01/03/2022

Fluidodinamica sia in ambito fluidi che gas. In biomedica moltissimi problemi relativi al sangue che si trattano con la CFD.

CFD=fluidodinamica computazionale

FSI= interazione fluido-struttura

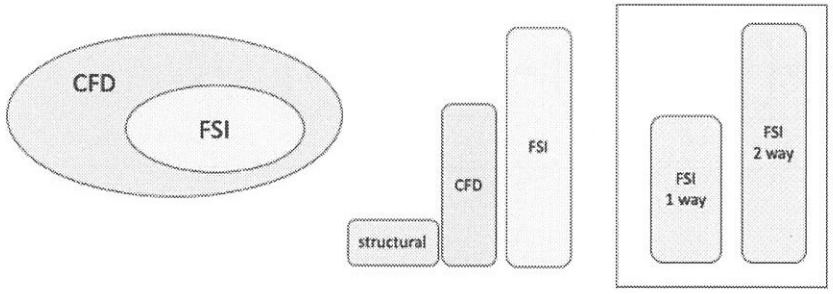
La differenza sta nel dominio:

CFD dominio solo fluido, invece nella FSI si ha anche il dominio del solido.

master COPY COPISTERIA

Computational Fluid Dynamics & Fluid Structure Interaction

- CFD
- FSI 1 way
- FSI 2 way



In ordine di complessità: lo strutturale aveva un certo costo dell'operatore e di complessità, quindi un certo costo computazionale, la CFD ha un gradino di complessità superiore, la FSI è ancora più complessa perché unisce due fisiche che si devono "parlare".

FSI può essere 1 way o 2 way: ci sono casi in cui una delle due fisiche predomina, per vari motivi o perchè voglio io trascurare l'altra così da semplificare il problema.

Per la FDI 1 way dobbiamo capire quale fisica mi interessa maggiormente e quindi quale dominio attivare.

Invece, ci sono casi in cui c'è un'interazione reciproca, cioè azioni che fa il fluido sulla parete producono comportamenti della parete che modificano il fluido stesso; quindi, c'è uno scambio di forze tra i due domini. Questo comporta un maggior costo computazionale perché dobbiamo risolvere le due fisiche in modo accoppiato → FSI 2 way

master COPY

METODI PRINCIPALI CFD

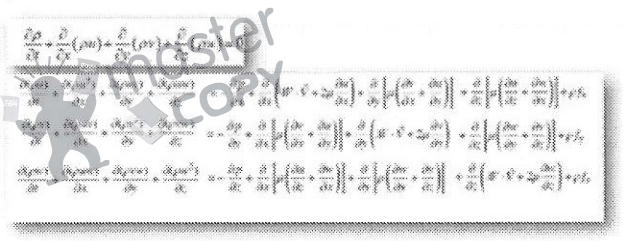
Vari approcci: metodi delle differenze finite (discretizzazione eq. Differenziali), metodo degli elementi finiti (discretizzazione del dominio), metodo dei volumi finiti.

I codici commerciali usano approcci ai volumi finiti perché sono flessibili alle geometrie, permettono di gestire i fluidi di nostro interesse e sono quelli più riconducibili ad approcci reali (fisical based). I fluidi sono caratterizzati da avere un volume che cambia tra ingresso e uscita → variabili tempo varianti, con formazione di calore talvolta, quindi si aggiunge un'altra fisica.

Cambia rispetto allo strutturale, la meccanica associata, mentre avevamo deformazioni e tensioni, qui abbiamo la velocità e le pressioni, abbiamo 4 incognite, ci servono 4 equazioni:

1 **conservazione della massa**, l'altra **conservazione del momento**, cambiano le equazioni costitutive che non sono quelle del solido, ma quelle del fluido.

NAVIER-STOKES EQUATIONS



$$\nabla \cdot \mathbf{u} = 0$$

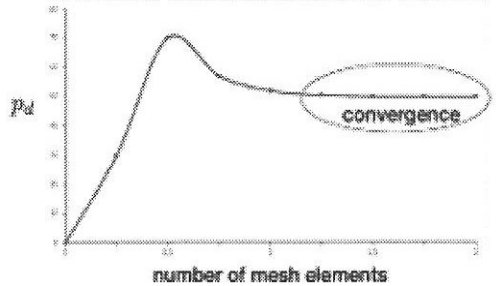
$$\underbrace{\rho\left(\frac{\partial \mathbf{u}}{\partial t} + \mathbf{u} \cdot \nabla \mathbf{u}\right)}_{F} = \underbrace{-\nabla p + \mu \nabla^2 \mathbf{u}}_{ma}$$

Tutta la fluidodinamica è retta dalle **equazioni di Navier-Stokes, che valgono per tutti i domini, sono generali.**

Tuttavia, la soluzione analitica si ha solo per pochissimi problemi, e richiede una semplificazione molto forte. Ecco perché gli approcci computazionali (CFD).

Ci sono moltissime variabili da settare e impostazioni da definire, inoltre essendo un metodo numerico si porta dietro diversi errori:

- Errori relativi al modello
- Errori relativi alla discretizzazione
- Errori relativi alla convergenza, perché il risultato deve essere mesh independece



Nello strutturale si aveva solo la variazione del numero di nodi; invece, qui la convergenza delle grandezze deve essere fatta non solo in funzione del numero di nodi, ma siccome si hanno grandezze che variano nel tempo, anche in funzione del numero di cicli.
Esempio ciclo cardiaco, **devo garantire un'indipendenza spaziale della mesh, un'indipendenza temporale**, quindi servono più griglie di simulazione, poi devo prendere

anche delle variabili di controllo. Ma ci saranno alcune che si stabilizzano prima, altre invece dopo; quindi, bisogna fare attenzione a quali grandezze vogliamo considerare.

CASI IN CUI LE EQUAZIONI DI NAVIER STOKES HANNO LA SOLUZIONE ANALITICA

Perché quando usiamo un software dobbiamo sapere quanto è robusto il software a trattare un problema, così da renderci conto dei possibili errori che possiamo commettere.

SOLUZIONE IN VIVO

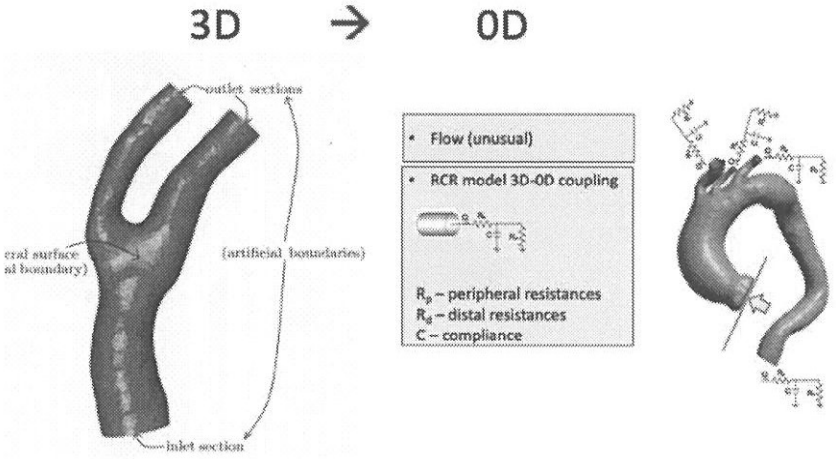
Si appoggia a imaging medico, le tecniche di imaging però dobbiamo decidere qual è il dominio di interesse:

0 D, 1D, 2D, 3D a seconda della complessità che vogliamo rappresentare, ma soprattutto della grandezza che ci interessa.

Quindi anche le boundary conditions possono essere 0 D, 1D, 2D, 3D oppure 3D+t (tempo-variante), questo sia per inlet che outlet, il tutto si può unire al dominio di interesse.

Ad esempio, dall'imaging clinico possiamo ottenere questi domini tramite segmentazione, per darci un dominio 3D l'imaging tomografico deve essere da TAC e risonanza, quello della TAC meglio in termini di risoluzione spaziale.

Quindi se considero la CFD, avrò solo il dominio sangue, no la parete



Quando parliamo di dominio 3D-> 0D vuol dire che il dominio sangue (fluido) lo rappresento in 3D, mentre invece 0D rappresenta, la periferia, tutto quello che c'è a monte e a valle. In qualche modo va rappresentato, ma simulare tutto il sistema vascolare è impossibile, quindi si usano degli analoghi elettrici. Il più usato sono i circuiti RCR, analogo dove il flusso (portata) è rappresentato dalla corrente, che passando nei rami determina una tensione.

Che valore metto ai parametri RCR? Ci sono tecniche per calibrare e ottenere i parametri.

Il flusso lo faccio calcolare al codice, conosco il range di pressione di un soggetto sano (80-120 mmHg), su questo range calcolo gli RCR, li inserisco nel codice, che poi tira fuori la pressione calcolata.

Ansys non ha modelli 0D, bisogna che li implementiamo noi.

Ansys non fa questo perché non è specifico per il sistema cardiovascolare, diversamente dal Sinvascular.

ACCOPPIAMENTO 3D -> 1D

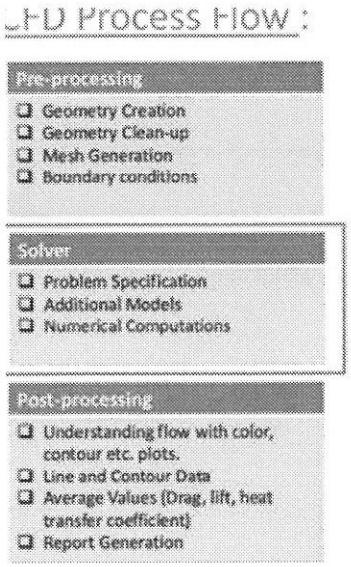
3D per il fluido, mentre invece per tutto il resto uso un modello 1D, quindi posso vedere solo grandezze monodimensionali, come una pressione.

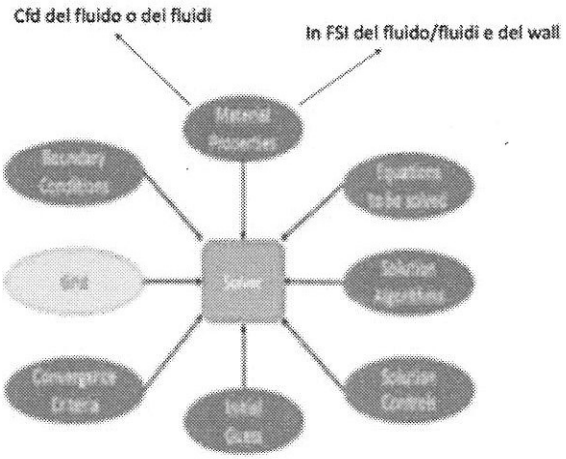
FLUSSO DI LAVORO ANALISI CFD

Come per lo strutturale:

- Pre-processamento
- Solver
- Post-processamento

La Fluidodinamica è gestita solo in ambiente Workbench, non lavora più in APDL. In Ansys è gestita in ambiente Fluent e CFX, noi useremo il fluent che è più robusto.





Fare un'analisi CFD non è banale, ma viene fatta perché permette di estrarre dei dati importanti non derivabili in altro modo (wall shear stress di un vaso), e poi perché sebbene abbia dei costi alti, sono sempre inferiori dei costi sperimentali.

Limiti: per la complessità dei sistemi complessi, errori numerici.

MESH

Si usano elementi tridimensionali perché studiamo problemi in 3D, fare la mesh è più complesso rispetto allo strutturale, perché la soluzione è molto legata alla mesh, quindi quando possibile è bene lavorare con mesh strutturate, cioè che sia l'utente a decidere il grading, le zone più fitte ecc..

Perché è bene avere una mesh strutturata?

Se ad esempio devo meshare un aereo, devo meshare anche l'area che lo circonda. In biomedica, un ulteriore problema è il fatto che si parte da imaging medico, e sono geometrie non regolari o nette; quindi, è un lavoro lungo ma fondamentale ottenere una buona mesh altrimenti i risultati non vanno bene.

Saranno problemi tridimensionali, quindi saranno configurazioni di gradiente, in questo caso, nei problemi 3D si ha su tutta la superficie di contorno, non solo in determinate zone.

Il gradiente è il wall shear stress, forza di taglio che il fluido lambisce sul corpo; quindi, è una grandezza che è massima a contatto con la superficie e poi diventa nulla in un passo infinitesimo; quindi, la mesh dovrà essere in grado di coglierla.

Siccome la mesh è funzione anche delle grandezze che voglio studiare, se voglio studiare una pressione, siccome non varia così strettamente come il wall shear stress, posso essere più rilassata con la mesh. Detto in altro modo, se faccio un'analisi di convergenza della mesh e guardo la variazione della pressione, questo lo otterrò con un numero minore di nodi a parità di dominio, rispetto a l'analisi di convergenza del parametro wall shear stress.

Perché allora non prendere sempre la pressione? Dipende dal tipo di problema, devo vedere la grandezza più indicativa per studiare il problema. In qualità di biomedici ci interessa maggiormente il wall shear stress, sebbene provochi tensioni minori alle forze di pressione, poiché le cellule dei vasi sanguigni rispondono o a forze normali o tangenziali (meccano biologia: come uno stimolo esterno attiva la risposta cellulare). L'esperienza ha portato a concludere che la rottura dei vasi, la formazione di placche, ecc. sono correlate al wall shear stress, ecco perché dobbiamo studiare quel parametro, nonostante le problematiche correlate.

Problemi: che si estingue in uno spazio infinitesimo nel vaso il wall shear stress è nullo, è massimo alla parete, e che varia regionalmente su una superficie che ha normali che variano punto-punto perché il vaso è ottenuta da imaging mediche, quindi problemi legati alla segmentazione.

La mesh fitta andrà fatta nelle zone dove è più importante il wall shear stress.

A cosa servono le soluzioni analitiche? Per capire come lavora il codice, quindi poi posso capire se riesco a gestire il codice, inoltre per testare il codice; quindi, capire quanto è attendibile il risultato.

Come faccio a capire se la simulazione è fatta bene? Deve essere di qualità, non devono esserci distorsioni, ecc...

Alla fine della simulazione, si può fare il test della mesh quality, perché se ho elementi che in una zona d'interesse violano la shape quality, devo scartarli e quindi cambiare la mesh. Se invece quegli elementi che hanno violato i parametri della mesh quality sono lontani dalla zona d'interesse o sono in una zona dove non mi interessa molto li posso anche tenere.

Alcuni codici non partono se la mesh non è buona, Ansys è molto robusto, quindi parte, ma sta a noi capire se il risultato è attendibile.

Come meshare un cerchio? A sinistra una cattiva mesh, a destra una buona mesh, con una parte più "scarica" al centro, mentre le zone più fitte vicino alla parete, dove è massimo il wall shear stress. È un compromesso.