite unicamente con le caratteristiche che voglio far esplorare ai miei studenti. Poi, solo dopo che hanno avuto l'opportunità di 'giocare' con le app per analizzare le fisiche coinvolte e comprendere gli effetti prodotti da diverse modifiche, possiamo inoltrarci nei dettagli del lavoro".

"Per quanto riguarda il contesto aziendale," continua van Schijndel,

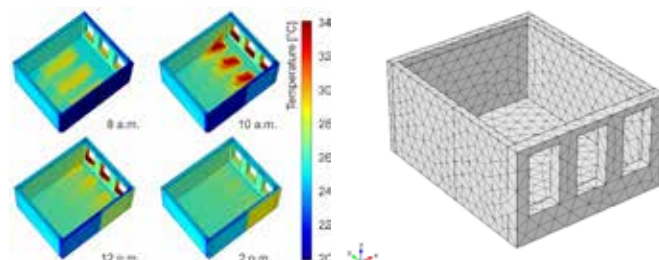


FIGURA 4 - Simulazione numerica, realizzata con il software COMSOL, della distribuzione della temperatura sul pavimento e sulle pareti di una stanza in diversi momenti del giorno. Il calore proviene dall'irraggiamento solare che passa attraverso le finestre quando la luce entra nella stanza

"capita spesso che qualcuno abbia bisogno di simulazioni numeriche per valutare l'impatto dei processi fisici sui propri prodotti, pur non avendo sufficiente esperienza o interesse nella costruzione diretta dei modelli. Con l'Application Builder posso creare un'interfaccia utente specifica basata su modelli numerici avanzati e fornire a queste persone solo i parametri di loro interesse. Questo preserva anche dal rischio di errori, perché lavoriamo tutti dallo stesso punto di partenza." Una app può essere utilizzata da chiunque ne abbia bisogno, tramite un web browser o un client scaricabile che permette di collegarsi a COMSOL Server (come mostrato dal particolare della app, nello screenshot in Figura 3).

Le analisi multifisiche aiutano a conservare il patrimonio storico

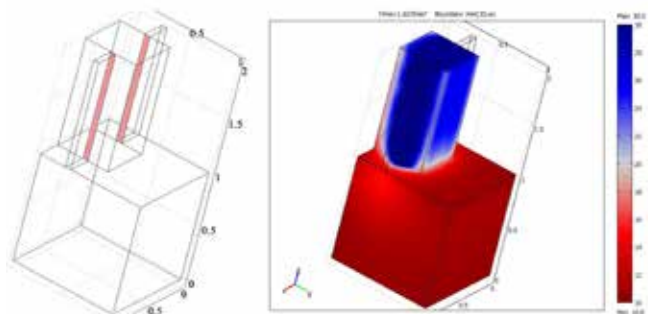
Quando si ha a che fare con la conservazione di edifici storici e dei manufatti che essi contengono (Figura 2), è imperativo esaminare l'impatto combinato del trasferimento di calore, del flusso d'aria e del trasporto di umidità, per riuscire a mitigare gli effetti deleteri di questi fenomeni. Livelli fluttuanti di temperatura e umidità possono intensificare gli sforzi e le deformazioni cui oggetti e strutture storiche sono sottoposti, e che a loro volta possono portare a distorsioni, rotture, variazione di dimensioni e danni di altro genere. Avere una migliore comprensione delle dinamiche di questi processi e di come essi si verificano può aiutare a rendere più efficaci gli interventi di conservazione.

Van Schijndel ha creato e supervisionato la creazione di molti modelli COMSOL riferiti alla conservazione degli edifici e dei manufatti storici, in stretta collaborazione con il collega Henk Schellen, professore associato in Fisica dei Monumenti. Per esempio, una studentessa di dottorato, Zara Huijbregts, ha usato l'Heat Transfer Module, prodotto aggiuntivo di COMSOL Multiphysics, per simulare il modo in cui la luce solare che passa attraverso le finestre può riscaldare il pavimento e le pareti di una stanza in diversi momenti di una giornata (Figura 4). La simulazione combinava trasferimento termico per conduzione attraverso le pareti dell'edificio, per convezione dell'aria interna e per irraggiamento. Oltre a includere le diverse superfici della stanza e le facciate dell'edificio, il modello teneva in considerazione anche gli effetti di raffreddamento prodotti dalle ombre esterne.

I risultati consentivano di prevedere la temperatura di ciascuna superficie in diversi momenti del giorno, indicando le zone più adatte



FIGURA 5 - Per comprendere il trasporto di umidità, che può causare danni come quello rappresentato qui a sinistra, van Schijndel ha creato un modello in COMSOL che accoppia con precisione il trasporto di calore e di umidità attraverso una parete (sotto)



per proteggere gli oggetti "sensibili" dai danni dovuti alla luce solare e al calore. "È estremamente importante conoscere con esattezza questa distribuzione della temperatura, in modo, per esempio, da poter appendere i dipinti nelle zone in cui saranno meno colpiti dal riscaldamento solare," osserva van Schijndel.

Il danno provocato dall'umidità è un altro problema rilevante che può compromettere pareti, fabbricati, tetti e suppellettili. Poiché nelle strutture più antiche non è sempre chiaro come l'umidità possa penetrare in un edificio o in una stanza, van Schijndel usa talvolta COMSOL Multiphysics come strumento di indagine.

"L'idea è quella di dedurre come l'umidità potrebbe penetrare eseguendo simulazioni multifisiche che includono la misurazione dell'umidità relativa in molte zone diverse. Aree con un'elevata umidità relativa rappresentano un indizio su come si verifichi il trasporto di massa dell'umidità; noi associamo questa informazione alle simulazioni di trasferimento di calore, perché è il calore che determina la distribuzione dell'umidità," racconta van Schijndel.

Van Schijndel ha sviluppato un modello COMSOL del trasporto di umidità su una parete con infiltrazioni visibili vicino alla finestra. Il suo modello gli ha permesso di dedurre da dove proveniva l'umidità (Figura 5). Insieme ai suoi studenti, ha usato questa tecnica per modellare i ponti termici usando diversi materiali, per analizzare come il posizionamento del materiale isolante influenzi il trasferimento di calore dall'interno all'esterno di un edificio e per comprendere come l'umidità si propaghi attraverso i diversi materiali da costruzione, quali cemento, pietra e materiali isolanti (Figura 5).

Dal momento che temperatura e umidità sono tra le cause principali di sforzi e sollecitazioni su oggetti preziosi come i dipinti storici, l'a-

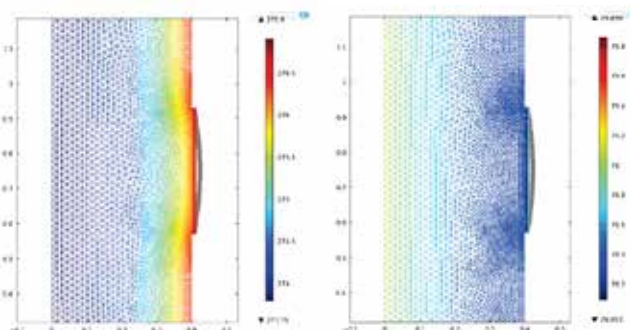


FIGURA 6 - Entrambe le immagini mostrano simulazioni, realizzate in COMSOL, della sezione trasversale di una parete su cui è appeso un dipinto. L'immagine a sinistra mostra la distribuzione della temperatura sulla parete e sul dipinto in un determinato momento, mentre l'immagine sulla destra mostra la velocità di variazione dell'umidità relativa sulla parete e sul dipinto nello stesso momento. Questo modello può aiutare a prevedere sollecitazioni e deformazioni su edifici e manufatti storici, offrendo agli esperti le informazioni necessarie per adottare le misure più opportune volte ad attenuare il danno

bilità di accoppiarle in un modello con precisione può portare a una migliore previsione del danno possibile. Il modello di Van Schijndel calcola la distribuzione della temperatura sulla parete e sul dipinto, così come i relativi cambiamenti di umidità (Figura 6).

"Le strutture storiche stanno fronteggiando minacce senza precedenti alla propria integrità, a causa di cambiamenti climatici, crescita dell'urbanizzazione e altri fattori. Nello stesso tempo, le norme che regolano la loro conservazione non sono mai state così severe, perché preservare l'eredità del passato è un vantaggio per la società", spiega van Schijndel. "La possibilità di usare strumenti sofisticati di modellazione e simulazione, come COMSOL, è una delle principali risorse che abbiamo a disposizione per rispettare queste norme".

FIGURA 7 - Da sinistra a destra: Henk Schellen, Zara Huijbregts, e Jos van Schijndel

