



UIT Summer School 2011

## Termofluidodinamica di Flussi Turbolenti

Certosa di Pontignano, 4 - 10 Settembre 2011

Direttore: Prof. Alfonso Niro - Politecnico di Milano

*Affrontare problemi di scambio termico e di massa in flussi turbolenti è una situazione che si presenta assai frequentemente a chi si occupa di ricerca o di progettazione nell'ambito dell'ingegneria di processo. La complessità dei fenomeni e la conseguente molteplicità di tecniche di analisi e simulazione fanno sì che gli strumenti a disposizione di ricercatori e progettisti richiedono una formazione specifica che generalmente non viene fornita nei percorsi universitari.*

*Il corso mira a fornire gli strumenti teorici e le tecniche di analisi più efficaci per la modellazione ingegneristica di tali problemi; in particolare, il corso si articola in cinque cicli coordinati di lezioni e intende rispondere a domande come: quali sono i fenomeni fisici connessi con la turbolenza? Come si comportano i flussi turbolenti? Come è possibile descriverli quantitativamente? Quali sono i modelli e i metodi di soluzione? Quali le tecniche di misura? Aiuteranno a chiarire gli argomenti trattati molti esempi ricavati da problemi di scambio termico, sia per flussi interni che per getti liberi, di particolare interesse tecnologico.*

### Programma del corso

- **Introduzione alla turbolenza.** Richiamo delle equazioni di trasporto di massa, quantità di moto ed energia; le equazioni nell'approssimazione di strato limite. Natura, origine e caratteristiche della turbolenza; diffusività della turbolenza e scale caratteristiche multiple. Fluttuazioni e decomposizione di Reynolds; equazioni medie. Stabilità e transizione alla turbolenza: teoria lineare della stabilità di flussi laminari; metodo delle piccole perturbazioni; equazione di Orr-Sommerfeld. Stabilità di flussi piani e tra cilindri rotanti; stabilità dello strato limite; onde di Tolmienn-Schlichting. Cenni alla teoria non lineare.
- **Descrizione statistica e scale spazio-temporali.** Descrizione statistica di processi e campi casuali; visione di Richardson-Kolmogorov della turbolenza, cascata di energia. Turbolenza omogenea ed isotropa nello spazio reale: funzioni di struttura, di cross e auto correlazione; ipotesi di Taylor; equazione di Kármán-Howarth; integrale di Loitsyanskii. Turbolenza omogenea ed isotropa nel dominio delle frequenze: equazioni di Navier-Stokes nello spazio di Fourier; forma spettrale dell'equazione dell'energia cinetica; spettro dell'energia cinetica turbolenta; spettro di Kolmogorov. Scale di temperatura: scale associate alle fluttuazioni di temperatura; equazione di trasporto per l'energia termica e sua rappresentazione spettrale.
- **Modelli di turbolenza.** Introduzione alla modellazione della turbolenza, filtraggio spaziale e filtraggio temporale. Approccio basato su medie temporali (modelli alla Reynolds): sforzi e flussi di Reynolds; problemi che nascono per flussi dipendenti dal tempo; modelli di turbolenza di tipo RANS: modelli a zero e a una equazione; modelli a due equazioni:  $k-\epsilon$  e sue varianti ("low Reynolds number models", con correzioni per curvatura,  $k-\omega$ ); introduzione ai modelli del secondo ordine (ASM, RSM). Approccio basato sul filtraggio spaziale (LES): sforzi e flussi irrisolti, loro origine dalla non-linearità delle equazioni e loro significato fisico; problema della chiusura. Modelli sub-grid e loro classificazione; modelli a viscosità sub-grid (Smagorinsky, dinamico).
- **Turbolenza in flussi liberi e di parete.** Flussi liberi: il getto cilindrico; descrizione del flusso, equazioni di strato limite, similitudine; energia cinetica: la componente media e quella turbolenta; scambio termico; cenni a getti piani, strati di rimescolamento, scie piane, schiere di cilindri. Flussi di parete: esistenza di più strati e scale di lunghezza, legge logaritmica, formula della resistenza di Prandtl. Ciclo di turbolenza di parete: modelli per il ciclo di sostentamento della turbolenza, come "funziona" la turbolenza; turbolenza e strutture coerenti. Effetti della rugosità superficiale: rugosità di tipo K, estensione della legge di parete, esperimenti di Nikuradse, rugosità omogenea equivalente. Incongruenze nella descrizione classica di rugosità: superfici lisce, rugosità di transizione e non-classica; rugosità di tipo D. Scambio termico in canali e condotti: superfici che permettono di ridurre l'attrito e superfici che incrementano lo scambio termico.
- **Misure termofluidodinamiche in flussi turbolenti.** Misure fluidodinamiche: tecniche di misura e trattamento dei dati; risoluzione spaziale e risposta in frequenza; traccianti e tecniche di visualizzazione; misure di velocità: anemometria a filo caldo, velocimetria laser doppler (LDV), velocimetria a immagini di particelle (PIV); valutazione di spettri di turbolenza. Misure di temperatura e visualizzazione di campi termici: tecniche tradizionali e avanzate; misure di coefficienti convettivi mediante termografia a cristalli liquidi e infrarossa, tecniche di filtraggio delle termografie.

### Docenti del corso

Prof. **Michele Ciofalo**, Università di Palermo; Prof. **Elvio Cossali**, Università di Bergamo; Prof. **Walter Grassi**, Università di Pisa; Prof. **Adriano M. Lezzi**, Università di Brescia; Prof. **Alfonso Niro**, Politecnico di Milano; Prof. **Pietro Poesio**, Università di Brescia; Prof. **Maurizio Quadrio**, Politecnico di Milano.

### Materiale didattico

Prima dell'inizio della Summer School saranno disponibili in formato PDF le presentazioni dei diversi argomenti realizzate dai docenti sul nuovo sito dell'UIT (<http://www.uitonline.eu>). Il materiale didattico aggiornato (in formato PDF) verrà inviato su CD a tutti i partecipanti alla Summer School al termine della stessa.

## Sede

La Summer School sarà tenuta nella prestigiosa sede della [Certosa di Pontignano](#) (Siena); altre informazioni possono essere ottenute direttamente dal sito della Certosa:

[http://www.pontignano.unisi.it/index.php?option=com\\_content&view=article&id=64&Itemid=72&lang=it](http://www.pontignano.unisi.it/index.php?option=com_content&view=article&id=64&Itemid=72&lang=it)

## Programma orario

L'arrivo è previsto al pomeriggio di Domenica 4 settembre. La Summer School si svolgerà dal lunedì mattina al venerdì pomeriggio con il seguente programma:

8.00	Prima colazione
8.45 - 10.30	Modulo didattico
10.30	Coffee-break
10.45 - 12.30	Modulo didattico
13.00	Pranzo al Ristorante
14.45 - 16.00	Modulo didattico
16.00	Coffee-break
16.15 - 18.00	Modulo didattico
20.00	Cena al Ristorante

Il mercoledì pomeriggio sarà lasciato a disposizione dei partecipanti. La partenza è prevista per sabato 10 settembre.

## Informazioni

Il costo dell'iscrizione è di 700 Euro e comprende: la partecipazione alla Summer School, i coffee break durante le lezioni, la pensione completa dalla cena di Domenica 4 settembre al pranzo di sabato 10 settembre.

Per iscriversi, scaricare il modulo di iscrizione (in formato PDF) e inviarlo via fax alla sig.ra Maria Rosa Carli (0577 354 740) entro il 29 luglio 2011.

## Modalità di pagamento

- Assegno intestato a **Rettore Università di Siena** (spedire a: Certosa di Pontignano, Loc. Pontignano 53019 Castelnuovo Berardenga, SI)
- Vaglia postale intestato a **Rettore Università di Siena** (spedire a: Certosa di Pontignano, Loc. Pontignano 53019 , SI)
- Carta di Credito – [Pay on-line](#)  
(se il link non si apre, vai a [http://www.pontignano.unisi.it/index.php?option=com\\_wrapper&view=wrapper&Itemid=55&lang=it](http://www.pontignano.unisi.it/index.php?option=com_wrapper&view=wrapper&Itemid=55&lang=it) )

Per altre informazioni contattare:

Prof. Alfonso Niro, Direttore della Summer School 2011, [alfonso.niro@polimi.it](mailto:alfonso.niro@polimi.it)

Dr. Gian Piero Celata, Direttivo UIT, [celata@enea.it](mailto:celata@enea.it)

Prof. Paolo Di Marco, Direttivo UIT, [p.dimarco@ing.unipi.it](mailto:p.dimarco@ing.unipi.it)

Prof. Sara Rainieri, Segretario UIT, [sara.rainieri@unipr.it](mailto:sara.rainieri@unipr.it)