

# Sull'instaurarsi di cicli limite in modelli di bruciatori di turbine a gas Ansaldo

**Filippo Baccino**

Relatore: Prof. Alessandro Bottaro

Correlatore: Dr. Ezio Cosatto

Università degli studi di Genova

Corso di laurea magistrale in Ingegneria meccanica

# Le instabilità di combustione

- Interessano in particolare fiamme premiscelate magre, richieste per produrre meno inquinanti
- Possono risultare dannose se non distruttive in TG con camera di combustione anulare
- Interazioni tra rilascio termico e perturbazione di pressione (instabilità termoacustiche)

$$\int_0^{t_{period}} \int_0^V p'(x, t) q'(x, t) dv dt > 0$$

# Come vengono studiate

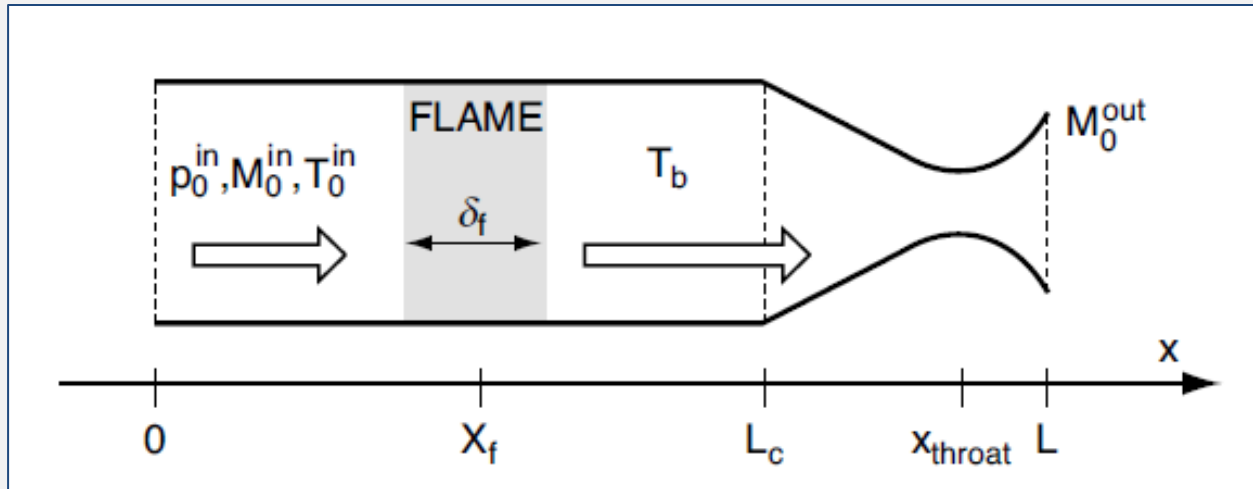
- Misure strumentali
- Analisi fluidodinamica
- Modelli acustici a parametri concentrati
- Studi in frequenza dell'equazione delle onde
- Modelli di interazione tra la fiamma e le oscillazioni di pressione

# Effetti del flusso medio

Utilizzando **COMSOL Multiphysics**, è stata studiata l'importanza del flusso medio in un caso di letteratura.

CM risolve l'equazione delle onde inhomogenea, scritta nel dominio delle frequenze:

$$\nabla \cdot \left[ -\frac{1}{\rho_c} (\nabla p - q) \right] - \frac{\omega^2 p}{\rho_c c^2} = Q$$



(combustione, flusso medio)

$$\nabla \cdot \left[ -\frac{1}{\rho_c} (\nabla p - \downarrow q) \right] - \frac{\omega^2 p}{\rho_c c^2} = \downarrow Q$$

# Risultati ed osservazioni

Ma ingresso	Frequenza Ottenuta	Frequenza attesa[1]
0	186.35-2.6i	183-2i
0.05	232.36+12i	234+32i

- Condizioni al contorno
- Flusso medio non uniforme lungo il condotto

[1] **Nicoud, F. ; Wieczorek, K.** *About the zero Mach assumption in the calculation of thermoacoustic instabilities.*

# Importanza del flusso medio uniforme

- Sperimentalmente il fenomeno presenta frequenze ben distinte tra loro
- Si dimostra che l'equazione delle onde con flusso medio non uniforme è un operatore non Hermitiano
- Un operatore non Hermitiano può presentare uno spettro continuo in frequenza

# Osservazioni

- L'analisi di stabilità viene solitamente condotta analizzando la parte immaginaria delle autofrequenze
- Qualora l'operatore sia non Hermitiano è possibile che si verifichi un'amplificazione transitoria sufficiente a portare il sistema fuori dal dominio teorico di validità, anche se l'analisi delle autofrequenze ne predirebbe un comportamento stabile



# Come vengono studiate

- Misure strumentali
- Analisi fluidodinamica
- Modelli acustici a parametri concentrati
- Studi in frequenza dell'equazione delle onde
- Modelli di interazione tra la fiamma e le oscillazioni di pressione

**Termoacustica  
con flusso medio**

**Modello di  
rilascio termico**

**LINEARE**


**NON LINEARE**

(interazione fiamma-ingresso, velocità di fiamma)

# La termoacustica con flusso medio

COMSOL Multiphysics: **Physics Builder**

Equazioni di Eulero linearizzate

- 
- Conservazione della massa
  - Conservazione della quantità di moto
  - Conservazione dell'energia

# Modello di rilascio termico AE

- Validato analiticamente con dati test rig
- Dipendente dalla frazione molare d'aria  $z$

$$z = \frac{n_{air}}{n_{air} + n_{fuel}} = 1 - \frac{\bar{p}_{fuel}}{\bar{p}_{air} + \bar{p}_{fuel} + p'}$$

- $z$  è funzione della perturbazione di pressione all'ingresso

# Modello di rilascio termico AE

- $z$  viene trasportata convettivamente

$$\frac{Dz}{Dt} = 0$$

- Il rilascio termico alla fiamma è:

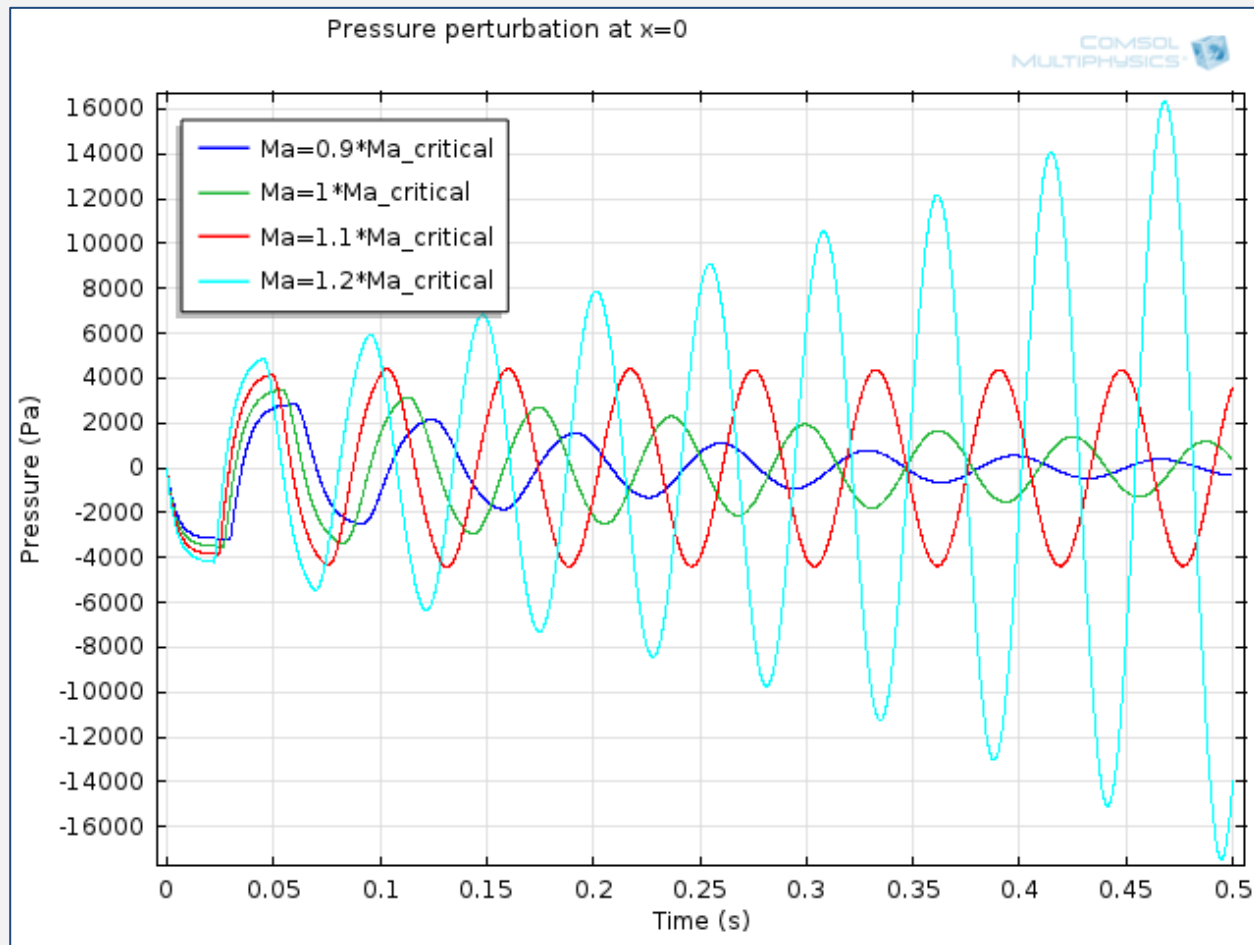
$$q' = \frac{H}{\delta_f} \rho(z) Y(z) v_f(z) - \frac{H}{\delta_f} \rho(\bar{z}) Y(\bar{z}) v_f(\bar{z})$$

# Instaurazione del ciclo limite



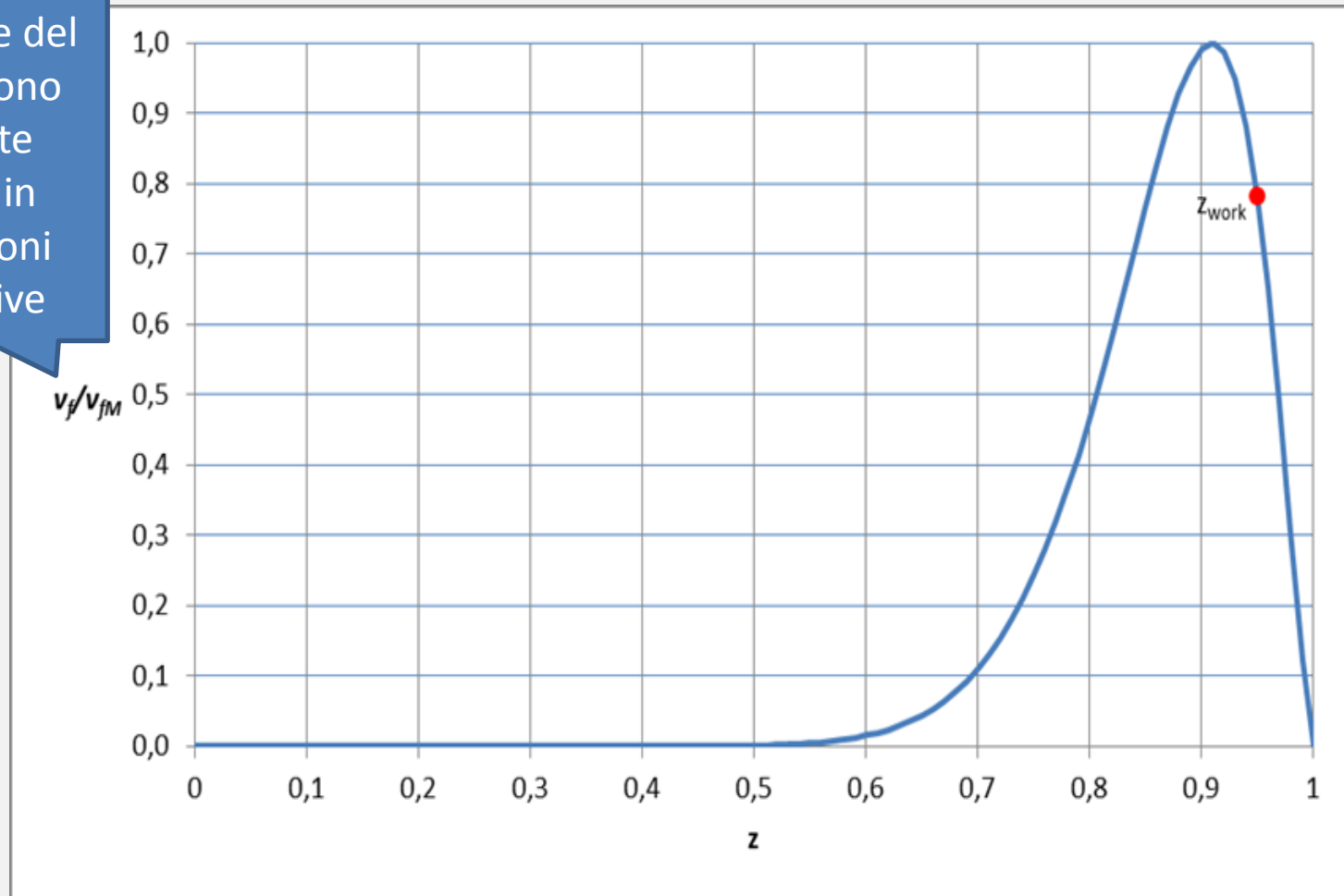
Si osservano i comportamenti attesi:

- In condizioni analoghe alle prove condotte analiticamente il ciclo limite si instaura quando Mach è superiore ad un dato valore critico



# Velocità di fiamma

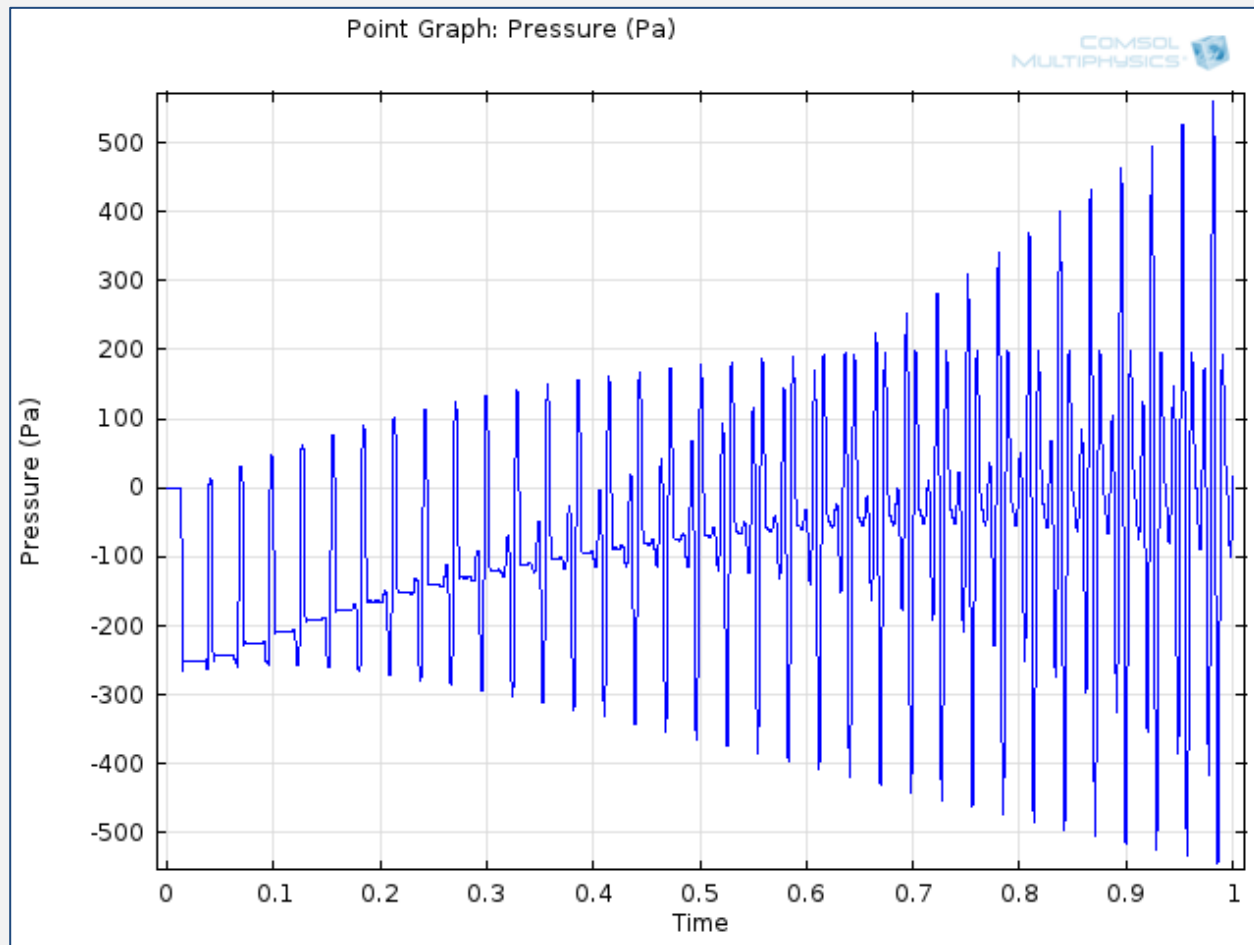
Le velocità di fiamma e del flusso sono imposte uguali in condizioni operative





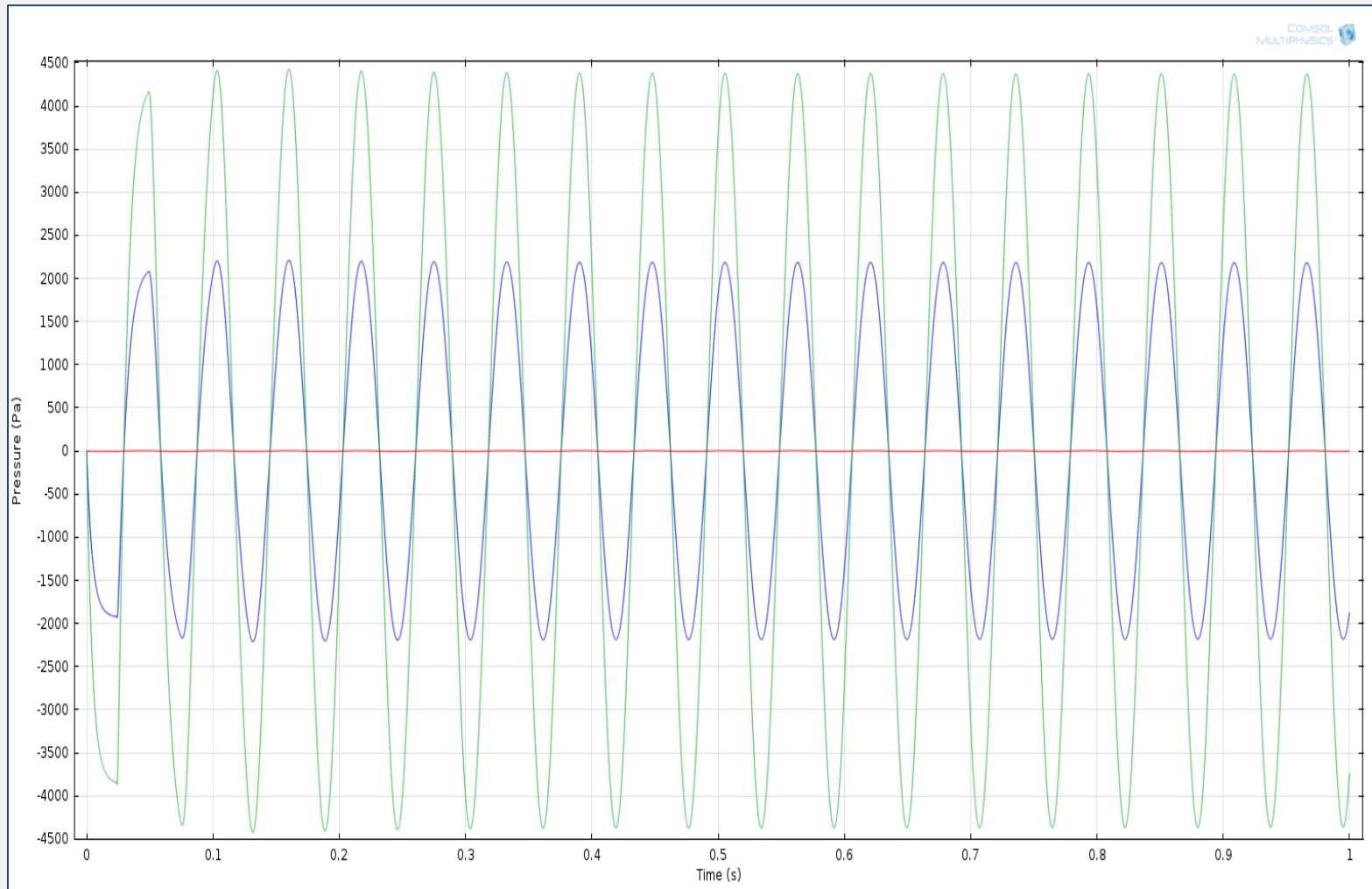
Si osservano i comportamenti attesi:

- Diverse geometrie e condizioni al contorno producono cicli limite di frequenza diversa



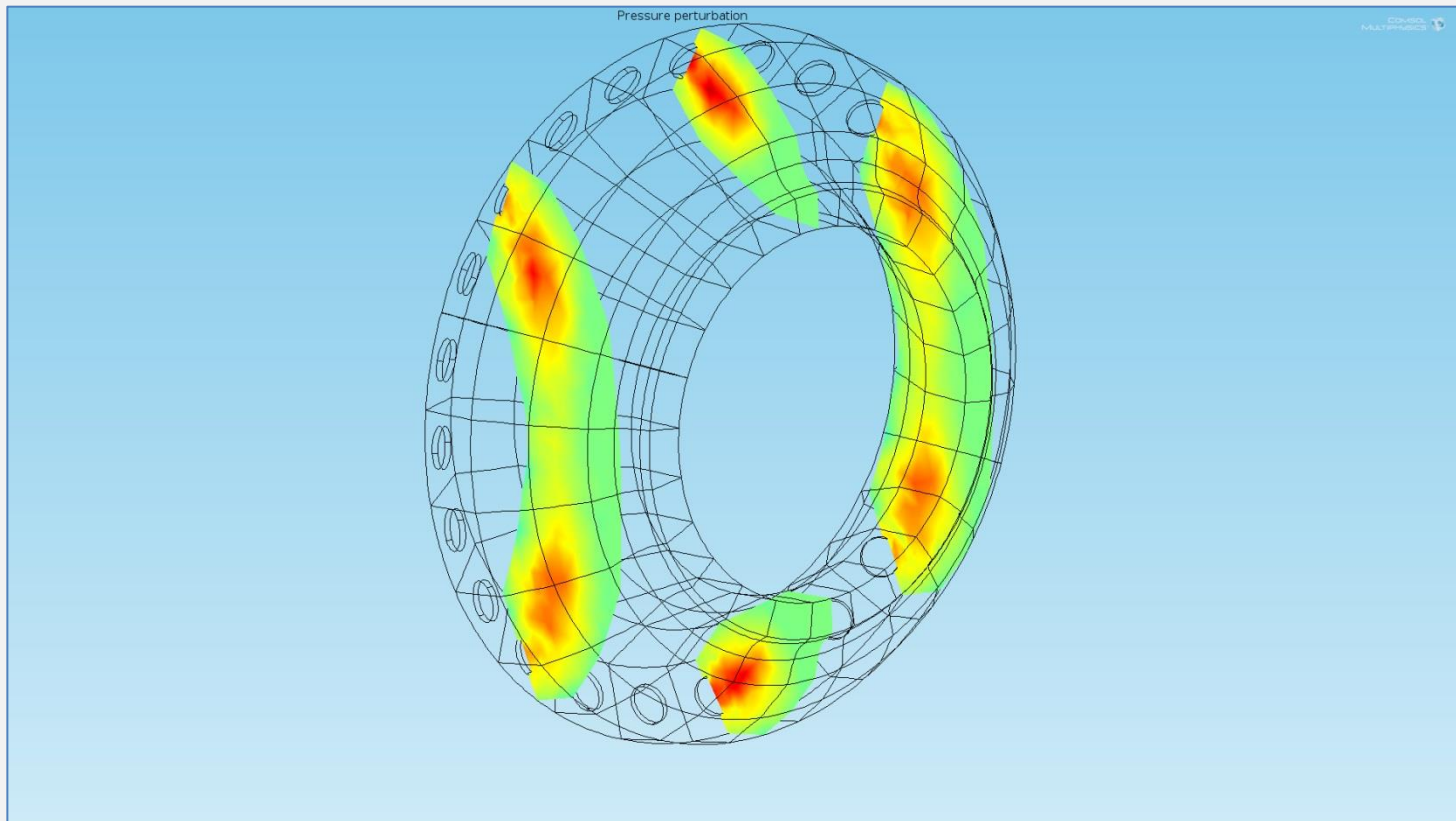
Si osservano i comportamenti attesi:

- Dimezzando la perturbazione iniziale l'ampiezza del ciclo limite viene dimezzata



# Simulazioni 3D

- CFD + Misure sperimentali  $\longrightarrow$  analisi camera di combustione 3D di turbina a gas Ansaldo



# Sviluppi futuri

- CFD + Misure sperimentali → analisi camera di combustione 3D o singolo bruciatore
- Considerare variazione area della fiamma
- Legame z-equazioni linearizzate su tutto il dominio

# Conclusioni

- Importanza flusso medio
- Possibili risultati fuorvianti in frequenza
- Perfetta trasposizione del modello teorico in CM

# Conclusioni

## AIA-DAGA 2013 Conference on Acoustics 18-21 March 2013 - Merano, Italy

### A limit cycle for pressure oscillations in a premix burner

A. Di Vita<sup>1</sup>, F. Baccino<sup>2</sup>, E. Cosatto<sup>3</sup>

<sup>1</sup> *Ansaldo Energia, PDE-ISV-TFC, Via N. Lorenzi 1 16152 Genova, Italy, Email: [andrea.divita@aen.ansaldo.it](mailto:andrea.divita@aen.ansaldo.it)*

<sup>2</sup> *DICCA, Univ. Genova, Via Montallegro 1 16145 Genova, Italy, Email: [bafiliba@gmail.com](mailto:bafiliba@gmail.com)*

<sup>3</sup> *Ansaldo Energia, PDE-ISV-TFC, Via N. Lorenzi 1 16152 Genova, Italy, Email: [ezio.cosatto@aen.ansaldo.it](mailto:ezio.cosatto@aen.ansaldo.it)*

#### The problem

Any satisfactory description of humming (= dangerous, combustion-driven acoustic oscillation in gas-turbine burners [1]) should include both acoustic and convective phenomena. In fact, the distance  $v_0 \cdot \tau$  crossed by an element of fluid (with speed  $v_0 \approx 10$  m/s) during one humming period ( $\tau \approx 10$  ms) is typically  $\approx$  the distance  $L$  between the flame and the inlet of the air-fuel mixture ( $L \approx 10$  cm). Accordingly, no fully linear approach seems to be successful. Admittedly, humming-related pressure-perturbation amplitude ( $p_1 \approx 10$  mbar) is  $\ll$  the unperturbed working pressure ( $p_0 \approx 10$  bar), and the speed of a small fluid element in an acoustic wave ( $v_1 \approx$  m/s) is  $\ll$  the unperturbed sound speed ( $c_{s0} \approx 500$  m/s). Locally, however,  $v_1$  may be  $\approx v_0$ , e.g. near the vortices' axis inside the burner, where  $v_0$  vanishes. Moreover, available models often postulate the Mach number  $M \equiv v_0/c_{s0}$  to vanish, a scarcely justifiable tenet [2]. Furthermore, the combined effect of non-

quantity  $a$  respectively). The equation linking the source  $q^*_1$  and the signal  $p_1$  is [8]:

$$\left[ \frac{1}{c_{s0}^2} \left( \frac{\partial}{\partial t} + \mathbf{v}_0 \cdot \nabla \right)^2 - \Delta \right] p_1 = \frac{1}{c_{s0}^2} (\gamma - 1) \left( \frac{\partial}{\partial t} + \mathbf{v}_0 \cdot \nabla \right) q^*_1 \quad (1)$$

where  $\gamma$  is the specific heat ratio before the flame. When applied to a flame with area  $A_f$  ( $\approx$  m<sup>2</sup>) and thickness  $d_0$  ( $\approx$  mm), the first principle of thermodynamics provides us with  $Q^* (= q^* \cdot A_f \cdot d_0)$ :

$$Q^* = Q_c - \frac{p_0 d_0}{(\gamma - 1)} \frac{d A_f}{d t} \quad (2)$$

where we take  $d_0 = \text{const.}$  as  $d_0/v_0 \ll \tau$ . The quantity  $Q_c$  is the heat release:

$$Q_c = H A_f \rho Y_f v_f \quad (3)$$

**Grazie per l'attenzione**

# Operatore non Hermitiano

Un operatore  $L$  si dice Hermitiano quando soddisfa l'identità:

$$\int_D dx f^*(Lg) = \int_D dx (Lf^*)g$$

Per una coppia arbitraria di funzioni  $f$  e  $g$ , dove  $f^*$  rappresenta il complesso coniugato di  $f$ .