



Università degli Studi di Ferrara
Facoltà di Scienze MM.FF.NN.
CdL in Tecnologie Fisiche Innovative

Progettazione CAD/CAM II

Prof. Nicola Baldanza
Prof. Michele Benedetti

Modulo II parte 3 Altre tecniche CAE

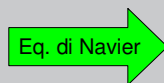


CFD: fluidodinamica

Fluidodinamica

Scienza che studia il comportamento dei fluidi

Le equazioni che governano i fenomeni fluidodinamici sono molto complesse



$[u(x, y, z, t)]$ Vettore velocità
 $P(x, y, z, t)$ Pressione
 $T(x, y, z, t)$ Temperatura

Le equazione di Navier-Stokes sono tra le più difficili da risolvere (anche ricorrendo a tecniche di calcolo numerico) perché:

- sono equazioni differenziali vettoriali in cui compaiono molti termini e molte grandezze fisiche
- i modelli matematici sono estremamente instabili rispetto alle condizioni al contorno

CFD: equazione di Navier-Stokes

Sono la formulazione matematica di tre principi che governano il comportamento dei fluidi:

- principio di conservazione della massa
- secondo principio della dinamica
- primo principio della termodinamica

Nel caso di fluido incomprimibile, a viscosità trascurabile, regime stazionario e laminare le equazioni di Navier-Stokes si semplificano e diventano l'**equazione di Bernoulli**:

$$P_1 + \frac{1}{2} \rho u_1^2 + \rho g y_1 = P_2 + \frac{1}{2} \rho u_2^2 + \rho g y_2$$

P = pressione

ρ = massa volumica

u = velocità

y = quota altimetrica

CFD: definizione e campi di applicazione

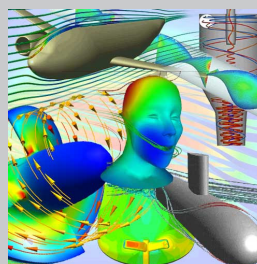
CFD (Computational Fluid Dynamics)

Tecnica che permette lo studio della fluidodinamica attraverso l'utilizzo del computer

Spesso oltre alle equazioni che governano il fluido devono essere modellate le leggi di altri fenomeni, ad esempio reazioni chimiche, irraggiamento termico, combustione,.....

Principali settori di applicazione

- aeronautico
- automobilistico
- motoristico
- spaziale
- navale
- energia e ambiente
- biomedico



CFD: principio di funzionamento

Metodo numerico ai volumi finiti

Permette l'integrazione di equazioni differenziali alle derivate parziali.

Il dominio viene discretizzato in volumi elementari, all'interno dei quali l'operatore differenziale viene sostituito dal suo equivalente discreto.

Se i volumi elementari fossero infinitesimi il metodo sarebbe esatto

Esempio monodimensionale:

Equazione alle
derivate parziali

$$\frac{\partial \rho(x,t)}{\partial t} + \frac{\partial f(\rho(x,t))}{\partial x} = 0 \quad t \geq 0$$

ρ = variabile di stato
 f = flusso di ρ



Equazione differenziale
nel tempo

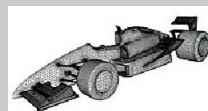
$$\frac{d\bar{\rho}_i}{dt} + \frac{1}{\Delta x_i} (f_{i+\frac{1}{2}} - f_{i-\frac{1}{2}}) = 0$$

Corso Tecnologia Meccanica di Produzione – Tecnologie Fisiche Innovative - UNIFE

CFD: le tappe del metodo

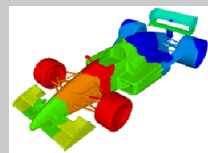
A. Pre-processing

1. Si crea (o si importa) la geometria da analizzare
2. Si discretizza il volume (mesh). In questo caso la geometria rappresenta il confine di ciò che vogliamo analizzare (il fluido)
3. Si definiscono le condizioni al contorno e le condizioni iniziali



B. Processing

4. Si risolvono le equazioni di ciascuna cella finché non si raggiunge la convergenza



C. Post-processing

5. Vengono visualizzati i risultati in forma numerica e grafica (grafici di pressioni, velocità, temperature, animazioni, traiettorie, vettori,.....)
6. Interpretazione dei risultati



Corso Tecnologia Meccanica di Produzione – Tecnologie Fisiche Innovative - UNIFE

CFD: tipologie

Si possono caratterizzare le applicazioni CFD in funzione di:

- Grado di approssimazione del modello fisico matematico di riferimento
Spesso nella fluidodinamica numerica è necessario utilizzare un modello che descriva la parte di moto del fluido non rappresentata dalla simulazione
- Tipo di griglia necessaria
Può essere regolare o non regolare. Come per la tecnica FEM si infittisce la griglia nelle zone a gradiente maggiore
- Comprimibilità del fluido
La variazione di densità complica notevolmente la simulazione numerica a causa della possibile formazione di onde di shock
- Presenza di componenti attivi o passivi nel fluido
La presenza di componenti passivi (esempio: inquinante inerte) o di componenti attivi (che esercita forza sul fluido o che interagisce chimicamente, esempio combustione) condiziona fortemente la simulazione

Corso Tecnologia Meccanica di Produzione – Tecnologie Fisiche Innovative - UNIFE

CFD: esempio automobile



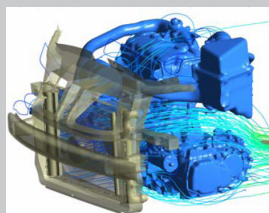
modello CAD



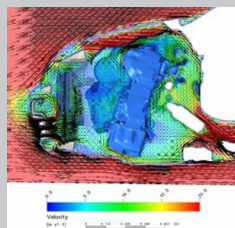
modello CFD



visualizzazione delle pressioni



visualizzazione delle traiettorie



visualizzazione delle velocità

Corso Tecnologia Meccanica di Produzione – Tecnologie Fisiche Innovative - UNIFE

CFD: vantaggi dell'utilizzo

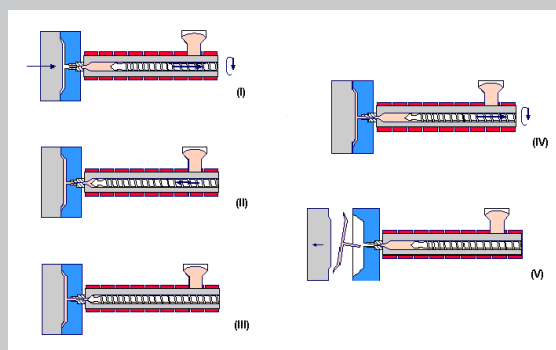
I principali benefici che si traggono dall'utilizzo del CFD sono:

- Incremento della qualità del prodotto e delle prestazioni
E' un supporto importante per i progettisti, che hanno informazioni più complete rispetto al testing (andamento in tutto lo spazio delle grandezze), e quindi possono comprendere meglio i fenomeni
- Riduzione dei tempi di test e revisione e del time to market
Si possono facilmente apportare modifiche ai modelli e alle condizioni al contorno per verificarne l'impatto
- Riduzione dei costi di testing
Riduzione del numero di prototipi necessari e delle ore di utilizzo di gallerie del vento
- Struttura i dati e abilita l'innovazione
Il formato elettronico delle simulazioni e la possibilità di esportare e condividere dati aumenta l'efficienza
La comprensione dei fenomeni è un elemento che "facilita" nuove idee

Simulazione dello stampaggio (Moldflow)

Fasi del ciclo di stampaggio a iniezione

- Fusione del polimero (rotazione e arretramento della vite)
- Riempimento (traslazione in avanti della vite)
- Mantenimento della pressione (il materiale viene forzato nella cava per compensare il ritiro)
- Raffreddamento (solidificazione completa del materiale e arretramento della vite per la fase successiva)
- Apertura dello stampo (estrazione del componente)





Simulazione dello stampaggio (Moldflow)

Le tappe sono sempre le medesime:

A. Pre-processing:

- definizione della geometria dell'elemento
- definizione delle caratteristiche del materiale (densità, viscosità, conducibilità termica,.....)
- definizione dei parametri di processo (temperatura del materiale e dello stampo, posizione dei punti di iniezione,.....)

B. Processing

- esecuzione del calcolo termofluidodinamico per le tre fasi di riempimento, compattamento e raffreddamento del componente

C. Post-processing

- visualizzazione dei risultati (mappe di colore, grafici,.....)
- interpretazione dei risultati



Simulazione dello stampaggio (Moldflow)

Alcuni degli output sono:

1. Riempimento:

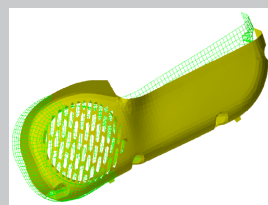
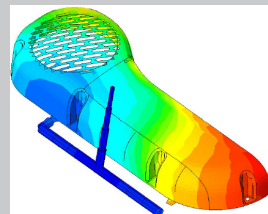
- distribuzione di temperatura e pressioni
- isocrone del fronte di flusso
- percentuale di guaina solidificata
- formazione di giunzioni
- forza di chiusura richiesta

2. Compattamento:

- ritiri volumetrici
- potenziale formazione di bolle e risucchi

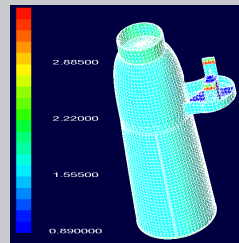
3. Raffreddamento:

- distribuzione della temperatura
- tempo di solidificazione e di ciclo
- deformazioni del componente

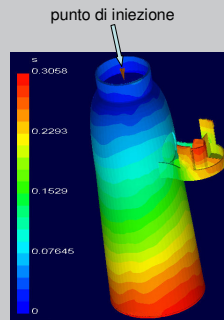


Simulazione dello stampaggio (Moldflow)

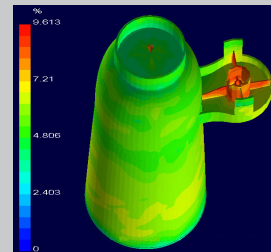
Esempio: componente in polipropilene



modello e suo spessore



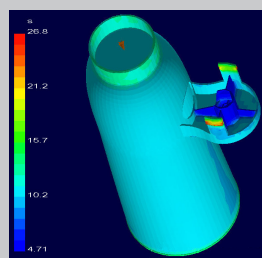
isocrone: mostrano l'evoluzione della fase di riempimento come posizione del fronte di flusso che avanza sino al completamento



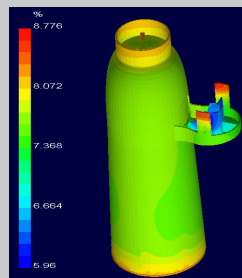
guaina solidificata: frazione di materiale solidificato che si forma nella sezione del pezzo durante il riempimento

Corso Tecnologia Meccanica di Produzione – Tecnologie Fisiche Innovative - UNIFE

Simulazione dello stampaggio (Moldflow)



tempo di solidificazione



ritiro volumetrico



deformata (in scala)

Corso Tecnologia Meccanica di Produzione – Tecnologie Fisiche Innovative - UNIFE

Simulazioni elettromagnetiche

Si risolvono le equazioni di Maxwell con il metodo degli elementi finiti

Il metodo prevede sempre le tre fasi di pre-processing, processing e post-processing (visualizzazione del campo elettrico, magnetico, del flusso concatenato, dell'induttanza, delle perdite nei conduttori,.....)

Principali applicazioni

- motori elettrici
- trasformatori
- convertitori AC/DC
- sensori
- relè
- antenne
- componenti in alte frequenze



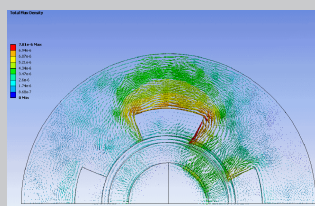
Aspetti dinamici
(forze, coppie)



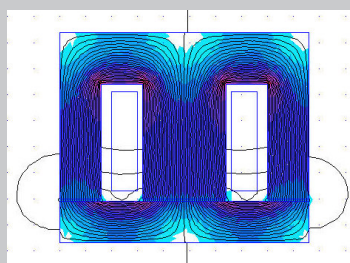
Aspetti energetici
(calore)

Corso Tecnologia Meccanica di Produzione – Tecnologie Fisiche Innovative - UNIFE

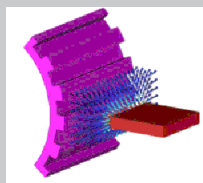
Simulazioni elettromagnetiche



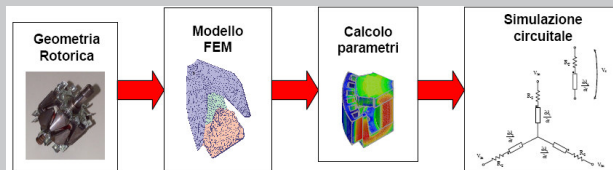
motore elettrico



trasformatore



sensore magnetico



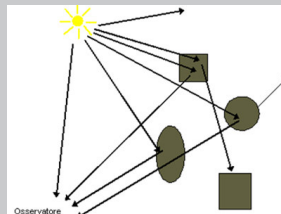
simulazione completa motore elettrico

Corso Tecnologia Meccanica di Produzione – Tecnologie Fisiche Innovative - UNIFE

Simulazioni ottiche

Si utilizzano tecniche di calcolo dell'interazione dei raggi luminosi con le superfici per simulare i fenomeni di:

- diffusione
- riflessione
- rifrazione
- diffrazione
- assorbimento

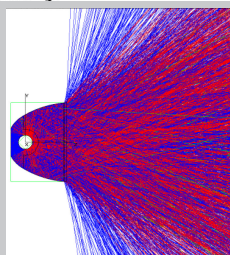


Occorre modellare nell'ambiente di simulazione:

- la sorgente (lampade a incandescenza, a fluorescenza, led, laser,.....)
- i corpi e le superfici con cui i raggi interagiscono



Importazione modelli CAD

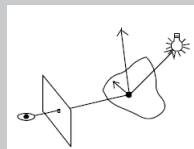


Corso Tecnologia Meccanica di Produzione – Tecnologie Fisiche Innovative - UNIFE

Simulazioni ottiche

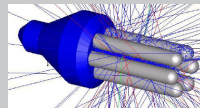
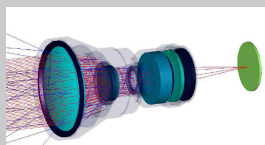
La tecnica più comunemente usata è quella di Ray-Tracing: si fanno partire i raggi luminosi dalla sorgente e si segue il loro comportamento quando questi incontrano le superfici modellate

Una tecnica simile è utilizzata dai CAD 3D per il rendering



Principali applicazioni

- lenti e componenti ottici
- sensori ottici
- guide di luce e fibre ottiche
- sistemi di illuminazione di ambiente
- lampade e sorgenti luminose
- sistemi laser

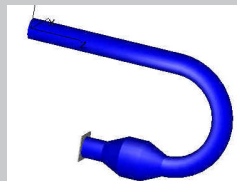


Un tipico fine può essere quello di massimizzare e/o uniformare l'intensità luminosa

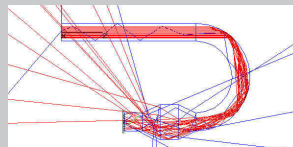
Corso Tecnologia Meccanica di Produzione – Tecnologie Fisiche Innovative - UNIFE

Simulazioni ottiche

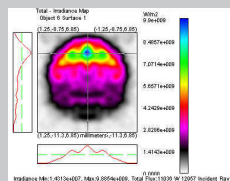
Esempio: guida di luce



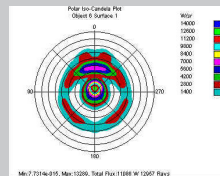
modello CAD



raggi luminosi e loro intensità



mapa d'irraggiamento

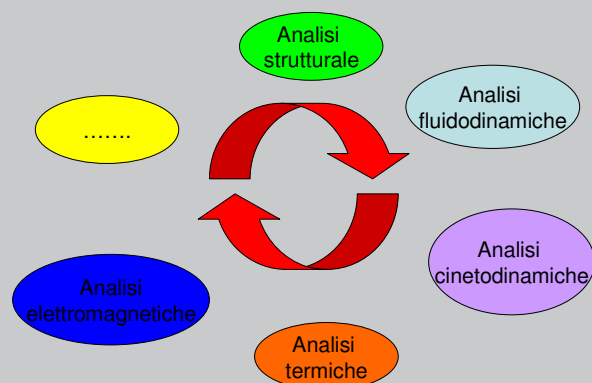


intensità luminosa

Corso Tecnologia Meccanica di Produzione – Tecnologie Fisiche Innovative - UNIFE

Approcci multiphysics

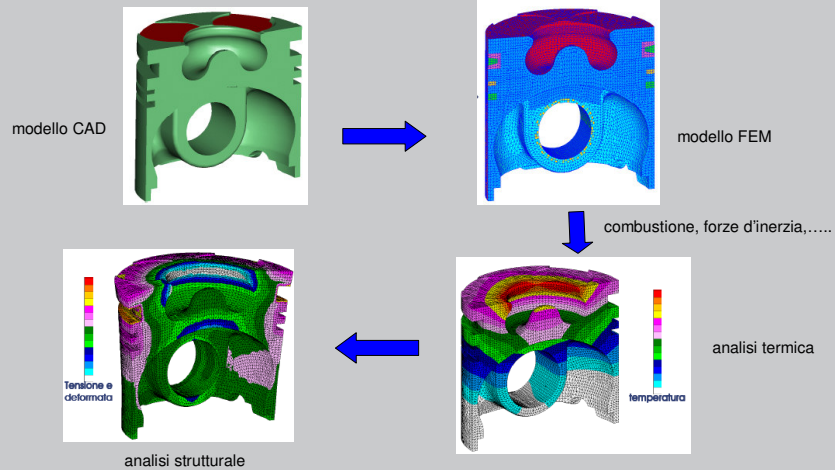
In realtà c'è interazione tra i vari fenomeni fisici



Corso Tecnologia Meccanica di Produzione – Tecnologie Fisiche Innovative - UNIFE

Approcci multiphysics

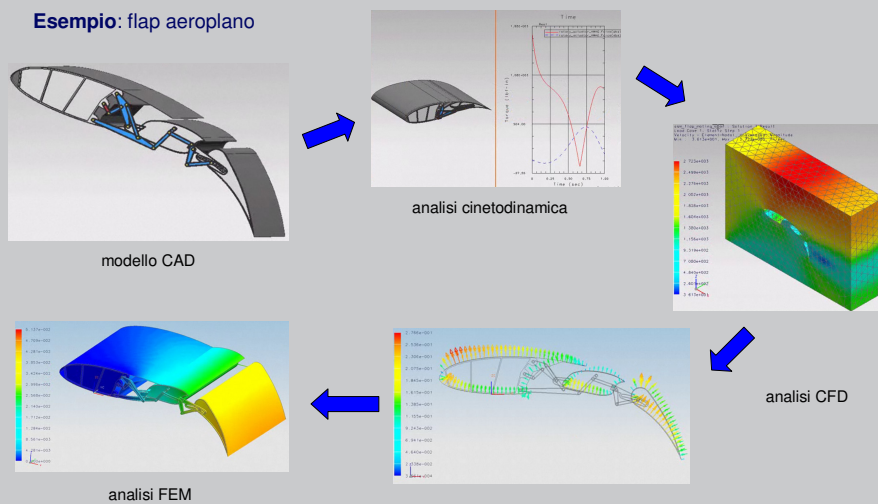
Esempio: pistone di motore



Corso Tecnologia Meccanica di Produzione – Tecnologie Fisiche Innovative - UNIFE

Approcci multiphysics

Esempio: flap aeroplano



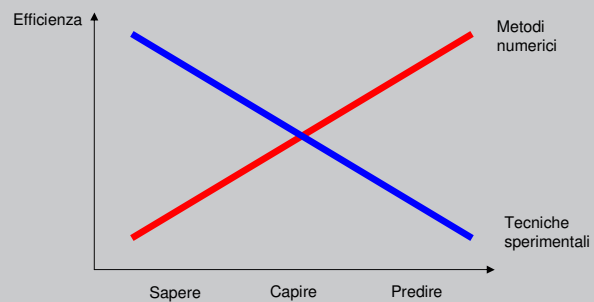
Corso Tecnologia Meccanica di Produzione – Tecnologie Fisiche Innovative - UNIFE



Metodi numerici o tecniche sperimentali?

E' dalla combinazione delle due tecniche che nascono prodotti di qualità

I metodi numerici senza tecniche sperimentali che permettono la validazione del modello sarebbero inaffidabili



Parole chiave

- ☐ Navier, Maxwell,.....
- ☐ Pre-processing, processing e post-processing
- ☐ Validazione del modello numerico
- ☐ Multiphysics
- ☐ Integrazione