

Udine, 26 maggio 2009



**CORSO DI DOTTORATO DI RICERCA IN  
TECNOLOGIE CHIMICHE ED ENERGETICHE  
- CICLO XXI -**

***Analisi sperimentale del campo di moto  
in canali di raffreddamento rettangolari provvisti di pin-fins  
a basso aspect-ratio e basso numero di Reynolds***



*Dottorando:* **Dott. Ing. Alessandro ARMELLINI**

*Relatore:* **Prof. Ing. Pietro GIANNATTASIO**

*Coordinatore:* **Prof. Ing. Piero PINAMONTI**

## Contenuti

---

- Introduzione e obiettivi della ricerca
- Configurazione analizzata e procedura sperimentale
- Strutture di separazione a monte degli ostacoli
- Flusso nella scia a valle degli ostacoli
- Conclusioni e sviluppi futuri

## Contesto scientifico & industriale

Ottimizzazione dei sistemi di raffreddamento mirata al conseguimento delle massime prestazioni di scambio termico a fronte di perdite di carico accettabili e nel rispetto delle particolari condizioni applicative

## Presente Applicazione

Dissipatori termici per componenti elettronici di potenza e circuiti microelettronici

### Requisiti

- elevati flussi termici specifici
- bassa rumorosità
- stringenti limitazioni dimensionali

- Fluido refrigerante liquido a bassa velocità
- Sezioni di passaggio con elevato rapporto larghezza/altezza
- Utilizzo di alette a spillo per aumentare la superficie di scambio termico e promuovere la turbolenza

## Motivazioni

In letteratura i contributi che analizzano il comportamento termo-fluidodinamico dei dispositivi in oggetto in condizioni di flusso realistiche sono alquanto carenti.

La complessità delle condizioni di flusso in questi dispositivi rappresenta una seria sfida per i moderni codici di calcolo numerico, ma al momento non si dispone di data-base sperimentali sufficientemente ampi e accurati per la validazione.

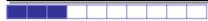
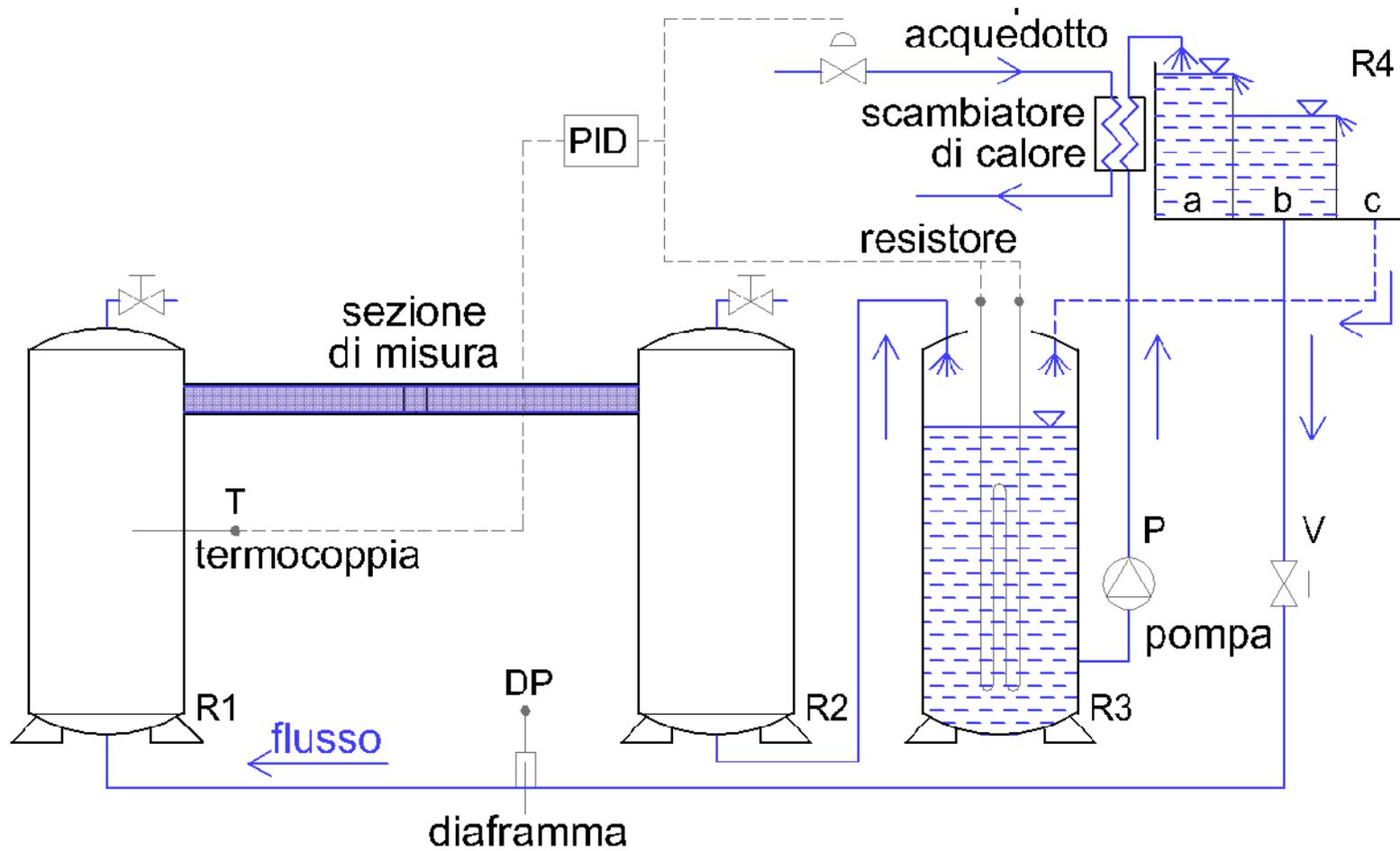
## Obiettivi

Caratterizzare **sperimentalmente** il **comportamento fluidodinamico** di promotori di scambio termico di varie geometrie in **condizioni di flusso simili a quelle di reale impiego**.

- basso rapporto di forma
- basso numero di Reynolds
- elevato livello di turbolenza del flusso a monte

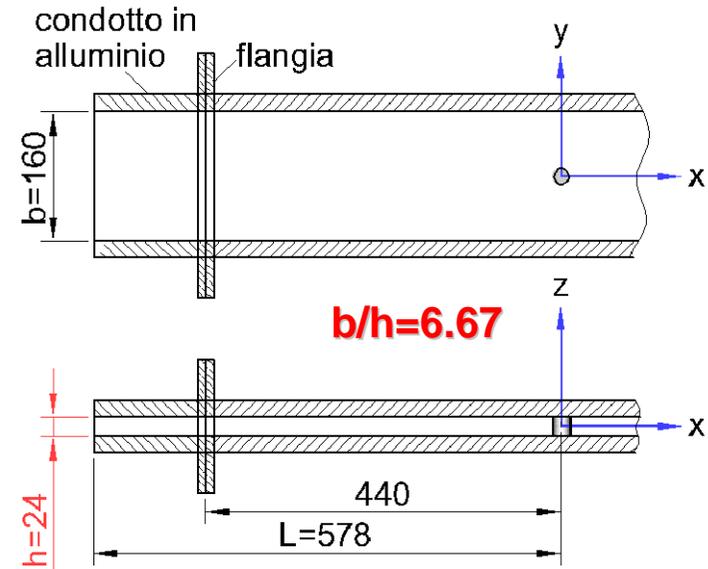
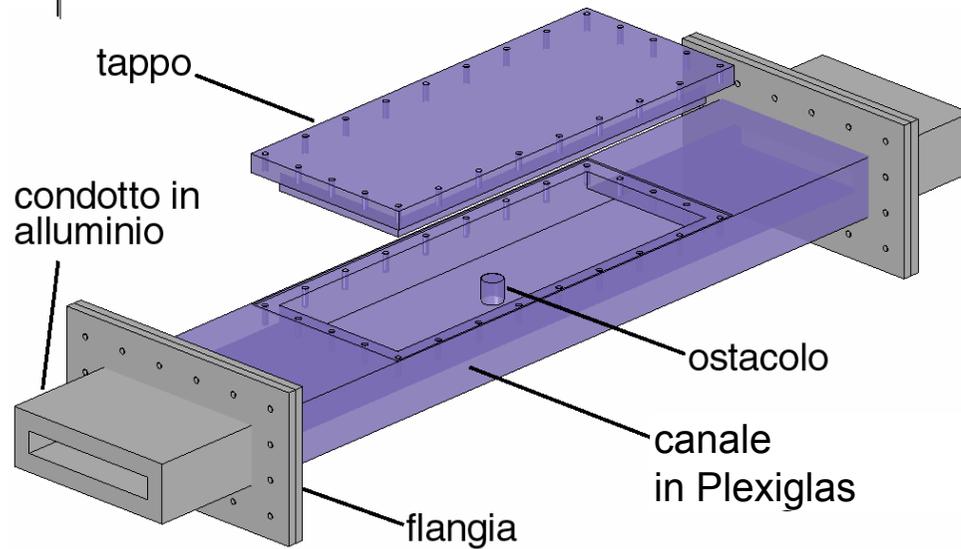
# Procedura Sperimentale

## Impianto di prova

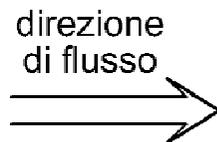


# Procedura Sperimentale

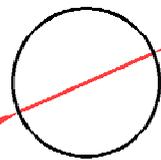
## Sezione di misura



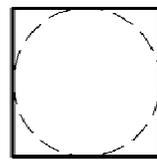
$$b/h=6.67$$



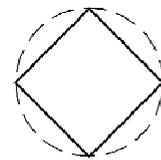
$$d=22$$



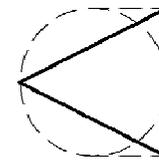
circolare



quadrato



romboidale



triangolare

$$AR=h/d=1.09$$

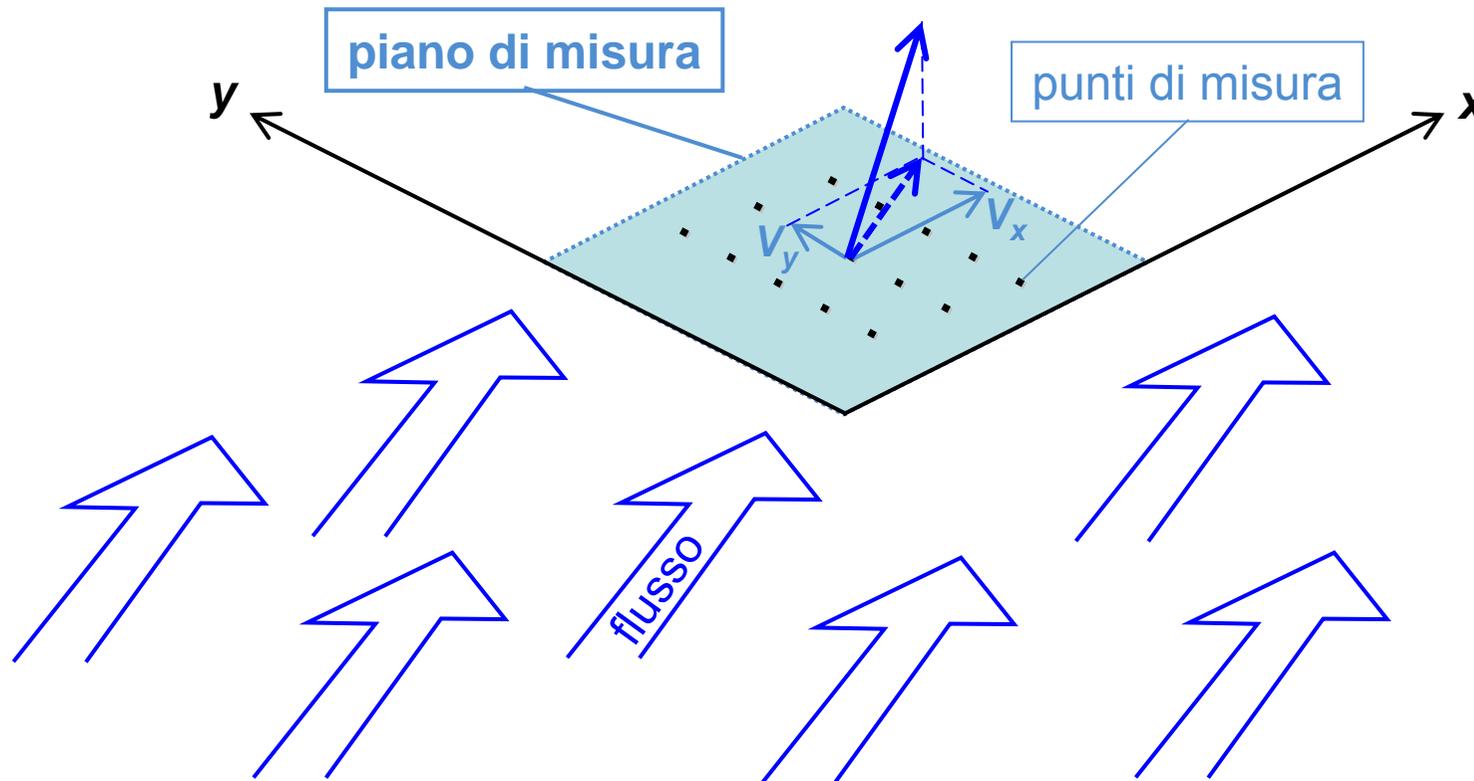
## Regimi di Flusso

$$Re = U_B d / \nu = 800, 1800, 2800$$



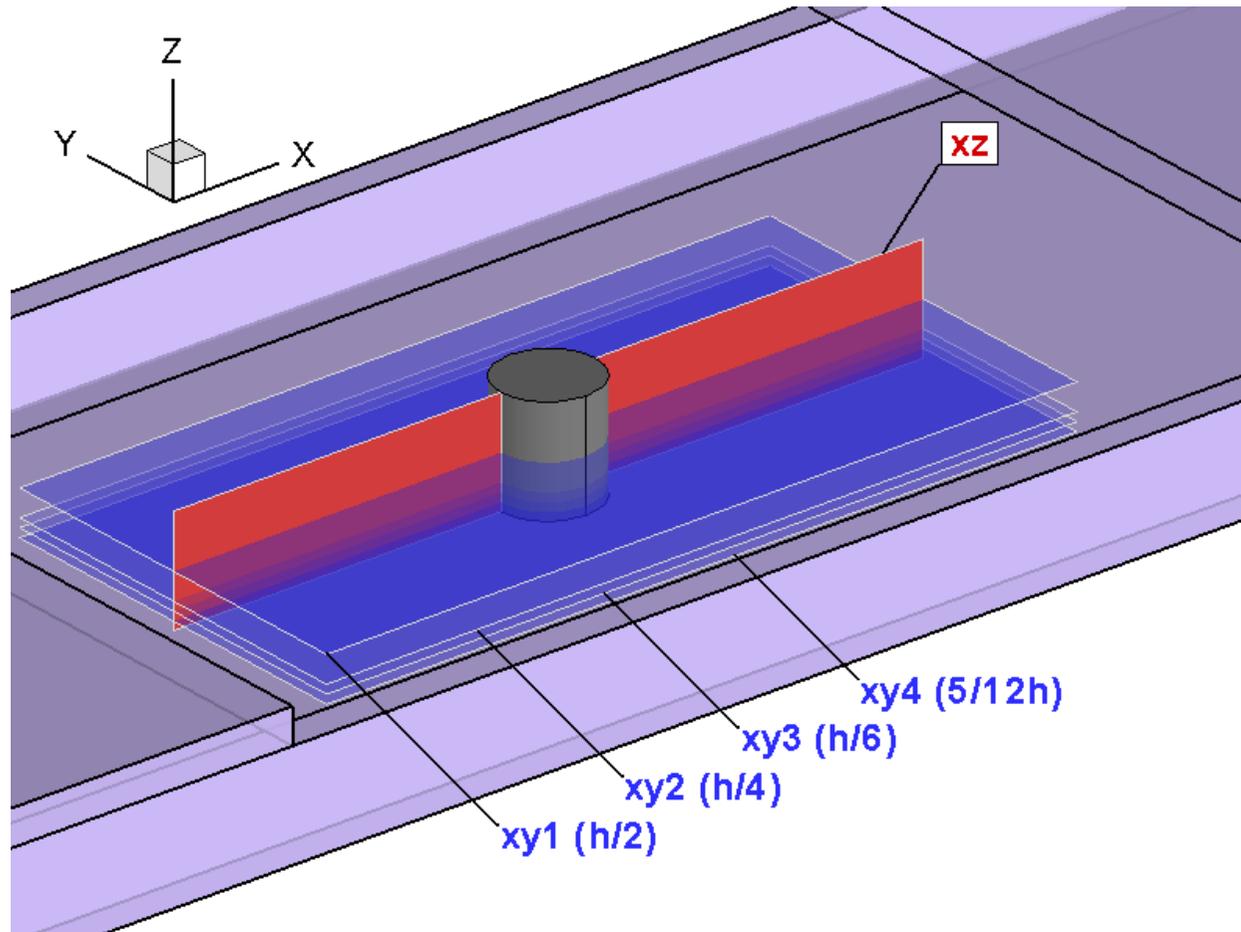
## Particle Image Velocimetry 2D

Mediante la tecnica PIV-2D è possibile misurare simultaneamente e con elevata risoluzione spaziale le due componenti della velocità in un piano di flusso



## Piani di Misura PIV

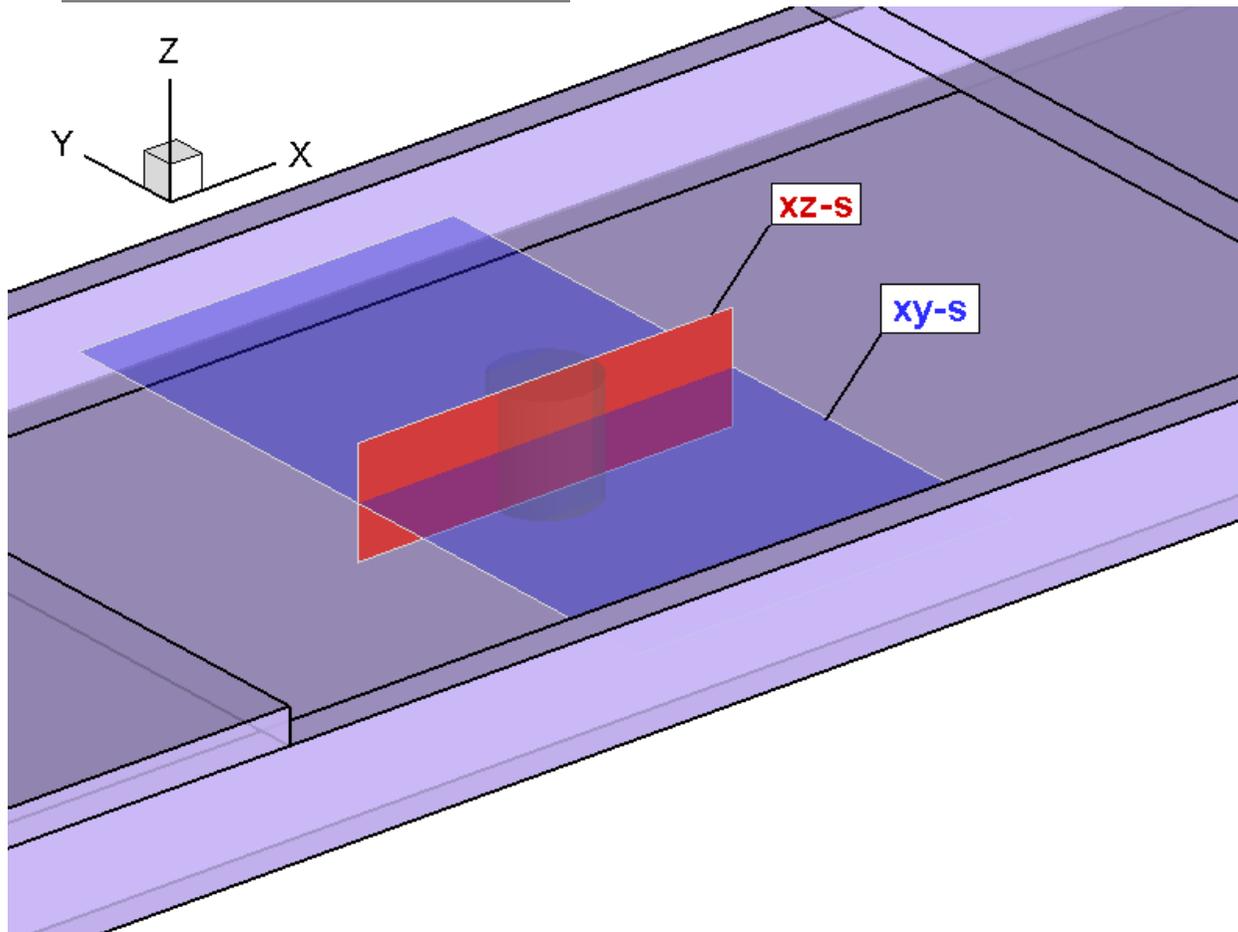
- Flusso intorno agli ostacoli: piani di simmetria e piani orizzontali a diversa elevazione



## Piani di Misura PIV

➤ Flusso intorno agli ostacoli: piani di simmetria e piani orizzontali a diversa elevazione

➤ Flusso senza ostacolo

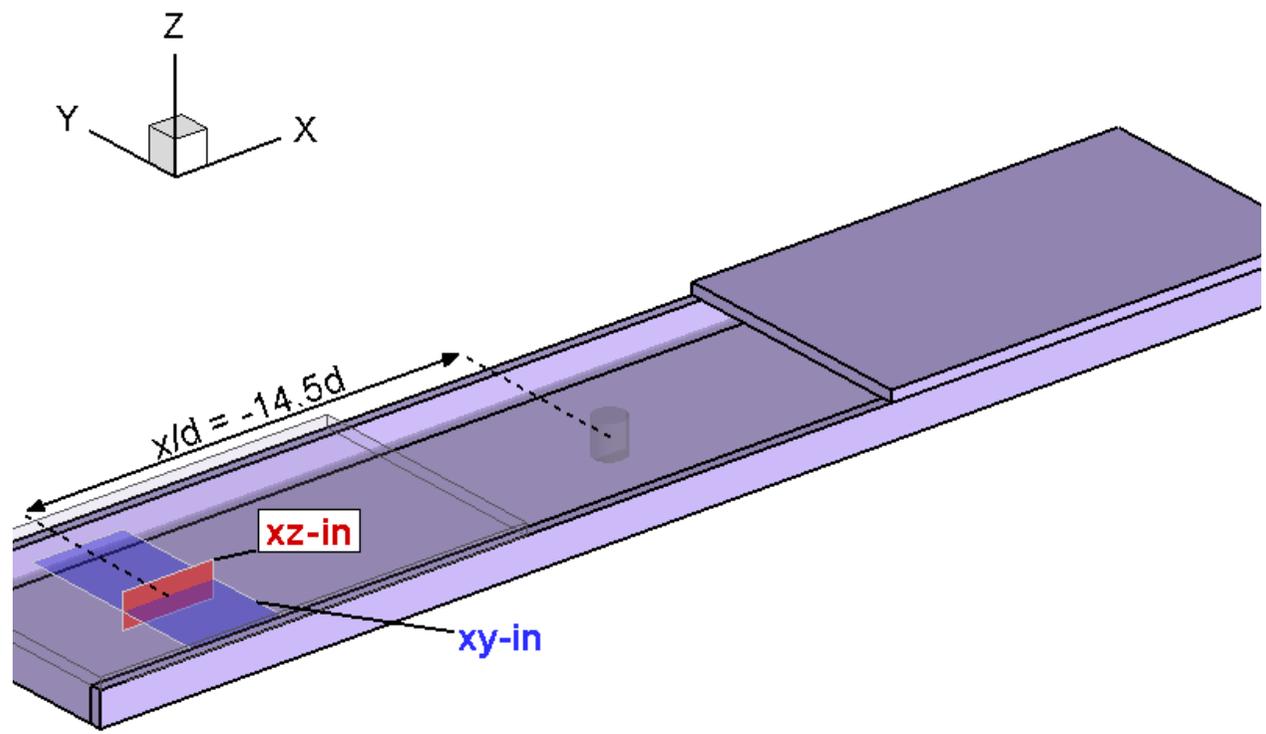


## Piani di Misura PIV

➤ Flusso intorno agli ostacoli: piani di simmetria e piani orizzontali a diversa elevazione

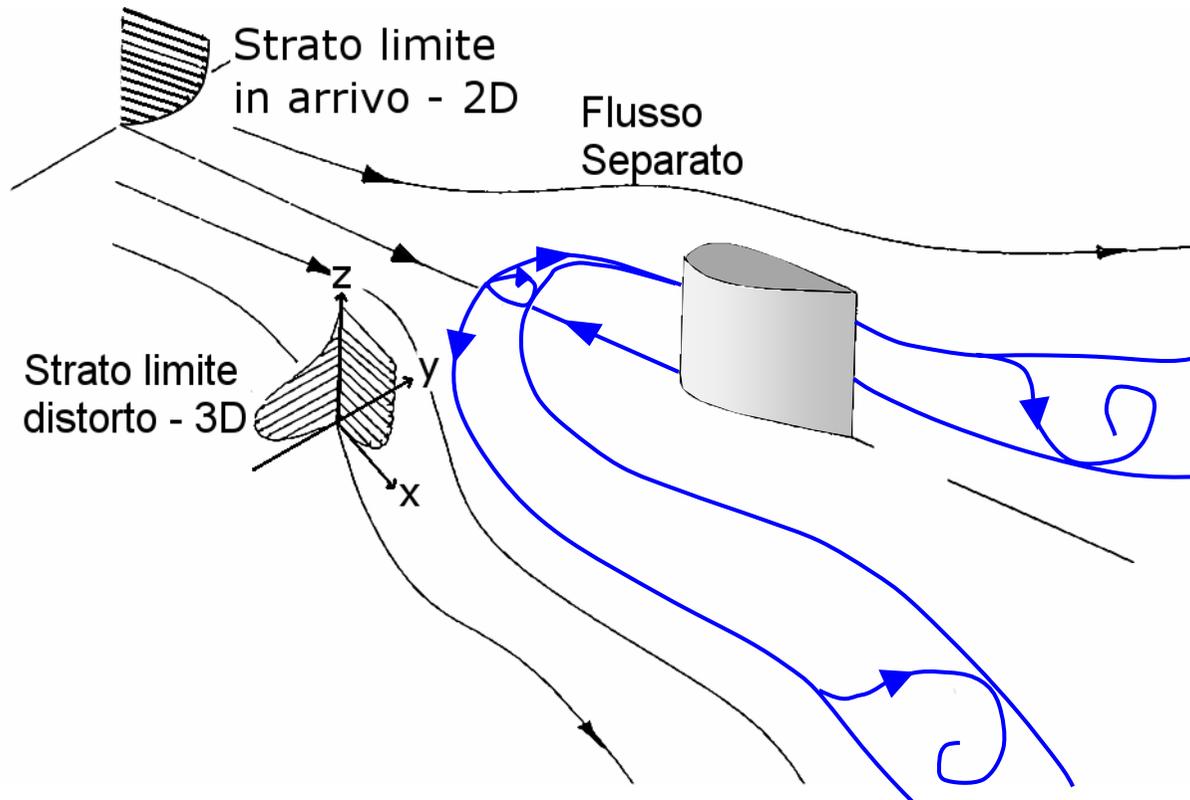
➤ Flusso senza ostacolo

➤ Flusso a monte dell'ostacolo



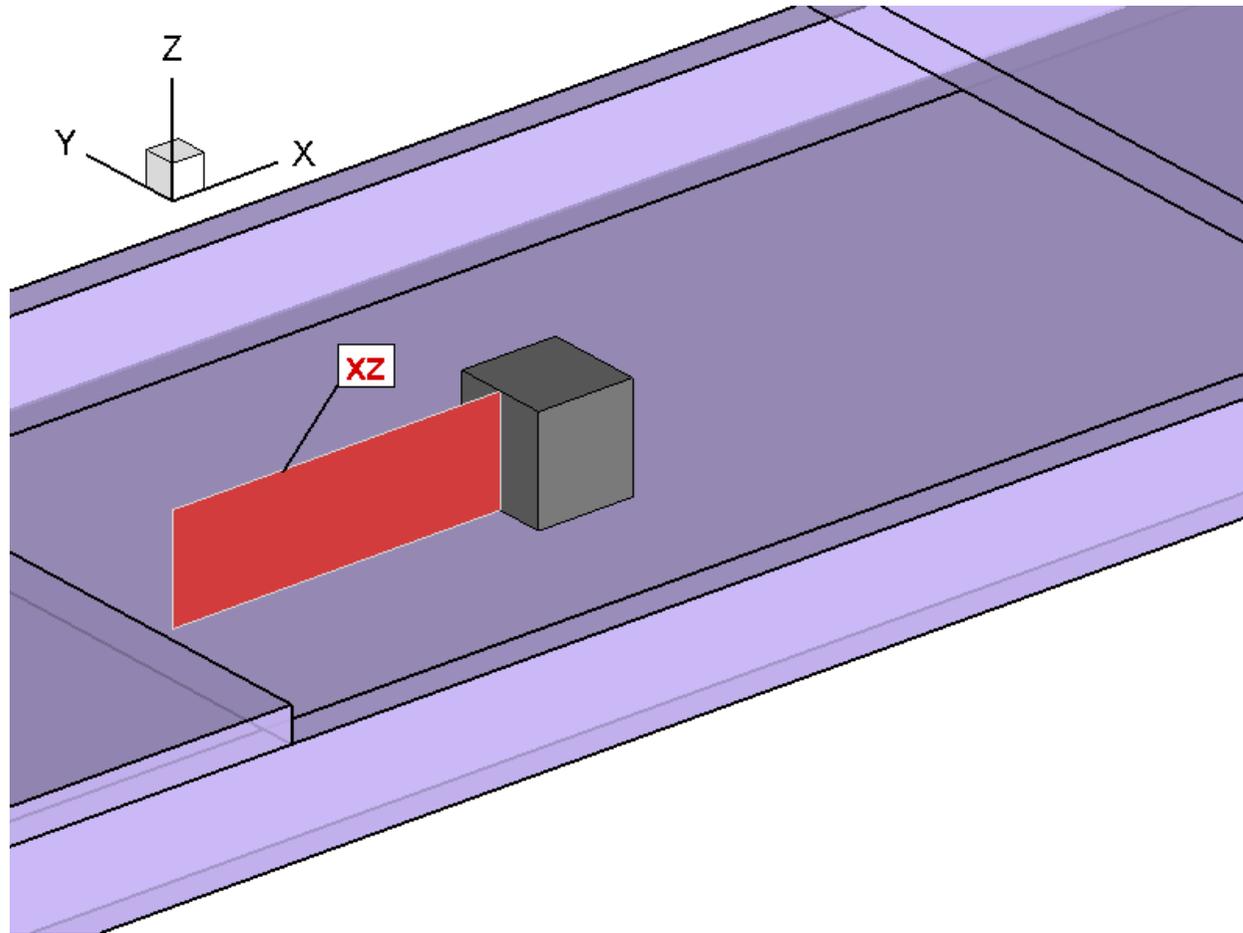
## Strutture di separazione a monte

Formazione di un sistema di vortici a ferro di cavallo (**horseshoe vortex system**) alla giunzione fra ostacolo e pareti del canale

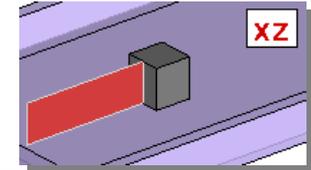


Ai regimi di flusso considerati la letteratura indica la formazione di strutture di separazione **stabili** o al massimo **oscillanti**

# Strutture di separazione a monte

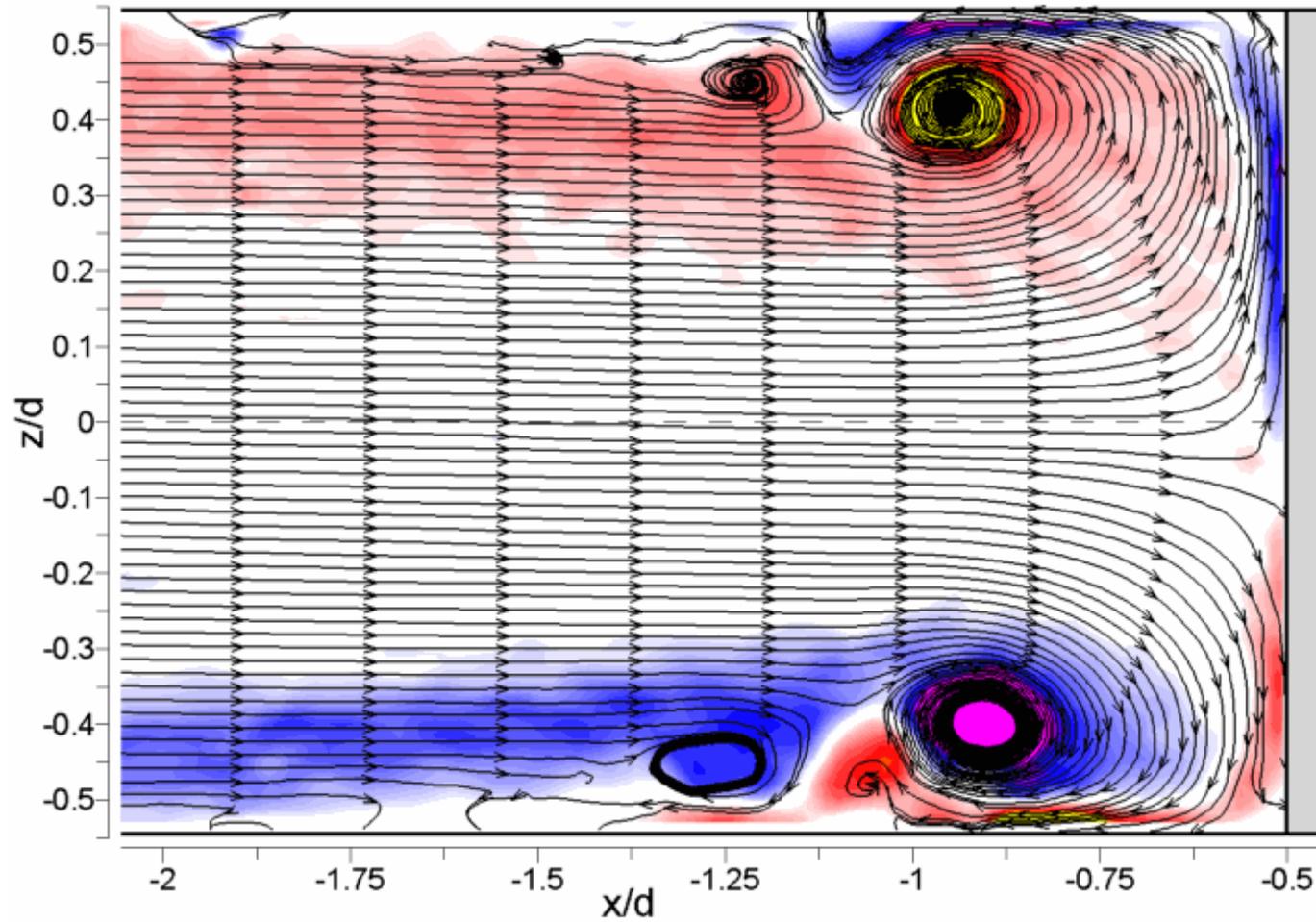


# Strutture di separazione a monte

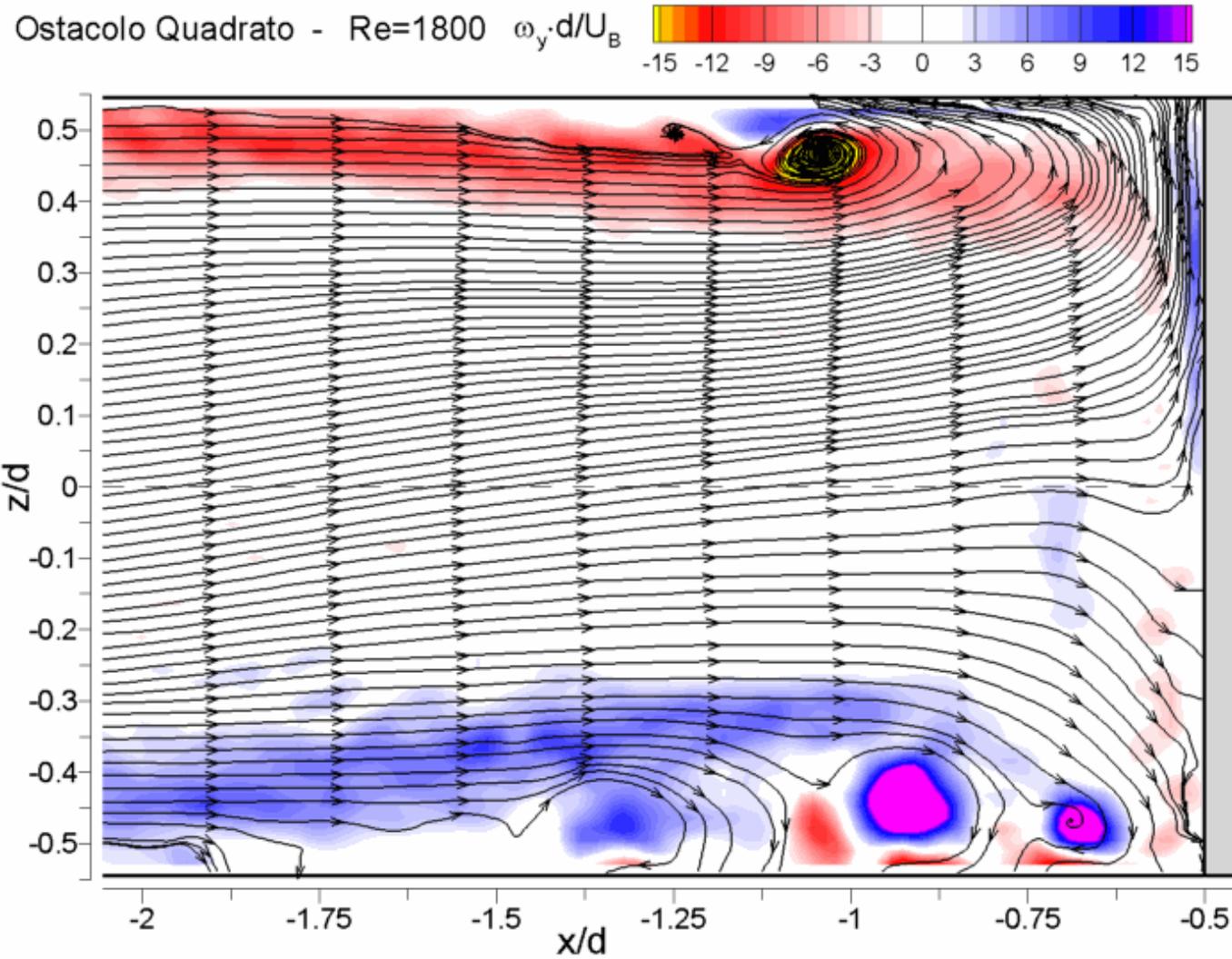
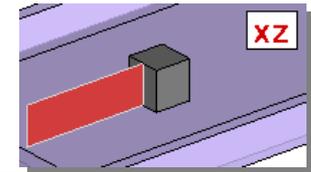


Ostacolo Quadrato -  $Re=800$   $\omega_y \cdot d/U_B$

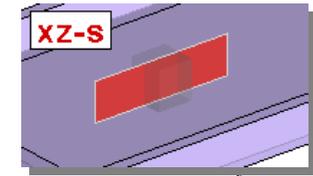
A horizontal color scale for vorticity, ranging from -15 (red) to 15 (blue), with intermediate values at -12, -9, -6, -3, 0, 3, 6, 9, and 12.



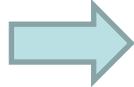
# Strutture di separazione a monte



# Strutture di separazione a monte

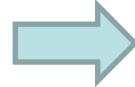


Configurazione geometrica realistica

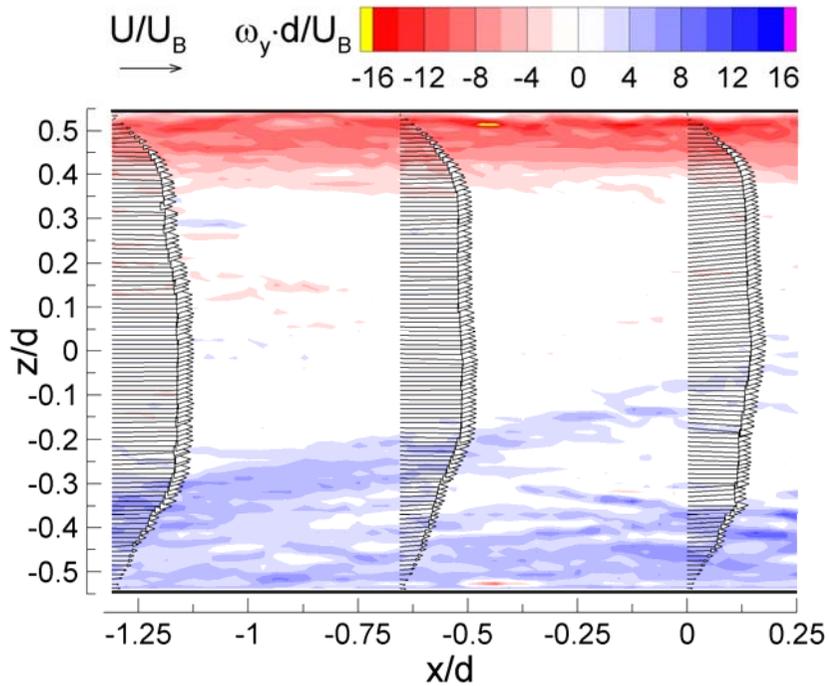


➤ brusca contrazione all'imbocco

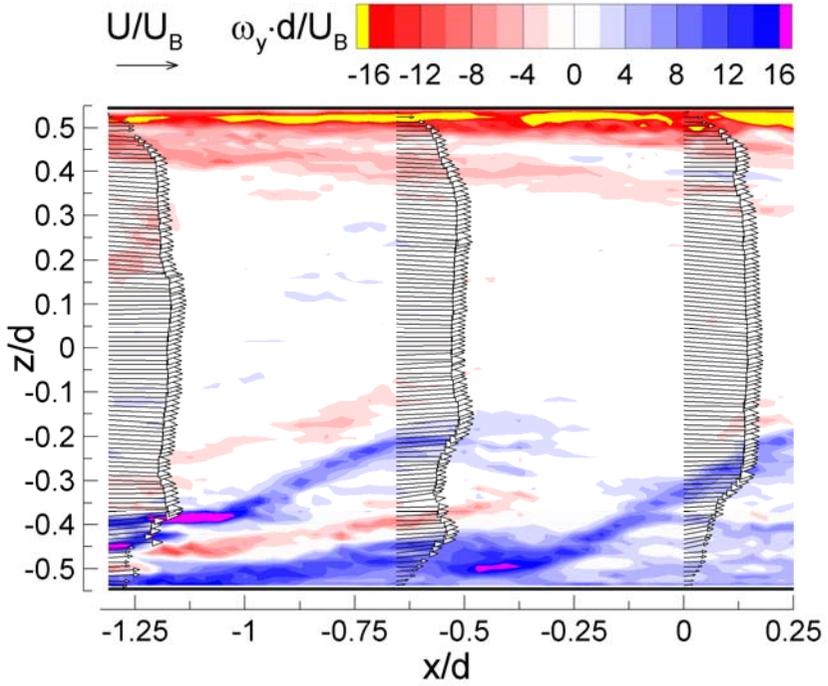
➤ lunghezza di imbocco limitata



livello di turbolenza elevato:  $Tu \approx 7\%$



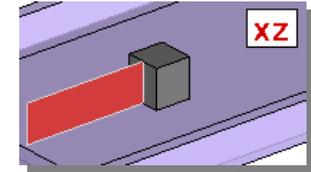
Re=800



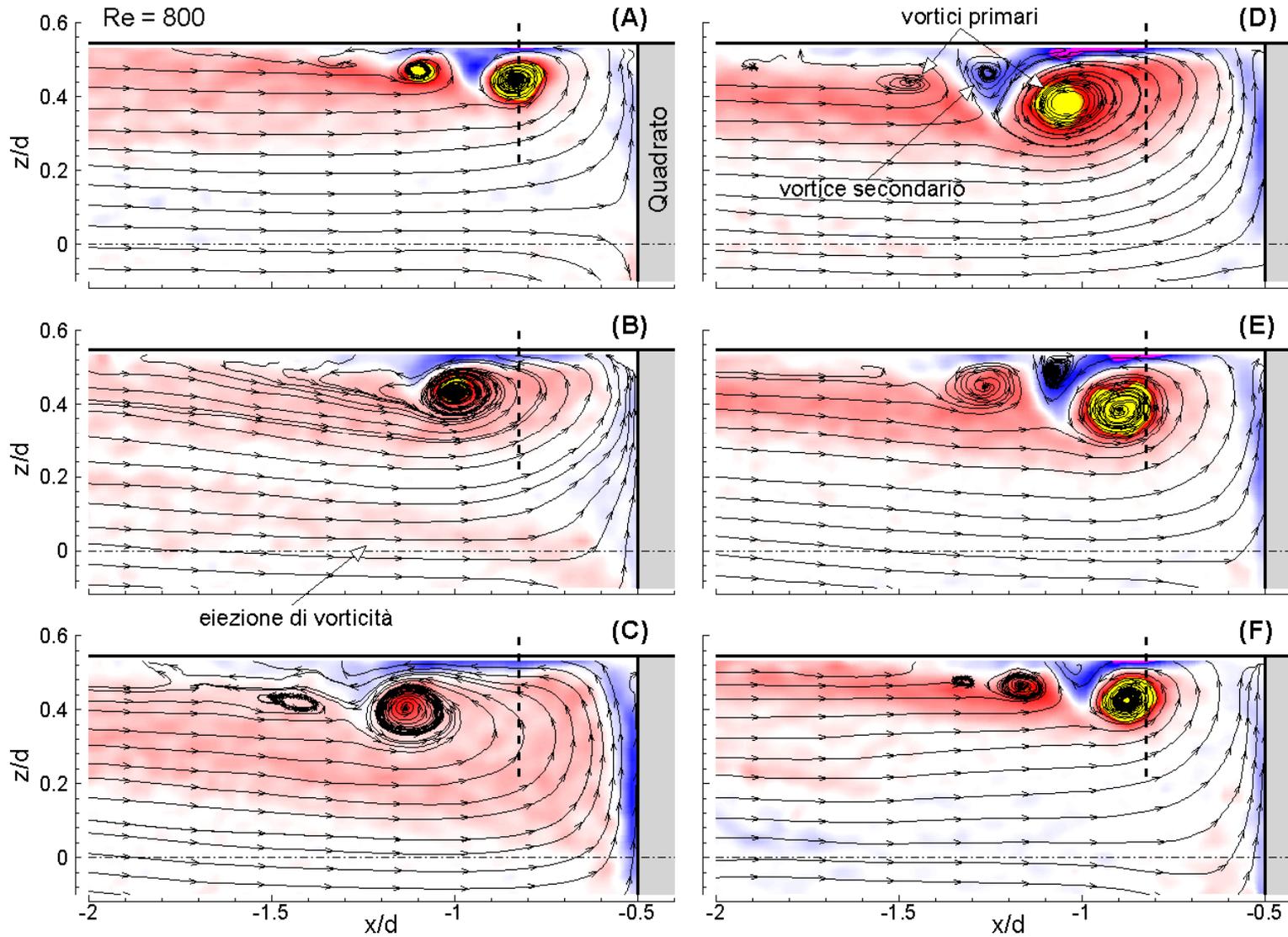
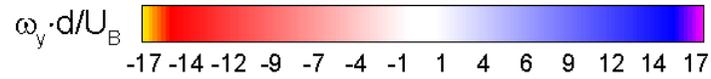
Re=2800



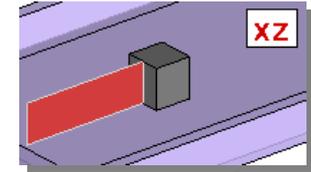
# Strutture di separazione a monte



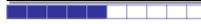
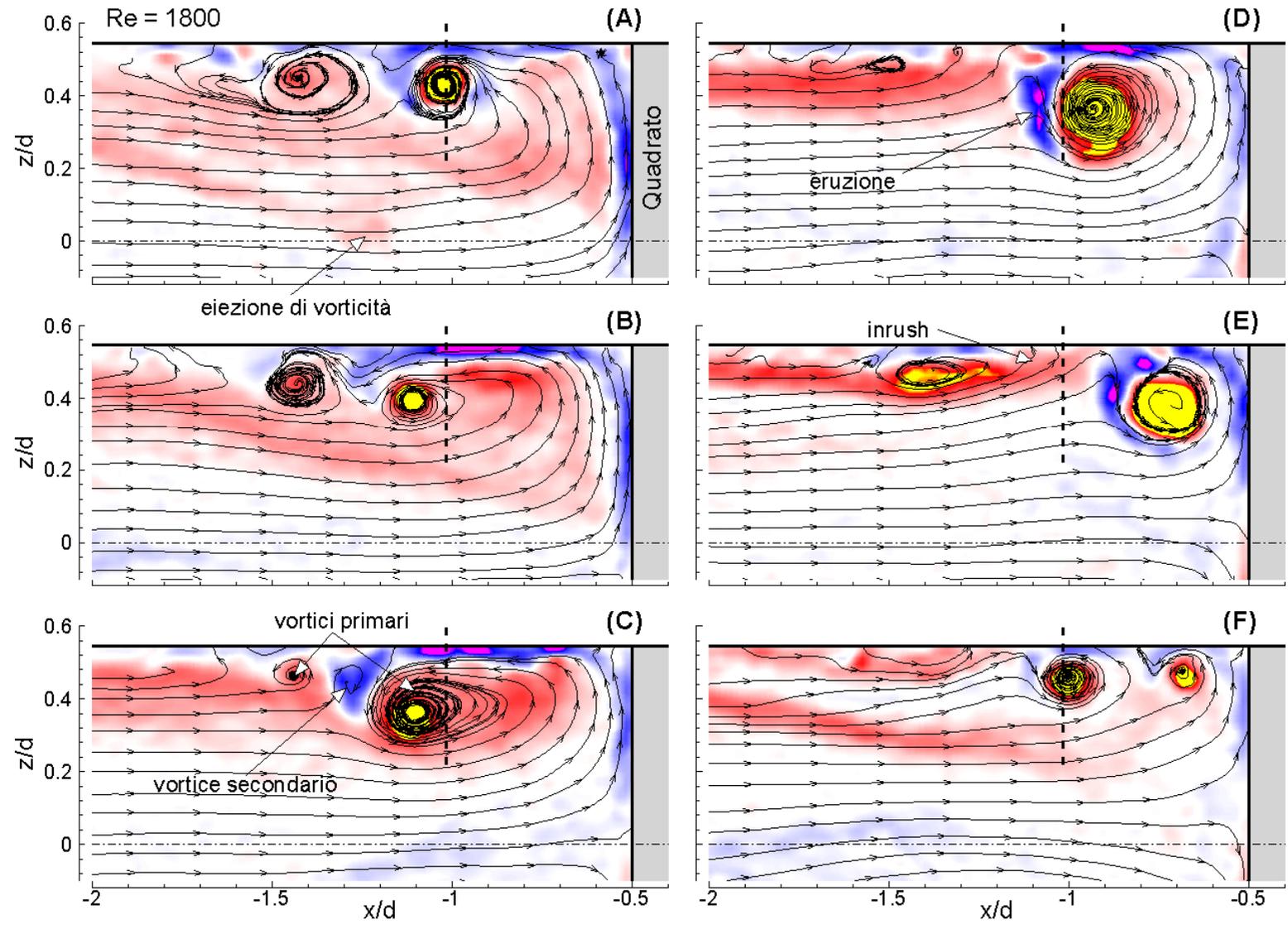
Re = 800



# Strutture di separazione a monte

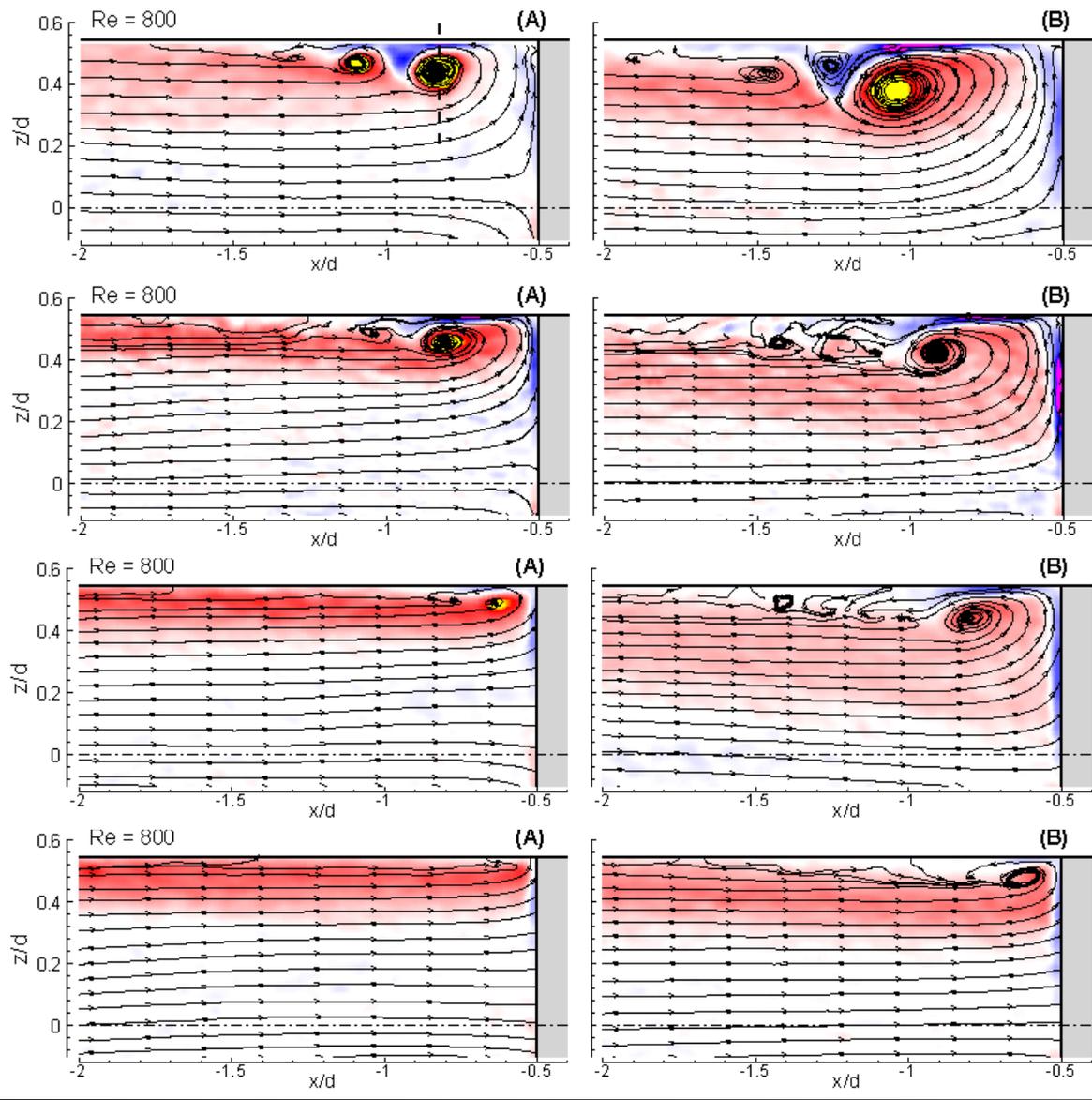
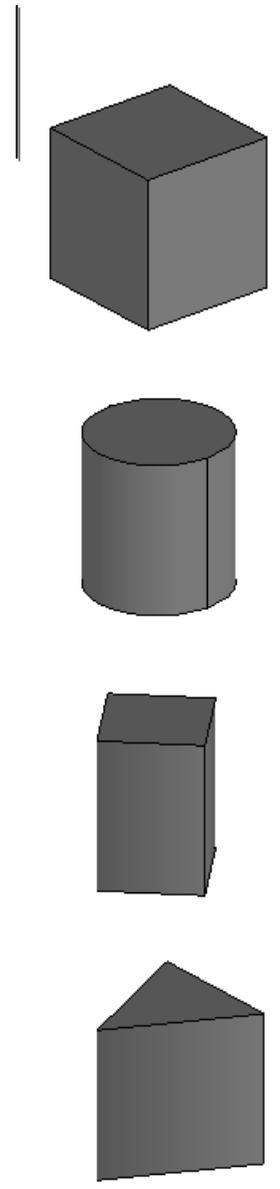
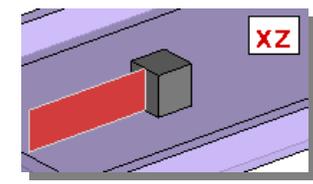


Re = 1800



# Strutture di separazione a monte

Re = 800



$u'$  e  $w'$  minori del 30÷40 % rispetto al pin Q ma stessa dinamica al variare di  $Re$ .

Intensità di turbolenza molto inferiore rispetto ai pins Q e C e casi di *break-away* e *inrush* osservati solo per il pin R a  $Re = 1800$  e  $2800$ .



## Flusso nella scia

---

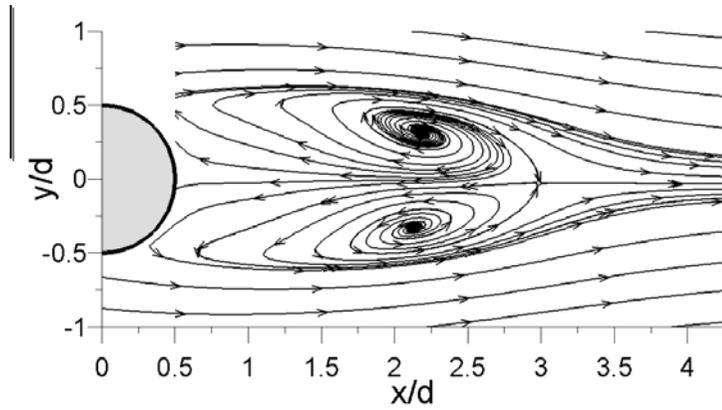
➤ **Struttura media della scia**

➤ Fenomenologia del distacco dei vortici

➤ Sensibilità alla variazione della geometria dell'ostacolo

- Introduzione e obiettivi della ricerca
- Configurazione analizzata e procedura sperimentale
- Struttura di separazione a monte degli ostacoli
- **Flusso nella scia a valle degli ostacoli**
- Conclusioni e sviluppi futuri

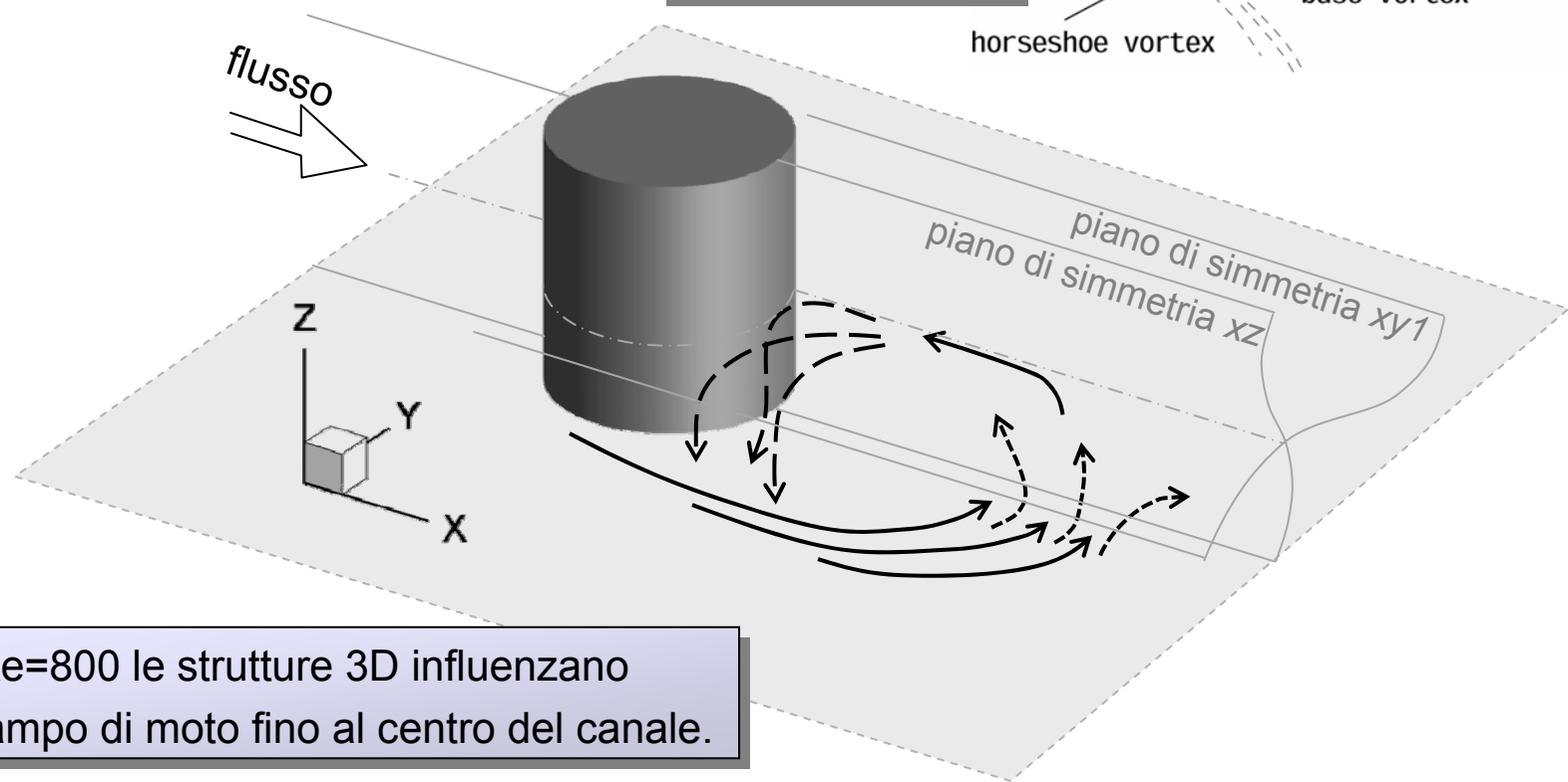
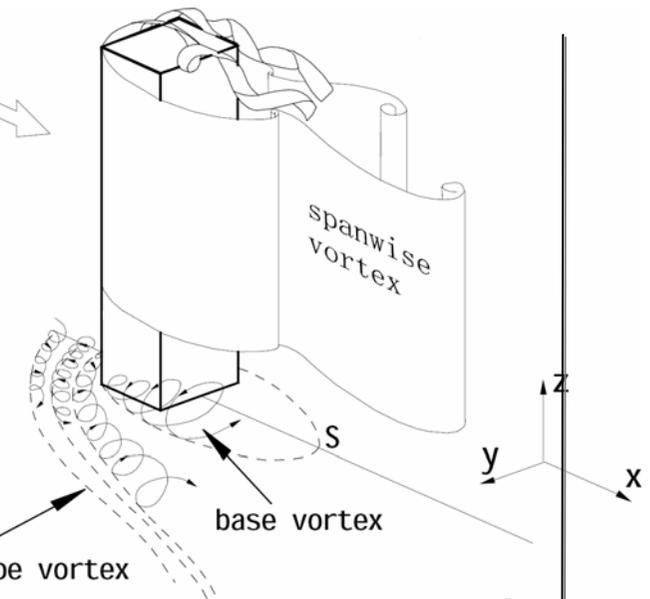
# Flusso nella scia – Struttura media



➤ linee di corrente

➤ campi del residuo della divergenza

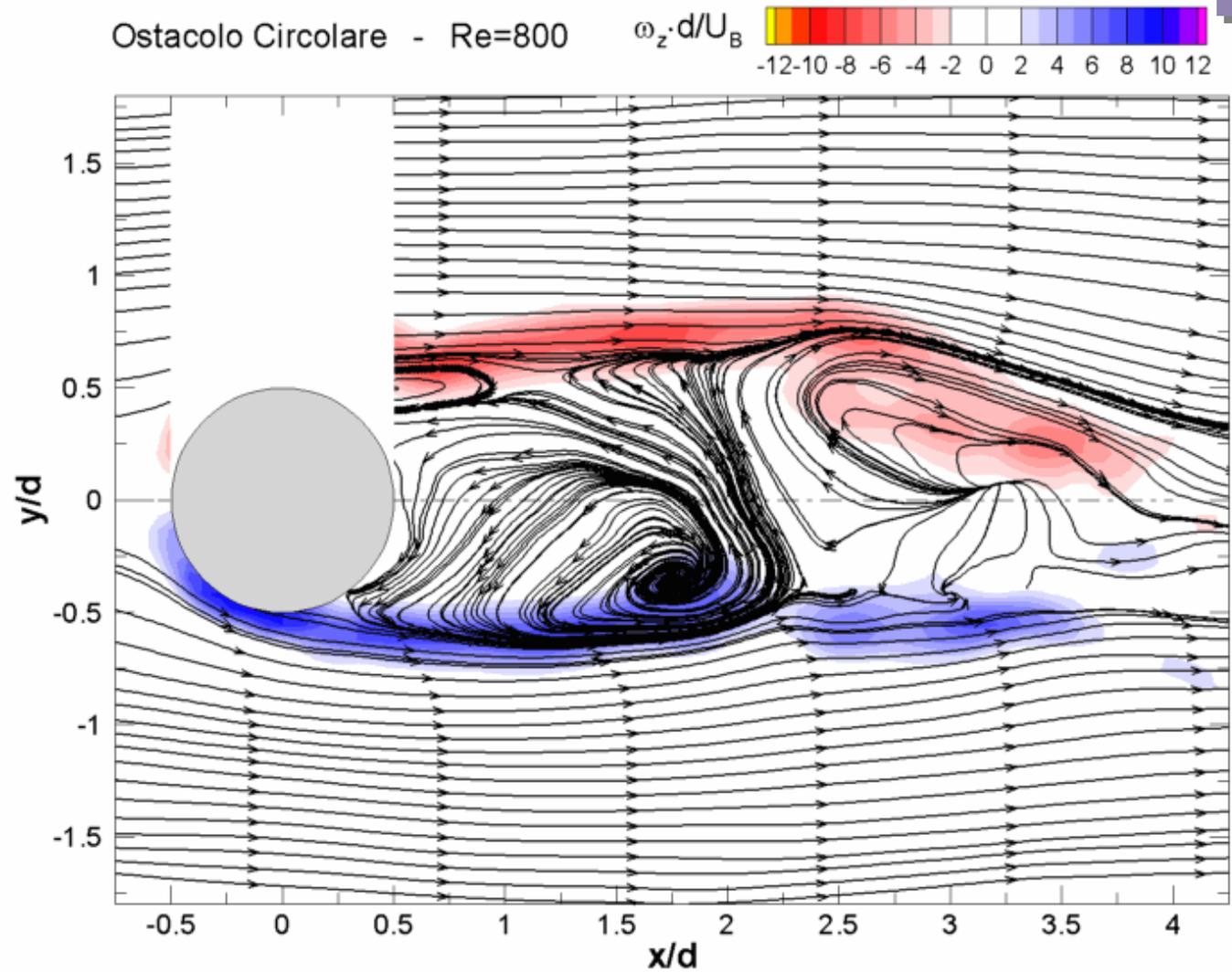
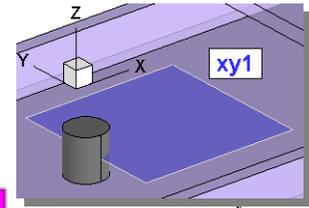
Modello di Flusso



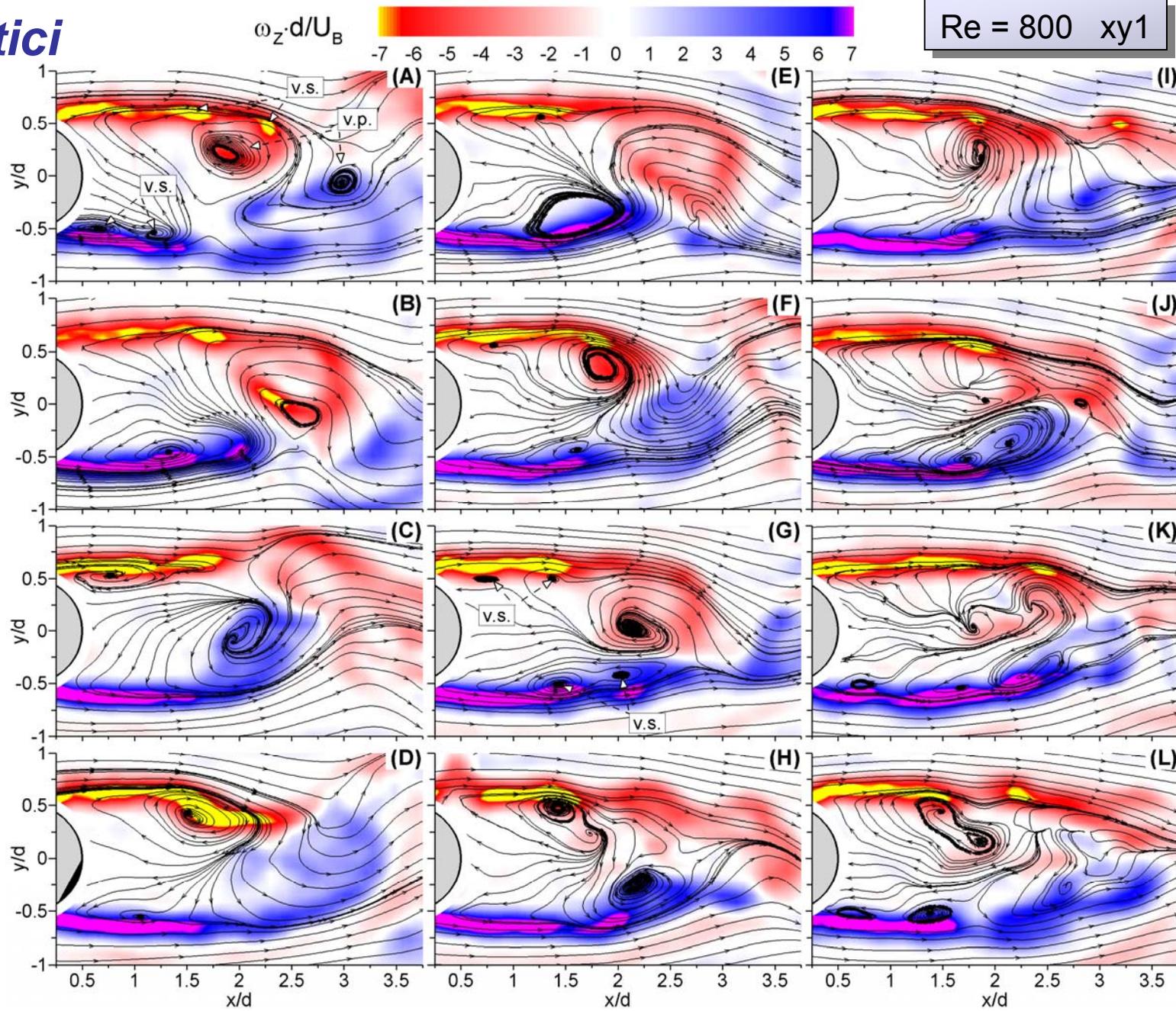
A  $Re=800$  le strutture 3D influenzano il campo di moto fino al centro del canale.



# Flusso nella scia – Distacco dei vortici

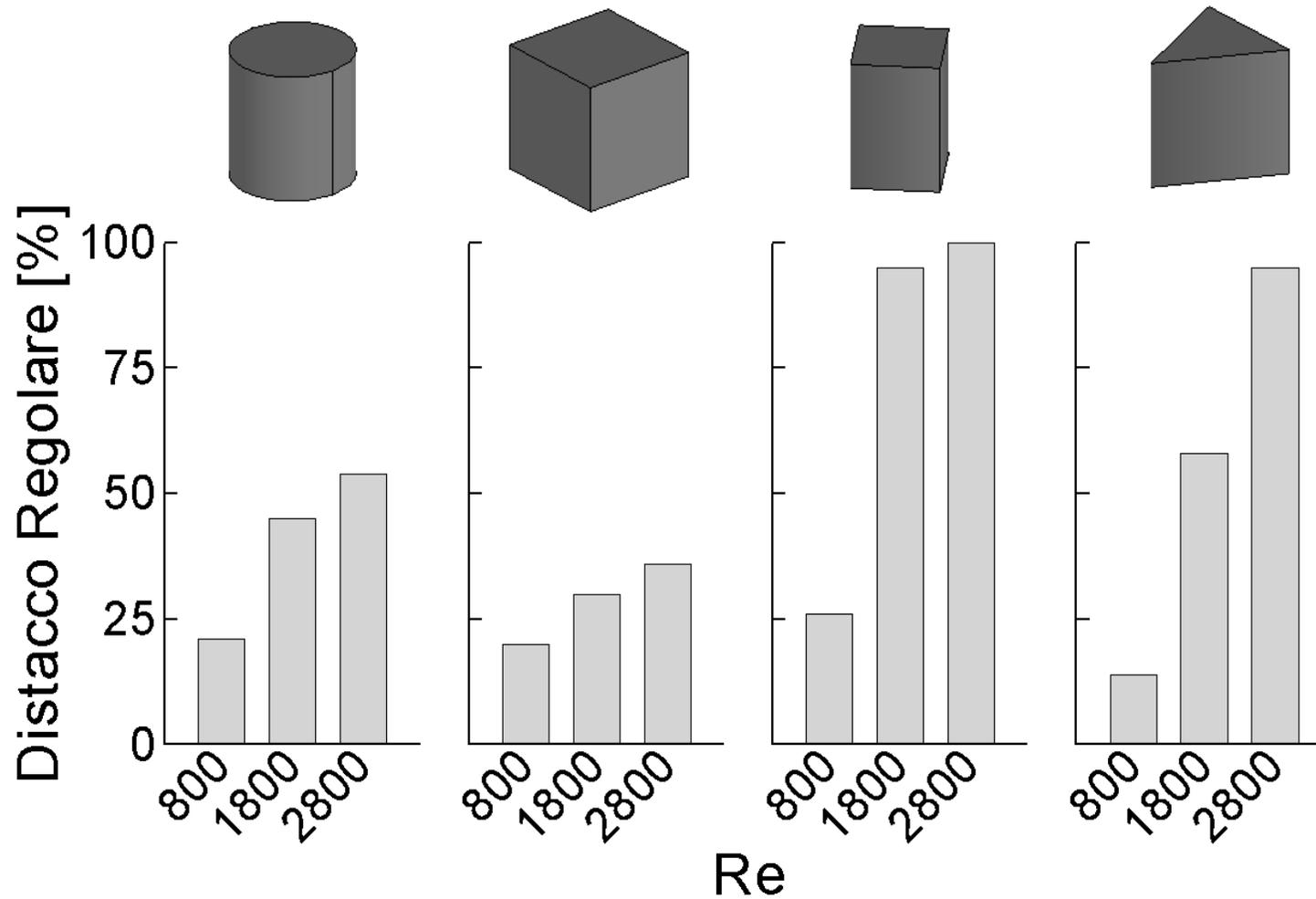


# Flusso nella scia – Distacco dei vortici

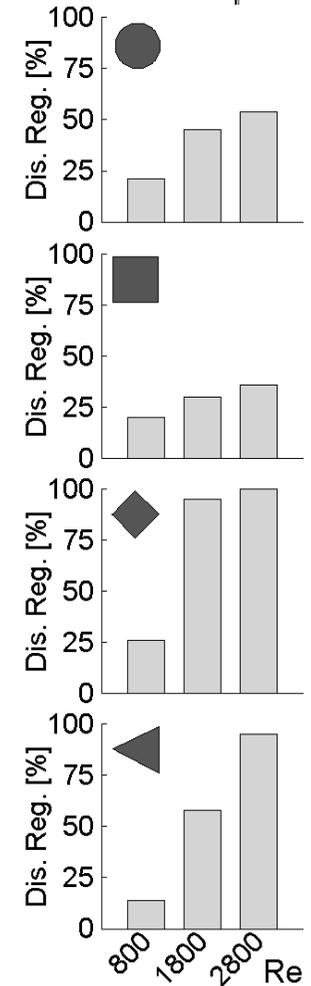
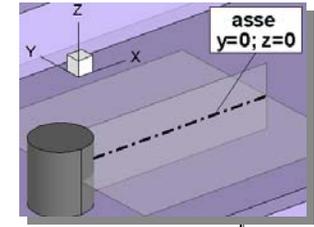
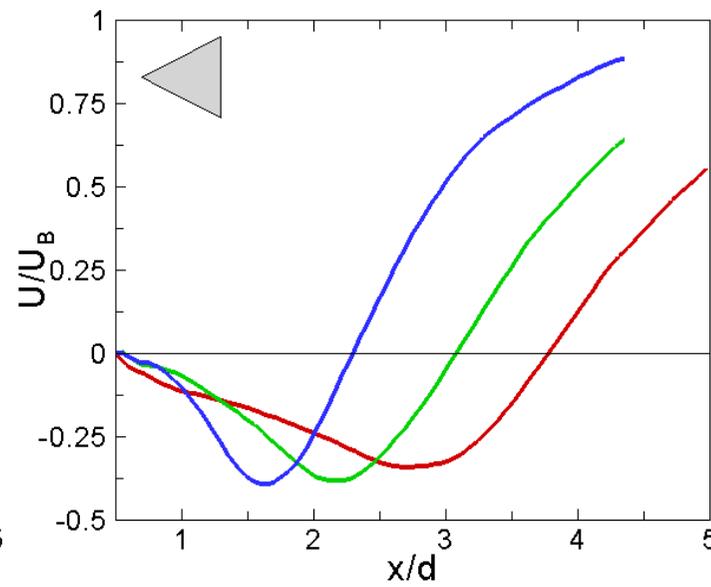
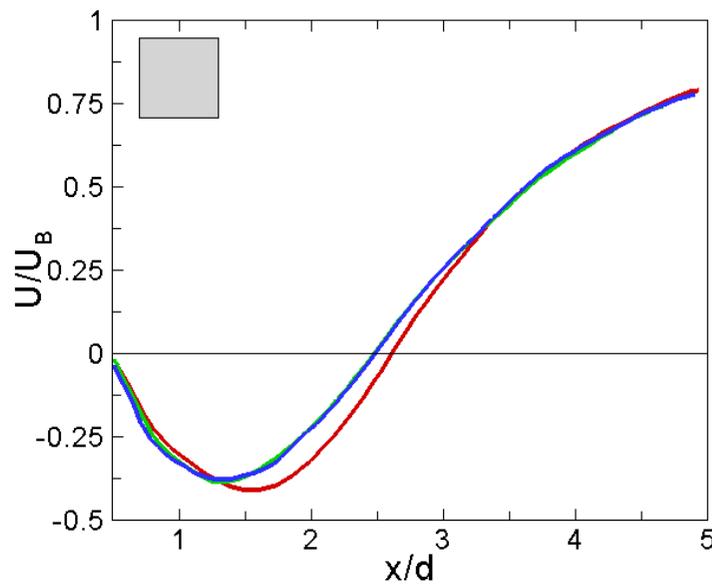
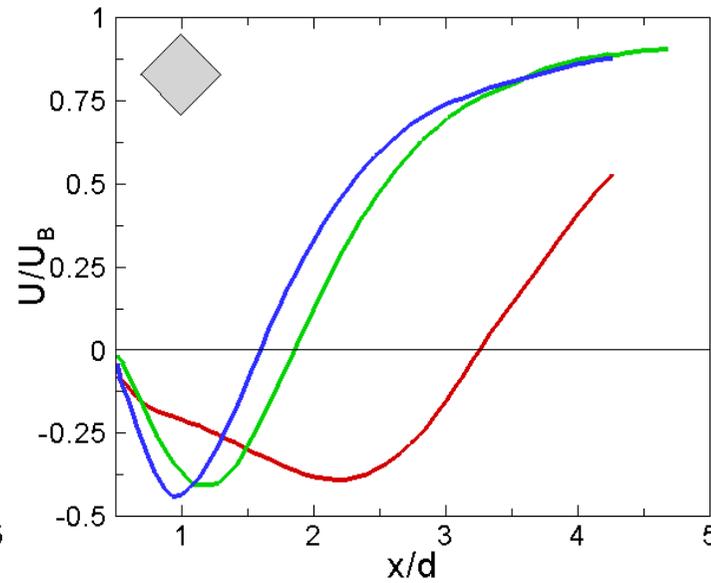
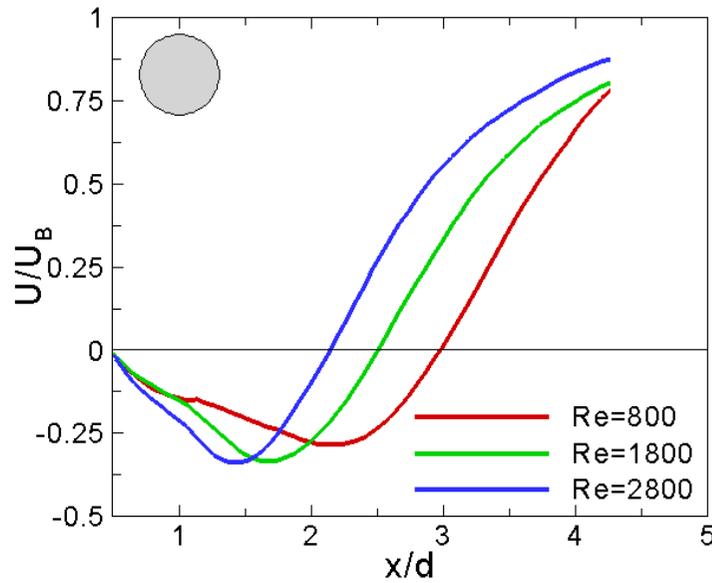


# Flusso nella scia – Distacco dei vortici

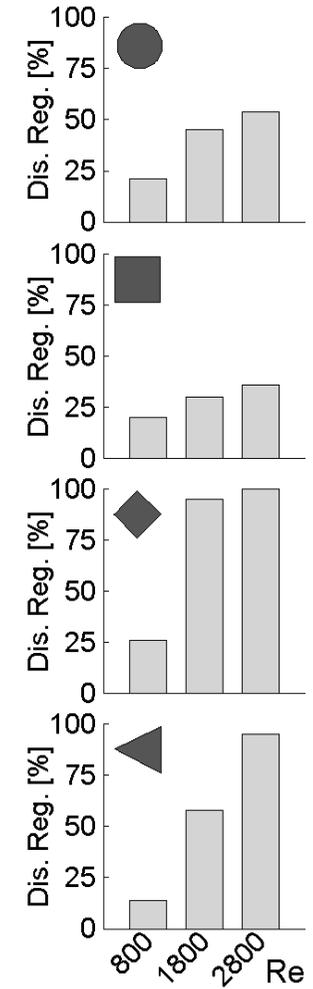
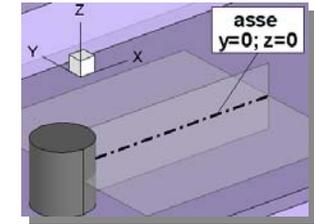
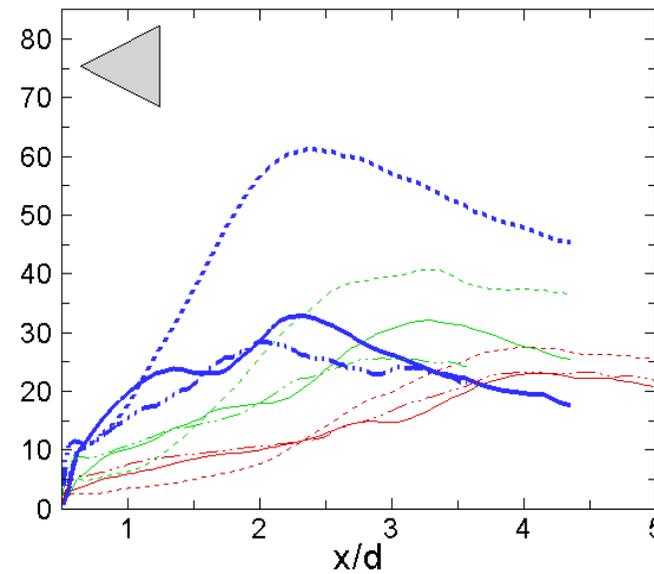
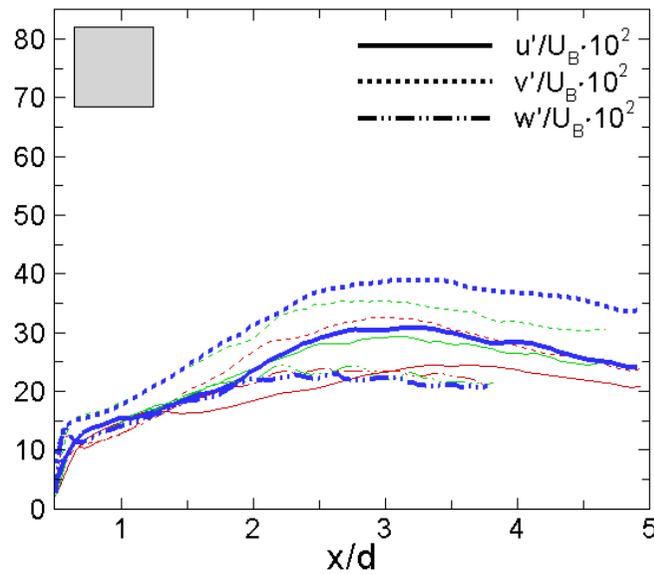
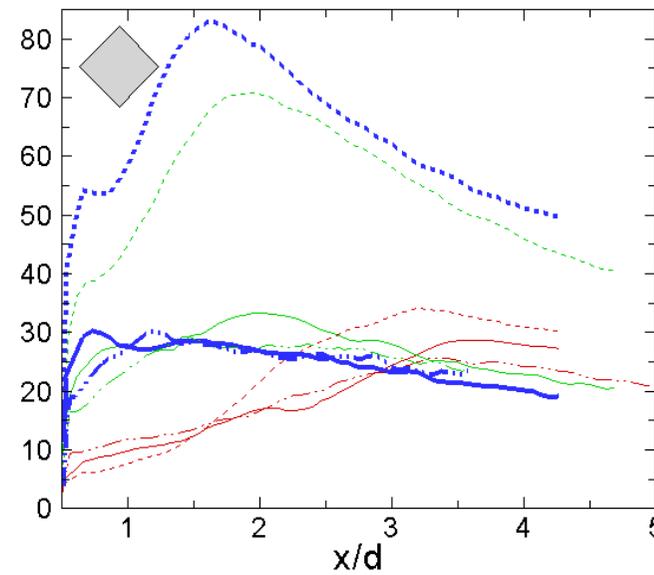
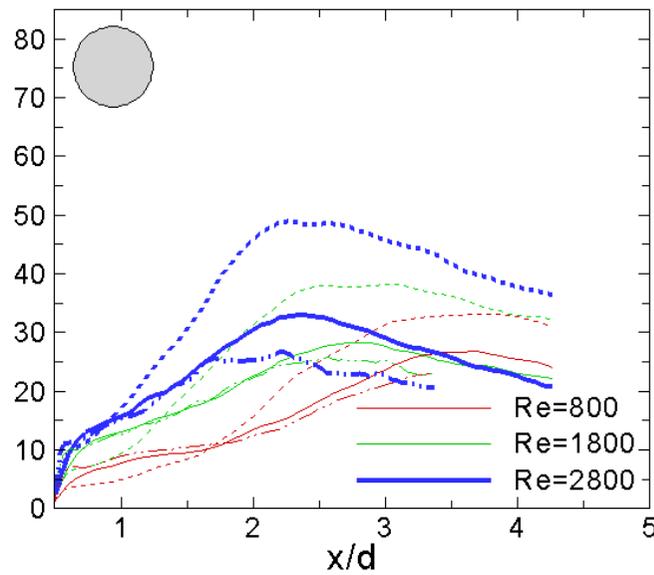
Sensibilità alla variazione del regime di flusso e della forma dell'ostacolo



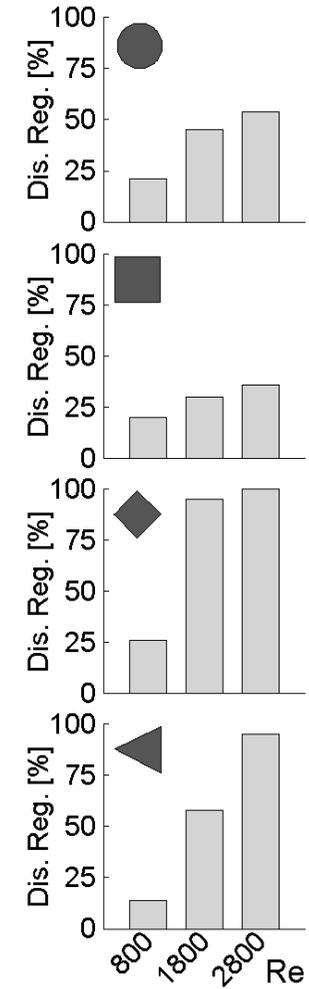
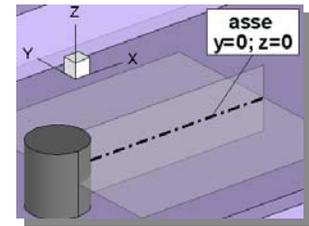
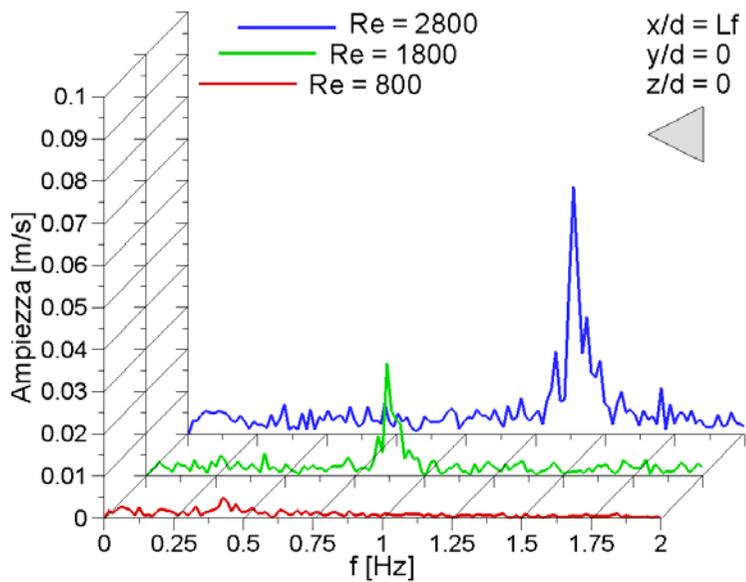
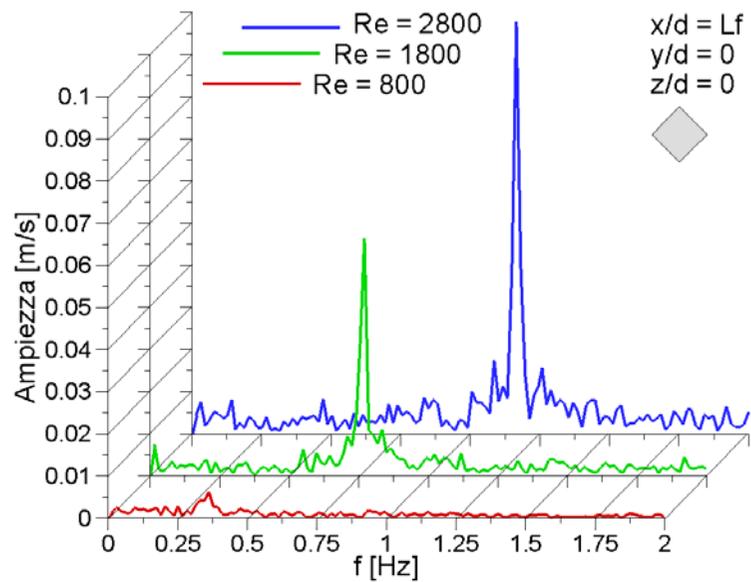
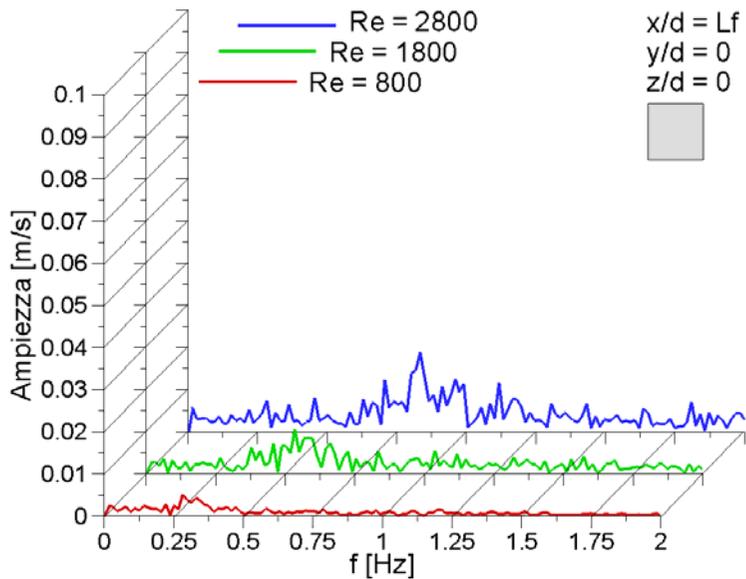
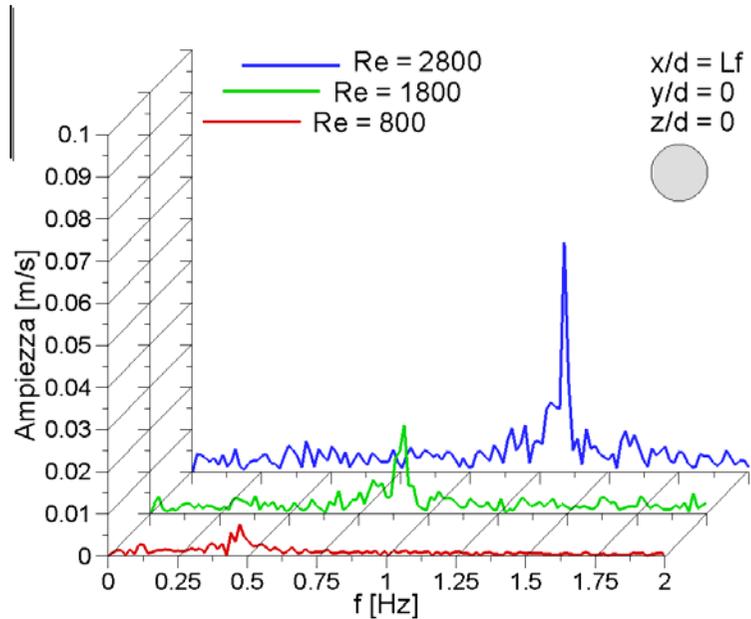
# Grandezze caratteristiche della scia



# Grandezze caratteristiche della scia



# Grandezze caratteristiche della scia



# Conclusioni

## Configurazione geometrica e condizioni di prova simili a quelle di reale impiego

- basso rapporto di forma
- basso numero di Reynolds
- elevato livello di turbolenza del flusso a monte

## Strutture di flusso con caratteristiche non prevedibili dai dati in letteratura

- **strutture di separazione a monte** degli ostacoli quadrato e circolare molto intense e **instabili** già a partire da  $Re = 1800$
- **scia** fortemente **tridimensionale** a  $Re = 800$  per tutti gli ostacoli
- esistenza di una **fenomenologia di distacco dei vortici irregolare**, favorita ai bassi regimi di flusso, che conduce a **scie molto estese e poco turbolente**
- al crescere del regime di flusso, la persistenza della fenomenologia irregolare è **molto sensibile alla geometria dell'ostacolo**



# Sviluppi futuri

---

## Caratterizzazione termica delle configurazioni esaminate

- identificazione della geometria più efficiente
- correlazione fra strutture di flusso e prestazioni di scambio termico
- estensione dell'indagine a configurazioni geometriche più complesse

