

Tra le sfide scientifiche più importanti affrontate nell'ultimo decennio da numerosi settori dell'industria mondiale rientra a pieno titolo la realizzazione di dispositivi e sistemi tecnologici di dimensioni sempre più ridotte ma al contempo dalle prestazioni inalterate ovvero incrementate. Dagli scambiatori di calore compatti per la climatizzazione e la refrigerazione ai sistemi di raffreddamento per componenti elettronici: grazie alla capacità di rimuovere e scambiare calore in componenti sempre più compatti è stato possibile ottenere grandi vantaggi in termini di ottimizzazione non solo del prodotto finale ma anche dei processi industriali di produzione. Il mercato del cosiddetto **microscale** è in rapida crescita ed è spinto dall'applicazione di tecniche di fabbricazione avanzate, dalle innovazioni tecnologiche dei sistemi di lavorazione e dalle micro e nano tecnologie. Sovente, però, le capacità tecniche di realizzare sistemi termici sempre più piccoli vanno paradossalmente oltre le capacità di progettazione dei sistemi stessi. Infatti, l'incessante corsa alla miniaturizzazione dei componenti ha dovuto, da un certo punto in poi, fare i conti con le problematiche inerenti l'utilizzo di modelli di calcolo e criteri di progetto sviluppati in passato per i macrosistemi e non più applicabili in maniera corretta ai nascenti microsistemi a causa delle differenze esistenti nei fenomeni di trasporto e scambio del calore. Tali differenze sono da ascrivere a effetti secondari che normalmente sono trascurati nei canali di dimensioni maggiori e che nei microcanali assumono invece un ruolo preponderante (*scaling effects*). Per continuare questa curva di crescita eccezionale, è necessario quindi sviluppare nuovi metodi e criteri di progetto per lo scambio termico in *microscale*

Principali obiettivi dell'attività sperimentale

Il **Laboratorio di Termofluidodinamica dell'Unità Tecnica UTTEI di ENEA** ha avviato nel recente passato una capillare attività di ricerca sperimentale, incentrata sull'impianto sperimentale

BO.

E.M.I.A

., avente come obiettivo l'analisi dell'effetto delle dimensioni dei microcanali sulle perdite di carico e sullo scambio termico con cambiamento di fase, con la possibilità di verificare le prestazioni di diversi liquidi refrigeranti. I risultati sperimentali saranno quindi il supporto su cui poter realizzare e verificare i modelli di calcolo e le correlazioni per i

coefficienti di scambio termico

e le
perdite di carico
in
flow boiling

Un'ulteriore e non secondaria finalità della nostra attività di ricerca consiste nella progettazione e realizzazione ad hoc di **sensori di misura avanzati**, in grado di monitorare le varie grandezze termodinamiche d'interesse per un'accurata ed esaustiva descrizione delle fenomenologie investigate.

L'impianto sperimentale **BO.E.MI.A.** (***BO**iling **E**xperiments in **MI**cro**scale** **A**pparatus, fig. 1*), è stato progettato, realizzato e sviluppato per testare microtubi di vari materiali (dall'acciaio inossidabile alla silice fusa, dal vetro al teflon) con diametri interni che vanno da 250 micron fino a 1 mm.

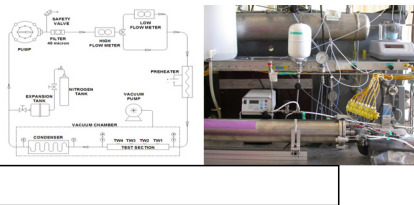


Fig.1: Il diagramma di flusso e un'immagine dell'impianto sperimentale BO.E.MI.A. (Scambiatori calore compatti)

I microcanali utilizzati nelle campagne sperimentali in corso sono tubi d'acciaio inossidabile con diametro interno pari a 1,016 mm (0,040") e 1,6 mm (1/16") esterno. La lunghezza dei canali testati varia da 10 cm a 20 cm.

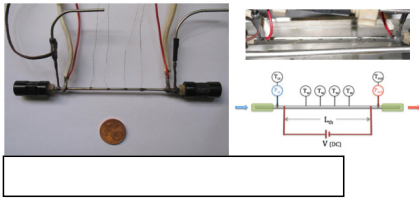


Fig.2 - Sezione di prova: microcanale in acciaio con diametro interno di 1 mm e lunghezza 100mm. A destra la dislocazione dei sensori di misura

(Scambiatori calore compatti)

Le prove vengono effettuate variando all'interno di opportuni range il flusso termico imposto (per effetto Joule) al microcanale, la portata massica di refrigerante e il grado di sottoraffreddamento all'ingresso del microcanale in maniera tale da poter ottenere lungo il canale ed all'uscita del medesimo diversi regimi di ebollizione in convezione forzata; nella fattispecie si andrà a determinare il coefficiente di scambio termico locale in presenza di ebollizione sotto raffreddata e satura.

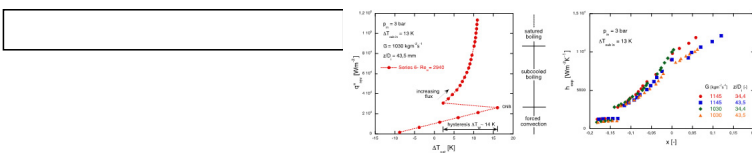


Fig.3a - curva di ebollizione per un microcanale con $D = 1\text{mm}$: individuazione dei regimi

Fig.3b

- coefficiente di scambio termico sperimentale per il fluido refrigerante FC-72

(Scambiatori calore compatti)

Interessanti soluzioni tecniche di misurazione sono rappresentate dall'adozione di **microtermo coppie**

sviluppate ad hoc presso il Laboratorio di Termofluidodinamica dell'ENEA (termocoppie tipo-K da 50 micron), utilizzate sia per la misura delle temperature di parete nonché per la misurazione delle temperature del fluido refrigerante in ingresso e in uscita del tratto riscaldato in corrispondenza delle rispettive prese di pressione. In tal modo l'accoppiamento diretto pressione/temperatura garantisce un minor grado di incertezza circa i valori del grado di sottoraffreddamento e di surriscaldamento del fluido refrigerante. L'uso dell'acciaio non consente la visualizzazione dell'interno del microtubo, ma permette altresì un riscaldamento (per effetto Joule) più uniforme del canale e quindi del fluido. Come fluido di lavoro al momento si utilizza il 3M™ Fluorinert™ Electronic Liquid, commercialmente chiamato

FC-72

, un prodotto termicamente e chimicamente stabile, compatibile con la quasi totalità dei materiali e già utilizzato in svariate applicazioni elettroniche.

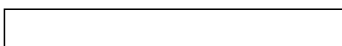
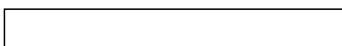


Fig. 4a - Giunto caldo di una termocoppia interna

(Scambiatori calore compatti)

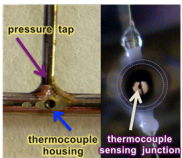


Fig. 4b - Presa di pressione e termocoppia alloggiata all'interno del microcanale

(Scambiatori calore compatti)

Per una corretta valutazione del bilancio energetico occorre evitare o per lo meno minimizzare le perdite di calore non facilmente quantificabili come quelle derivanti da conduzione, convezione naturale e irraggiamento cosicché si possa ritenere che tutto il calore fornito al microcanale sia assorbito dal fluido. La sezione di prova e il condensatore vengono quindi allocati in una camera cilindrica ove, a mezzo di una pompa per vuoto, si realizzano condizioni di vuoto spinto per creare un ambiente privo di convezione naturale. L'acquisizione dati è gestita da un programma dedicato sviluppato in ambiente LabVIEW.

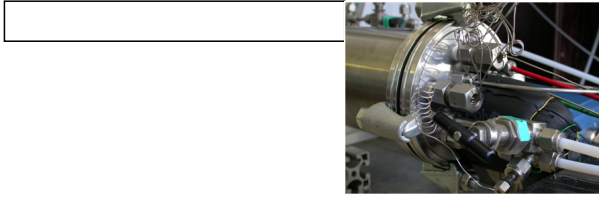


Fig.5 - Flangia vacuum camera

(Scambiatori calore compatti)