

I Tubi di calore (Heat Pipe)

I dispositivi comunemente detti **tubi di calore (Heat Pipe)**, di tipo convenzionale, **sono essenzialmente costituiti da tubi a sezione circolare**

con le superfici interne equipaggiate da strutture capillari costituite o da rivestimenti d'idonei mezzi porosi (wick, stoppini) o dalla realizzazione di arterie (gole), assiali e/o circonferenziali, aventi sezioni di piccole dimensioni e geometrie diverse (microcanali).

Tali dispositivi consentono il trasferimento di calore in regime bifase

e non necessitano di organi in movimento per la circolazione del fluido. I tubi in condizioni di vuoto (preventivamente eseguito), sono caricati con un'idonea quantità di fluido di lavoro (acqua, ammoniaca o altro) e sono prontamente sigillati per impedire l'ingresso d'aria o altri incondensabili, la cui presenza preclude un più pronto e regolare buon funzionamento di essi. Attraverso un'estremità del tubo si fornisce calore, e sull'altra si estrae (smaltisce). Dette zone costituiscono rispettivamente l'evaporatore, in cui il fluido evapora, e il condensatore del dispositivo a cui giunge attraversando la sezione centrale e preponderante del tubo. Nella zona di condensazione il vapore condensa ed il liquido assorbito e raccolto nella struttura capillare rifluisce all'interno di essa verso l'evaporatore in verso opposto (controcorrente) a quello del moto del vapore. Il moto del liquido è dovuto alle forze di capillarità che si generano nella zona di evaporazione e che sono dovute alla presenza dei menischi (curvatura dell'interfaccia liquido vapore) che si formano in seguito all'evaporazione del fluido nei pori del wick o nelle arterie. In tutte le applicazioni terrestri del dispositivo e quindi

in presenza di gravità

, se non esistono vincoli che precludono di orientare ed inclinare liberamente il tubo,

si può garantire il moto del fluido per circolazione naturale a termosifone bifase

(con zona di evaporazione posta ad un livello inferiore rispetto a quella di condensazione) e quindi il tubo può essere impiegato anche senza la struttura capillare porosa o arteriosa (wickless) al suo interno (un wick "a maglia larga" potrebbe servire per distribuire il fluido più uniformemente lungo il perimetro circonferenziale del tubo e/o attenuare l'interazione tra le correnti controverse del vapore e del liquido). Diversamente per applicazioni spaziali e/o in assenza di gravità necessita la presenza della struttura capillare per generare appunto la forza indispensabile alla movimentazione del fluido. La presenza della struttura capillare se da un lato consente il funzionamento del tubo di calore in assenza di gravità, dall'altro rappresenta una forte perdita di carico nella circolazione del liquido e conseguentemente una riduzione del flusso termico asportabile e/o una limitazione della lunghezza del tubo. Un miglioramento sensibile alle prestazioni di un tubo di calore convenzionale si ottiene con l'impiego dei circuiti a tubo di calore, Loop Heat Pipe (LHP), che richiedono la struttura capillare nel solo evaporatore e nei quali la circolazione del vapore e del liquido avviene nello stesso verso.

Il tubo di calore a Loop

Il vecchio impianto ETCA, circuito a tubo di calore, aveva una struttura porosa applicata in modo "convenzionale" ovvero tale che il verso del flusso di calore e il verso del flusso di vapore proveniente dal menisco fossero coincidenti. Tale condizione può generare più facili problemi di surriscaldamento del liquido con più probabile incipiente ebollizione. A tale riguardo un **significativo miglioramento può essere ottenuto con lo sviluppo degli evaporatori a "menisco invertito"**

nei quali il calore ed il liquido/vapore si propagano verso la superficie di evaporazione da versi opposti.

L'attuale dispositivo impiegato in test sperimentali nel Laboratorio di Termofluidodinamica dell'Unità Tecnica UTTEI di ENEA, **appartiene alla categoria dei "tubi di calore a loop"** ovvero dei circuiti a tubo di calore (LHP), **con evaporatore a menisco invertito (Fig.1).**



Fig.1 - Il circuito a tubo di calore (LHP) con evaporatore a menisco invertito

L'evaporatore piano di forma discoidale con diametro attivo (parte riscaldata) di 50 mm e spessore di 13 mm **integra la camera di compensazione** separata termicamente ed idraulicamente dalla

zona di evaporazione dalla struttura porosa (wick) presente nel solo evaporatore (Fig.2).



Fig.2 – L'evaporatore del circuito a tubo di calore (LHP)

Il wick in acciaio sinterizzato ha pertanto anch'esso forma a disco con diametro di 50 mm e spessore di 4 mm. **Op**

portune gole

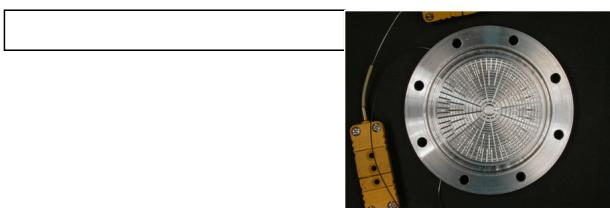
(canali)

realizzate sulla superficie interna riscaldata dell'evaporatore (Fig.3)

, a stretto contatto col wick,

consentono di realizzare le condizioni di menisco invertito

e la rimozione del vapore con deflusso verso il condensatore (ad acqua a tubi concentrici) attraverso la linea vapore con diametro di 2 mm e lunghezza di 450 mm.



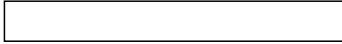


Fig.3 – Particolare delle gole realizzate sulla superficie interna dell'evaporatore

Il wick unitamente all'azione termica genera la "prevalenza capillare" necessaria per la circolazione (passiva) del fluido di lavoro, acqua demineralizzata, ed il suo ritorno dal condensatore verso la camera di compensazione attraverso la linea liquido del diametro di 2 mm e lunghezza di 900 mm.

Con i test sinora eseguiti è stato possibile verificare un **discreto comportamento funzionale del dispositivo**

, sia in condizioni di start-up (avvio) che in transitorio, con orientamento orizzontale e configurazione sia favorevole che avversa (ovvero con camera di compensazione al di sopra della zona di evaporazione o al disotto della stessa). L'aspetto negativo riscontrato consiste nella deriva delle condizioni operative ovvero nel non perfetto raggiungimento di funzionamento stabile del dispositivo. Nel corso di **test molto**

lunghi (4 o 5

giorni) è stato possibile verificare il

continuo innalzamento in temperatura e pressione

sebbene intervallato da periodi sufficientemente lunghi di condizioni di stazionarietà. Bisogna altresì far rilevare che a causa dell'impossibilità di sigillare il dispositivo, legata alla necessità di impiegare valvole per le operazioni di vuoto e caricamento del Loop (da eseguire più volte in un impianto sperimentale) non è stato possibile raggiungere e mantenere condizioni di vuoto molto spinto (valori iniziali di pressione dopo il caricamento del fluido, da 50 a 100 mbar assoluti).

La potenza smaltibile massima è stata di circa 70 – 75 W con un flusso all'evaporatore di circa 3.5 – 4 W/cm², temperatura massima dell'evaporatore di 140 – 150 °C e pressione di 2 – 3 bar.