

RADIASOFT ILLUMINA LA STRADA PER MIGLIORARE LE CAMERE A VUOTO DEI SINCROTRONI

BRIDGET PAULUS

RadiaSoft e Argonne National Laboratory lavorano insieme per migliorare la luminosità nei sincrotroni. Hanno creato uno strumento di simulazione, facile da usare, per semplificare la progettazione delle camere a vuoto dei sincrotroni, facendo avanzare nel contempo la ricerca sull'acceleratore di particelle.

Una sorgente di luce di sincrotrone è un tipo di acceleratore di particelle utilizzato per la ricerca scientifica in un'ampia varietà di ambiti. Un fascio di elettroni viene accelerato a una velocità estremamente elevata (ultrarelativistica) utilizzando una catena di accelerazione composta da un acceleratore lineare (LINAC) e da un sincrotrone booster circolare. Una volta inserito nell'anello di accumulazione, il fascio viene condotto in un'orbita circolare da potenti magneti, provocando il rilascio di radiazioni a raggi X tangenti alla traiettoria curva degli elettroni. L'energia persa dalla radiazione deve essere ripristinata a ogni giro da cavità a radiofrequenza posizionate lungo l'anello. Molte linee di fascio si diramano dal sincrotrone, ciascuna contenente una sequenza unica di elementi ottici che modificano i raggi X secondo i requisiti di un dato esperimento e campione. La radiazione dei sincrotroni permette agli scienziati di studiare diversi materiali e processi chimici, agendo come un "super microscopio". Per esempio, i sincrotroni possono essere usati per esaminare la struttura interna dei cristalli, per testare in modo non distruttivo i reperti archeologici (come le ceramiche antiche) e per studiare le proteine complesse. Tuttavia, anche se la ricerca può variare, un requisito è lo stesso in ogni caso: il fascio deve essere il più intenso possibile.

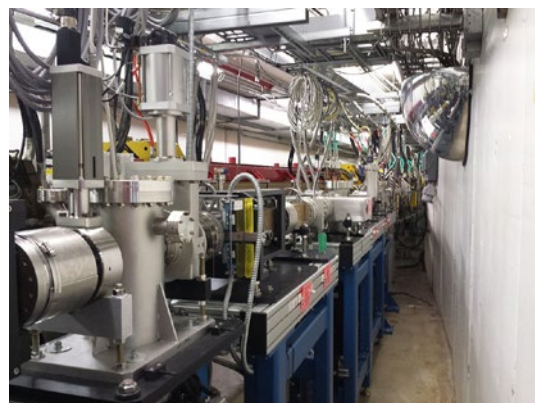


Figura 1. The Advanced Photon Source (APS), un sincrotrone del Laboratorio Nazionale di Argonne.

Per favorire una ricerca più avanzata, molte strutture stanno pianificando un aumento della luminosità dei fasci di sincrotrone, e la Advanced Photon Source (Figura 1) presso l'Argonne National Laboratory (ANL) non fa eccezione. Tuttavia, si tratta di un obiettivo piuttosto impegnativo da raggiungere. Nicholas Goldring della RadiaSoft LLC, una società che progetta acceleratori di particelle usando la simulazione, descrive il processo di miglioramento di un acceleratore come un "problema intrinsecamente multifisico", poiché il dispositivo coinvolge la scienza del vuoto, i campi magnetici, il calore e il movimento delle particelle. Anche l'ottimizzazione di singole parti può essere difficile. Per esempio, le camere a vuoto, attraverso le quali viaggia il fascio di elettroni, coinvolgono fenomeni complessi che interagiscono e si influenzano tutti a vicenda, rendendo il processo di sviluppo lungo e complesso. Per creare uno strumento di progettazione di camere a vuoto che potesse rendere conto di tutti i loro effetti, RadiaSoft e ANL hanno lavorato insieme, con il supporto del Dipartimento dell'Energia degli Stati Uniti. Utilizzando il software COMSOL®, il team ha sviluppato un modello multifisico completo della camera a vuoto di un sincrotrone. Proseguendo nel flusso del loro lavoro di modellazione, i ricercatori hanno creato un'interfaccia grafica di facile utilizzo per il modello, un'app di simulazione, che distribuiscono agli impianti di accelerazione di particelle in tutto il mondo.

Modellazione multifisica delle camere a vuoto

Le camere a vuoto (Figura 2) sono fondamentali per l'efficacia di un acceleratore di particelle. Secondo Goldring, le camere devono mantenere una pressione nell'ordine del nanotorr per permettere al fascio di elettroni di propagarsi senza ostacoli. Una pressione più alta comporta la presenza di troppe particelle di gas, che causano la dispersione e portano alla perdita del fascio. Tenere conto accuratamente di questi scenari e di effetti come le alte temperature, la radiazione di sincrotrone, il degassamento e il desorbimento può diventare complicato, specialmente quando tutti questi fenomeni si influenzano a vicenda.

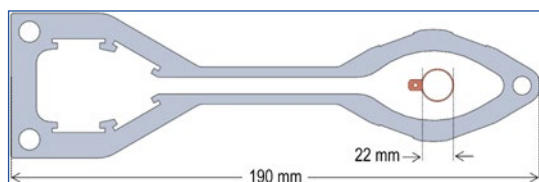


Figura 2. Sezione trasversale di una geometria 2D assialsimmetrica di una camera a vuoto.

Questo disegno è utilizzato per l'APS e deve essere ridimensionato da 190 mm a 22 mm per un aggiornamento.

Per progettare camere a vuoto, i tecnici dell'acceleratore di particelle si affidano spesso a software di simulazione. Tuttavia, Goldring ha sottolineato che gli strumenti tradizionali sono altamente specializzati e tipicamente simulano un solo processo fisico. Inoltre, poiché questi pacchetti software tendono anche ad avere poca (se non addirittura nessuna) documentazione, c'è una ripida curva di apprendimento per poterli utilizzare, creando un ambiente di lavoro a camere stagne: un tecnico eccelle nell'eseguire analisi di ray-tracing, un altro è specializzato nel calcolo del flusso di gas e della pressione e così via. Ogni tecnico testa determinate modifiche del progetto, trasmettendo i risultati avanti e indietro per ogni iterazione. Per semplificare il processo, RadiaSoft si è rivolta a COMSOL Multiphysics® e a due dei suoi moduli aggiuntivi, il Ray Optics Module e il Molecular Flow Module. "COMSOL ha attirato il nostro interesse grazie alle sue

capacità multifisiche. Può risolvere in modo più semplice tutti i calcoli fondamentali che un ingegnere del vuoto deve eseguire", afferma Goldring. Ha aggiunto che simulazioni intricate e complesse possono essere realizzate in modo più semplice e tutte in un'unica interfaccia.

Goldring afferma che rispetto ad altri software, COMSOL Multiphysics offre ulteriori vantaggi, tra cui migliori strumenti di analisi dei dati, tipi di solutori e altro ancora. "Un aspetto interessante di COMSOL è il fatto che possiamo modellare più specie di gas contemporaneamente", dice Goldring parlando delle simulazioni di flusso molecolare. Il software standard di simulazione per acceleratori può in genere simulare solo una specie alla volta. Inoltre, è possibile replicare in COMSOL le funzionalità di altri software specializzati e ottenere risultati altrettanto accurati. Goldring ha confrontato i risultati di una varietà di modelli con modelli analoghi creati con software dedicati al flusso molecolare libero in camere a vuoto e ha trovato un buon accordo tra i due.

La potenza delle app di simulazione dell'acceleratore di particelle

RadiaSoft e ANL hanno utilizzato l'Application Builder di COMSOL Multiphysics per aggiungere un'interfaccia user-friendly al loro modello di camera a vuoto, rendendo più semplice analizzare come la propagazione della radiazione di sincrotrone influisca sulla progettazione. Creando un'app, "gli utenti non devono entrare nel modello stesso per capire come impostare il tracciamento dei raggi, cosa che risulterebbe complicata", dice Goldring. Possono invece limitarsi a definire dove inizia il raggio e qual è la forma dei magneti, importare una geometria CAD e trovare la pressione, la temperatura e altro ancora.

L'app di simulazione (Figura 3) risolve un vero problema multifisico: analizzare la propagazione della radiazione di sincrotrone usando la simulazione ottica a raggi X, quindi osservare l'effetto del degassamento sulla pressione della camera a vuoto quando i raggi X colpiscono le pareti della camera. Gli utenti dell'app possono definire parametri come la sorgente del fascio di elettroni, l'energia del fascio, la lunghezza d'arco del fascio e la forza dei magneti a dipolo. Dopo

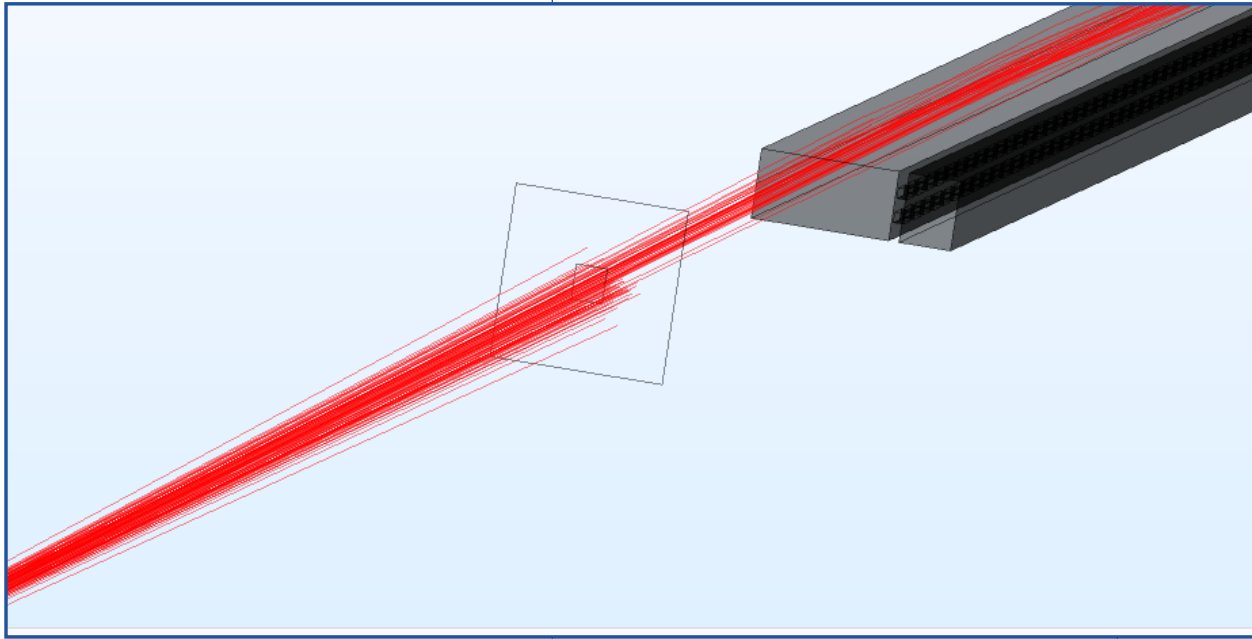
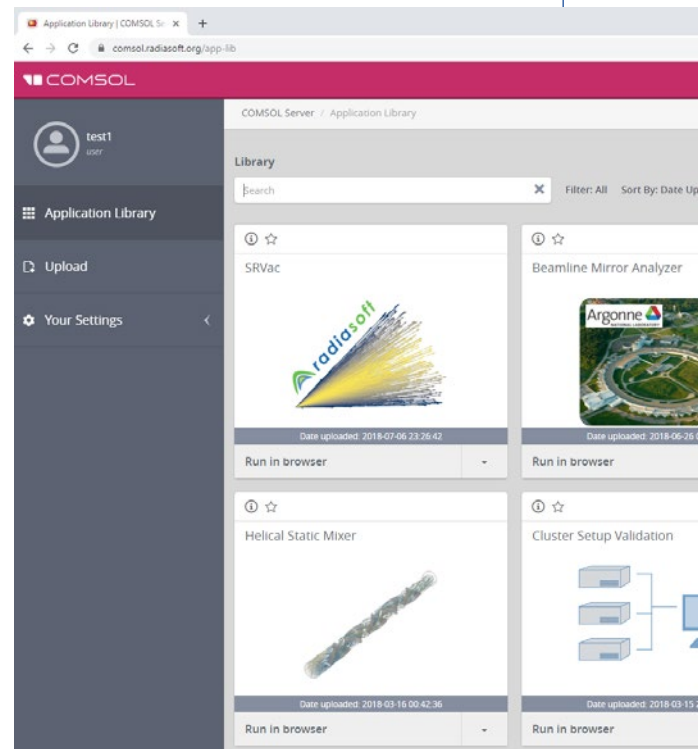


Figura 4. App di simulazione per il calcolo del desorbimento e della pressione dei gas.

che l'utente fa clic su Compute, l'app visualizza il percorso e la potenza dei raggi e la temperatura nella camera. Questi risultati forniscono ai tecnici dell'acceleratore di particelle una preziosa visione della distribuzione della potenza di radiazione del fascio ad alta energia in diversi punti, consentendo loro di esaminare come cambia la distribuzione man mano che il fascio viaggia all'interno del sincrotrone. L'app può anche essere utilizzata per determinare la quantità di desorbimento dalle pareti di una camera a vuoto. (Figura 4) Nella camera, il fascio di particelle ad alta energia produce una radiazione di sincrotrone che colpisce le pareti della camera, causando l'espulsione delle molecole di gas, alterando così la pressione all'interno del vuoto. Tuttavia, il mantenimento della pressione del vuoto è fondamentale per la durata del fascio. Per evitare di disattivare il fascio, è importante sapere quanto gas lascia le pareti per entrare nella camera. L'app di simulazione (Figura 4) rende semplice questo calcolo, determinando il gas desorbito per varie specie combinando una simulazione di ray-tracing con equazioni che convertono la densità di flusso fotonico nel numero di raggi accumulati sulla parete. Questo flusso di energia incidente viene poi utilizzato per impostare le condizioni al contorno in una simulazione di flusso molecolare libero per prevedere la densità e la pressione



delle molecole degassate nella camera. Come dice Goldring: “Lo strumento consente di importare il profilo del flusso e di calcolare automaticamente la quantità di gas che fuoriesce in base a questo e alle proprietà del materiale”. Le app di simulazione possono anche includere più specie di gas contemporaneamente. Favorire la collaborazione e ottenere feedback Dopo aver realizzato un'app di simulazione, Goldring l'ha distribuita ad altre persone

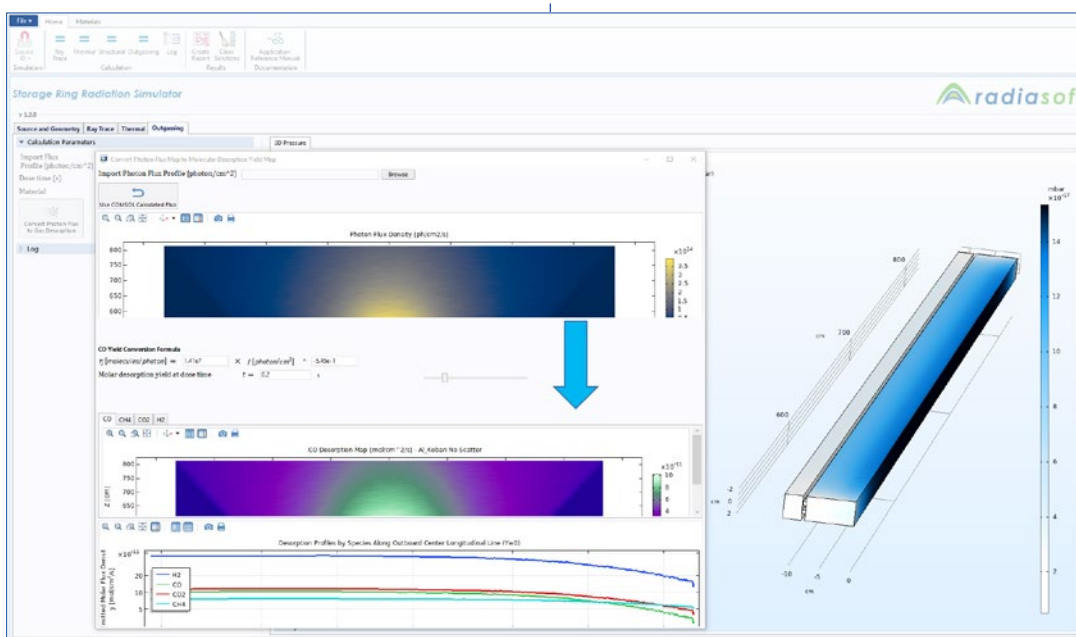
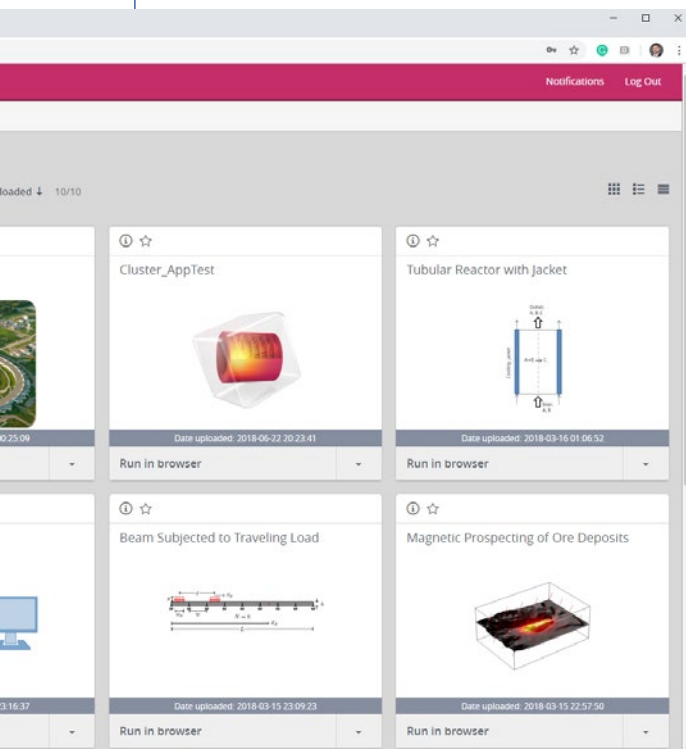


Figura 5. Le app RadiSoft nella loro istanza di COMSOL Server™.



attraverso la ripida curva di apprendimento”, dice, aggiungendo: “In sostanza, è come una calcolatrice”. La distribuzione delle app consente inoltre a RadiSoft di ottenere un feedback da parte degli operatori sul campo, consentendo loro di personalizzare l’interfaccia dell’app per soddisfare le esigenze degli utenti. Goldring afferma che l’app non è stata testata solo da ANL, ma anche da altri impianti di accelerazione di particelle in tutto il mondo.

Ulteriori sviluppi per l’app di simulazione della camera a vuoto

In futuro, Goldring prevede di migliorare l’app per includere la funzionalità di importazione di geometrie arbitrarie, il che renderebbe ancora più facile per gli utenti testare e ottimizzare diversi progetti di camera a vuoto. Inoltre, RadiSoft vuole rendere l’app più generale per accogliere diversi tipi di acceleratori di particelle esistenti e futuri. Grazie all’utilizzo di app di simulazione, i team di RadiSoft e ANL forniscono ai tecnici uno strumento specializzato per migliorare le camere a vuoto, attraverso un processo di progettazione e ottimizzazione più efficiente. Questo, a sua volta, permette di migliorare le prestazioni degli acceleratori di particelle, facilitando al tempo stesso ulteriori ricerche e imaging all’avanguardia.

coinvolte nel progetto utilizzando il prodotto COMSOL Server™ (Figura 5). Secondo Paula Messamer di RadiSoft, la creazione e la distribuzione di un’app può rendere il processo di progettazione delle camere a vuoto molto più collaborativo ed efficiente. “L’app permette alle persone con livelli di competenza più bassi di ottenere risposte alle proprie domande senza dover tornare indietro dal tecnico che ha creato il codice e senza dover passare