

COMSOL Multiphysics per la progettazione sostenibile

Sempre più oggi si parla di progettazione sostenibile degli edifici, cioè di una progettazione "consapevole" che, sin dalle fasi iniziali del progetto, tenga conto delle variabili coinvolte, delle soluzioni costruttive disponibili e delle loro possibili ripercussioni sull'ambiente circostante e sull'uomo. Questo tipo di approccio coinvolge e mette in relazione tra loro molteplici ambiti - dalla termica alla fluidodinamica, dalla meccanica all'acustica - e ne analizza le possibili interazioni. L'obiettivo di questo metodo è l'identificazione di una strategia che consenta di ottenere risultati quanto più possibile vicini agli obiettivi progettuali prefissati, entro un tempo stabilito e nel miglior modo possibile.

Nella fase di definizione del progetto è di fondamentale importanza individuare innanzi tutto i parametri e le variabili di partenza che possono influenzare il risultato finale del lavoro. Questi possono derivare da precise scelte progettuali (dimensione e posizionamento delle aperture, portata del circuito di condizionamento ecc.) oppure possono essere indipendenti da esse e non controllabili (temperatura e umidità dell'ambiente esterno, velocità dei venti ecc.). È quindi necessario individuare la relazione univoca tra questi valori di partenza (input) e quelli di arrivo (output), che devono avvicinarsi il più possibile agli obiettivi progettuali per rispondere alle esigenze di fruibilità e sicurezza richieste, in ambito sia abitativo sia lavorativo. Da un punto di vista termofluidodinamico, per esempio, i campi di moto e temperatura dell'aria all'interno di un vano sono strettamente correlati alle prestazioni del sistema di condizionamento, alle condizioni ambientali esterne e, conseguentemente, al maggiore o minore grado di isolamento termico tra interno ed esterno. Una volta valutate queste variabili e analizzate le loro possibili interazioni, è possibile progettare e ottimizzare un adeguato sistema di ventilazione, in termini di apporti di massa e calore.

Analisi termica degli edifici con COMSOL Multiphysics

La scelta di uno strumento che consenta di mettere in relazione le variabili di ingresso in un progetto e quelle di uscita, per poter poi valutare l'influenza reciproca, risulta essenziale per il progettista. L'utilizzo di un software di simulazione FEM come COMSOL Multiphysics® permette di valutare in maniera univoca queste relazioni, interpretarne correttamente i risultati ed eventualmente individuare un set di valori di ingresso ottimali per il raggiungimento dei risultati desiderati.

Per l'analisi termica di un edificio, in particolare, è necessario considerare i principali meccanismi di scambio termico, quali conduzione, convezione e irraggiamento, ed esaminarne le possibili correlazioni. Vengono così coinvolte e accoppiate fisiche diverse, rendendo necessario un approccio progettuale "multifisico". COMSOL Multiphysics consente di effettuare simulazioni che si riferiscono a singole fisiche oppure alla combinazione delle stesse. Conduzione e irraggiamento sono di fatto meccanismi descritti dalla singola fisica dello scambio termico, invece la convezione è un processo di scambio combinato legato alla conduzione e al movimento delle particelle fluide, che risulta quindi essere correttamente

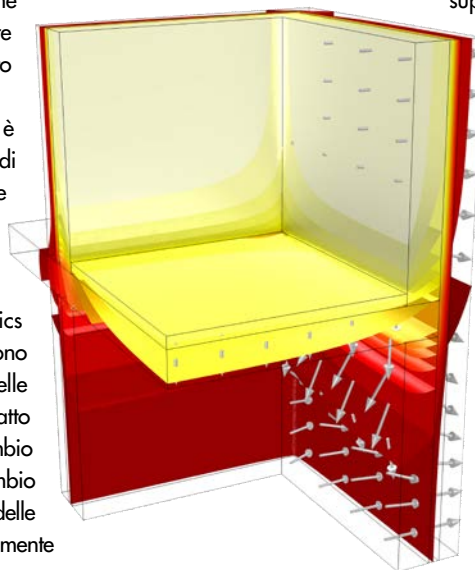
descritto solamente se i campi di velocità e pressione del fluido vengono determinati mediante le equazioni della fluidodinamica. COMSOL Multiphysics consente di eseguire in modo del tutto automatico analisi termofluidodinamiche, che accoppiano quindi lo scambio termico alla dinamica dei fluidi, senza demandare all'utilizzatore la metodologia di accoppiamento tra le fisiche.

Le potenzialità del software nell'ambito dello scambio termico conduttivo permettono di considerare materiali con conducibilità termica isotropa e anisotropa, sia per materiali lineari sia per materiali non lineari (come ad esempio accade se la conducibilità termica dei materiali è funzione della temperatura stessa). Ove sia inoltre possibile approssimare i domini geometrici con delle superfici, quando lo spessore risulti essere sufficientemente ridotto da non fornire gradienti apprezzabili lungo la normale alla superficie, si ottiene la riduzione dei domini di calcolo e dei tempi di simulazione, con un'approssimazione dei risultati generalmente più che accettabile. Queste superfici possono anche essere caratterizzate come altamente resistenti o conduttive, siano esse costituite da un singolo strato o multistrato. L'inserimento di sorgenti termiche derivanti da fisiche differenti (per esempio riscaldamento elettromagnetico, reazioni chimiche esotermiche) è automatizzato.

L'analisi dello scambio termico radiativo è valutabile in condizioni di irraggiamento superficie-ambiente, superficie-superficie e in mezzi semioffici (quali i fumi). Per quanto concerne l'irraggiamento superficie-

superficie COMSOL calcola automaticamente i fattori di vista, gli effetti d'ombra e la riflessione diffusa. In aggiunta, si ha la possibilità di definire l'emissività delle superfici in funzione della temperatura, di valutare la radiazione multionda e di importare delle funzioni da sorgenti esterne, quali i valori della radiazione solare che risultano di fondamentale importanza nel caso della progettazione sostenibile degli edifici. La valutazione dell'irraggiamento in mezzi semioffici (participating media) è calcolata in funzione di emissione e assorbimento della radiazione negli stessi e permette inoltre l'analisi dello scattering della radiazione.

Lo scambio termico convettivo si basa sull'analisi del regime di moto del flusso, sia esso laminare oppure turbolento. In condizioni di flusso

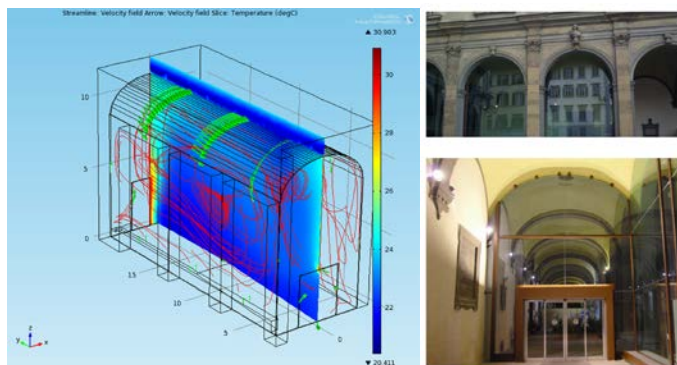


turbolento, i modelli di turbolenza a disposizione dell'utente sono molteplici e possono essere scelti in funzione dello studio di interesse. Si potrà quindi scegliere il modello di turbolenza $k-\epsilon$ nel caso di studio di flussi esterni, il modello $k-\epsilon$ a bassi numeri di Reynolds, il modello $k-\omega$ in presenza di flussi interni, il modello Spalart-Allmaras nel caso di analisi aerodinamiche e il modello SST che risulta essere una combinazione dei modelli $k-\epsilon$ e $k-\omega$. Nell'analisi di scambio termico convettivo è possibile valutare il riscaldamento per effetto viscoso e il lavoro di pressione. Per la risoluzione delle problematiche di interfaccia fra dominio solido e dominio fluido, si ha a disposizione un'ulteriore interfaccia dedicata per l'analisi dello scambio termico coniugato. In tale modalità, le interfacce vengono gestite imponendo la continuità della temperatura e la costruzione di boundary layer. COMSOL contiene inoltre una libreria di coefficienti di scambio termico valutati sulla base della correlazione di Nusselt in condizioni di ventilazione naturale o forzata, laminare o turbolenta, che consente di eliminare il dominio fluido, diminuendo di rimando il carico computazionale.

A disposizione dell'utente vi sono anche interfacce dedicate per l'analisi termofluidodinamica in mezzi porosi e in tubazioni, utili per analisi di fondazioni e riscaldamento di pareti (e relativi ambienti) dovuto ai circuiti idraulici degli edifici.

Casi di studio

Grazie alle potenzialità di COMSOL Multiphysics, le tipologie di analisi che si possono effettuare spaziano dal recupero di edifici storici alla progettazione e ottimizzazione ex-novo di edifici. A titolo di esempio, è possibile sviluppare modelli di valutazione termica in riferimento alla normativa europea EN ISO 10211:2007 che concerne la progettazione e lo studio di ponti termici mediante quattro test di riferimento, due in analisi bidimensionali e due con domini tridimensionali, per la validazione delle metodologie numeriche di simulazione. I risultati ottenuti con questi modelli sottolineano le capacità di calcolo e precisione di COMSOL con errori dell'ordine di pochi centesimi di grado Celsius ed errori percentuali dell'ordine dello 0,2% (pienamente al di sotto delle specifiche della normativa). In [1] viene sviluppata, parallelamente alla valutazione termica, anche la valutazione acustica dei ponti termici, analizzando la trasmissione del rumore esterno all'interno dell'edificio, in diverse configurazioni di armatura delle pareti.



Porticato Ospedale S. Maria Nuova - immagini gentilmente concesse da: Prof.ssa Carla Balocco, Dr. Enrico Marmonti - Università di Firenze, Dipartimento di Ingegneria Industriale

COMSOL Multiphysics per il recupero e la conservazione degli edifici storici

Per quanto riguarda l'utilizzo di COMSOL Multiphysics per il recupero e la conservazione, è importante riportare tre studi [2-4] realizzati dal Dipartimento di Ingegneria Industriale dell'Università di Firenze, nei quali è stata effettuata la valutazione termica di importanti edifici storici della città di Firenze. Nella fase di recupero e conservazione degli edifici, risulta di fondamentale importanza prevedere le velocità e temperature dell'aria interne in funzione delle condizioni climatiche esterne. Infatti velocità, temperature e umidità, se non controllate correttamente, possono portare a un rapido degrado della struttura, con un irreparabile danno anche da un punto di vista storico e culturale. In [2] è stata effettuata l'analisi termofluidodinamica della Sala dei Duecento di Palazzo Vecchio, dimostrando che il microclima interno, creato dalle attuali soluzioni progettuali in termini di ricambio d'aria, è adeguato per una corretta conservazione delle opere presenti. La stessa procedura è stata utilizzata per la valutazione delle condizioni microclimatiche di Palazzo Pitti [3]. Partendo da una campagna sperimentale di misure di flussi e temperature in punti strategici della costruzione, è stato sottolineato come la ventilazione naturale ricavata dai progettisti originali risulti essere già più che soddisfacente. Grazie ai risultati ottenuti dalle simulazioni con COMSOL Multiphysics sono state inoltre individuate possibili migliorie progettuali da applicare anche ad altri edifici per lo sfruttamento della ventilazione naturale degli stessi. In [4] vengono invece valutati la temperatura e il grado di umidità di una nuova hall presente nel vecchio ospedale di S. Maria Nuova nel centro di Firenze. Tale studio risulta di elevato interesse poiché riguarda sia gli aspetti di conservazione di un edificio storico sia la progettazione della nuova hall. Mediante COMSOL è stato ottimizzato il circuito di aerazione della struttura al fine di ottenerne le migliori condizioni di abitabilità.

Bibliografia

1. Balocco C., Marmonti E., Università di Firenze, Dipartimento di Ingegneria Industriale, Modelling thermal bridging at interface conditions. Analysis of solutions for reducing thermal bridges effects on building energy consumption, Proceedings of the COMSOL Conference 2012, Milano
2. Balocco C., Università di Firenze, Dipartimento di Ingegneria Industriale, Thermal and velocity field analysis inside an historical building - The Hall of Two Hundred Case study, Proceedings of the COMSOL Conference 2006, Milano
3. Balocco C., Università di Firenze, Dipartimento di Ingegneria Industriale, Analysis of ancient natural ventilation systems inside the Pitti Palace in Florence, Proceedings of the COMSOL Conference 2008, Hannover
4. Balocco C., Marmonti E., Università di Firenze, Dipartimento di Ingegneria Industriale, Thermal performance of the new hall of the historical hospital in Florence, Proceedings of the COMSOL Conference 2011, Stoccarda

COMSOL, in collaborazione con il Master Processi Costruttivi Sostenibili dell'Università IUAV di Venezia, ha tenuto il 16 ottobre un seminario on line dal titolo "L'uso della simulazione per la progettazione sostenibile". La versione registrata del webinar è accessibile al link: www1.gotomeeting.com/register/264870209