



Università degli Studi di Firenze
Scuola di Ingegneria

Corso di Laurea Magistrale in
Ingegneria per la Tutela dell'Ambiente ed del Territorio
Anno Accademico 2013/2014

Valutazione delle emissioni di una stazione di depressurizzazione rete gas

Evaluation of emissions in a pressure letdown station

Relatori:

Prof. Ing. Manfrida Giampaolo

Prof. Ing. Fiaschi Daniele

Correlatore:

Ing. Russo Luigi

Candidato:

Zingoni Giulio

Sommario

➤ Obiettivo



Verifica applicabilità di un'analisi CFD per la valutazione delle emissioni in impianti industriali

➤ Metodo



Simulazioni di fluidodinamica computazionale con il software OpenFOAM

➤ Applicazioni



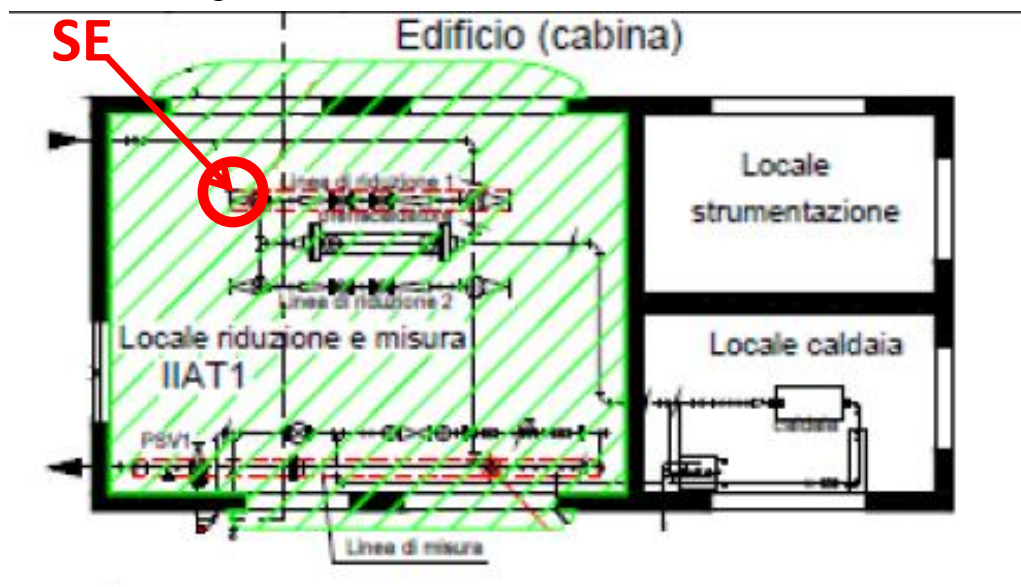
Analisi effettuate:
- ventilazione naturale su edificio
- diffusione gas interno edificio

➤ Risultati e Conclusioni

Caso di studio

Impianto di ricezione e prima riduzione di gas naturale da 75 bar a 24 bar in cabina fuori terra (norma CEI 31-35 2012)

- Simulazioni CFD (Computational Fluid Dynamic) di ventilazione esterna naturale
- Simulazioni CFD di diffusione di gas metano emesso da sorgente SE
 - Tipologia sorgente di secondo grado (da funzionamento anomalo)
 - Metodo del trasporto passivo di scalare
 - Portata di emissione $Q_g = 0,0028 \text{ kg/s}$



Tecnica di risoluzione delle equazioni che descrivono il moto di un fluido con l'ausilio di un calcolatore:

- Creazione di una geometria e di una griglia di calcolo
 - FreeCAD
 - *Utilities blockMesh e snappyHexMesh* di OpenFOAM
- Discretizzazione delle equazioni del modello di fluido incomprimibile
 - Equazioni RANS (Reynolds-Averaged Navier-Stokes)
 - Modello k-ε
- Impostazione delle condizioni (boundary conditions)
 - $\mu_t \equiv \rho C_\mu \frac{k^2}{\epsilon}$
 - $\frac{\partial}{\partial t} (\rho u_i) + \dots = \dots \frac{\partial \tau_{ij}}{\partial x_j} (\overline{u_i' u_j'})$
 - $\frac{\partial(\rho k)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho k u_i)}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\frac{\mu_t}{\sigma_k} \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + 2\mu_t E_{ij} E_{ij} - \rho \epsilon$
 - *simpleFoam* $\frac{\partial(\rho \epsilon)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho \epsilon u_i)}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\frac{\mu_t}{\sigma_\epsilon} \frac{\partial \epsilon}{\partial x_j} \right] + C_{1\epsilon} \frac{\epsilon}{k} 2\mu_t E_{ij} E_{ij} - C_{2\epsilon} \rho \frac{\epsilon^2}{k}$
 - *scalarTransportFoam*
- Valutazione dei risultati e validazione del modello

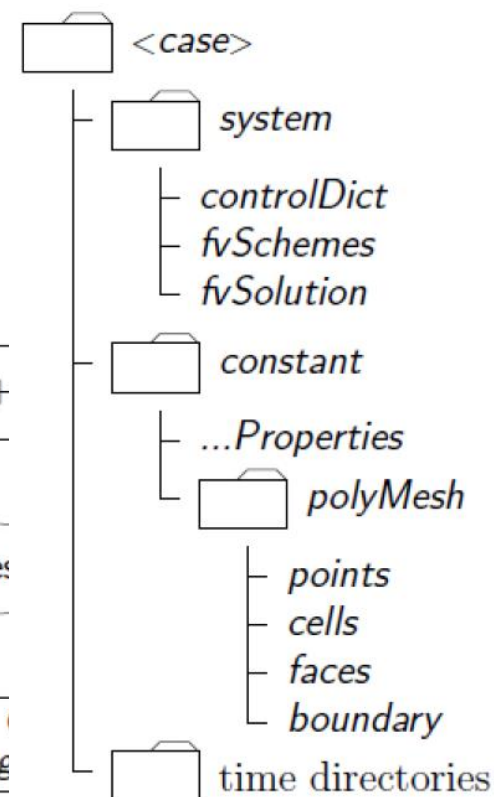
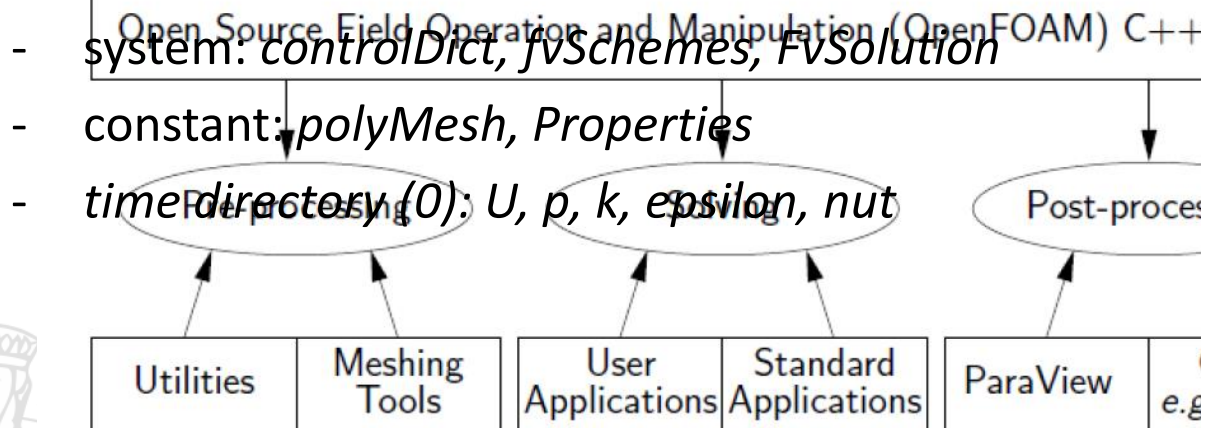
Software OpenFOAM

Programma open-source in ambiente Linux è costituito da applicazioni scritte in linguaggio C++ e creato per risolvere problemi meccanica dei continui, utilizzato nello studio di fluidodinamica.

- **Struttura di OpenFOAM**

- Pre-Processing: creazione della mesh
- Solving: risoluzione delle equazioni
- Post-Processing: visualizzazione dei risultati

- **Workflow di OpenFOAM**

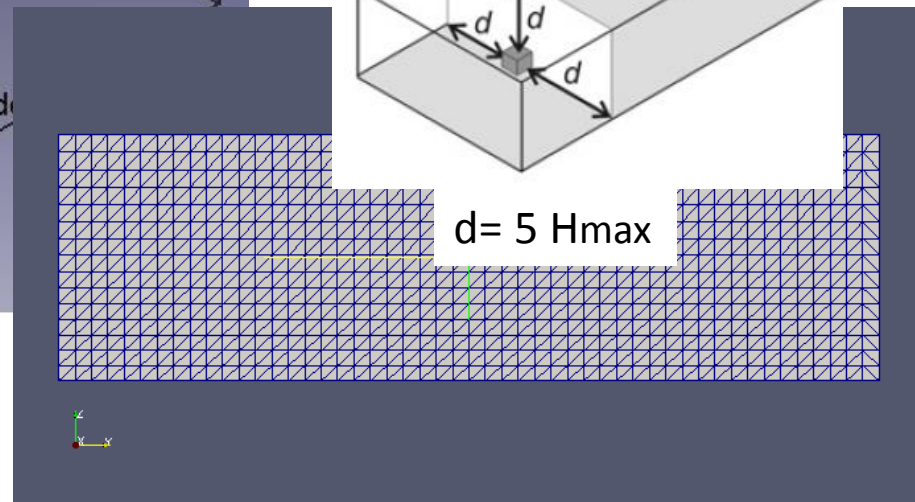
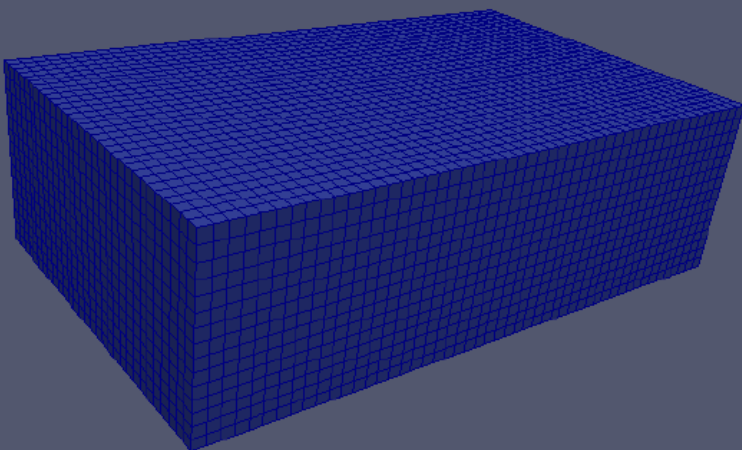
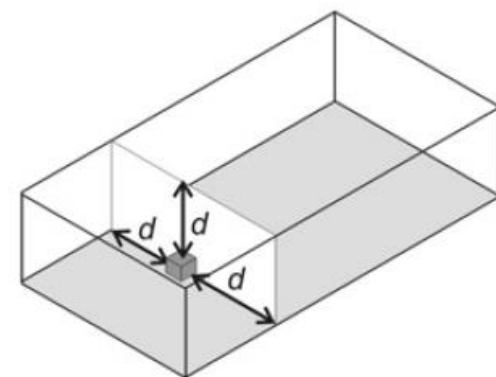
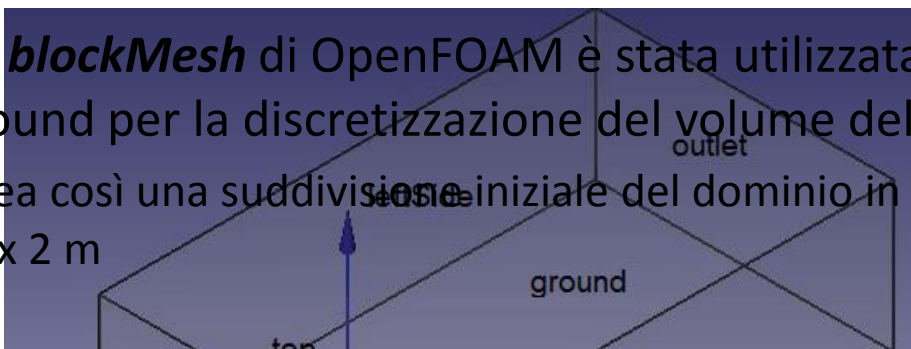
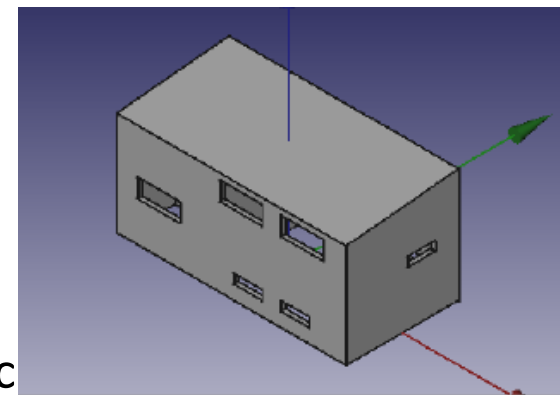


Costruzione della mesh

- Creazione della geometria dell'edificio con FreeCAD
- Scelta del dominio fluido del problema
- Discretizzazione del dominio: **blockMesh**

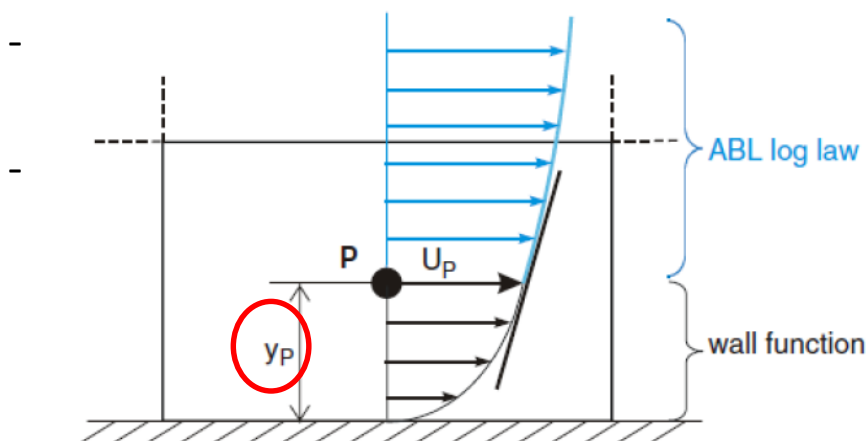
L'utilità **blockMesh** di OpenFOAM è stata utilizzata per creare un background per la discretizzazione del volume del dominio fluido.

- Si crea così una suddivisione iniziale del dominio in $2250 \times 2250 \times 2$ m x 2 m

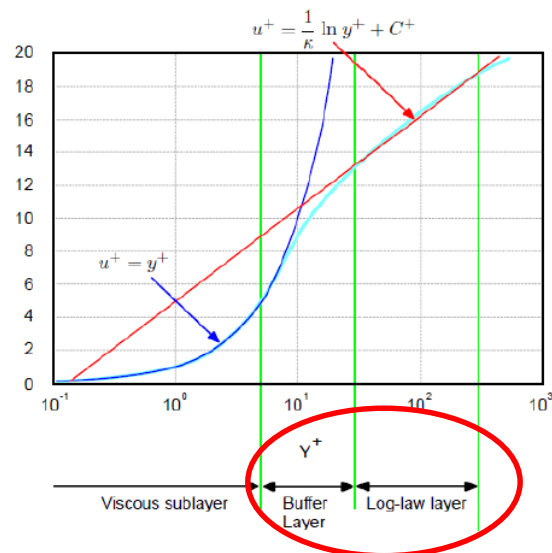


Costruzione della mesh

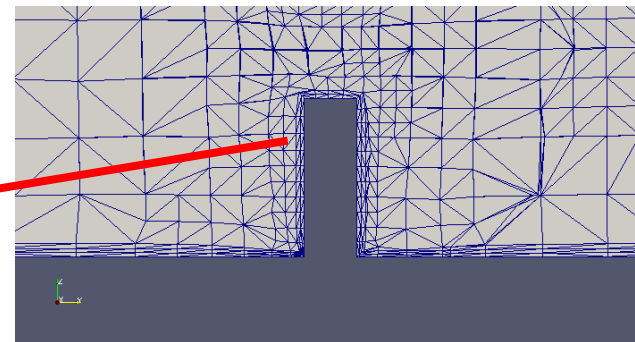
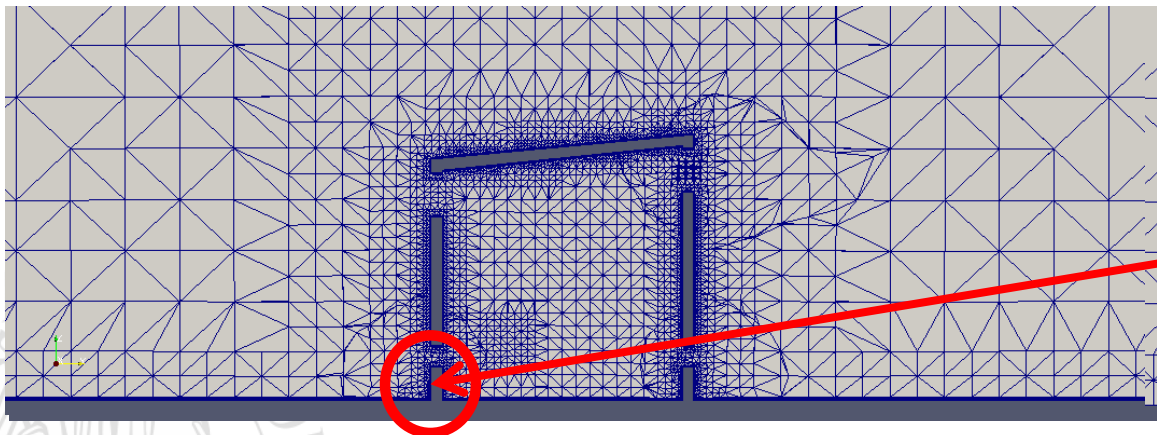
- L'utility *snappyHexMesh* permette di raffinare una griglia su una superficie in formato STereoLithography (STL).



taz
cm
me u^+



- Aggiunta di 2 strati sulla superficie della *stazione* e 3 sul *ground* con spessore 1,5 cm



Implementazione simulazioni: *simpleFoam* > *boundary conditions*

Il solver ***simpleFoam*** utilizza l'algoritmo SIMPLE (Semi-Implicit Method for Pressure-Linked Equation) per la risoluzione delle equazioni del problema.

Boundary conditions per simulazioni con ABL condition:

Inizializzazione variabili in ingresso sulle superfici di contorno: *velocità, pressione, viscosità cinematica, energia cinetica turbolenta, velocità di dissipazione dell'energia cinetica turbolenta*

- *Inlet*: Profilo di velocità con *Atmospheric Boundary Layer condition*

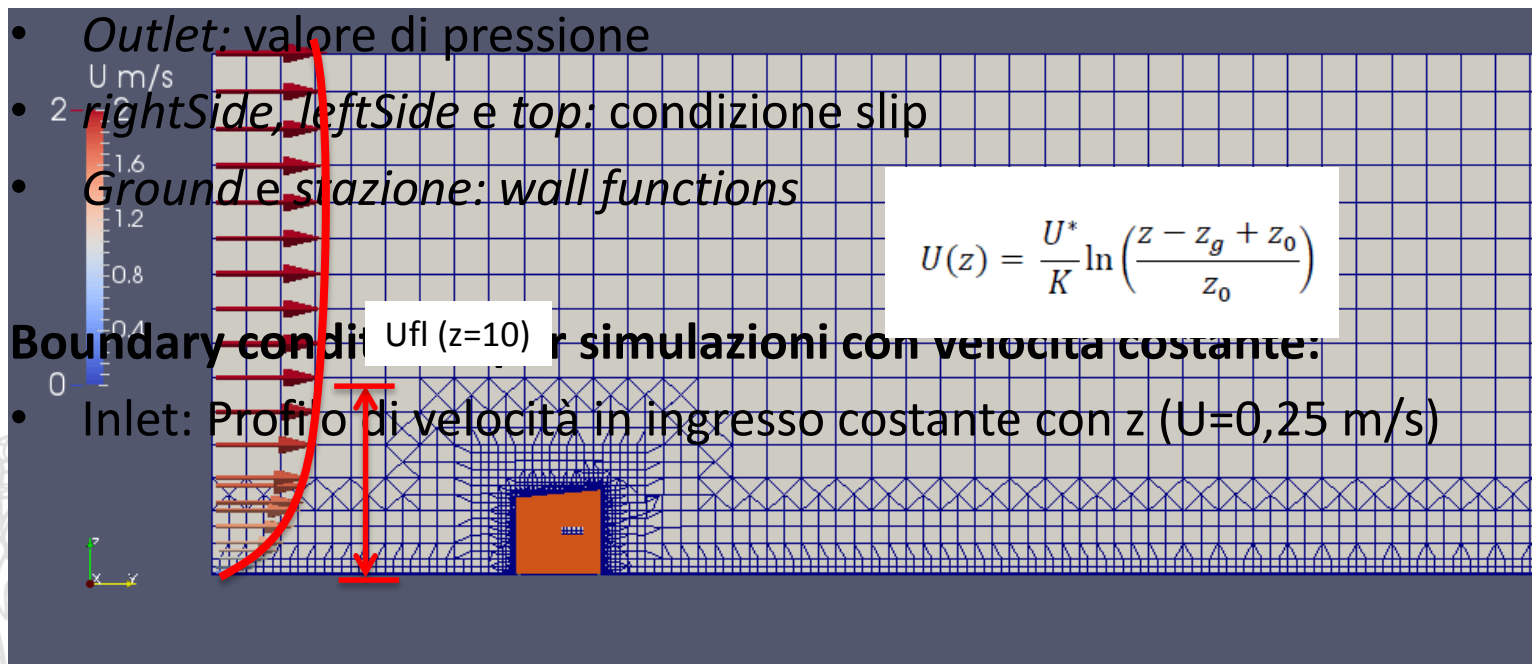
- *Outlet*: valore di pressione

- *rightSide, leftSide* e *top*: condizione slip

- *Ground* e *stazione*: *wall functions*

Boundary conditions per simulazioni con velocità costante:

- *Inlet*: Profilo di velocità in ingresso costante con z ($U=0,25$ m/s)



Implementazione simulazioni: *scalarTransportFoam*

Il solutore ***scalarTransportFoam*** è utilizzato per simulare il trasporto passivo di uno scalare in un campo di moto.

- È stata effettuata una modifica al codice del solver:

$$\frac{\partial T}{\partial t} + \nabla \cdot (U T) - \nabla^2 (D_T T) - \nabla^2 \left(\frac{\mu_t}{Sc_T} T \right) = fvOptions$$

- Boundary conditions:

- Viscosità cinematica (ν)
 - Velocità (U)
 - T (scalare)
- } da simulazioni *simpleFoam*

- Parametri di processo:

- Tempo di simulazione 3600 s (dopo un'ora si ipotizza la riparazione del guasto al riduttore)

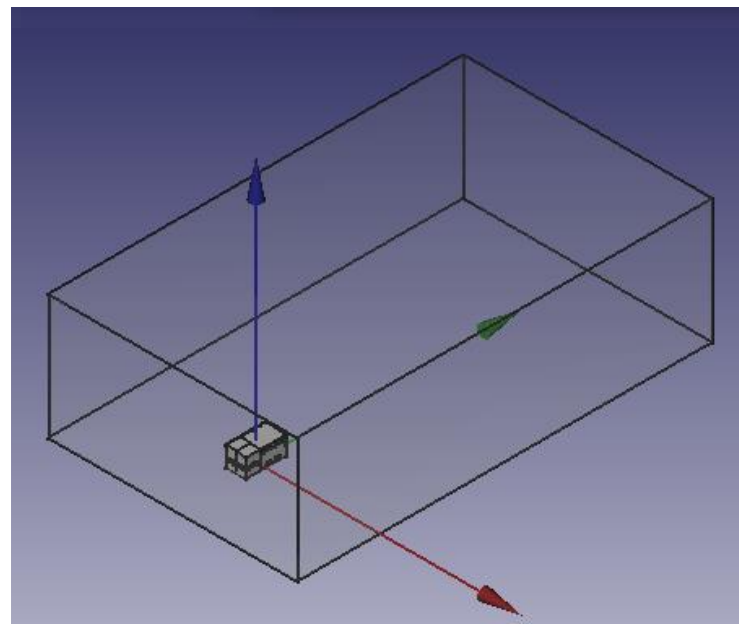
Simulazioni effettuate (con *simpleFoam* e *scalarTransportFoam*):

ABL inlet

- S.1.1 Configurazione standard
- S.1.2 Stazione ruotata di 90°
- S.1.3 *Stazione ruotata di 180°*
- S.1.4 Stazione ruotata di 270°

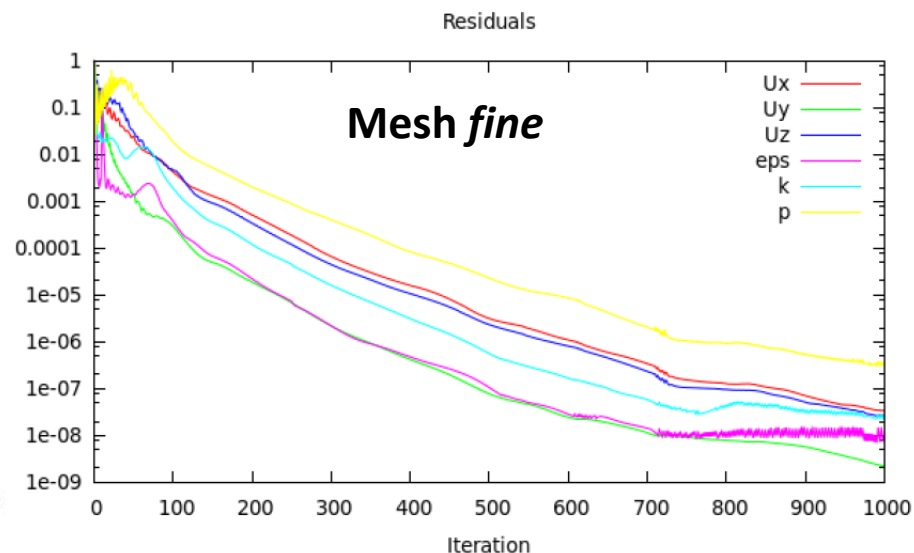
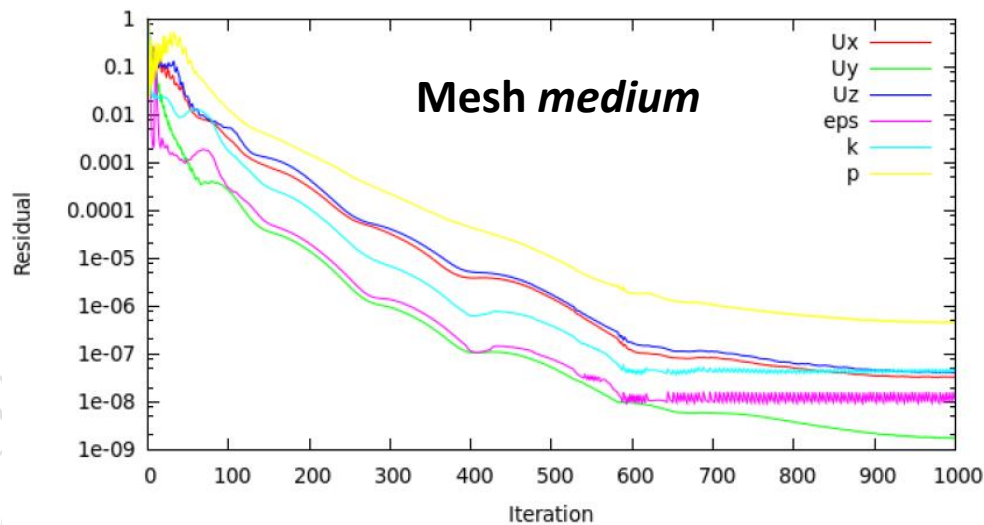
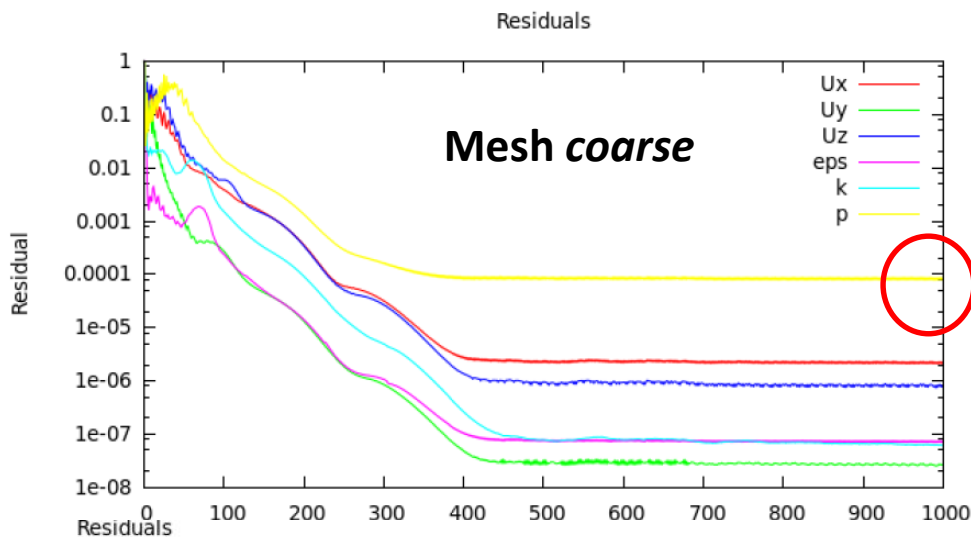
U cost inlet

- S.2 Stazione ruotata di 270°



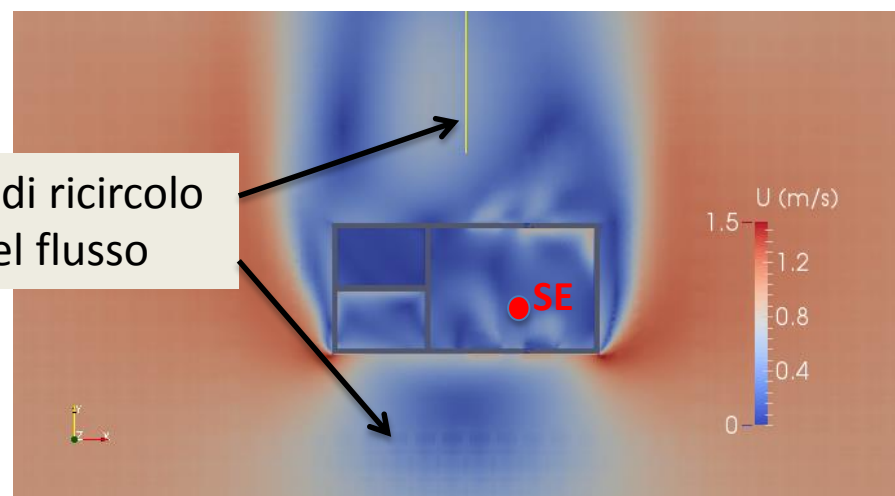
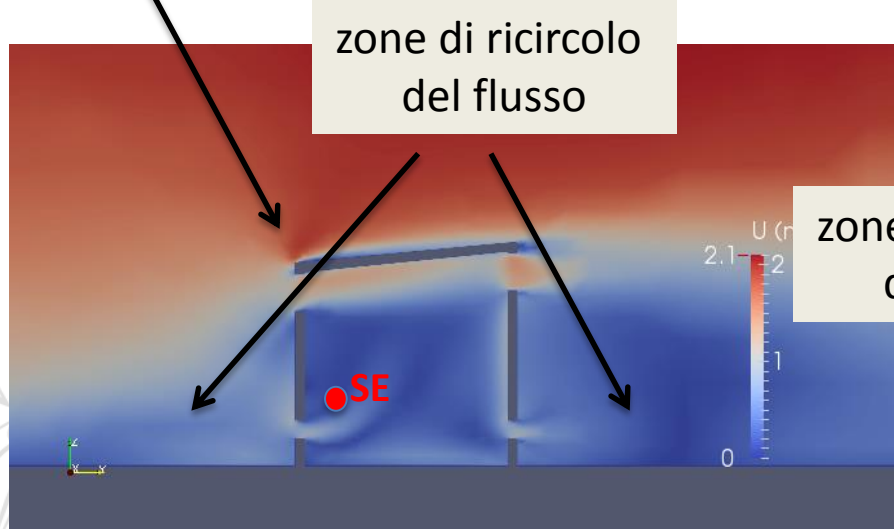
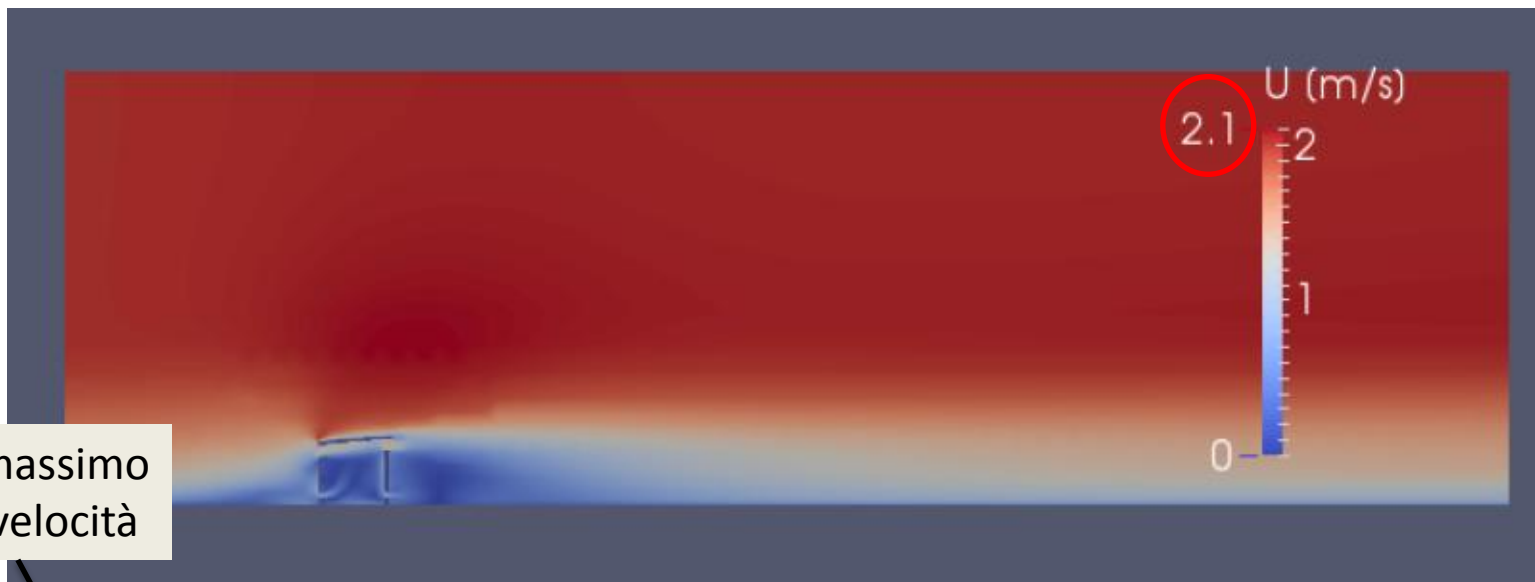
Risultati simulazioni: *simpleFoam*

- **Analisi convergenza dei risultati (ABL condition)**
- Valutazione dei residui delle variabili



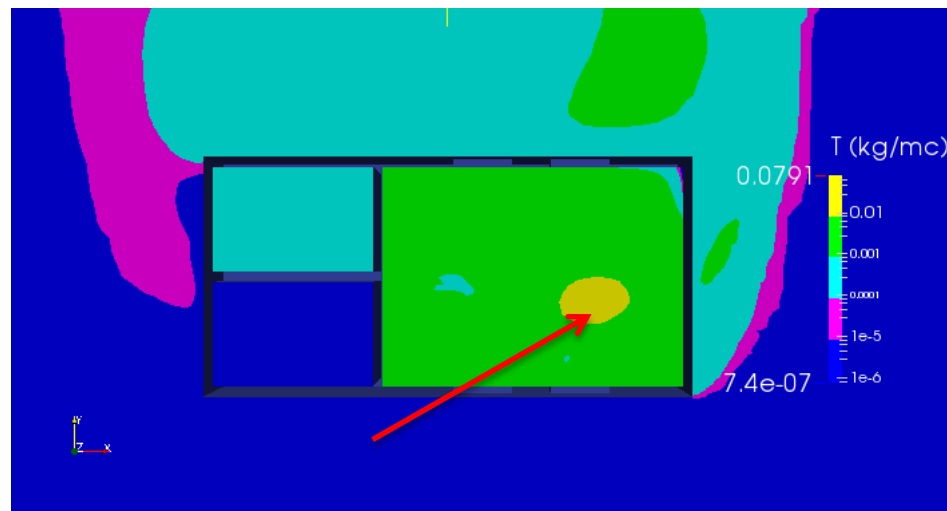
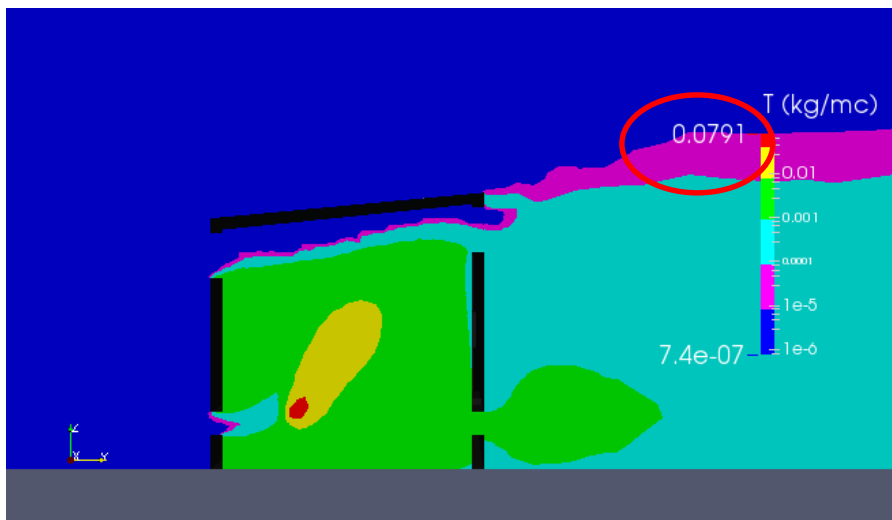
Risultati simulazioni: *simpleFoam* (ABL condition)

Campo di moto per configurazione standard (S.1.1):

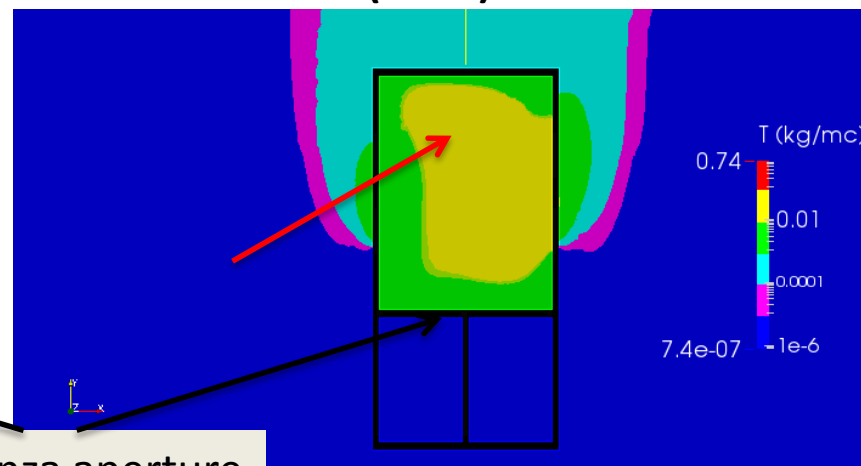
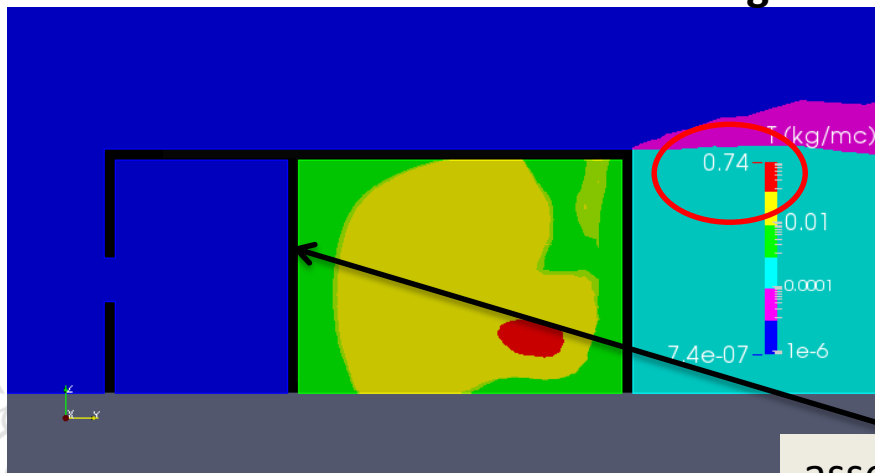


Risultati simulazioni: *scalarTransportFoam* (ABL condition)

Rappresentazione della distribuzione dello scalare T Configurazione standard (S.1.1)



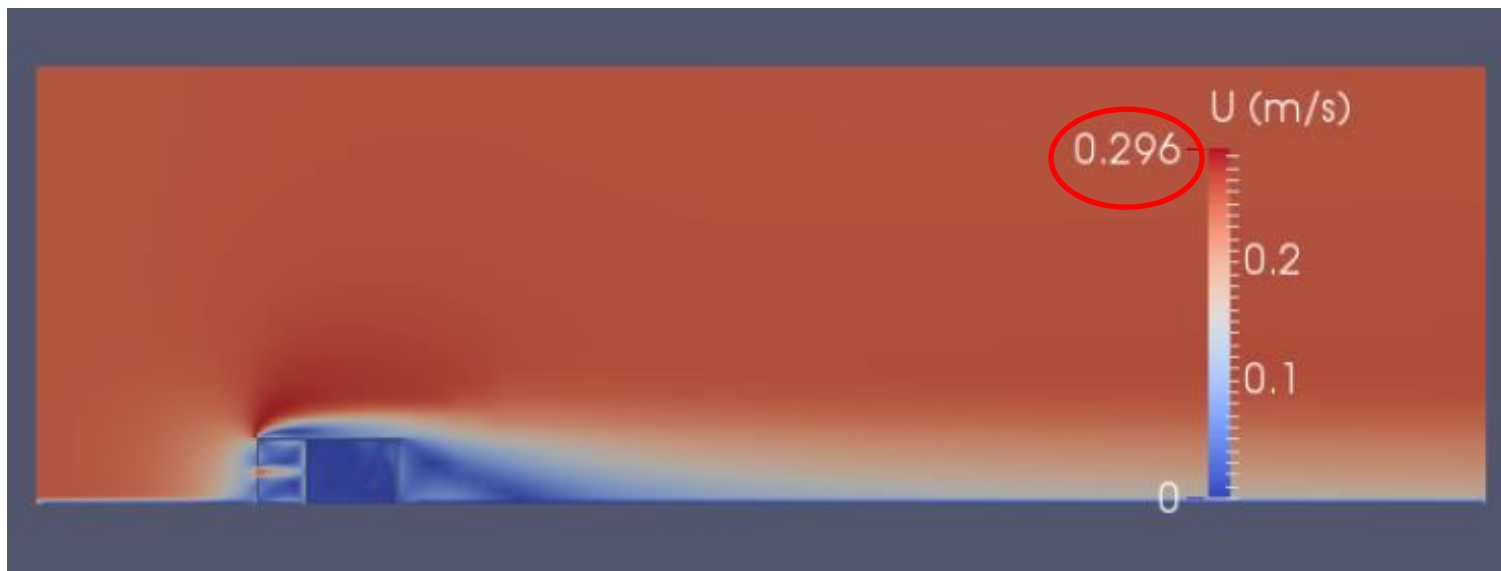
Configurazione ruotata di 270° (S.1.4)



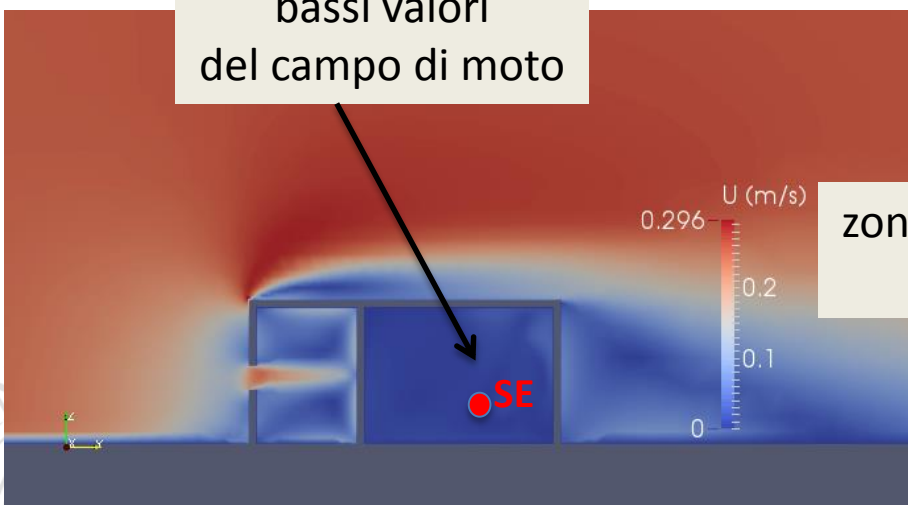
assenza aperture

Risultati simulazioni: *simpleFoam* (U costante)

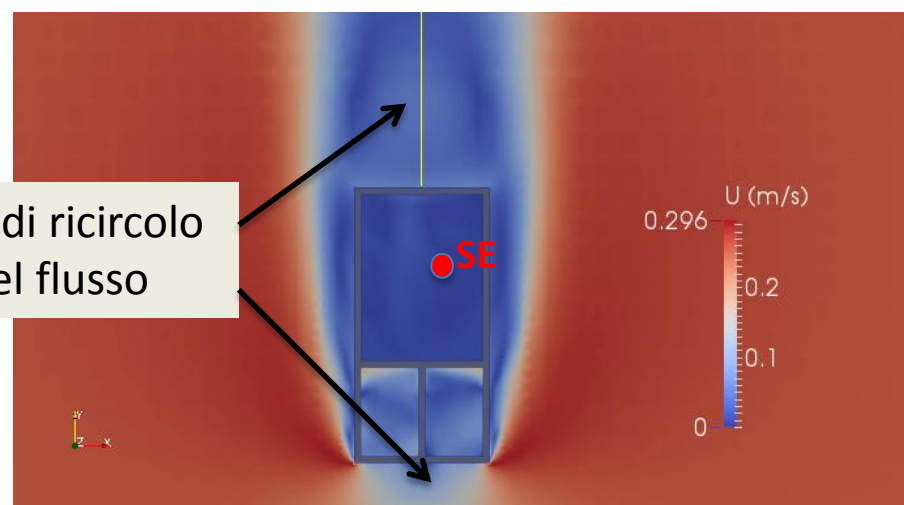
Campo di moto per configurazione ruotata 270° (S.2):



bassi valori
del campo di moto



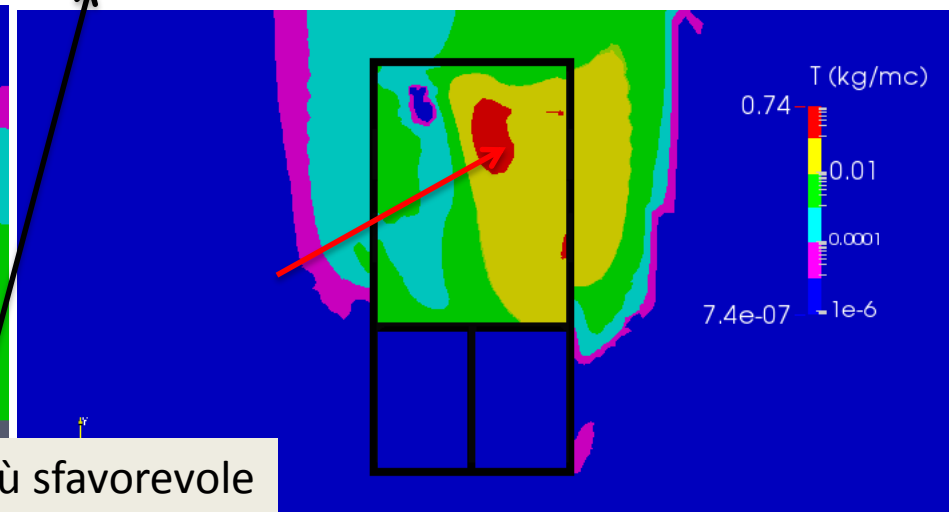
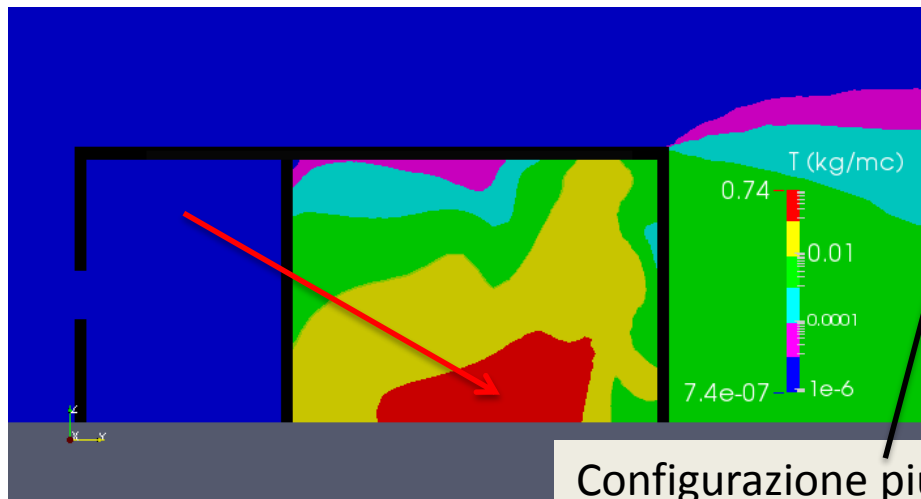
zone di ricircolo
del flusso



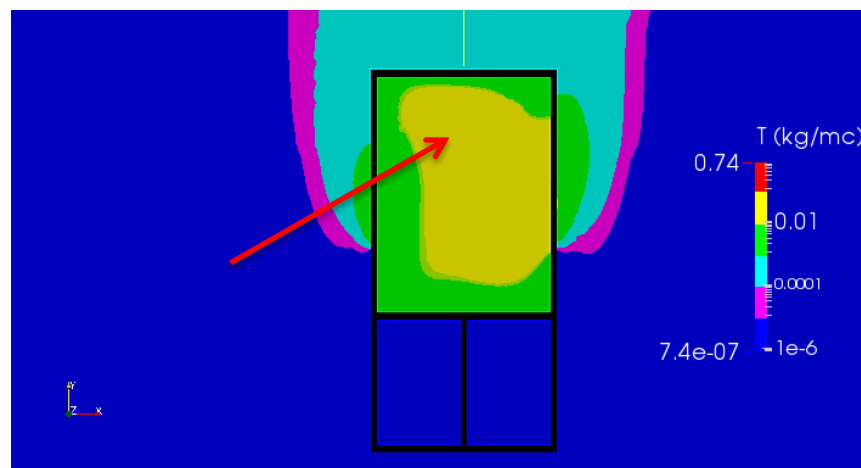
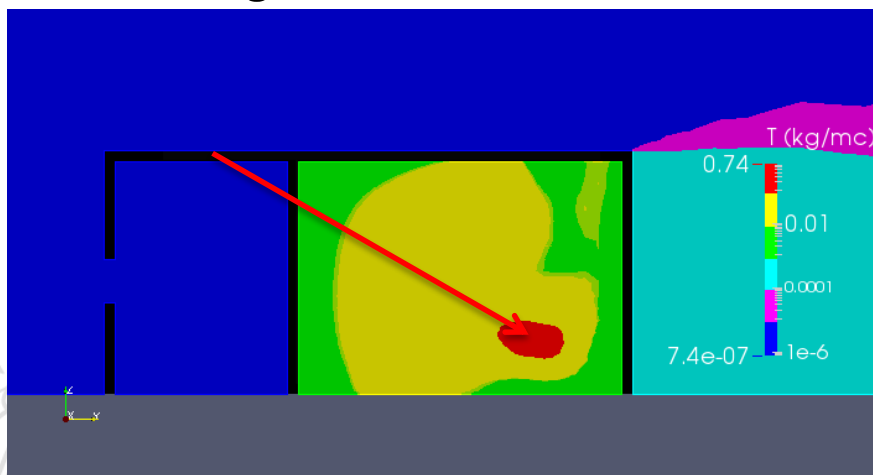
Confronto simulazioni: *scalarTransportFoam (U cost.-U ABL cond.)*

Rappresentazione diffusione dello scalare T

- Configurazione stazione ruotata 270° - U ingresso costante (S.2)



- Configurazione stazione ruotata 270° - U ingresso ABL cond.(S.1.4)



Conclusioni

- Validità dell'approccio con software **OpenFOAM** per la risoluzione di problemi di fluidodinamica per **ventilazione naturale** su edifici e per la **diffusione di inquinanti** in impianti industriali
- Adeguatezza del metodo del **trasporto scalare passivo** (con modifica al codice) per la diffusione di gas da una sorgente emissiva puntuale in funzione del tipo di analisi effettuata

Sviluppi Futuri:

- Considerazione della componente del moto convettivo legata alle variazioni di densità provocate da differenze di temperatura:
 - *buoyantBoussinesqSimpleFoam*
 - *buoyantSimpleFoam*
- Inserimento di zone porose o ostacoli al passaggio del flusso all'interno delle aperture dell'edificio



Università degli Studi di Firenze
Scuola di Ingegneria

Corso di Laurea Magistrale in
Ingegneria per la Tutela dell'Ambiente ed del Territorio

Anno Accademico 2013/2014

Evaluation of emissions in a pressure letdown station

Relatori:

Prof. Ing. Manfrida Giampaolo

Prof. Ing. Fiaschi Daniele

Correlatore:

Ing. Russo Luigi

Candidato:

Zingoni Giulio