

MODELLAZIONE NUMERICA DELL'EVAPORAZIONE E CONDENSAZIONE IN UN DISSALATORE AD ENERGIA SOLARE

Emanuela Colombo, Francesco Floris*, Fabio Inzoli, Riccardo Mereu

Politecnico di Milano, Dipartimento di Energetica, Piazza Leonardo da Vinci, 32 - 20133 MILANO

*Università degli Studi di Cagliari, Dipartimento di Ingegneria Meccanica, Piazza d'Armi - 09123 CAGLIARI

Generalità

Lo scopo del progetto è la realizzazione di un dissalatore solare a bacino che preveda un investimento iniziale di progetto ridotto grazie alla semplicità costruttiva, ridotti costi d'esercizio e, conseguentemente, un rapporto costi-produzione competitivo rispetto agli altri metodi di dissalazione.

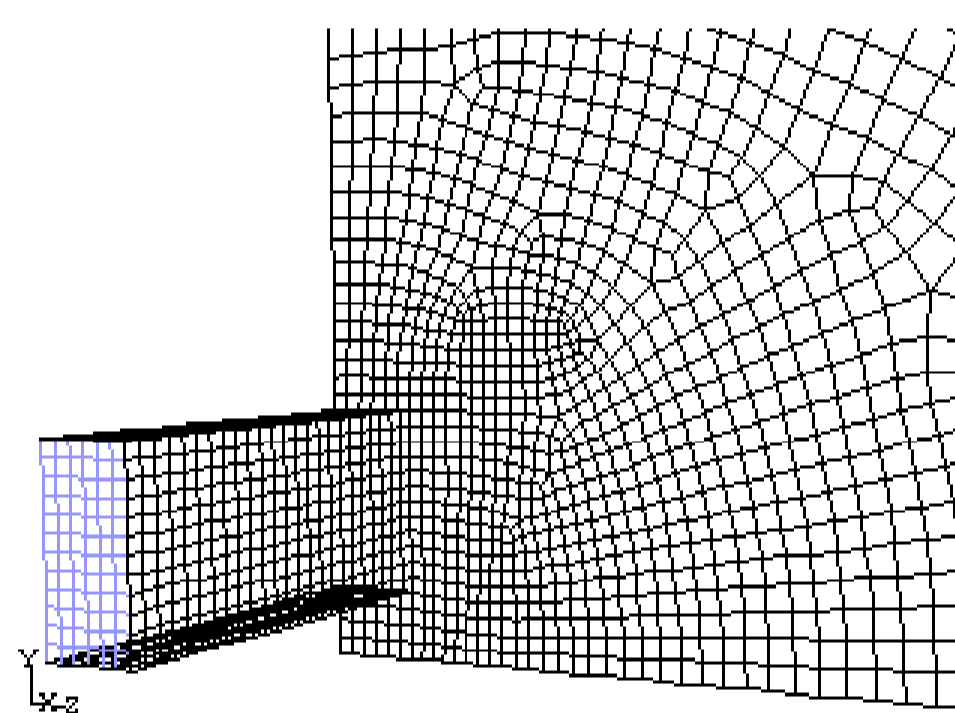
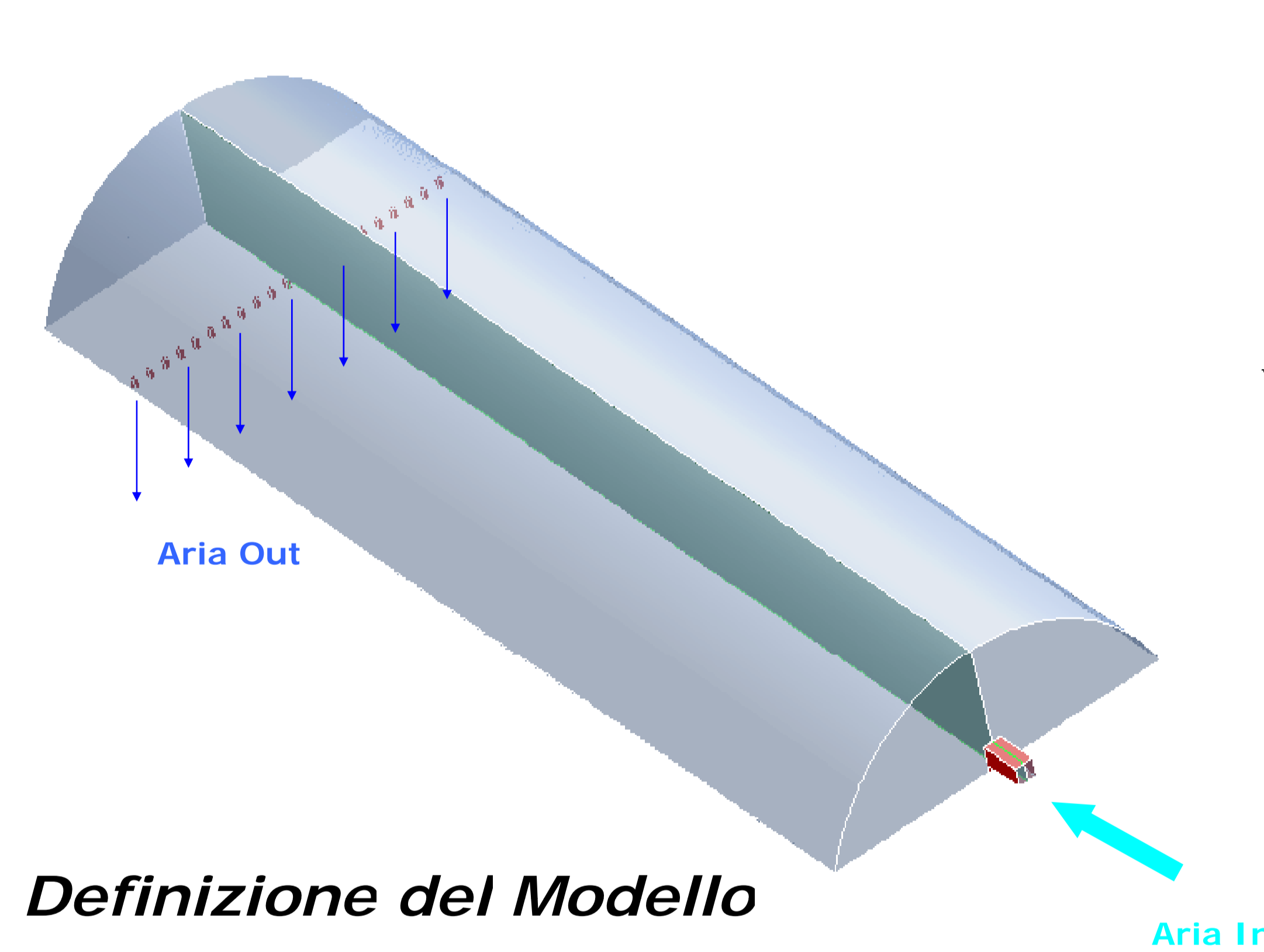
In questa fase si è proceduto alla modellazione CFD di un prototipo di dissalatore outdoor al fine di studiare le possibili modifiche migliorative sia a livello funzionale che strutturale.

Modello numerico

I componenti principali del dissalatore sono una cupola trasparente in policarbonato (superficie di condensazione primaria), uno strato di tessuto nero avvolto sul polistirolo isolante (superficie attiva d'evaporazione), uno scambiatore a tubi (superficie di condensazione secondaria) posto all'interno del bacino di alimento e un ventilatore per la convezione forzata. La modellazione numerica non prevede la presenza dello scambiatore e del bacino d'alimento i cui effetti sono inclusi nelle condizioni al contorno.



Prototipo del dissalatore in scala reale. Particolare dello scambiatore (sx) ed esterno (dx).



Particolare della griglia: sezione d'ingresso dell'aria dal ventilatore (Fig. in alto).

Struttura del modello del dissalatore (Fig. a sx) con relativo piano di simmetria (verde) e flusso d'aria.

Definizione del Modello

Geometria e discretizzazione

Il dominio modellato rappresenta la metà dell'ambiente di evaporazione del dissalatore. Tale semplificazione è possibile grazie alla simmetria geometrica e fluidodinamica del dissalatore. Inoltre sono modellati l'imbocco del ventilatore e gli sbocchi dello scambiatore per imporre le condizioni al contorno in zone in cui il flusso dell'aria umida risulti indisturbato.

La griglia è costituita da elementi esaedrici e tetraedrici con infittimento della discretizzazione in prossimità dell'ingresso e dell'uscita dell'aria e delle superfici di evaporazione e di condensazione. La griglia costruita nel dominio è costituita da circa 450000 celle.

Modelli Fisici

L'aria umida che fluisce nel dominio è schematizzata come miscela di gas ideali. Il modello di turbolenza utilizzato è il k-ε RNG con "enhanced wall treatment".

Lo scambio di massa

L'evaporazione dell'acqua del bacino è modellata impostando la sezione d'ingresso del vapore come superficie a concentrazione nota (funzione della temperatura dell'acqua del bacino), il cui scambio è, quindi, regolato dalla legge di trasporto della materia (legge di Fick). Per i flussi turbolenti il flusso di diffusione massica ha la seguente forma:

$$\vec{J}_i = -\left(\rho D_{i,m} + \frac{\mu_t}{Sc_t}\right) \cdot \nabla m_i$$

$D_{i,m}$ rappresenta il coefficiente di diffusione di massa (funzione polinomiale di primo grado della temperatura), Sc_t il numero di Schmidt turbolento (valore di default 0.7).

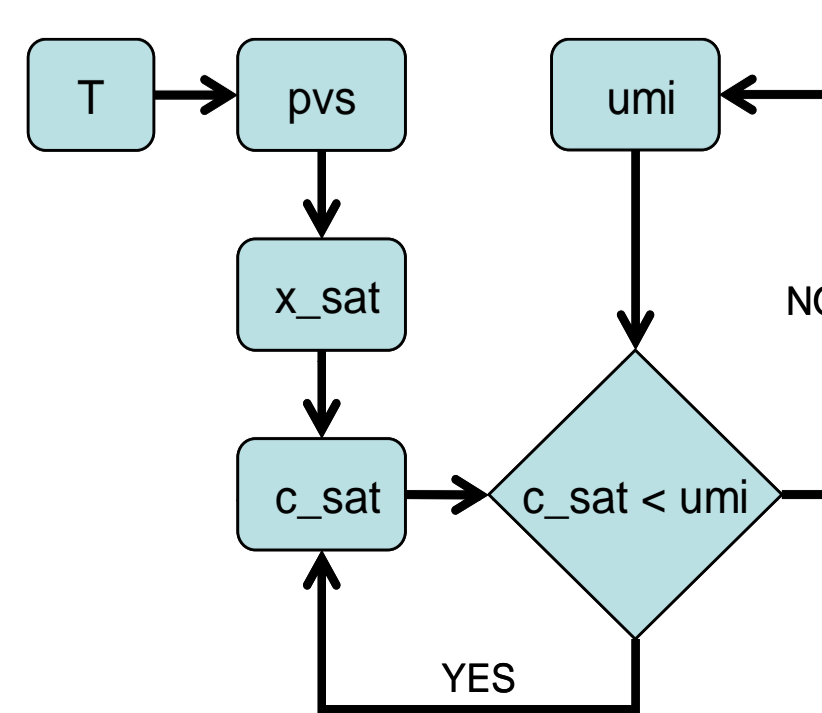
La frazione massica di vapore in condizioni di saturazione m_v è ricavata tramite la determinazione della pressione di vapor saturo (funzione della temperatura) e la pressione assoluta, che permettono di ricavare la frazione massica di vapore in aria umida.

Condensazione vapore (UDF)

La modellazione della condensazione del vapore sulla superficie interna della cupola (produzione primaria) è definita attraverso la compilazione di una UDF.

Attraverso la macro Define_Profile vengono calcolate l'umidità assoluta dell'aria (pvs) e la sua temperatura (T) lungo l'intera superficie interna della cupola. Si determina, inoltre, la concentrazione di saturazione del vapore (c_{sat}) alla temperatura della superficie interna della cupola.

Note tali grandezze per tutte le facce che compongono la cupola si determina la frazione massica di vapore (umi) in eccesso rispetto alle condizioni di saturazione, che rappresenta la quantità di condensato formato sulla cupola (ciclo if-else).



Note tutte le portate di vapore in ingresso ed uscita dal dominio si è in grado di determinare la produzione di condensato del dissalatore attraverso le:

$$\dot{m}_{vap, cupola} = \dot{m}_{vap, in air} - \dot{m}_{vap, out air} + \dot{m}_{vap, bt}$$

$$\dot{m}_{vap, scamb} = \dot{m}_{vap, out air} - \dot{m}_{vap, in air}$$

Lo scambio termico

La cupola rappresenta la parete di scambio termico con l'esterno; tale scambio è legato alla conduzione e alla convezione (coefficiente di scambio termico misto U), mentre l'eventuale scambio radiante è escluso dal modello. Il flusso termico è regolato dalla:

$$\dot{q} = U \cdot S \cdot (T_{cupola} - T_{ambiente})$$

La superficie d'evaporazione rappresenta una fonte di calore a temperatura costante, mentre le restanti superfici del dominio sono ipotizzate adiabatiche.

Condizioni al contorno

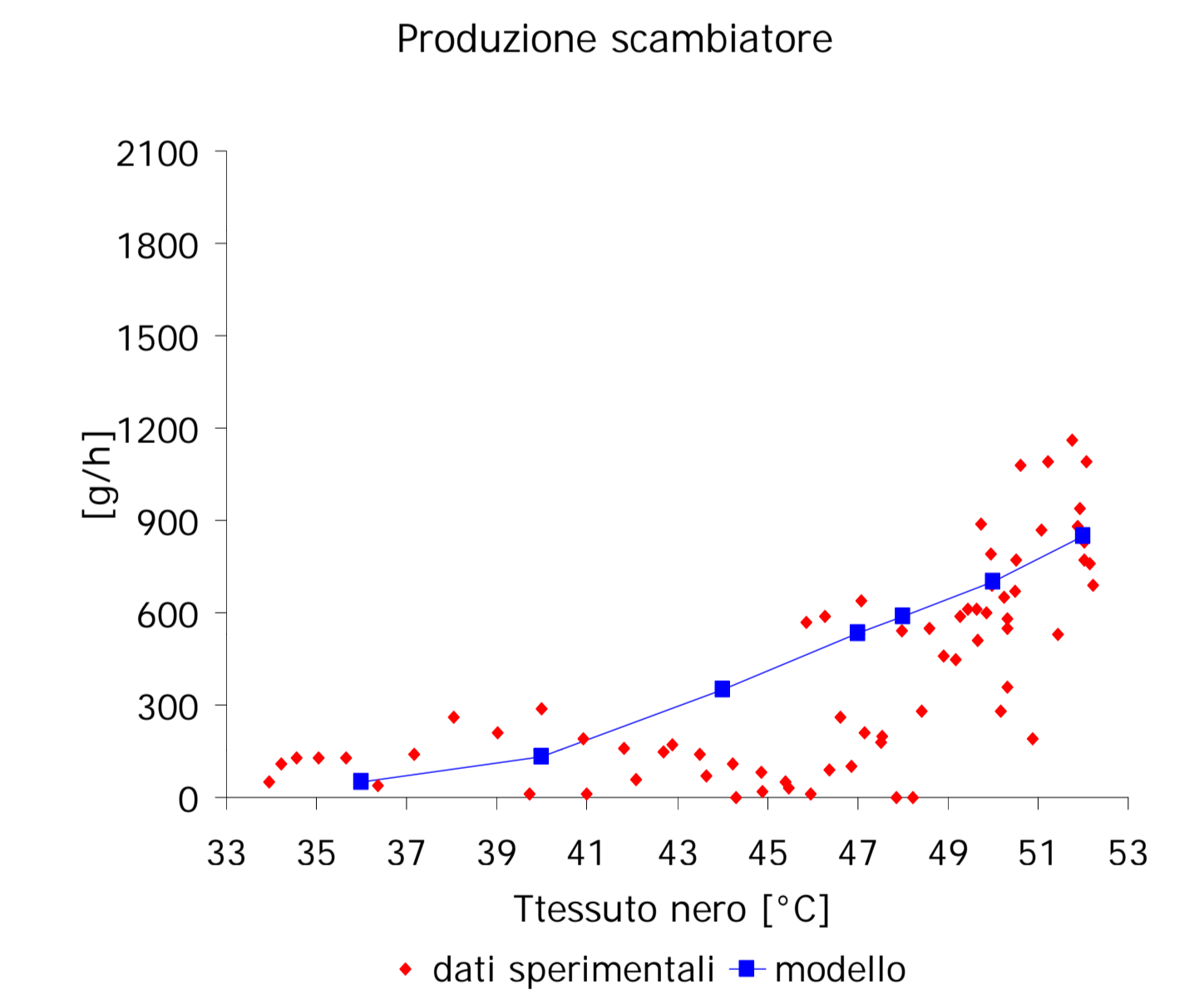
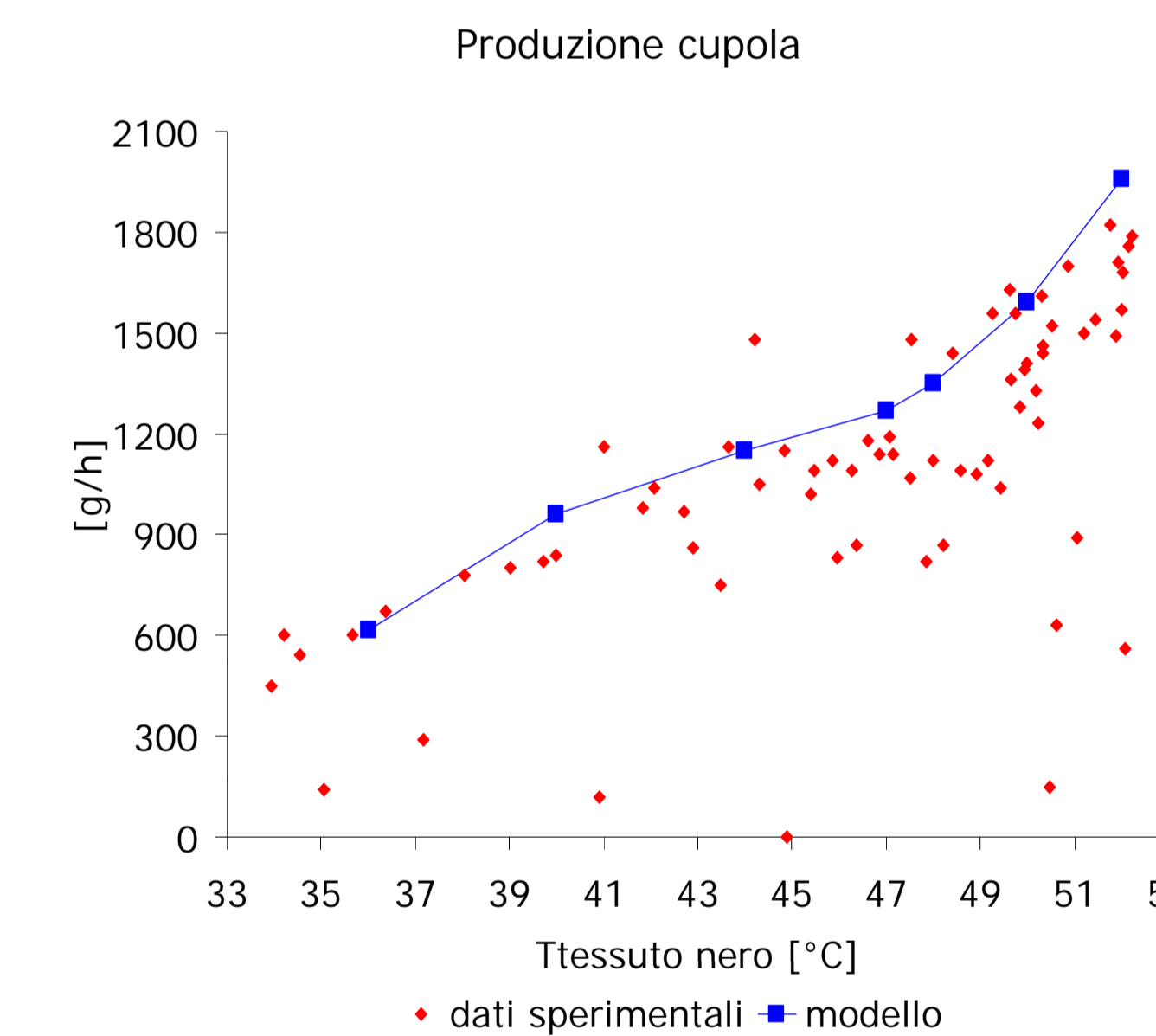
Le condizioni al contorno derivano da una campagna sperimentale in cui si sono determinate le temperature d'esercizio e la produzione di H_2O . Tali grandezze, opportunamente elaborate, hanno permesso di definire gli input del modello.

- Ingresso aria → Flusso, Temperatura, Umidità assoluta
- Ingresso vapore → Temperatura in condizioni di saturazione, Umidità assoluta in condizioni di saturazione
- Uscita aria → Pressione relativa
- Cupola → Coefficiente di scambio termico, Temperatura ambiente

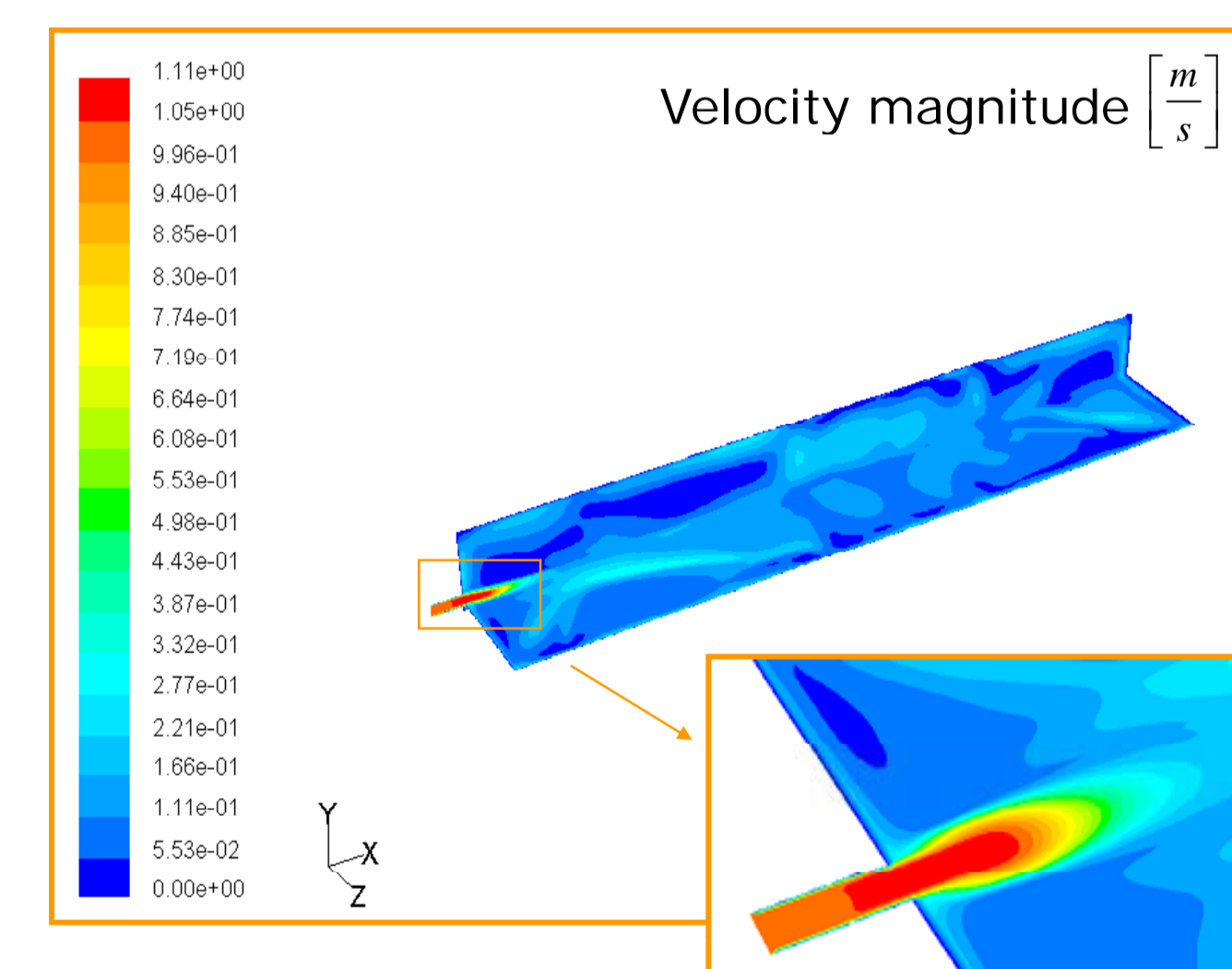
Risultati

La simulazione del modello e la relativa convergenza non ne garantiscono la validità, che è stata verificata dal confronto con i dati sperimentali.

Si riporta la produzione di condensato sulla cupola (sx) e nello scambiatore (dx) (in funzione della temperatura della superficie d'evaporazione) misurate sperimentalmente (rosso) e calcolata attraverso il modello (blu). La produzione calcolata risulta, per differenti temperature d'esercizio, coerente con i dati sperimentali dimostrando l'affidabilità del modello.



Post-processing



Il profilo tipico del getto confinato da una parete (superficie inferiore), provoca un aumento della turbolenza all'interno del dissalatore (Figura a lato). I conseguenti ricircoli (vedere zone di quiete) hanno il compito di portare il vapore presente in ambiente verso la cupola.

Allontanandosi dalla mandata del ventilatore si ha un graduale aumento di concentrazione di vapore in prossimità della cupola. La maggiore concentrazione è dovuta all'aumento di vapore nella zona centrale della superficie d'evaporazione, precedentemente occupata dal getto che impediva la diffusione verticale.

Dalle osservazioni effettuate si può ipotizzare che una modifica strutturale vantaggiosa sia la costruzione di un modello con sezione d'ingresso con area pari alla precedente, ma con una forma meno compatta (Figura in basso a sx). La velocità è più omogenea del caso precedente e si ha una zona centrale, che comprende un'ampia zona del dissalatore, con elevata umidità assoluta.

Nel diagramma in basso a dx è riportata la produzione di condensato ipotizzata per il modello con l'ingresso modificato (config. 2) rispetto all'originale (config. 1).

