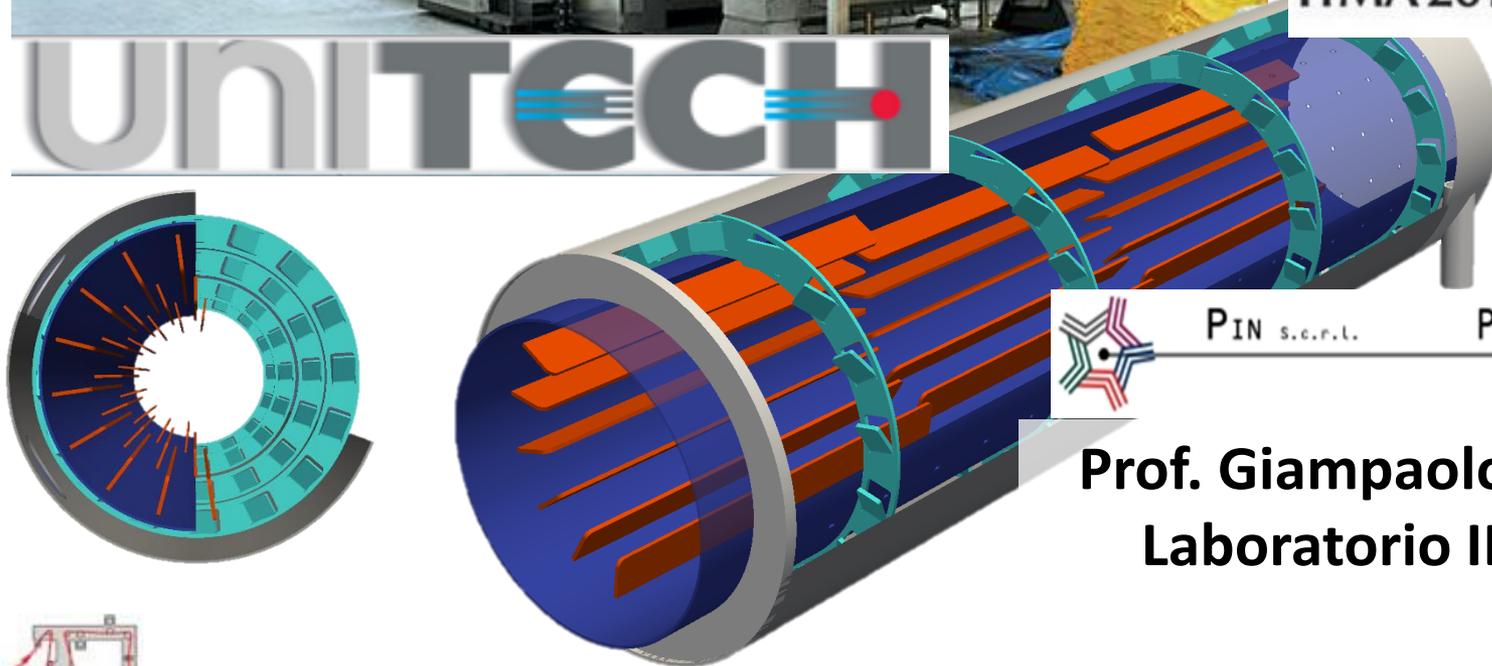


Ricerca/trasferimento tecnologico su di una macchina per asciugatura tessile

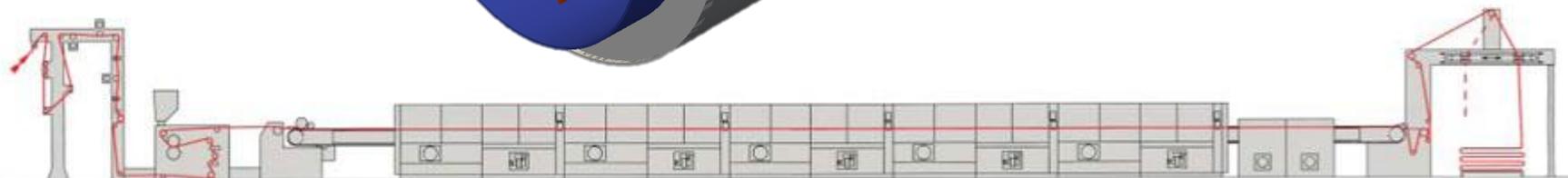


PIN s.c.r.l.

Polo Universitario

CITTA' DI PRATO

Prof. Giampaolo Manfreda
Laboratorio IBIS - PIN





UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
FIRENZE

DIEF

Dipartimento di
Ingegneria Industriale



PIN s.r.l.

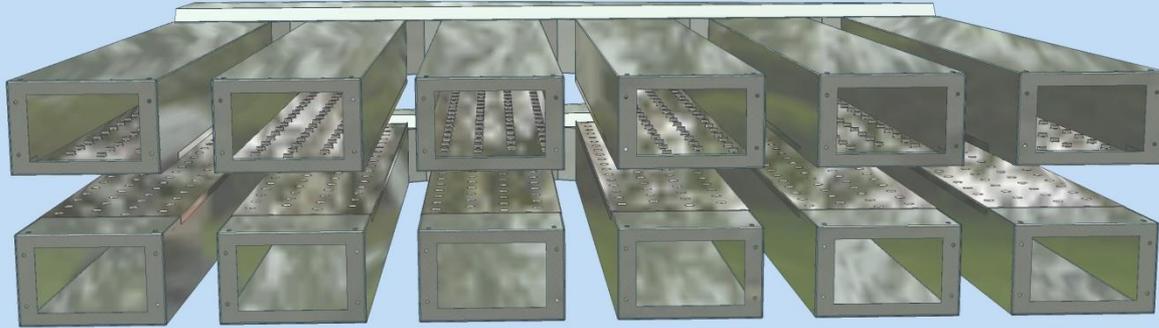
Polo Universitario

CITTA' DI PRATO

Collaborazione progressa Università – Unitech (2008)

La collaborazione Unitech/Università svolta nel 2006-2008 ha portato ad **incrementare la produttività**, nei processi di asciugatura e termofissaggio, di circa il **40%** (da 18 m/min a **26 m/min** con tessuti viscosa-lycra 200 g/m², H=1800 mm, U_{in} 90% - U_{out} 13% e 24 metri di forno), oltre all'abbassamento dei consumi energetici complessivi (1226 kg/h di tessuto processato e **consumo specifico di CH₄ pari a 0.1 Nm³/kg**).

I miglioramenti sono stati ottenuti con lo studio **CFD** e la **sperimentazione con Laser PIV** (Particle Image Velocimetry), condotti su di una cella sperimentale allestita presso Unitech e trasferiti su macchine reali installate presso gli utenti.



La **soffieria** è un elemento chiave di ottimizzazione (forma condotto, uniformità di distribuzione, diametro, spaziatura e forma degli ugelli).

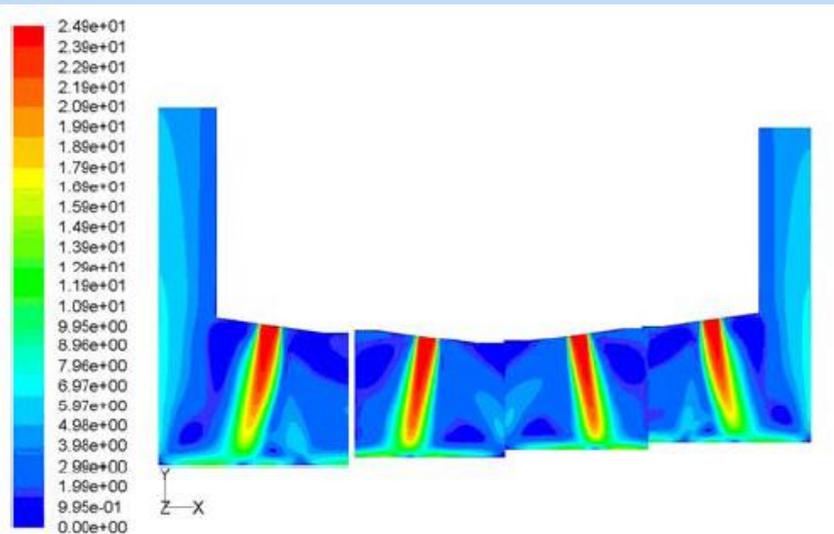
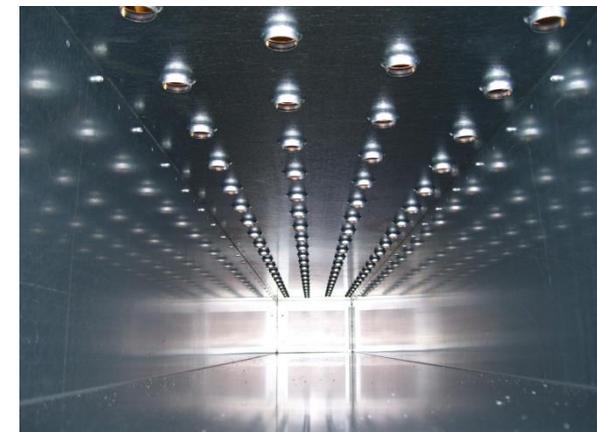


Fig 17 – Model D - Contours of static temperature [K]

I modelli sviluppati comprendono **l'evaporazione dell'acqua dal tessuto**, e riguardano sia l'intera soffieria (getti multipli sfalsati)



... che l'ottimizzazione dei parametri del **singolo getto**

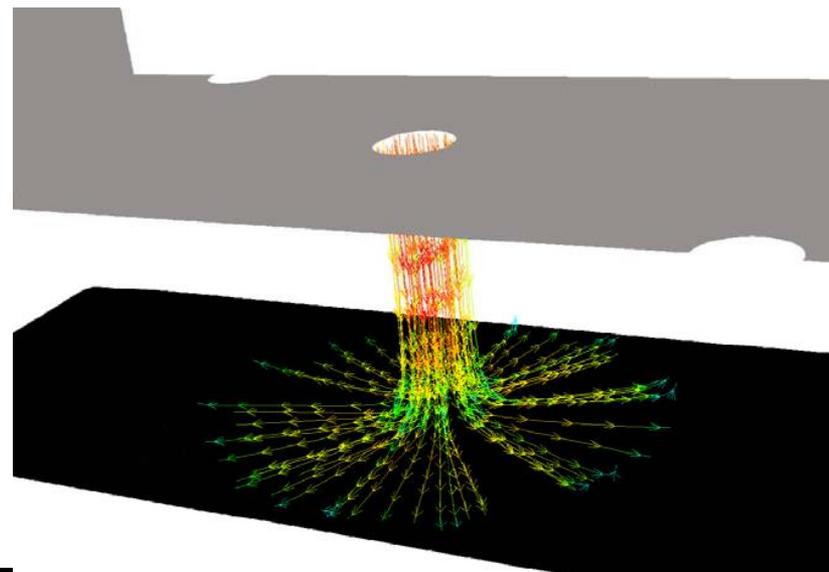


Fig. 21 – Impinging jet with round nozzle ($D = 20,5 \text{ mm}$)

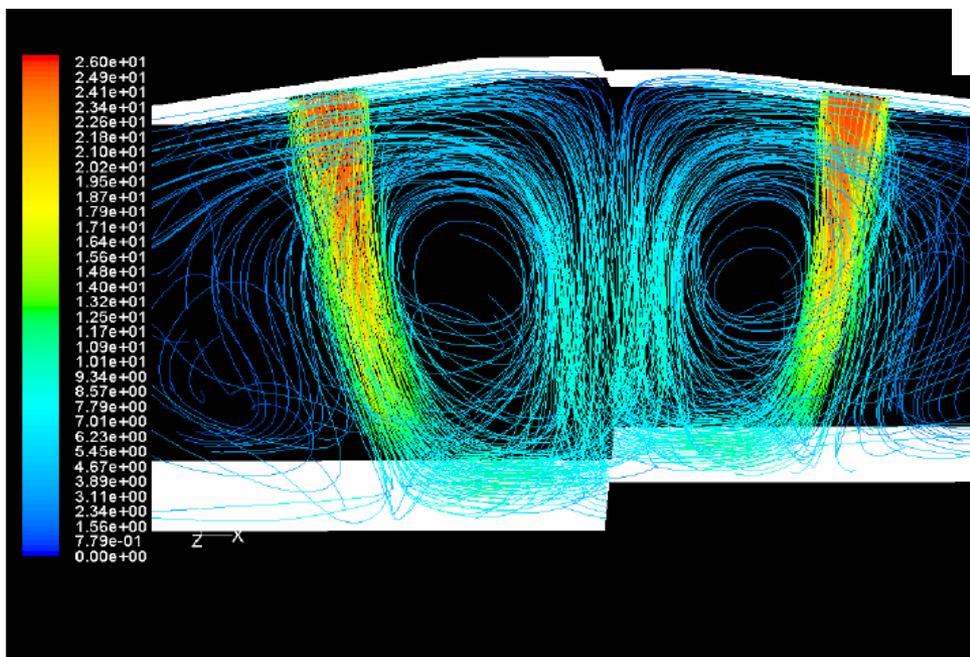
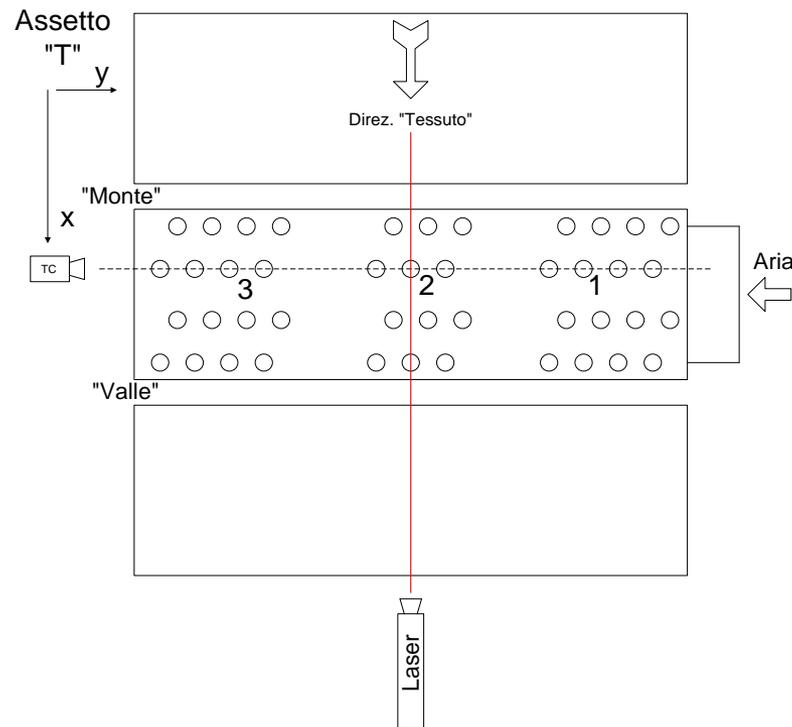
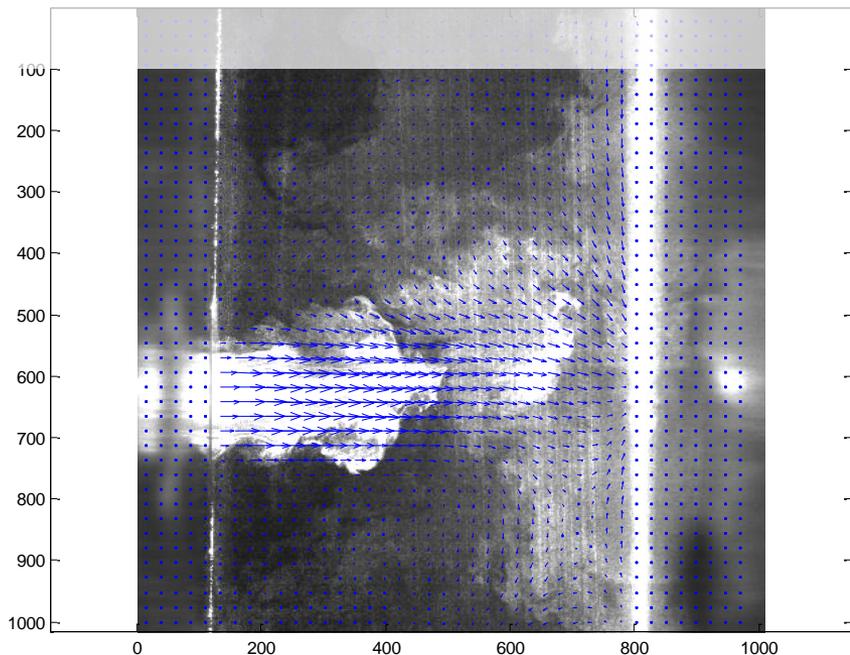


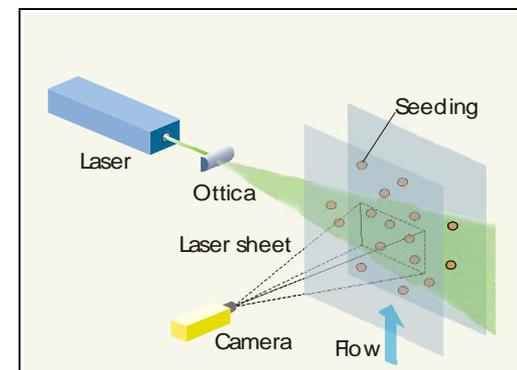
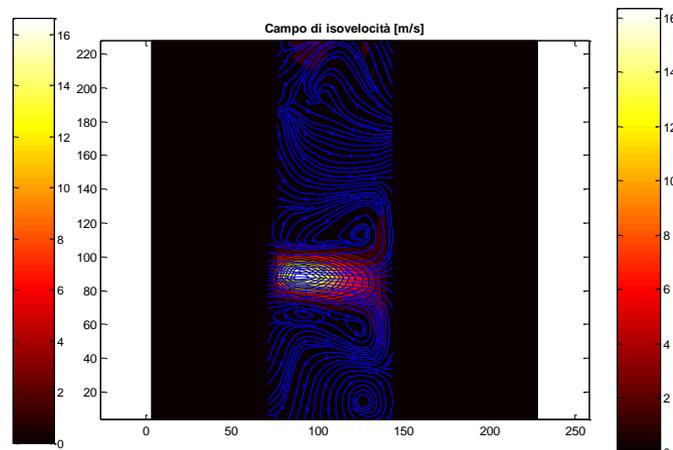
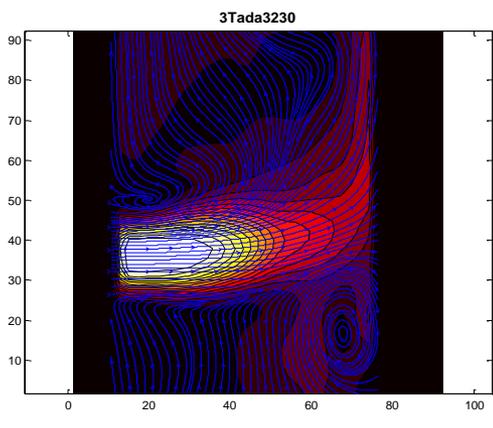
Fig 18 – Eddies in central region in Model D (color by velocity magnitude in m/sec)



I modelli sono stati convalidati da **misure di campo di velocità** con iniezione di fumo e laser PIV (collaborazione con CRIACIV)



Collaborazione pregressa Università – Unitech (2008)



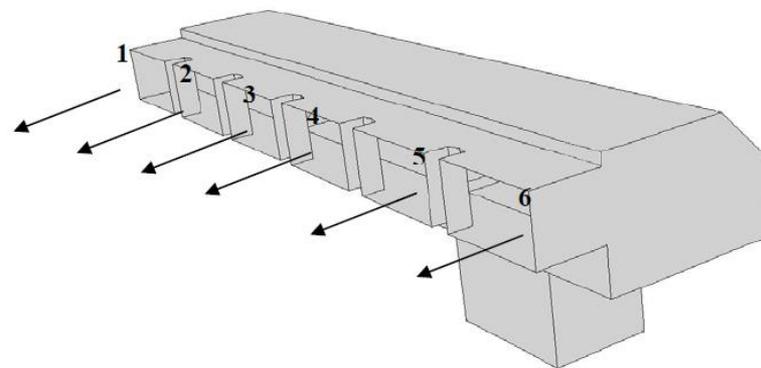
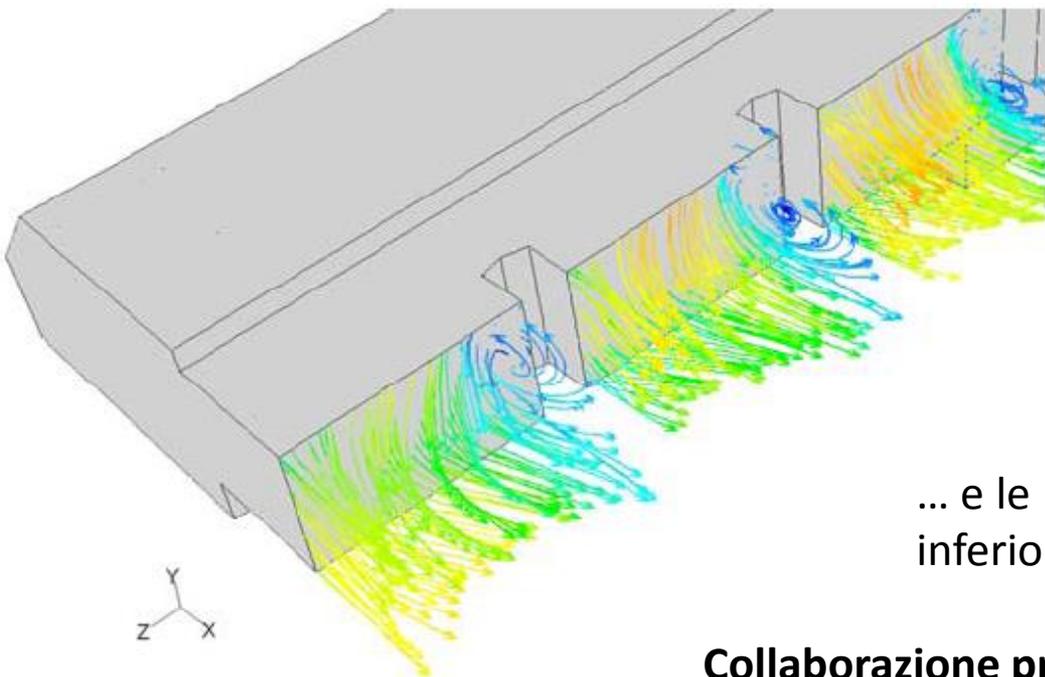
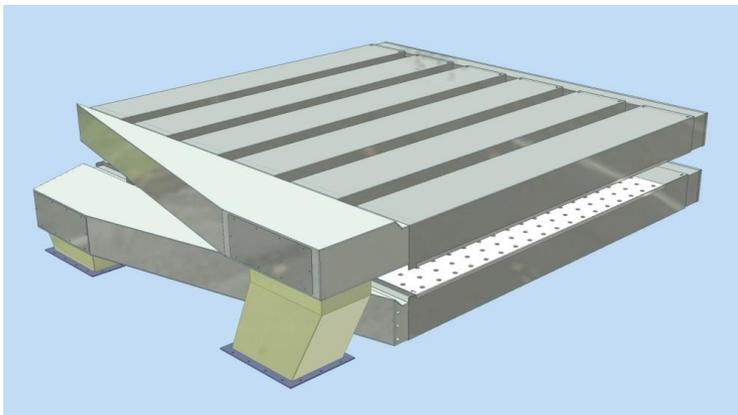
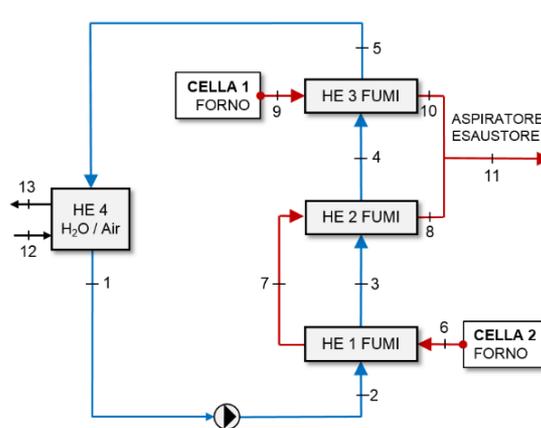


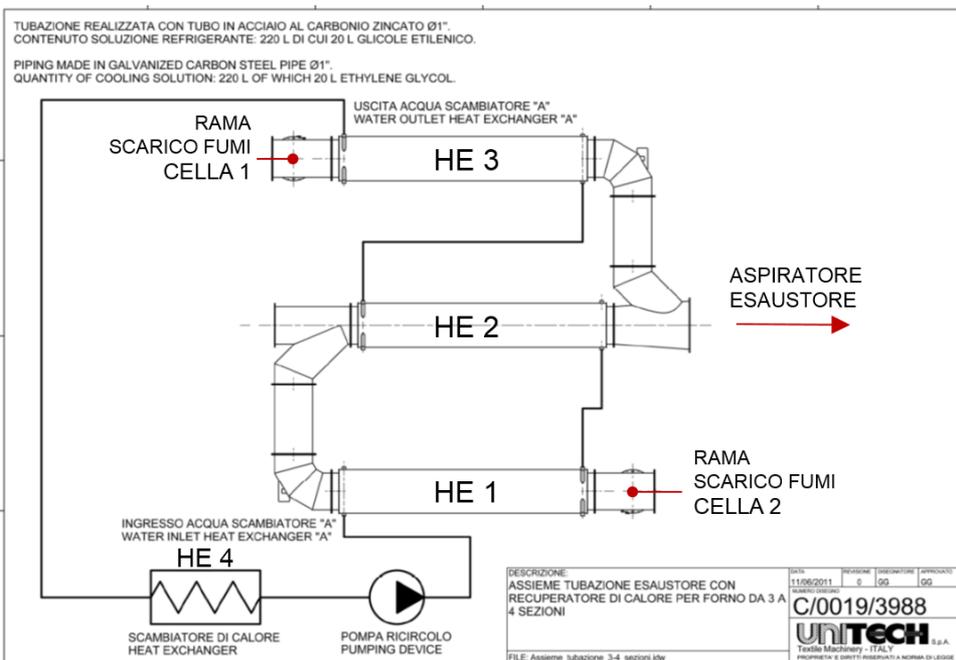
Fig 49 – Higher distributor

... e le **maniche di distribuzione** (superiore ed inferiore) dei gas caldi alle soffierie ...

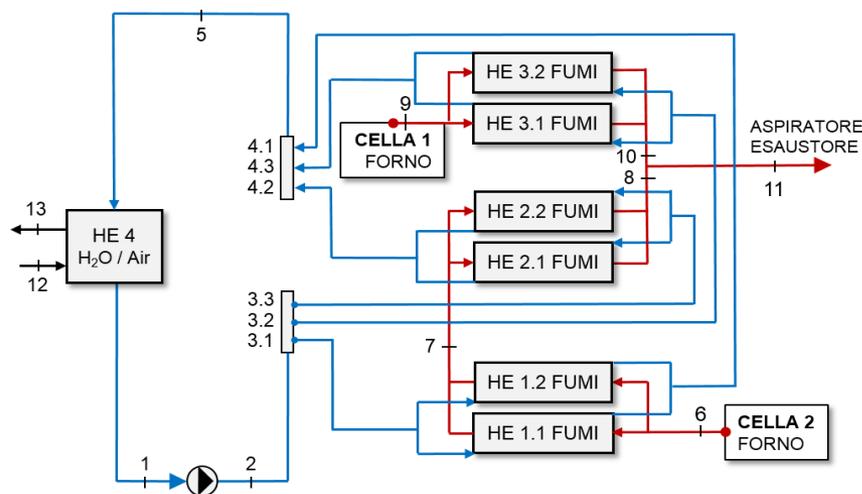
... da **Marzo 2015** tramite PIN è stata affrontata la riprogettazione del **sistema di recupero indiretto di calore a bassa temperatura**...



... Il calore recuperato dai fumi viene accumulato come acqua calda e riutilizzato per preriscaldare l'aria in ingresso alla macchina...



...in primo luogo si è riprogettato l'assetto originario - con celle in serie - in un **sistema a collettori in parallelo**, flessibile, economico e facilmente assemblabile e regolabile...



... riconoscendo (modello di calcolo) che il limite principale era costituito dal limitato coefficiente di scambio interno (lato fumi), si è adottata una soluzione a **"doppia canna"**...



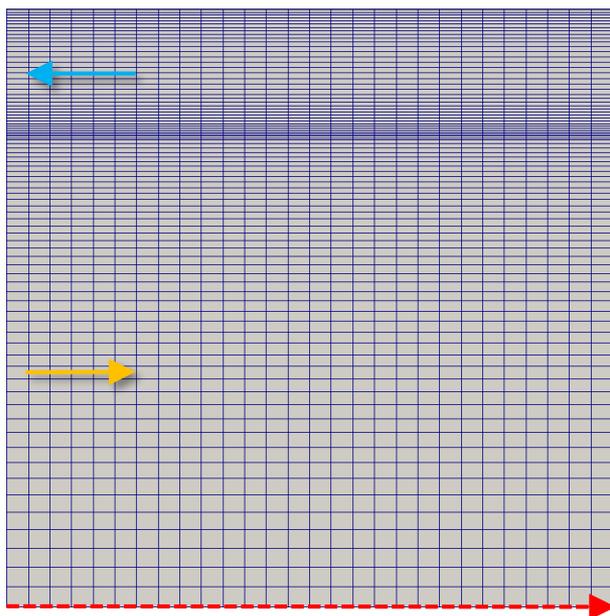
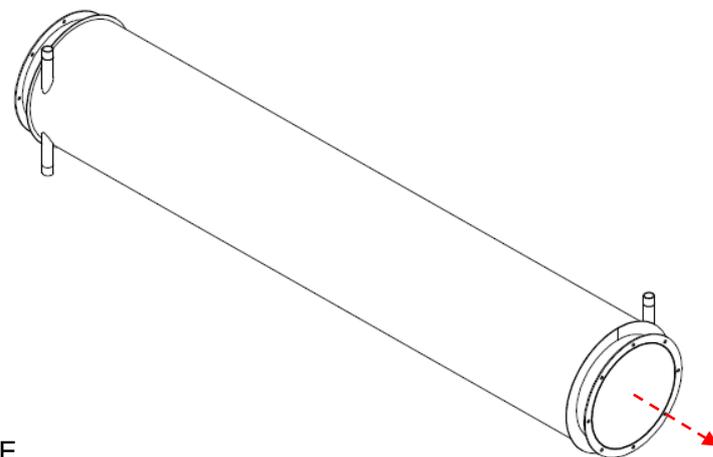
La ricerca è stata finalizzata alla presentazione dell'innovazione alla fiera ITMA 2015



SCAMBIATORE «DOUBLE PIPE COUNTER FLOW» - ZONA RECUPERO

MODELLO 2D > DATI

CODICE CFD	OpenFOAM
DOMINIO DI CALCOLO 2D	0.0001 x 0.986 x 0.138 [m]
TIPO MESH	Strutturata
RISOLUZIONE GRIGLIA	16600
SIMULAZIONE	Stazionaria
SOLVER	chtMultiRegionSimpleFoam
MODELLO DI TURBOLENZA	K-Omega SST



- < JACKET
- < DOMINIO FLUIDO FREDDO
- < DOMINIO SOLIDO, SCAMBIATORE
- < DOMINIO FLUIDO CALDO

... il **modulo base** della doppia canna è stato identificato in un condotto di circa $\Phi = 220 \text{ mm}$ $L = 1000 \text{ mm}$, per il quale si è deciso di condurre un'indagine mediante fluidodinamica computazionale (CFD , OpenFoam) per convalidare i risultati dei calcoli di progetto (che usano correlazioni di scambio termico)

- < CENTER LINE



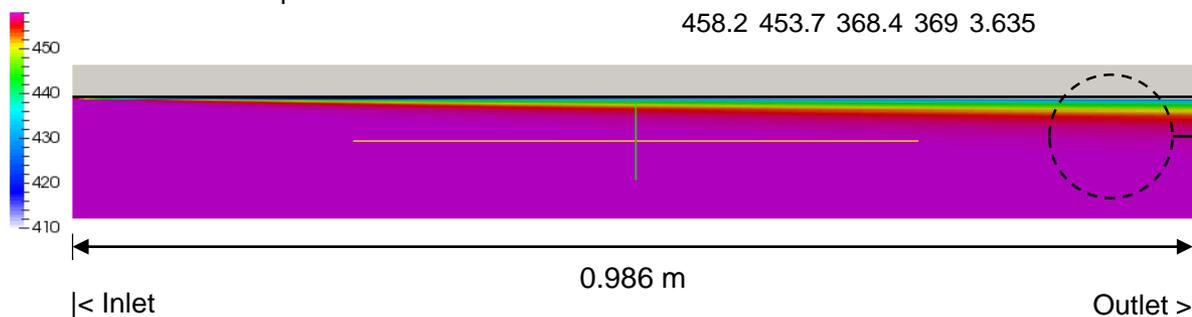
... la CFD ha consentito di convalidare i risultati del modello di progetto. I due metodi identificano però il problema principale, che è la formazione di uno **strato limite termico importante sul lato gas** che ostacola progressivamente lo scambio termico.

Lo stato di gas a bassa conduttività aderente alla parete ostacola in sostanza lo scambio termico, di conseguenza la temperatura dei gas si mantiene quasi costante nel condotto.

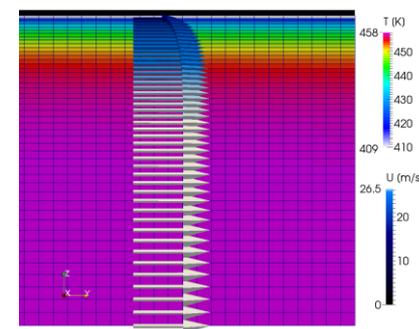
Circuito acqua 16 Lt	T fumi in	T fumi out	T acqua in	T acqua out	Q_HE
Modello di riferimento	[K]	[K]	[K]	[K]	[kW]
OpenFOAM 2D	458.2	455.757	368.4	368.766	3.645
EES - Modello 2 a valori locali	458.2	453.7	368.4	369	3.635

REGIONE GAS ESAUSTI

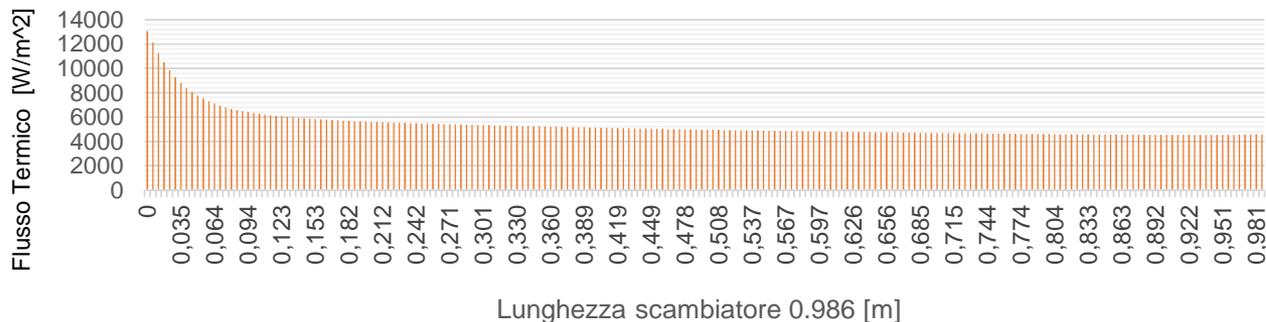
T (K) Profilo delle temperatura



Profilo velocità
Strato limite



Profilo del flusso termico dalla corrente calda allo scambiatore



... insieme ad Unitech si è inventato un **processo produttivo di tubo alettato internamente**. Le alette longitudinali – di facile pulizia – sono fissate a parete mediante pin di saldatura sul tubo - in normale acciaio, buon conduttore - prodotto per taglio laser e calandratura. La zincatura in bagno galvanico assicura il fissaggio continuo dell'aletta (eliminando la resistenza di contatto) e la protezione totale delle superfici.

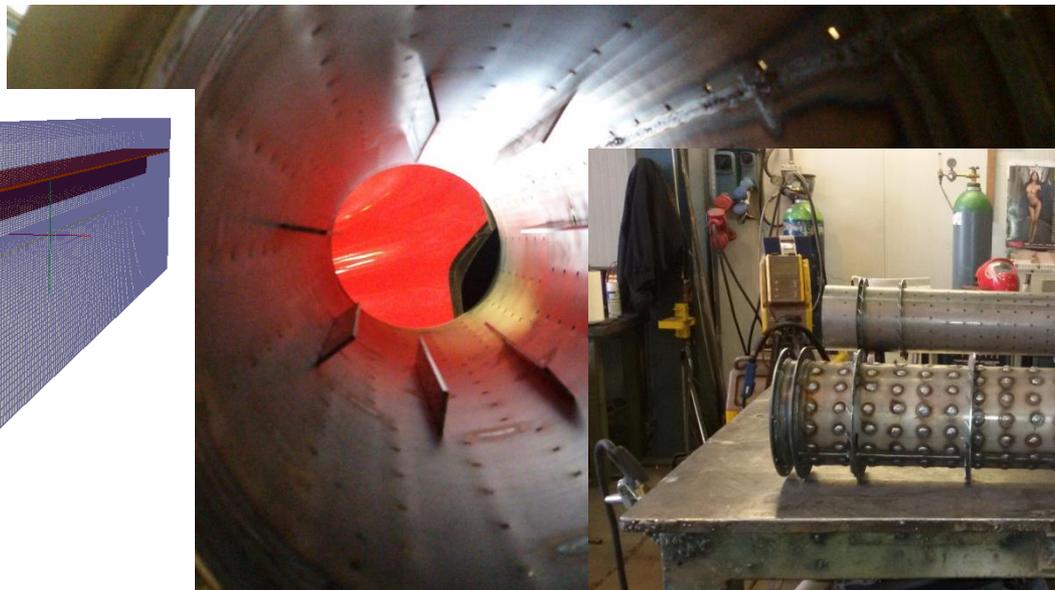
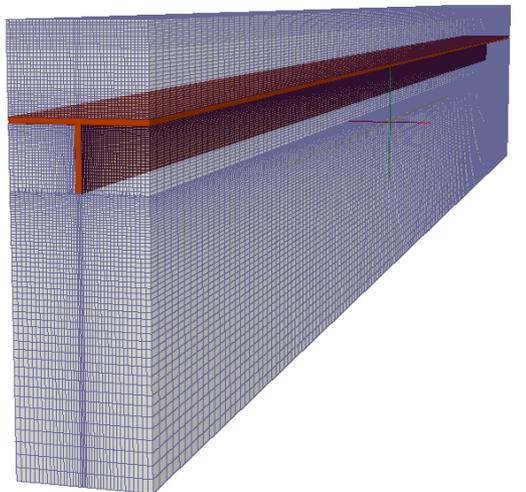
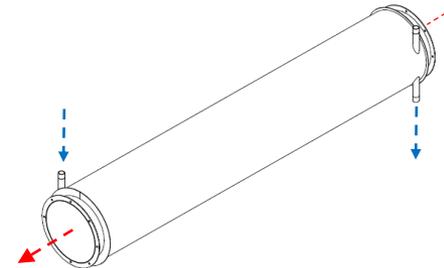


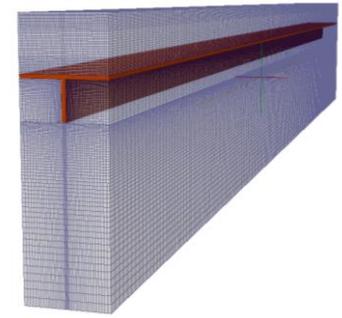
PIN S.p.A.

Polo Universitario
CITTA' DI PRATO

GEOMETRIA MODELLO	SEZIONE HE ALETTATO
ALETTE	
TIPOLOGIA	LONGITUDINALE
N° TOTALE HE	16
N° NEL MODELLO	1
DIMENSIONE	0.002 x 0.986 x 0.02 [m]

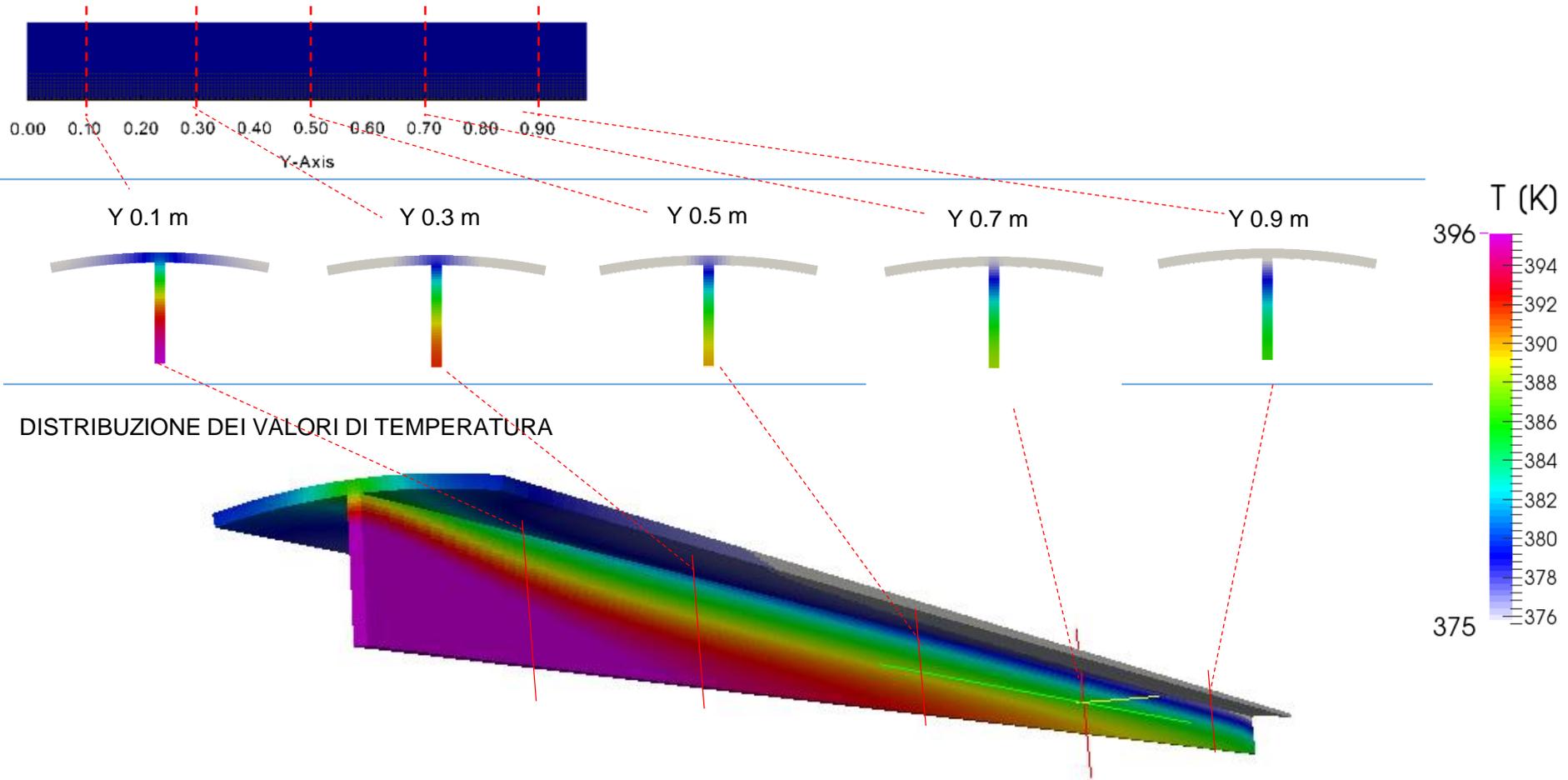
CODICE CFD	OpenFOAM
DOMINIO DI CALCOLO 3D	0.0428 x 0.986 x 0.138 [m]
TIPO MESH	Strutturata
RISOLUZIONE GRIGLIA	907680
SIMULAZIONE	Stazionaria
SOLVER	chtMultiRegionSimpleFoam
MODELLO DI TURBOLENZA	K-Omega SST

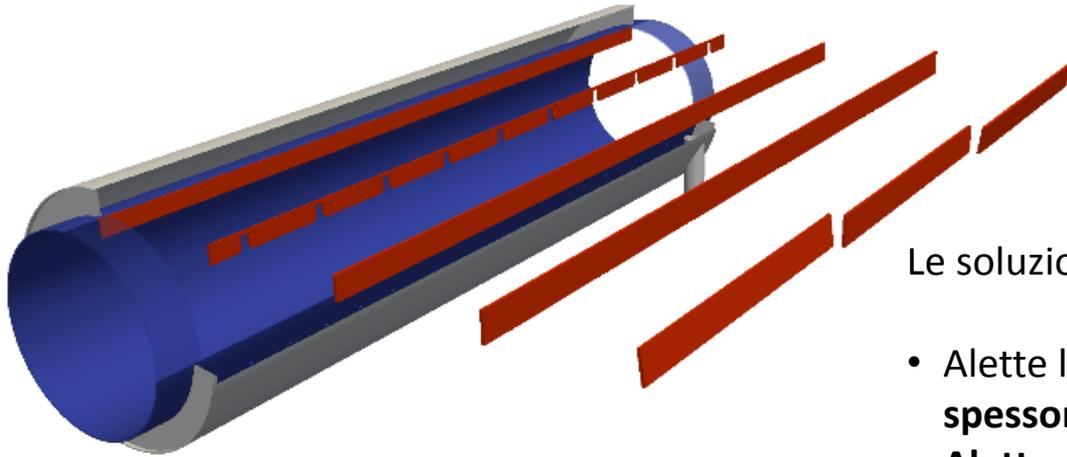




... i modelli CFD sono stati molto utili per comprendere il funzionamento dell'aletta, che migliora la situazione ma risente anch'essa dello sviluppo progressivo di uno strato limite termico sulla superficie.

MODELLO1 FINNED PIPE 3D > TEMPERATURE





Anche gli **studi di miglioramento** sono stati condotti con il software CFD OpenFOAM, con modalità ricorsiva e notevole impegno di calcolo.

Le soluzioni esaminate comprendono:

- Alette longitudinali continue di **diversa altezza e spessore**
- **Alette segmentate** per rinnovare lo scambio termico
- **Alette interrotte e sfalsate** radialmente



La soluzione finale presenta alette spesse 3 mm di lunghezza circa 300 mm, **sfalsate radialmente**.

Lato acqua sono stati inseriti dei setti con lamiere angolate per la generazione di vorticità.

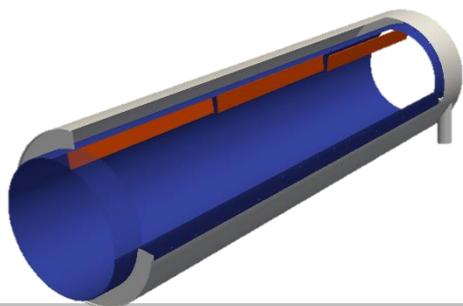


Le simulazioni hanno dimostrato la possibilità di generare un campo di temperatura lato fumi **omogeneo e ben esteso verso il centro del condotto:**

Heat Exchanger

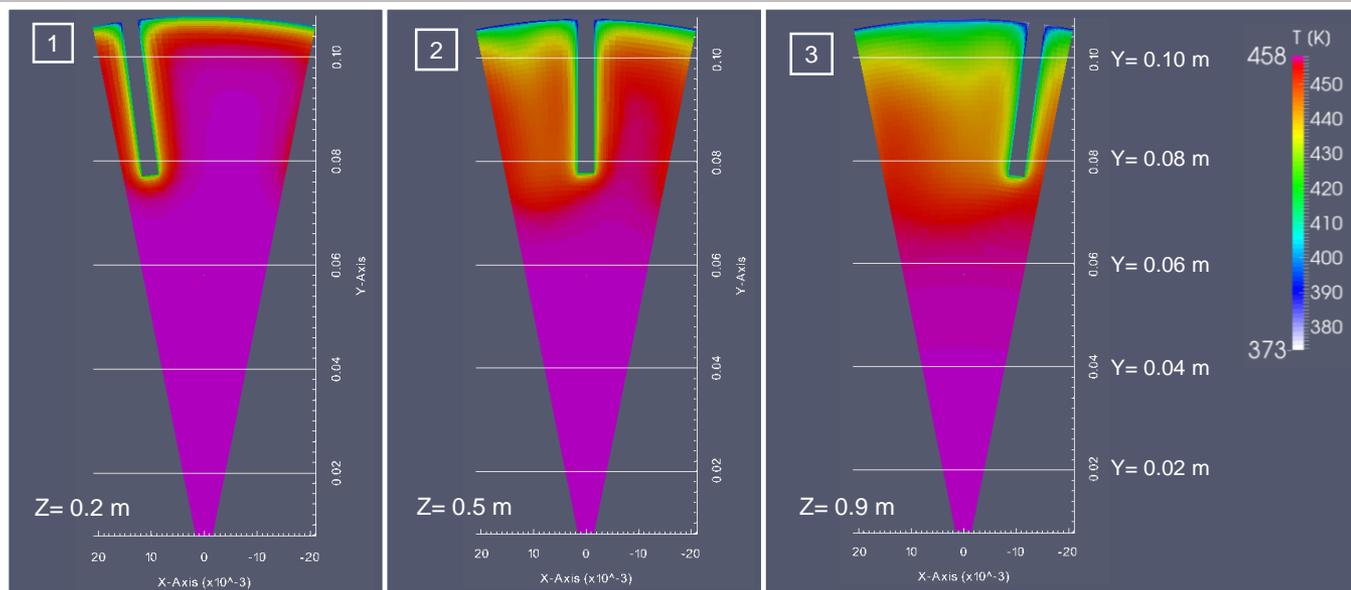
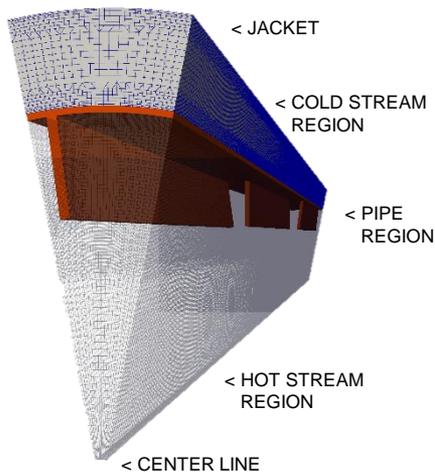
C.003.030.3F

CFD ANALYSIS / MESH / TEMPERATURE /



GEOMETRY CFD MODEL	FINNED PIPE SECTION
FINS	
TYPE	Shifted
PIPE N°	48
CFD MODEL N°	3
DIMENSIONS	0.003 x 0.03 x 0.328 [m]

CFD CODE	OpenFOAM
3D COMPUTATIONAL DOMAIN	alpha 22.5° L 0.986 H 0.138 [m]
MESH	Structured Grid
GRID RESOLUTION	5037362
SIMULATION	Stationary
SOLVER	chtMultiRegionSimpleFoam
TURBULENCE MODEL	K-Omega SST



Shifted fin, 30 mm (final design)



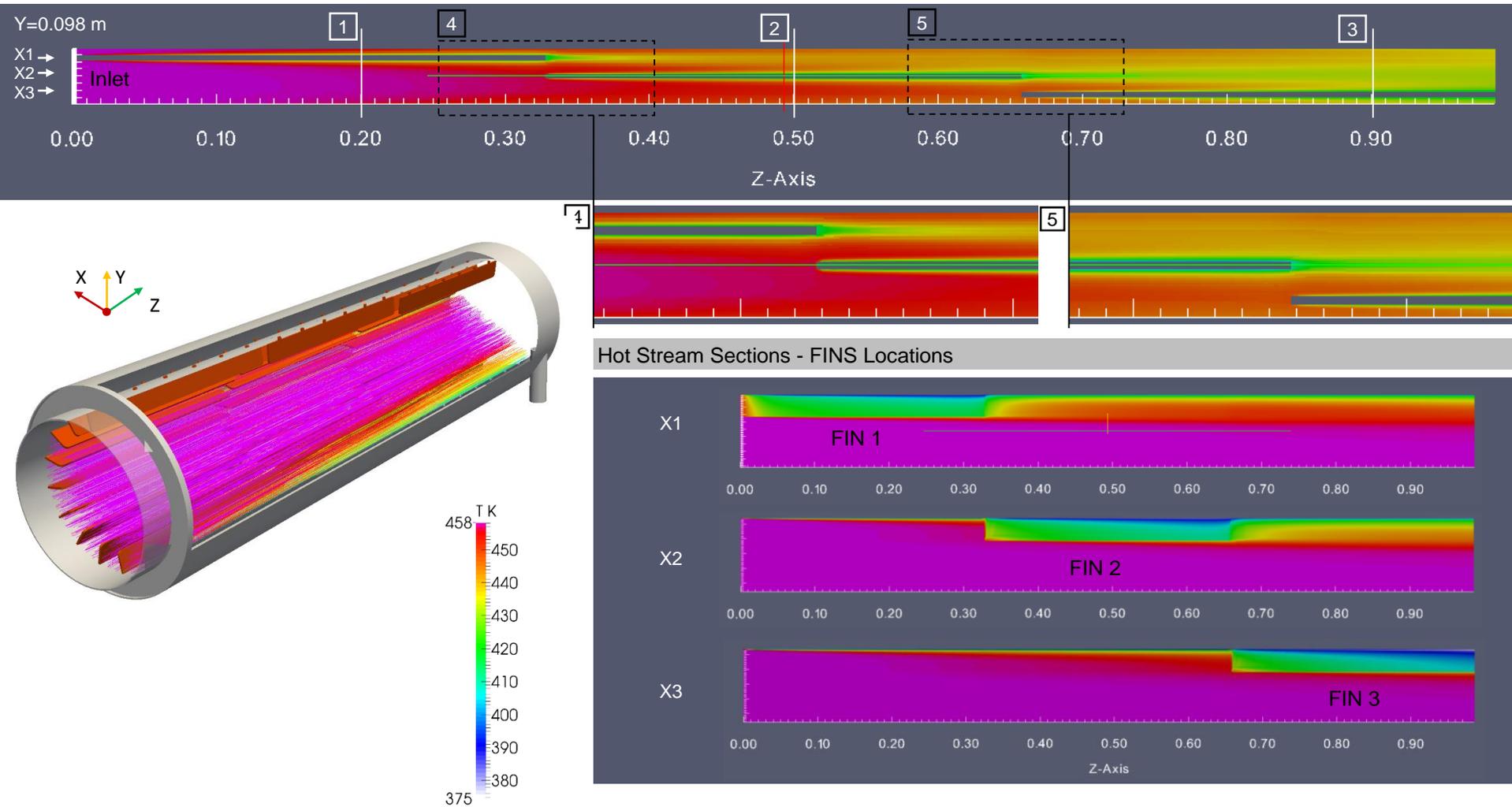


... le **alette falsate** consentono di cancellare l'accrescimento dello strato limite termico e di operare su fluido "fresco" ...
 ... è anche una soluzione di facile costruzione e pulizia nell'esercizio.

Heat Exchanger

C.003.030.3F

CFD ANALYSIS / TEMPERATURE /



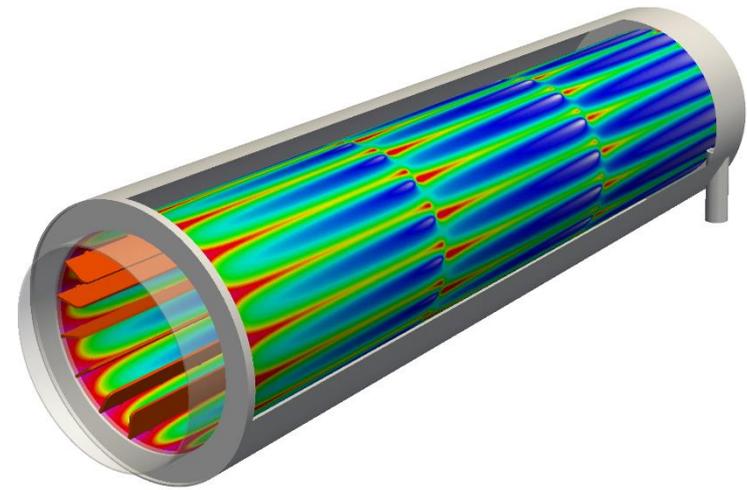
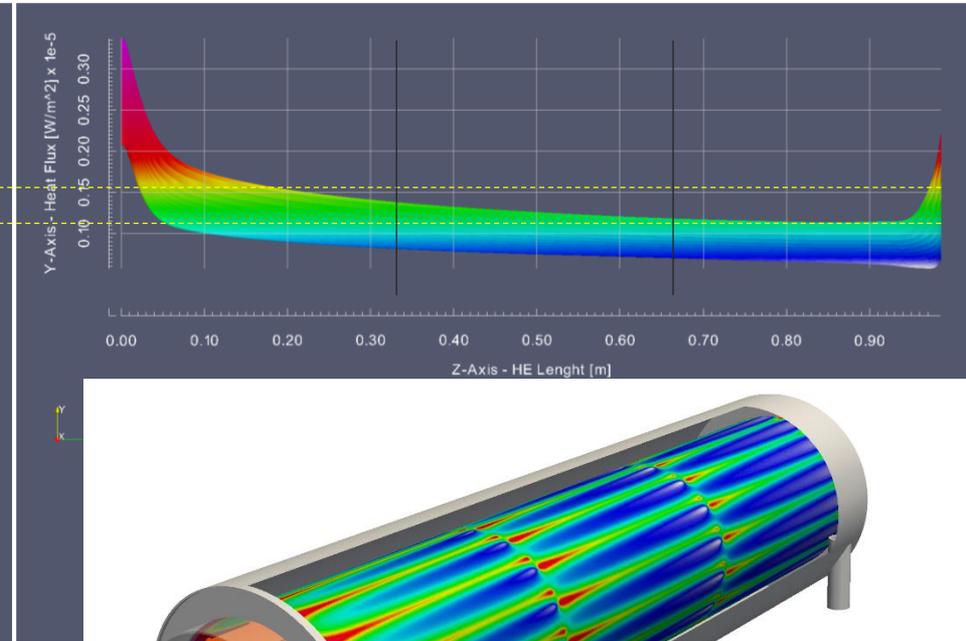
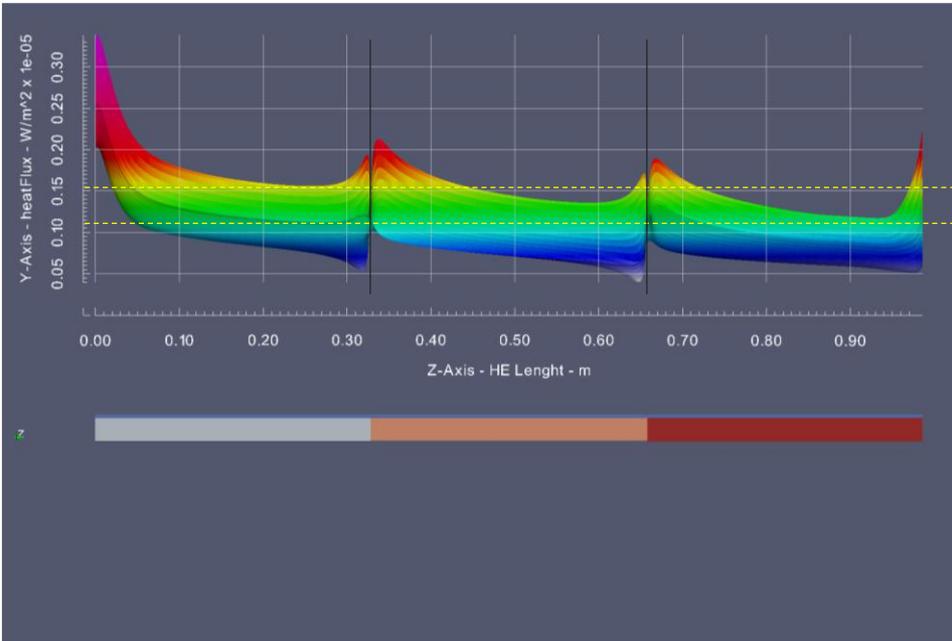


... l'effetto di rinnovo dello strato limite termico è particolarmente chiaro dai profili di **flusso termico**, in confronto con l'aletta continua...
...è evidente l'effetto di recupero sul bordo di attacco dell'aletta....

Heat Exchanger

C.003.030.3F / 1F

CFD ANALYSIS / HEAT FLUX /



... l'integrale del flusso termico sulla superficie consente di calcolare il **calore totale recuperato** dal singolo modulo....



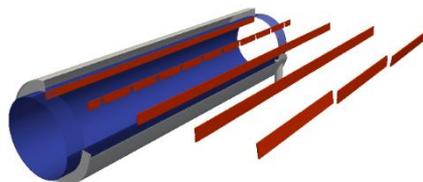


... rispetto al caso base (scambiatore senza alette interne) si prevede un guadagno fino al 97% (da 3,65 kW a 7,20 kW), decisamente superiore per la soluzione con tre alette sfalsate rispetto agli altri casi.

BARE PIPE



FINNED PIPES



ID	Fins [N°]	[mm]	
C.002.020.1F	16	2 x 20 x 986	
C.002.020.9F	16	2 x 20 x 986	
C.003.025.1F	16	3 x 25 x 986	
C.003.030.1F	16	3 x 30 x 986	
C.003.030.3F	48	3 x 30 x 328	

ID Configuration	[N°]	Bare pipe	C.002.020.1F	C.002.020.9F	C.003.025.1F	C.003.030.1F	C.003.030.3F
Thermal Power	[kWt]	3.65	5.66	5.60	6.30	6.78	7.20
Increase	[%]	-	55	53	73	86	97

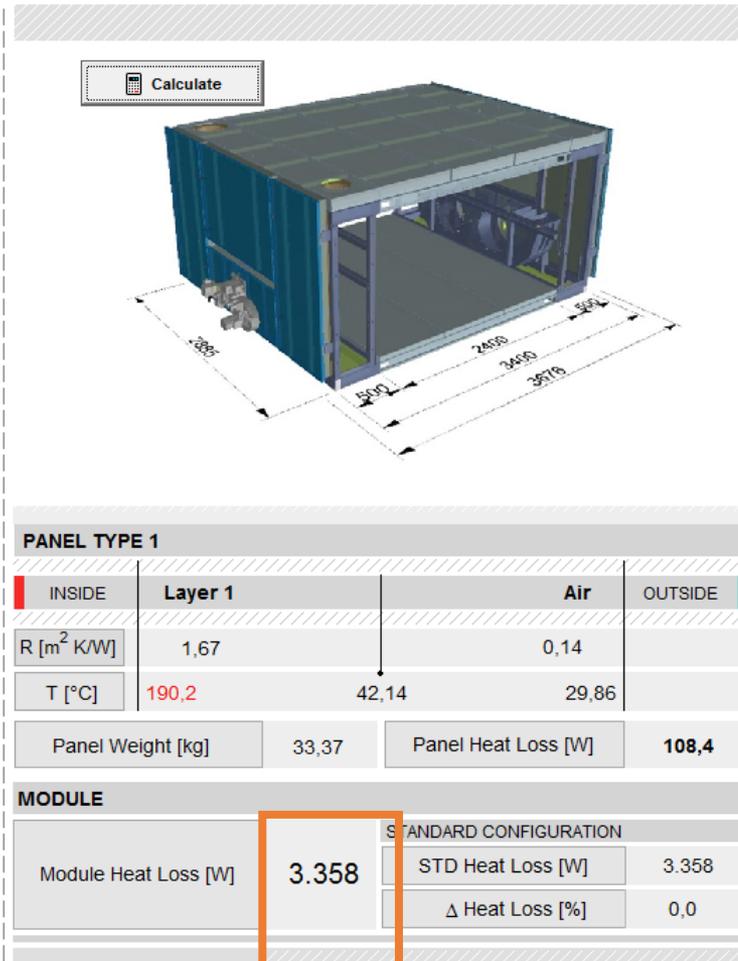
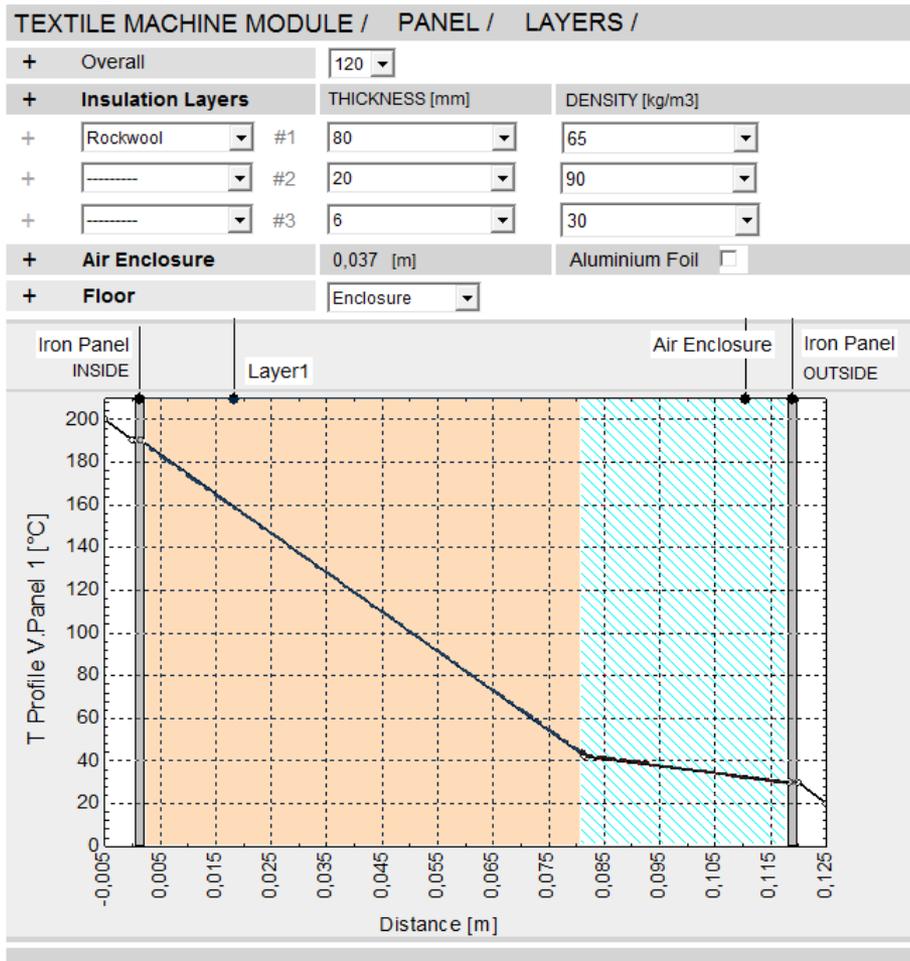
Modulo base

3 Alette
sfalsate

Come sviluppo si prevede di effettuare una convalida sperimentale delle prestazioni.



Il miglioramento della macchina ha anche riguardato il perfezionamento del suo isolamento, che riduce le dispersioni di calore attraverso l'ampia superficie, e migliora le condizioni di lavoro nello stabilimento.

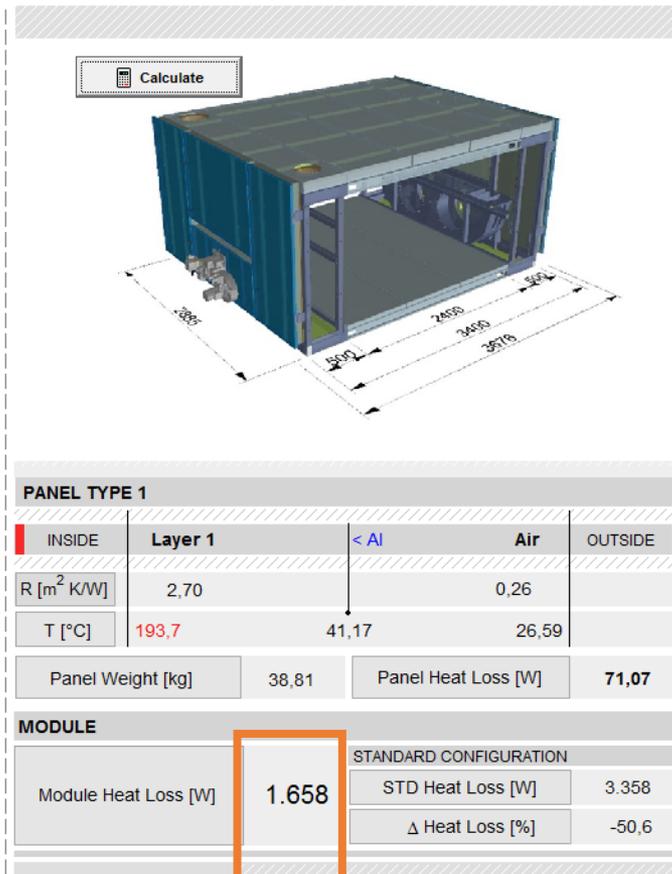
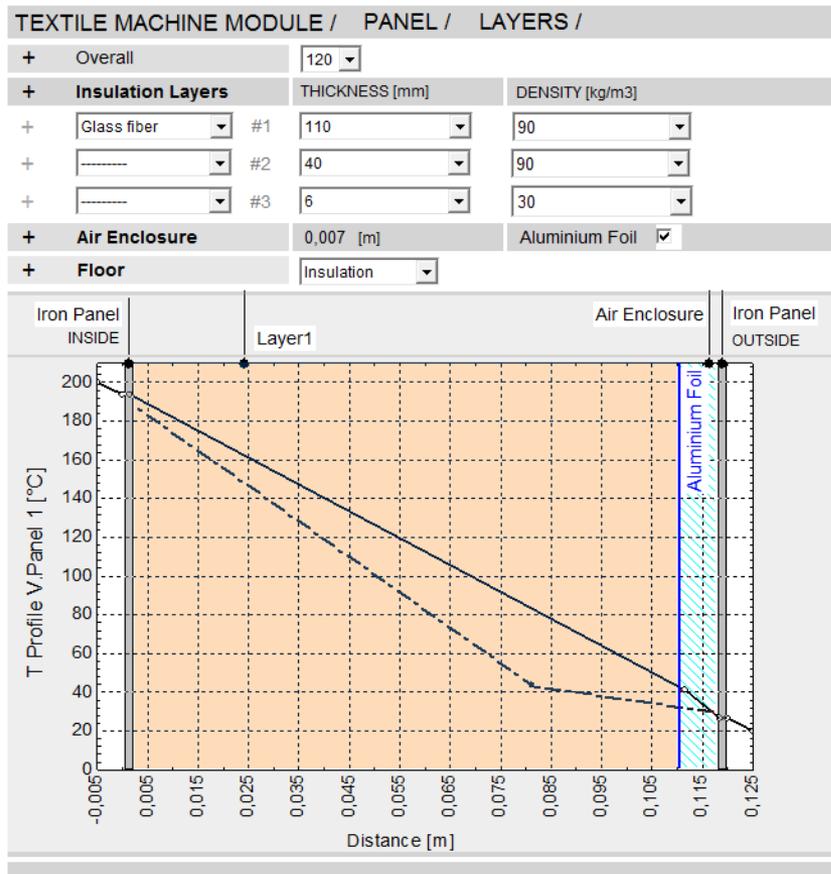


Base case 120mm – Single layer – No Reflective coating – Bottom Air Enclosure
 - 80 mm Rock Wool – density 65 kg/m³



Migliorando l'isolamento della parte inferiore; utilizzando isolanti diversi ad elevata densità; ed inserendo un foglio riflettente sopra l'isolante (lasciando un'intercapedine di aria), si prevede un miglioramento del 50% .

(1,65 kW di dispersione di calore per cella , a fronte dei 3,36 kW originari)



Case 9 – Single layer 120 mm + Reflective coating – Bottom Insulation

- 110 mm Glass Fiber – density 90 kg/m³