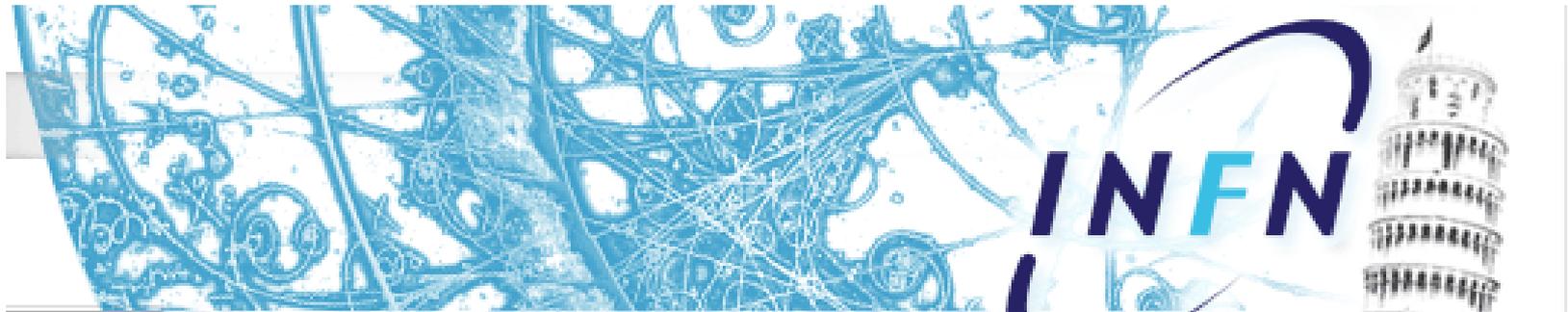


# PRIN Giorgi 2009

*Supporto meccanico e sistema  
di cooling in transizione di fase  
per pixel sottili*

*F. Bosi  
INFN-Pisa*



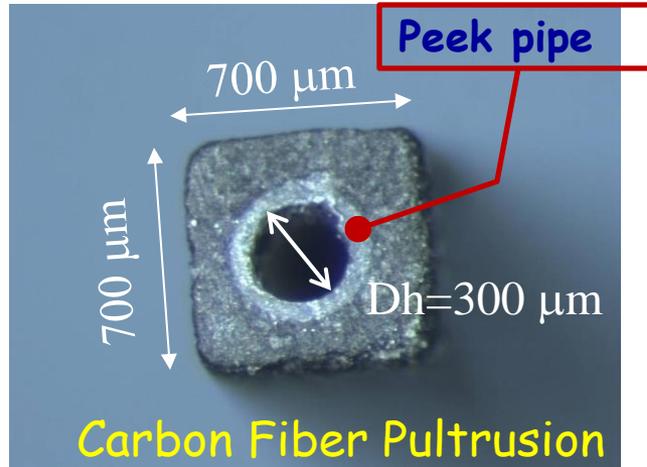
## Sommario

- Motivazioni del progetto
- Caratteristiche generali del sistema bifase
- Caratteristiche del sistema frigorifero
- Programma di lavoro
- Conclusioni

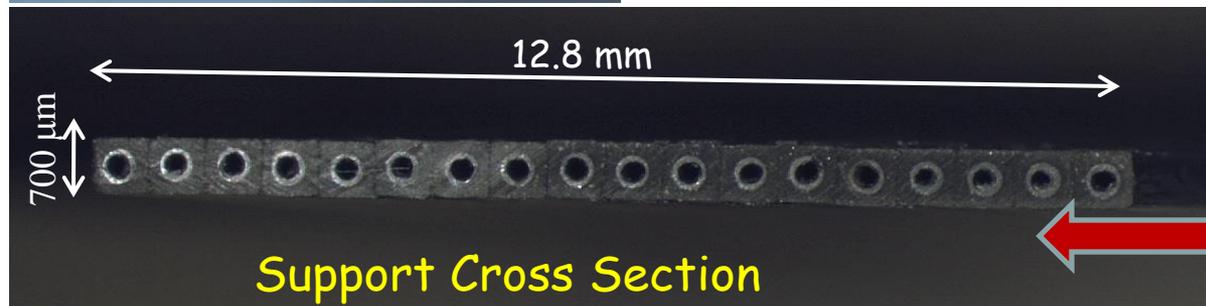
## Motivazioni

- Questa proposta nasce come naturale proseguimento del lavoro fatto su PRIN 2007 e su VIPIX/SuperB per lo sviluppo di sistemi di supporto e raffreddamento monofase liquido in microcanale con minimizzazione di materiale per pixel sottili di elevata potenza dissipata .
- Il goal finale è utilizzare lo stesso supporto e la stessa tipologia di microcanale in materiale composito ( $X=0,15 \%X_0$ ) flussando all'interno di essi fluido refrigerante in transizione di fase al fine di avere migliore efficienza nello scambio termico, temperatura più bassa ed uniforme del sensore.

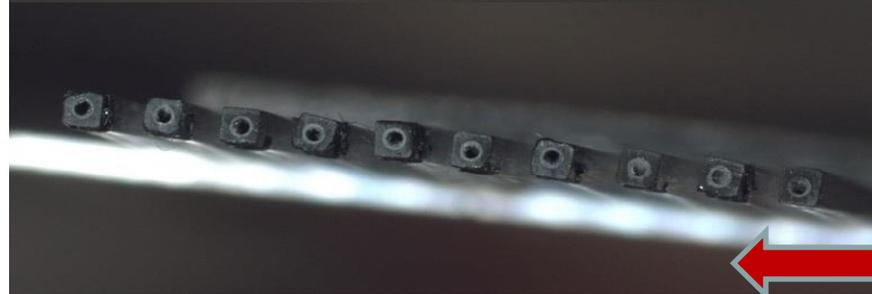
# Work on Module MAPS supports



**The single base microchannel unit**  
A square CF micro-tube with an internal peek tube 50 μm thick used to avoid moisture on carbon fiber

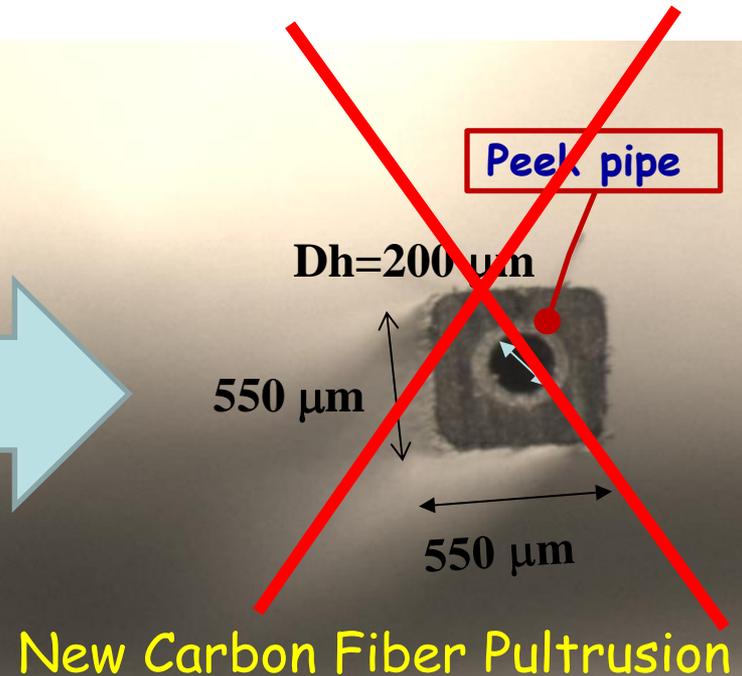
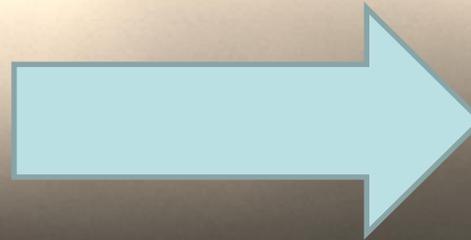
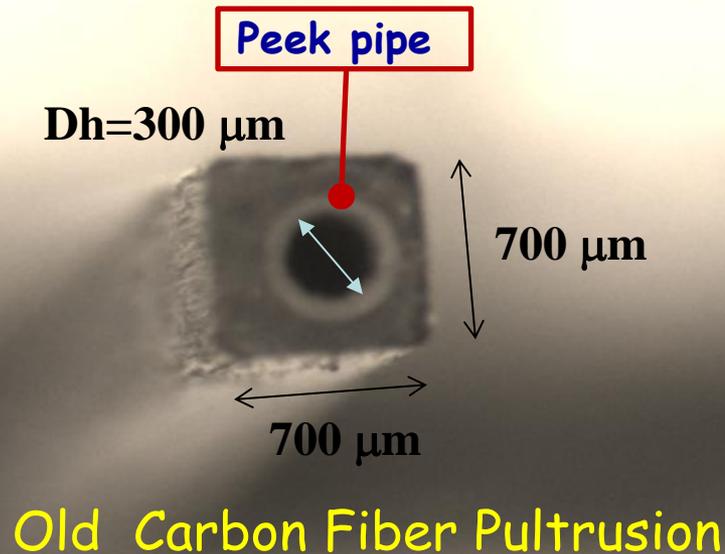


**Full micro-channel module**  
The total radiation length (\*) of this support is 0.28 %X<sub>0</sub>

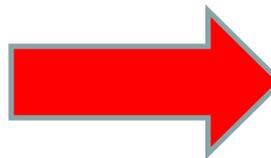


**Net micro-channel module**  
Same dimensions of full micro-channel but vacancies of tubes in the structure.  
The total radiation length (\*) is 0.15 %X<sub>0</sub>

# Further Miniaturization in microtube technology



Full Module  $X = 0,28 \% X_0$   
Net Module  $X = 0,15 \% X_0$



Full Module  $X = 0,22 \% X_0$   
Net Module  $X = 0,11 \% X_0$

## Motivazioni

- Attualmente il sistema di raffreddamento bifase è già utilizzato in diversi esperimenti di HEP usando tubi in metallo con  $D_h$  superiori a 1 mm .
- la caratteristica originale di questo progetto è verificare la possibilità di utilizzare questa tecnica di raffreddamento su microcanali da  $D_h = 1,0$  mm a  $D_h = 0,3$  mm realizzati in materiale composito.

## Sistema di raffreddamento bifase

Un sistema di raffreddamento convettivo bifase è più efficiente di quello in singola fase (alto valore scambio entalpico), di contro le pressioni in gioco sono più elevate ma queste sono strutturalmente supportate dalle minime dimensioni dei diametri dei microcanali .

Uno dei punti fondamentali in questo sistema di raffreddamento è il controllo della enucleazione delle bolle all'interno dei canali che per diametri minimali è un problema rilevante (specialmente per set di canali paralleli) Si richiede un controllo delle variabili termodinamiche molto rigoroso al fine di evitare condizioni di flusso di Calore Critico .

## Sistema di raffreddamento bifase

Si vuole utilizzare fluido vettore  $CO_2$  per le caratteristiche che lo rendono molto interessante per esperimenti in HEP rispetto ai vettori di tipo fluorocarburo :

- bassa  $XO$
- basso rapporto  $dT/dP$
- basso rapporto liquido/vapore
- bassa viscosità
- Elevato calore latente
- Elevato coefficiente di scambio termico

## Sistema di raffreddamento bifase

I valori di pressione e temperature di saturazione del  $CO_2$  sono adatti per le temperature di lavoro di sensori a semiconduttore.

Per esempio :

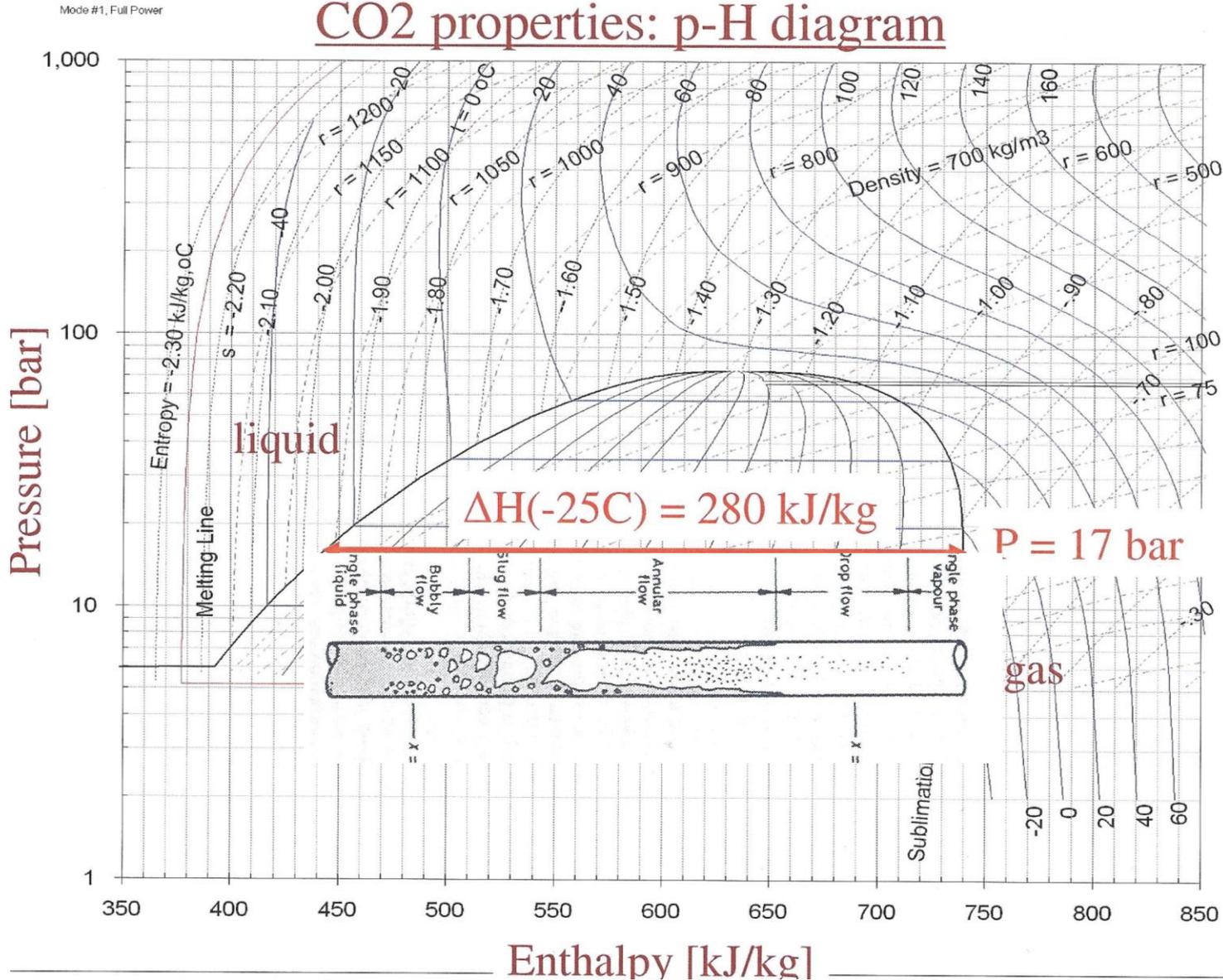
$$P = 57 \text{ bar} \rightarrow T = +20 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$P = 40 \text{ bar} \rightarrow T = +5 \text{ }^\circ\text{C}$$

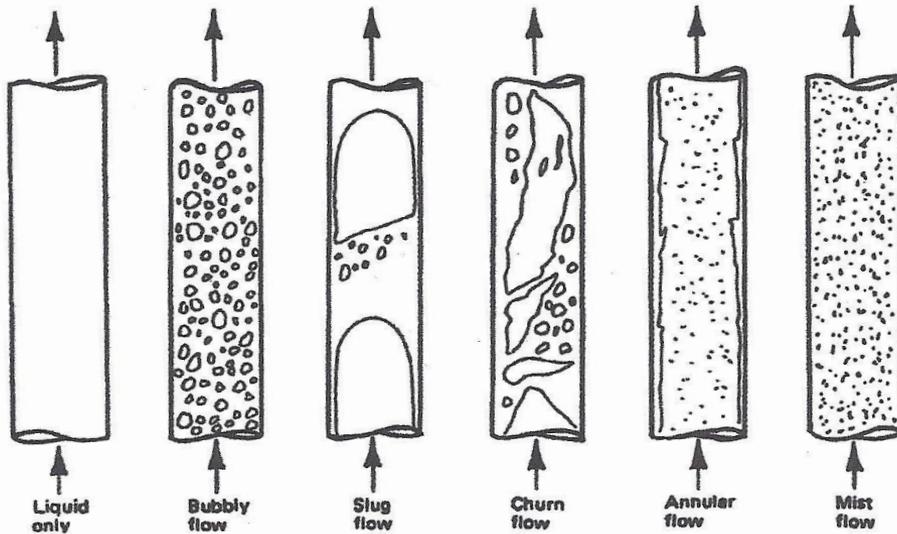
$$P = 25 \text{ bar} \rightarrow T = -12 \text{ }^\circ\text{C}$$

# Sistema di raffreddamento bifase

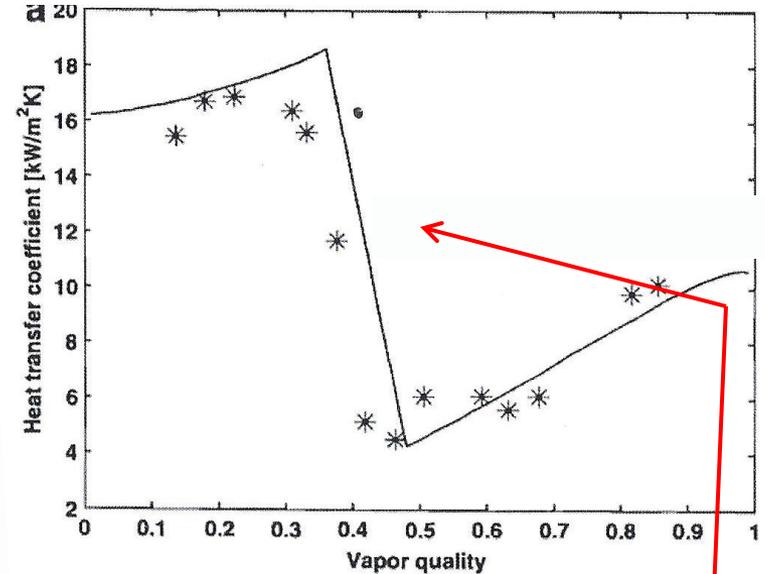
## CO<sub>2</sub> properties: p-H diagram



Particolari dei modelli di  
flusso in bifase per  
microcanali



Stati accettabili



Andamento del  
coefficiente di scambio  
termico del fluido vettore  
in condizioni di dry-out

## PRIN 2009- attività

### Cosa è stato fatto ad oggi :

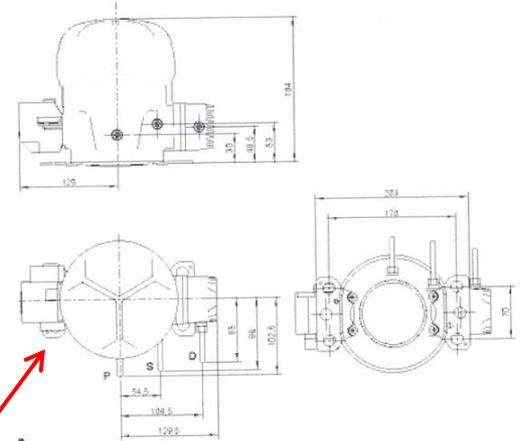
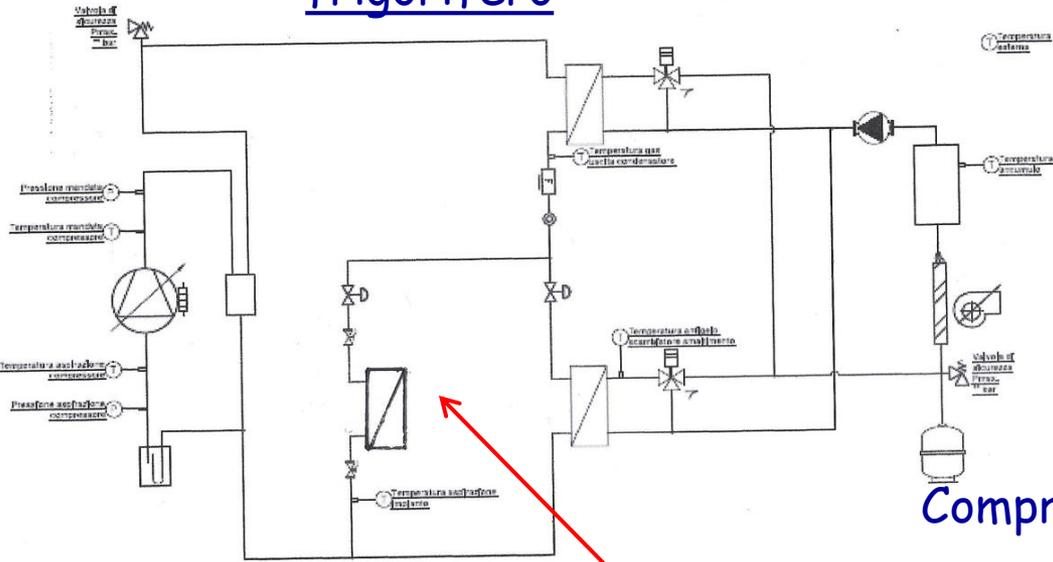
- Progettazione, realizzazione, acquisto di un sistema frigorifero in grado di fornire fluido vettore  $CO_2$  liquido per alimentare una stazione di test con temperature di saturazione da  $-30\text{ }^{\circ}C$  a  $+10\text{ }^{\circ}C$  :  
Il sistema è stato consegnato c/o il Lab TFD di Pisa dalla Regola Engineering di Udine e nel prossimo mese di Aprile si inizierà la messa in run e la verifica funzionale .
- Acquisto di camera di ripresa e di videorecording per lo studio dell'enucleazione delle bolle:  
Sistema di qualità della Advanced Technologies (testa di acquisizione +sistema di videorecording) con sensore da 25 Megapixel e relativo sistema ottico con possibilità di storage di sequenze su RAM di circa 45 sec. e relativo sw di controllo. Possibilità di implementazione del sistema con storage su disco ottico . Consegna Maggio 2013.

## PRIN 2009-gruppo frigorifero

- Caratteristiche principali del gruppo frigorifero sono la estrema versatilità necessaria per il test di un modulo o di un sistema di moduli:
  - largo range di temperature del liquido vettore, facilmente settabili dall'operatore,  $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $+10\text{ }^{\circ}\text{C}$
  - sistema circuitale che consente condizioni di potenza dissipata da 16 W a 400 W senza "ghiacciamenti" del gruppo (sistema antifrost realizzato con scambiatori di calore di servizio)
  - portate del fluido vettore variabili da 0,05 Kg /min a 1 Kg /min

# PRIN 2009 - gruppo frigorifero

## Schema circuito frigorifero



**Embraco** COMPRESSOR  
 PRODUCT SPECIFICATION  
 B.O.M. 51.640.0003 DESIGNATION EK6210CD 220-240V 50Hz DATE 01-apr-2007 REVISION 00

**PERFORMANCE**

1 TEST CONDITIONS: EK-VIB-01 (Discharge pressure 82 bar)  
 @220V/50Hz Forced cooling (Return gas temperature 32°C/Approach temperature 32°C)

| Discharge | Evaporating | Cooling capacity |      | Power consumption |     | Current consumption |      | Gas flow Rate |
|-----------|-------------|------------------|------|-------------------|-----|---------------------|------|---------------|
|           |             | ±0%              | ±5%  | ±0%               | ±5% | ±0%                 | ±5%  |               |
| bar       | °C          | [Btu/h]          | [kW] | [W]               | [W] | [A]                 | [A]  | [kg/h]        |
| 82        | -20         | 1624             | 459  | 476               | 391 | 1.9                 | 6.5  |               |
|           | -15         | 1933             | 487  | 555               | 407 | 2.0                 | 10.3 |               |
|           | -10         | 2285             | 576  | 695               | 418 | 2.0                 | 12.4 |               |
|           | -5          | 2682             | 676  | 785               | 424 | 2.0                 | 14.9 |               |
|           | 0           | 3125             | 768  | 916               | 425 | 2.0                 | 17.9 |               |
|           | +5          | 3627             | 914  | 1062              | 424 | 2.0                 | 21.5 |               |
| +10       | 4185        | 1053             | 1224 | 419               | 2.0 | 25.6                |      |               |

**PERFORMANCE**

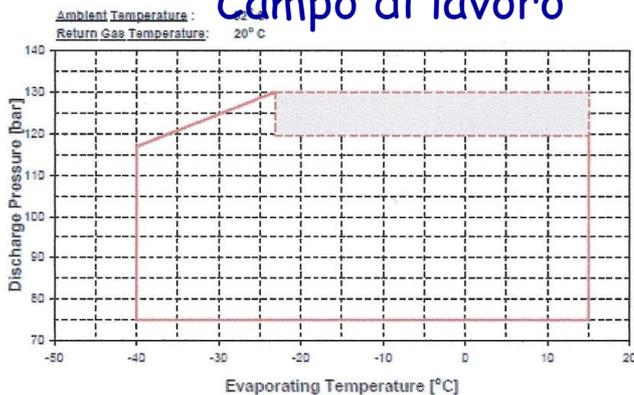
2 TEST CONDITIONS: EK-VIB-02 (Discharge pressure 87 bar)  
 @220V/50Hz Forced cooling (Return gas temperature 32°C/Approach temperature 32°C)

| Discharge | Evaporating | Cooling capacity |      | Power consumption |     | Current consumption |      | Gas flow Rate |
|-----------|-------------|------------------|------|-------------------|-----|---------------------|------|---------------|
|           |             | ±0%              | ±5%  | ±0%               | ±5% | ±0%                 | ±5%  |               |
| bar       | °C          | [Btu/h]          | [kW] | [W]               | [W] | [A]                 | [A]  | [kg/h]        |
| 87        | -20         | 1621             | 459  | 475               | 401 | 1.9                 | 6.5  |               |
|           | -15         | 1948             | 491  | 571               | 422 | 2.0                 | 10.1 |               |
|           | -10         | 2320             | 555  | 679               | 435 | 2.0                 | 12.2 |               |
|           | -5          | 2740             | 650  | 822               | 444 | 2.0                 | 14.5 |               |
|           | 0           | 3210             | 809  | 940               | 439 | 2.1                 | 17.8 |               |
|           | +5          | 3736             | 942  | 1094              | 452 | 2.1                 | 21.5 |               |
| +10       | 4317        | 1053             | 1264 | 448               | 2.1 | 26.0                |      |               |

**PERFORMANCE**

3 TEST CONDITIONS: EK-VIB-03 (Discharge pressure 92 bar)  
 @220V/50Hz Forced cooling (Return gas temperature 32°C/Approach temperature 32°C)

| Discharge | Evaporating | Cooling capacity |      | Power consumption |     | Current consumption |      | Gas flow Rate |
|-----------|-------------|------------------|------|-------------------|-----|---------------------|------|---------------|
|           |             | ±0%              | ±5%  | ±0%               | ±5% | ±0%                 | ±5%  |               |
| bar       | °C          | [Btu/h]          | [kW] | [W]               | [W] | [A]                 | [A]  | [kg/h]        |
| 92        | -20         | 1621             | 459  | 474.7             | 411 | 2.0                 | 6.1  |               |
|           | -15         | 1955             | 493  | 572.4             | 435 | 2.0                 | 9.9  |               |
|           | -10         | 2334             | 555  | 693.6             | 453 | 2.1                 | 12.1 |               |
|           | -5          | 2763             | 655  | 836.1             | 466 | 2.1                 | 14.6 |               |
|           | 0           | 3245             | 816  | 950.1             | 474 | 2.1                 | 17.7 |               |
|           | +5          | 3794             | 954  | 1105              | 477 | 2.1                 | 21.3 |               |
| +10       | 4392        | 1104             | 1283 | 475               | 2.1 | 26.7                |      |               |

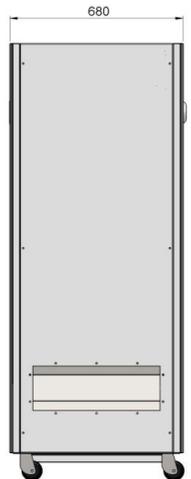
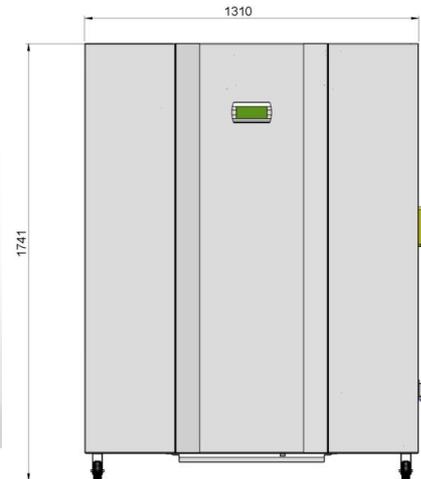
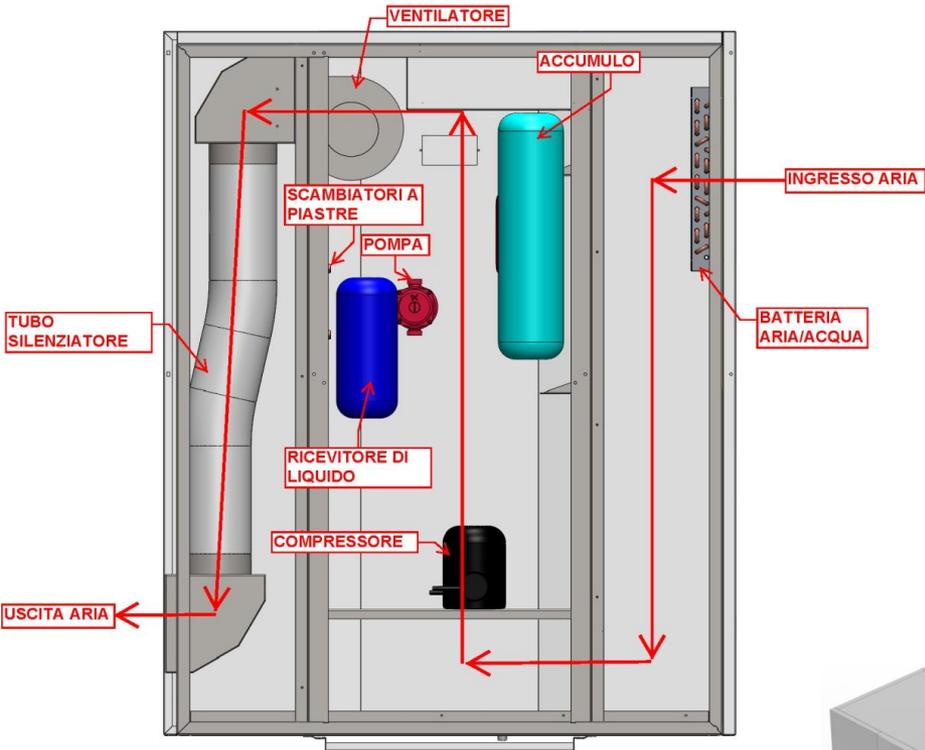


Compressore

Campo di lavoro Campione (evaporatore)

Caratteristiche compressore

# PRIN 2009 - gruppo frigorifero



## PRIN 2009- Richieste

### Cosa manca ad oggi per iniziare :

- Strumentazione per il controllo dei valori termoidraulici del sistema a monte e a valle del provino (flussimetro massico, sensori di pressione e temperatura), sistema a capillare e valvole di strozzamento ;
- sistema di microtubi singoli e multitubo in metacrilato/vetroso con i relativi collettori
- box isolata/flussata in aria secca per condizioni anticondensa .

Per la presa dati si pensa di utilizzare il DAQ MOVICON attualmente esistente ed a servizio del sistema di test di raffreddamento monofase liquido .

Stima dei costi necessari all'allestimento generale del sistema idraulico e di controllo: circa 10-12 KE

## PRIN 2009 - Piano di lavoro

### Programma di lavoro 2013:

- Simulazione termofluidodinamica dei test (CF design)
- Design e realizzazione degli interfaccia idraulici ad alta pressione e del sistema circuitale integrato con gli strumenti di misura e controllo;
- realizzazione di una stazione di test in box isolata/flussata con microtubi trasparenti in metacrilato/vetrosi con  $D_h = 1,0 \text{ mm}$  /  $D_h = 0,3 \text{ mm}$
- Test e misure dello scambio termico e delle variabili idrauliche su prototipi a tubo singolo e multitubo in materiale metacrilato/vetroso trasparente adatto per lo studio della enucleazione con il sistema di imaging e videorecording;
- Test e misure dello scambio termico e delle variabili idrauliche su prototipi a singolo tubo e multitubo (full e net module) in materiale composito .

## Conclusioni

- Il lavoro su PRIN 2009 per lo studio del raffreddamento bifase in strutture a microcanale per pixel sottili è iniziato con la realizzazione del gruppo frigorifero a CO<sub>2</sub> e con l'acquisizione del sistema videocamera e videorecording .
- Il gruppo frigorifero permetterà un ampio spettro di sperimentazione fornendo fluido a temperatura di saturazione da -30°C a +10°C per potenze dissipate sul sensore da 16 a 400 W.
- Nell'anno in corso si procederà al set-up sperimentale nel lab TFD di Pisa con la realizzazione del sistema circuitale e di controllo per test su campioni vetrosi trasparenti idonei al controllo e verifica dello scambio termico bifase per diametri idraulici da 1,0 mm a 0,3mm per poi passare alla sperimentazione dei sistemi a singolo e multitubo in materiale composito.

BACKUP