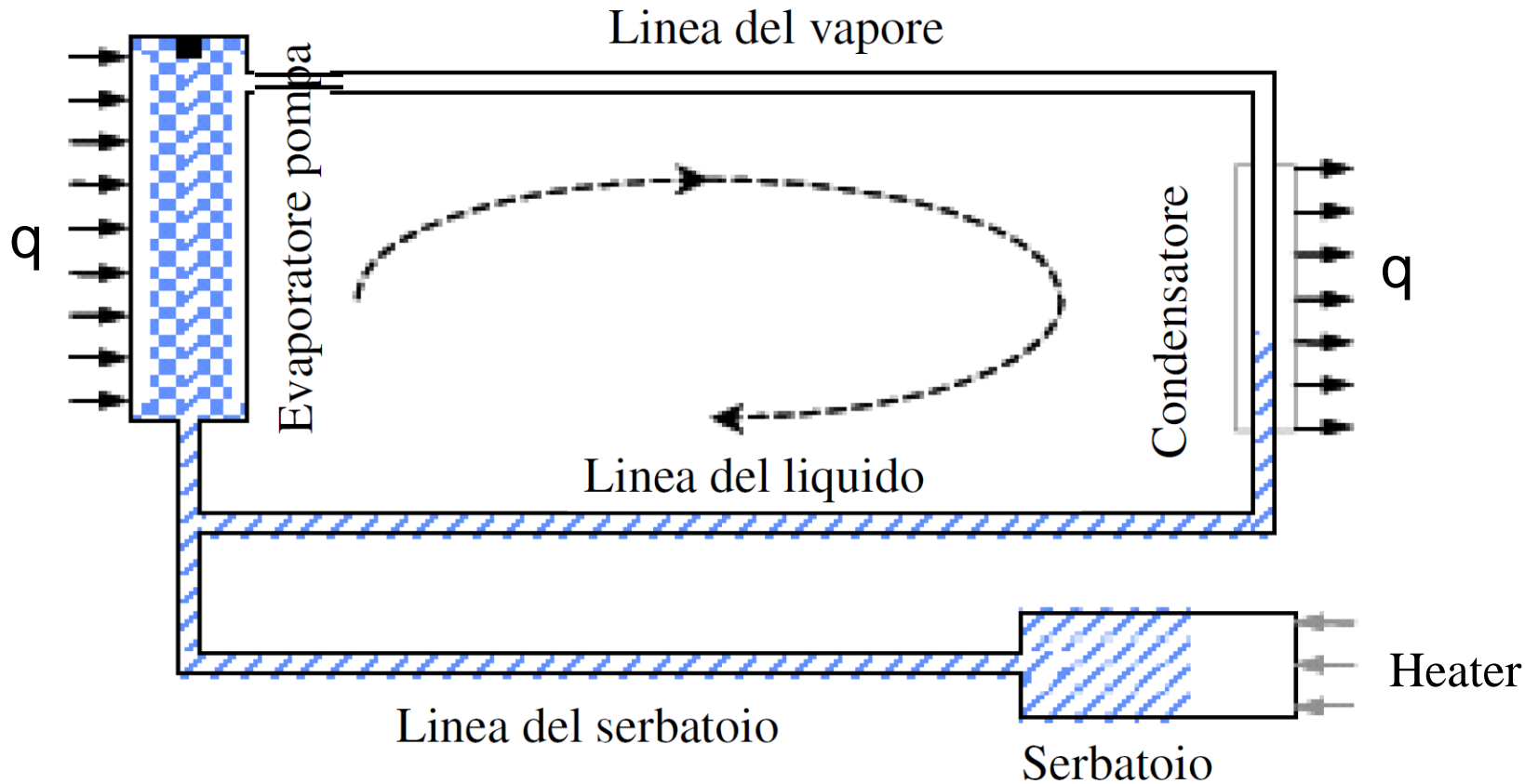


**Capillary pumped loop  
(CPL)**

**e**

**Loop Heat Pipe  
(LHP)**

# Capillary pumped loop CPL



- E' composto da:
- Evaporatore
  - Condensatore
  - Linea del vapore
  - Linea del liquido
  - Serbatoio di liquido
  - Linea del serbatoio
  - Riscaldatore

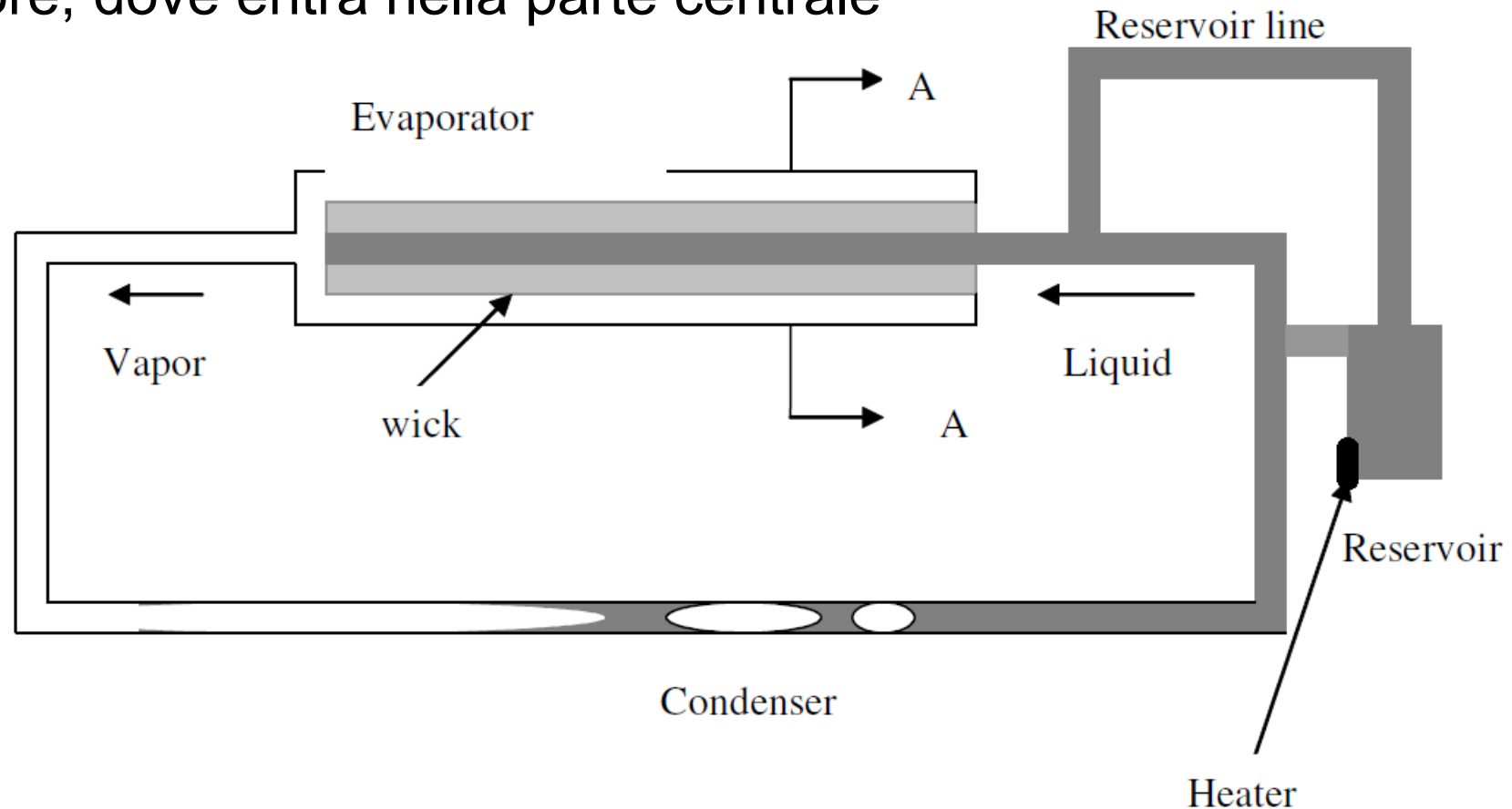
Il fluido viene fatto circolare dalla forza della tensione superficiale sviluppata nella struttura porosa

# Capillary pumped loop CPL

Inventate in USA nel 1960 ma applicate solo dal 1980.

Il vapore generato all'evaporatore va al condensatore, dove viene condensato e sottoraffreddato (almeno di 5-10 °C)

Il condensato va all'evaporatore, dove entra nella parte centrale



## Capillary pumped loop CPL

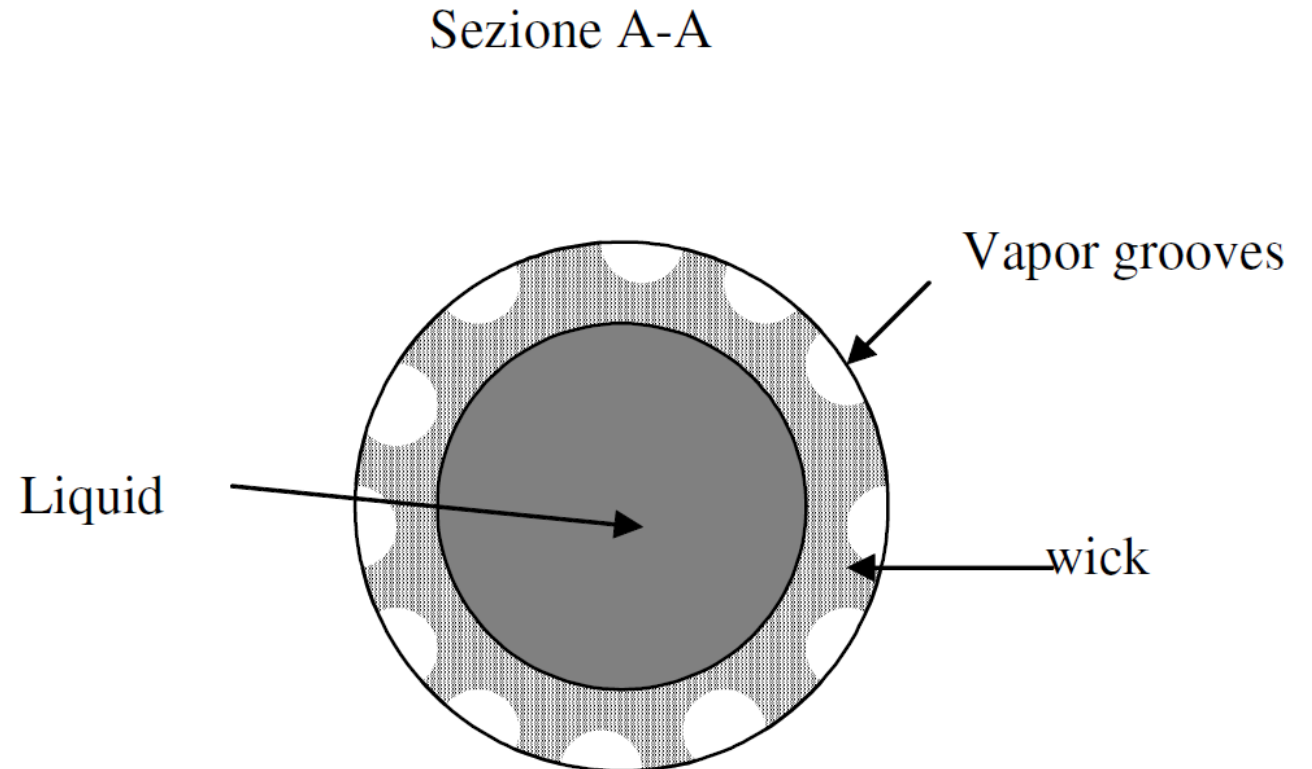
La struttura porosa è solo all'evaporatore.

Il resto della CPL è fatta di tubi (10-20 mm) lisci, con bassa resistenza al moto del condensato.

Cause di formazione di vapore nella struttura capillare: 1. vapore che esiste nel liquido prima dello start up, 2. conduzione del calore nel wick, 3. vaporizzazione nel tubo di ritorno del liquido.

Pressioni capillari fino a 4700 Pa con oltre 15 m di lunghezze di trasporto

La struttura porosa è costruita con un canale centrale per il liquido che migra radialmente per bagnare i pori capillari.



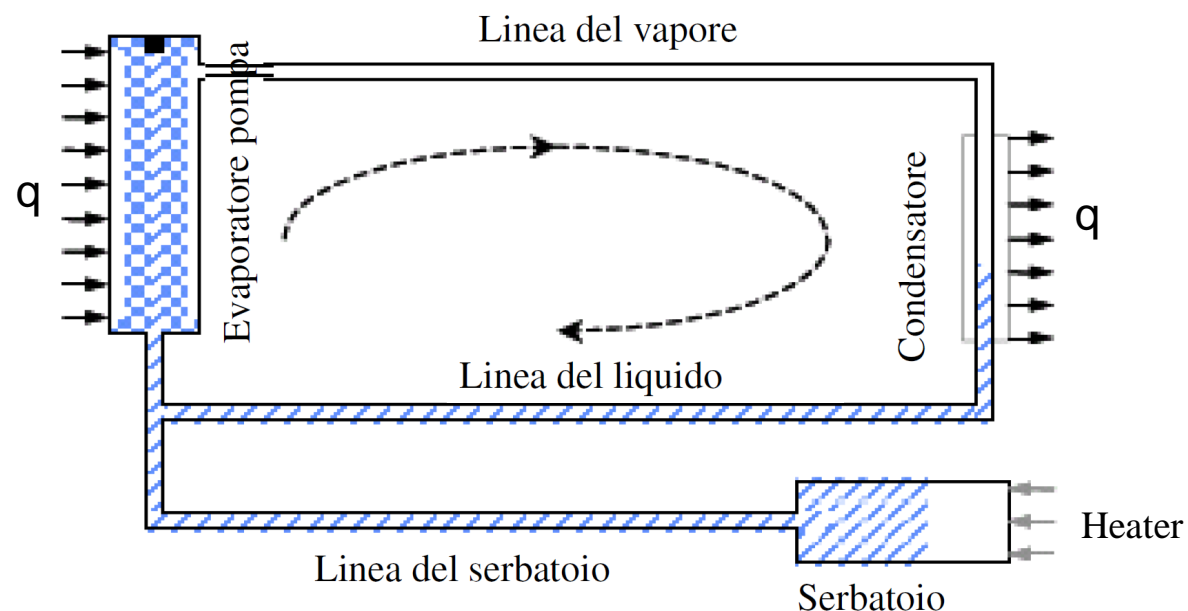
## Capillary pumped loop CPL

La temperatura di saturazione della CPL viene fissata regolando il flusso termico di riscaldamento della riserva-serbatoio

La riserva serve per iniettare liquido all'evaporatore (aumentando la pressione mediante riscaldamento), per iniziare le operazioni e per riempire di nuovo la struttura porosa nel caso di burnout.

La riserva permette un controllo stretto della temperatura. Al variare del flusso termico all'evaporatore, la pressione varia ed il liquido entra ed esce dalla riserva.

CPL con l'elevato  $\Delta p$  disponibile permette la presenza di molte linee per la condensazione del vapore a bassa spaziatura, per massimizzare il flusso termico rigettato per unità di area di radiatore.



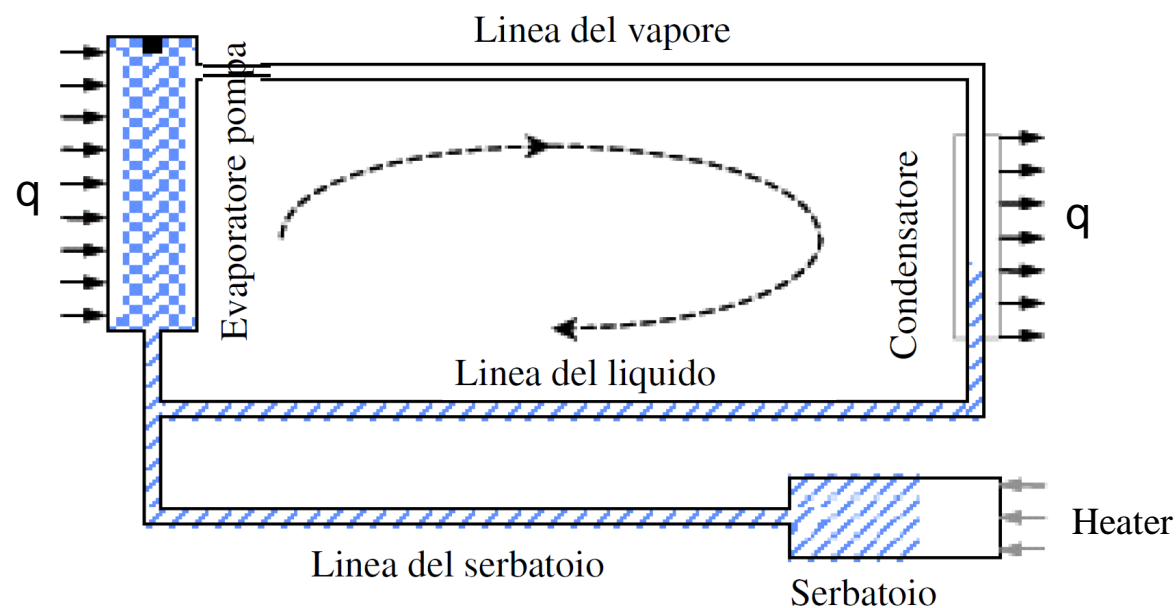
## Capillary pumped loop CPL

Per evitare la presenza di vapore nella struttura capillare prima dello start-up: si applica un flusso termico alla riserva per 30 minuti, in modo da mantenere la temperatura della stessa più alta di  $5^{\circ}\text{C}$  rispetto al resto del loop. Ciò spinge il liquido fuori della riserva. Il liquido riempie l'intero volume del loop, compresa la linea del vapore, eliminando tutte le bolle nel loop. Si inizia quindi con il riscaldamento all'evaporatore.

Per evitare la conduzione del calore nel wick, che può provocare l'ebollizione nel cuore del liquido si utilizzano solo strutture porose di materiale plastico (polietilene) con diametri dei pori di circa 15 microns.

Queste strutture danno circa 3450 Pa con ammoniaca.

Per evitare la vaporizzazione nel tubo di ritorno del liquido, il liquido deve essere sottoraffreddato di più di 5 K.



## Capillary pumped loop (CPL) Vs. Heat pipe

Entrambi i sistemi lavorano sullo stesso principio: quando il flusso termico è applicato all'evaporatore, il liquido viene vaporizzato, e, allo stesso tempo un menisco si forma all'interfaccia liquido-vapore nella struttura porosa. La forza di tensione superficiale sviluppa un gradiente di pressione che muove il vapore verso il condensatore dove condensa. La stessa forza di tensione superficiale spinge il liquido verso l'evaporatore.

Entrambi i sistemi trasportano energia come calore latente del fluido e quindi trasportano grandi quantità di energia.

Il CPL evita la presenza del moto in controcorrente liquido-vapore presente nell'heat pipe.

Il CPL fornisce un  $\Delta p$  capillare molto più alto del tubo di calore.

Nel CPL la struttura porosa non è presente nelle linee del liquido e vapore e al condensatore.

## Capillary pumped loop (CPL) Vs. Heat pipe

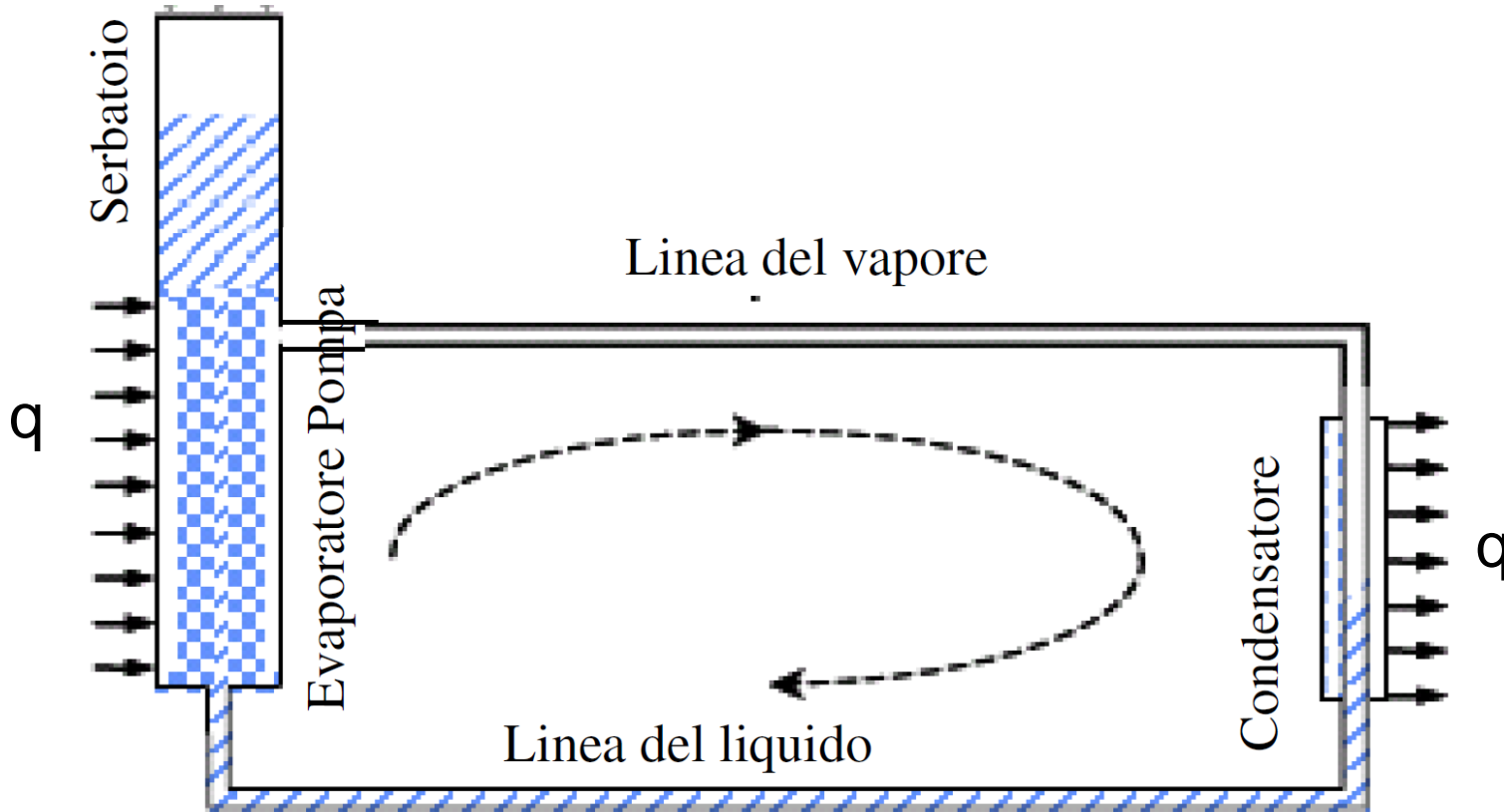
A volte CPL sviluppa vapore nella regione che dovrebbe contenere liquido, con conseguente malfunzionamento.

CPL è più flessibile dei sistemi heat pipes. Infatti CPL permette lo smaltimento del calore in un ampio intervallo di temperatura. In CPL è presente la riserva, connessa alla linea del liquido tra il condensatore e l'evaporatore. La riserva contiene sia il liquido sia il vapore, così pressione e temperatura sono correlate alle proprietà di saturazione del fluido di lavoro. La pressione del circuito determina la temperatura di saturazione del fluido di lavoro all'evaporatore.

La temperatura di saturazione del circuito viene controllata agendo sulla potenza termica applicata alla riserva



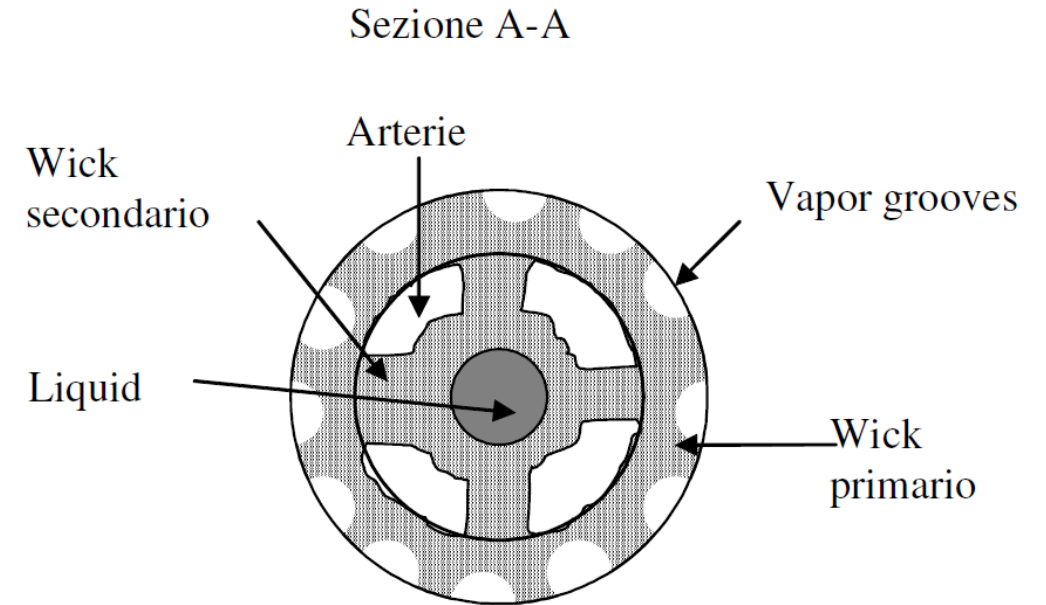
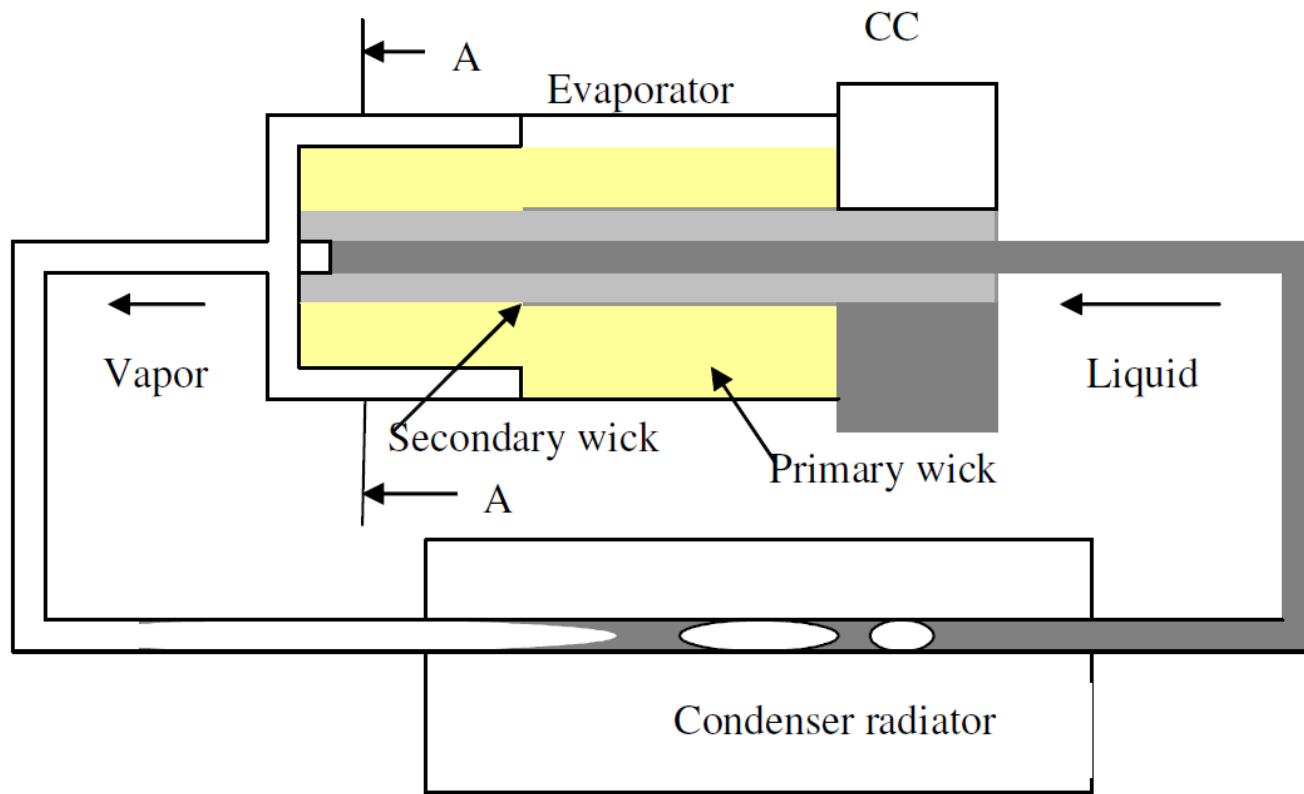
# Loop Heat Pipe LHP



E' composto da:

- Evaporatore con serbatoio di liquido integrato
- Condensatore
- Linea del vapore
- Linea del liquido

La riserva è parte integrale della pompa capillare. Si limitano i problemi di procedura di start up.



CC sta per Compensation Chamber

La struttura porose secondaria che unisce la pompa capillare alla riserva, provvede ad alimentare continuamente la struttura porosa della pompa con liquido.

Quindi LHP accetta la presenza di liquido con vapore. Quindi non vi sono procedure di start up (nel CPL occorre lavorare sul riscaldatore).

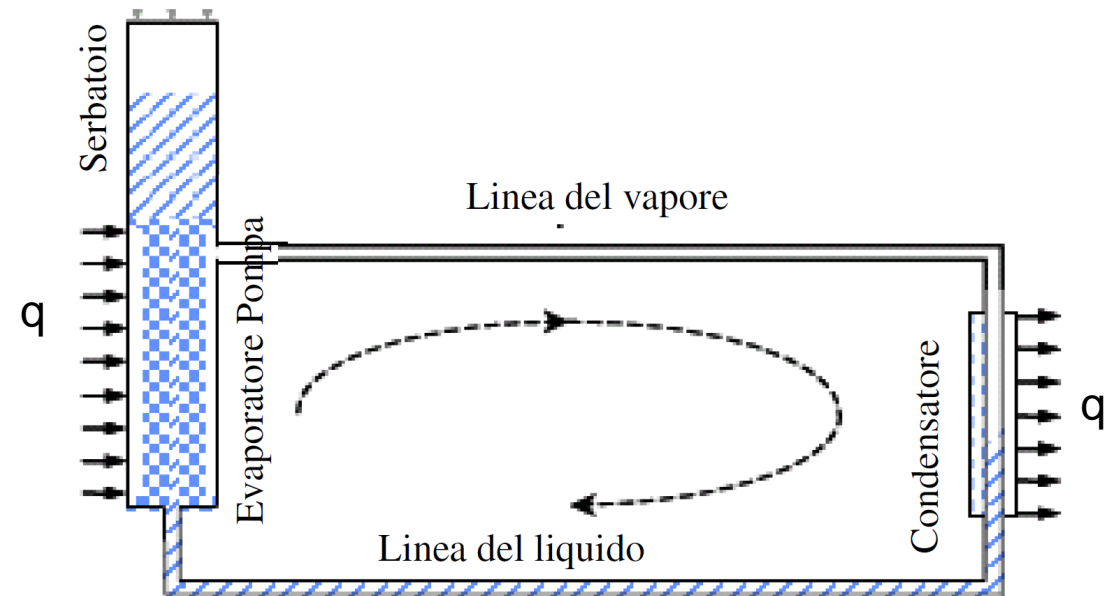
# Loop Heat Pipe LHP

Si usano strutture porose di polveri metalliche sinterizzate con dimensioni dei pori dell'ordine di 1 micron, con  $\Delta p_{\text{capillare}} (> 0.34 \text{ atm con ammoniaca come fluido operativo})$  disponibile maggiore di quello fornito dalle strutture capillari di polietilene di CPL (10 volte circa).

Il wick è metallico ma sono tollerati effetti conduttivi

Vi sono arterie nel wick secondario per smaltire il vapore verso la CC

Le strutture metalliche però danno luogo a conduzione del calore verso il liquido, con conseguente aumento delle temperature operative del loop. Le dispersioni termiche devono essere bilanciate dal sottoraffreddamento del liquido di ritorno.

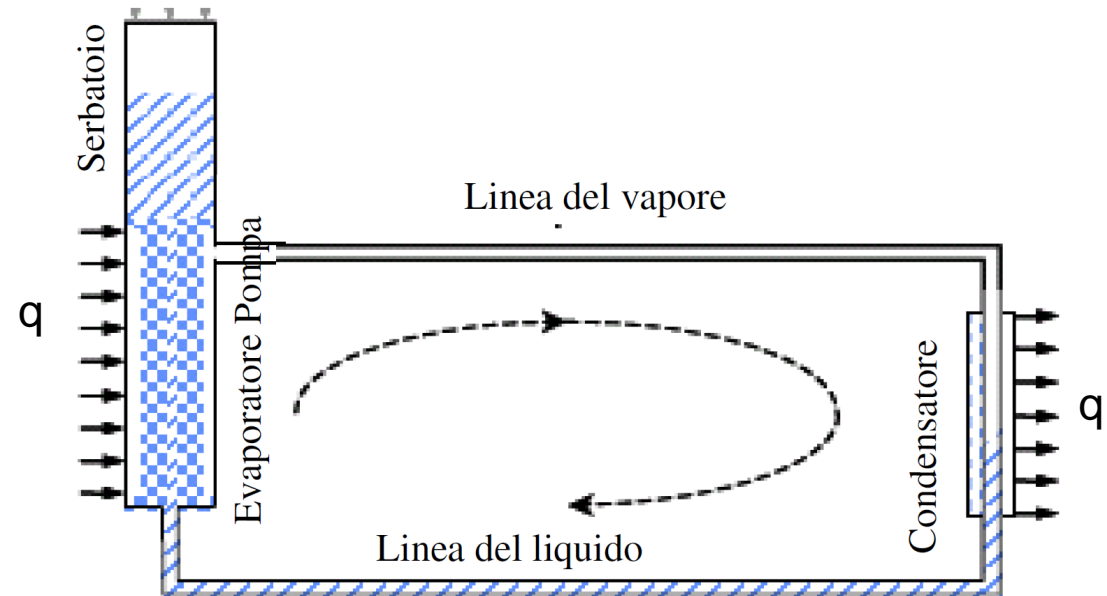


# Loop Heat Pipe LHP

Per cui:

- 1) la temperatura del loop non viene facilmente controllata,
- 2) la capacità del radiatore di dissipare il calore viene ridotta, perché parte del radiatore serve per sottoraffreddare il condensato. I radiatori devono essere più grandi e quindi più pesanti.

Uno dei vantaggi dei loops capillari è che il menisco nella struttura capillare dell'evaporatore aggiusterà il suo raggio di curvatura, in modo che il  $\Delta p$  capillare sia automaticamente uguale alla caduta di pressione totale del sistema (autoregolazione).



# Loop Heat Pipe LHP

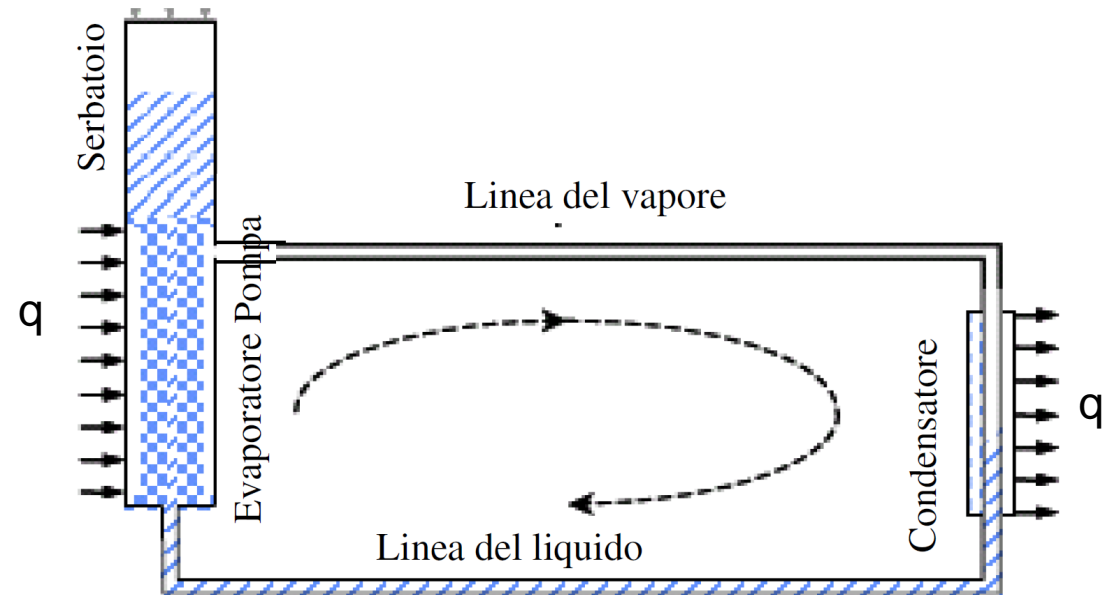
La caduta di pressione totale nel sistema è pari a:

$$\Delta P_{TOT} = \Delta P_{EVAPORATOR\&GROOVES} + \Delta P_{VAPOR\&LINE} + \Delta P_{CONDENSER} + \Delta P_{LIQUID\&LINE} + \Delta P_{WICK} + \Delta P_{GRAVITY}$$

$$\Delta P_{CAP,MAX} = \sigma \cos \vartheta / r_c$$

$$\Delta P_{TOT} \leq \Delta P_{CAP,MAX}$$

All'aumentare di  $q$ , aumenta la portata circolante e la caduta di pressione totale; il raggio di curvatura del menisco continua a diminuire fino a raggiungere il raggio del poro della struttura. In questa condizione la struttura fornisce il  $\Delta p$  massimo.



# Capillary pumped loop (CPL) Vs. Loop Heat Pipe (LHP)

CPL e LHP non accettano di assorbire e rigettare il calore in posizioni multiple

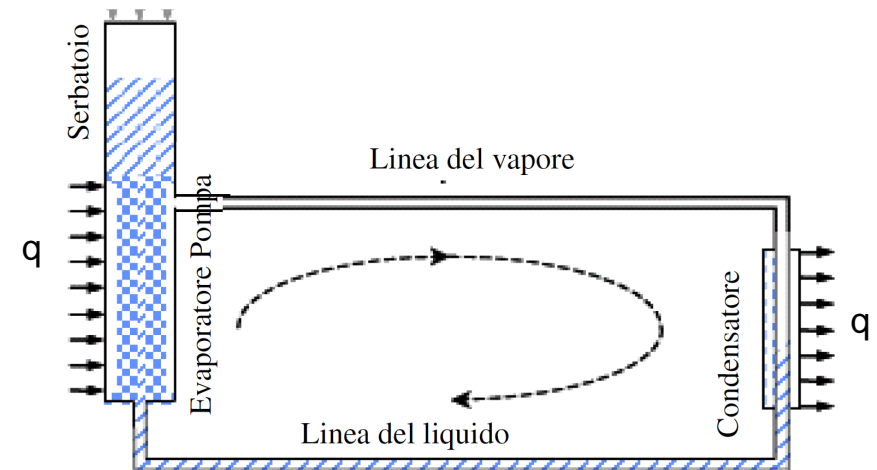
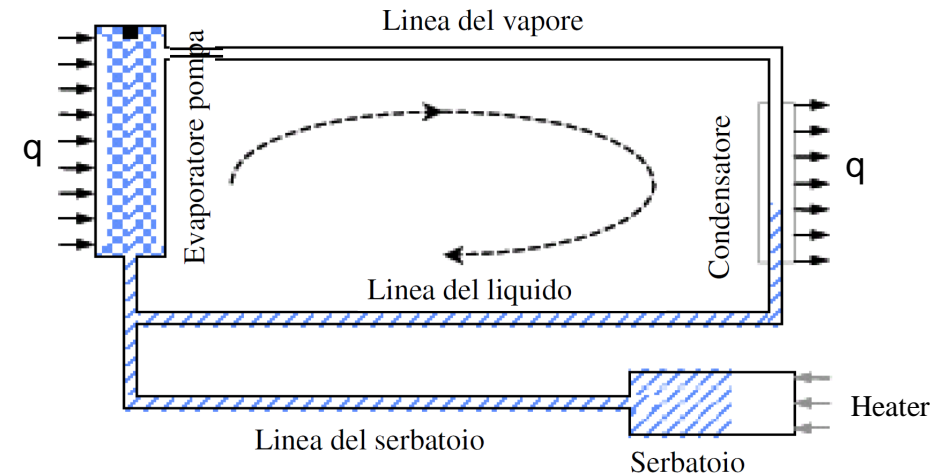
Difficoltà ad adattarsi a geometrie complesse del veicolo spaziale

CPL ha problemi di start-up, LHP può averne.

Difficoltà di test in ambiente terrestre in presenza di gravità

Entrambi sono sistemi bifase gas-liquido che utilizzano vaporizzazione e condensazione per trasportare il calore e la forza di tensione superficiale sviluppata alla struttura porosa per far circolare il fluido.

Entrambi i sistemi consistono di un evaporatore, di un condensatore, di una linea per il vapore, di una linea per il liquido e di un accumulatore per il liquido.

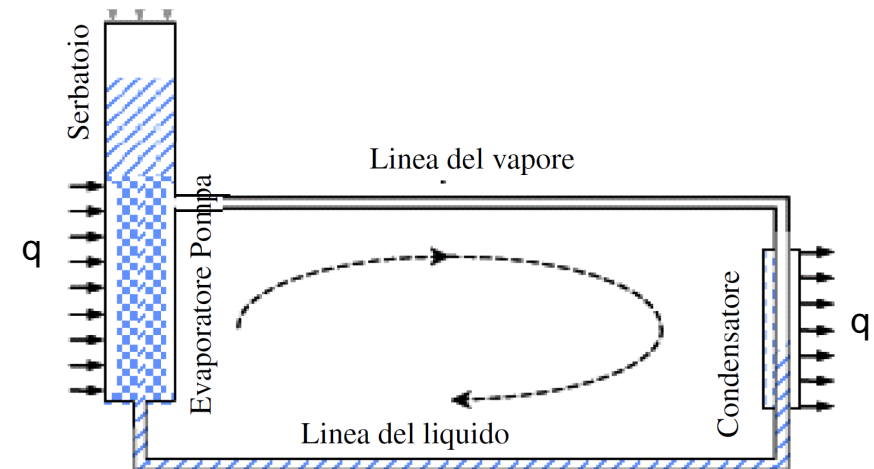
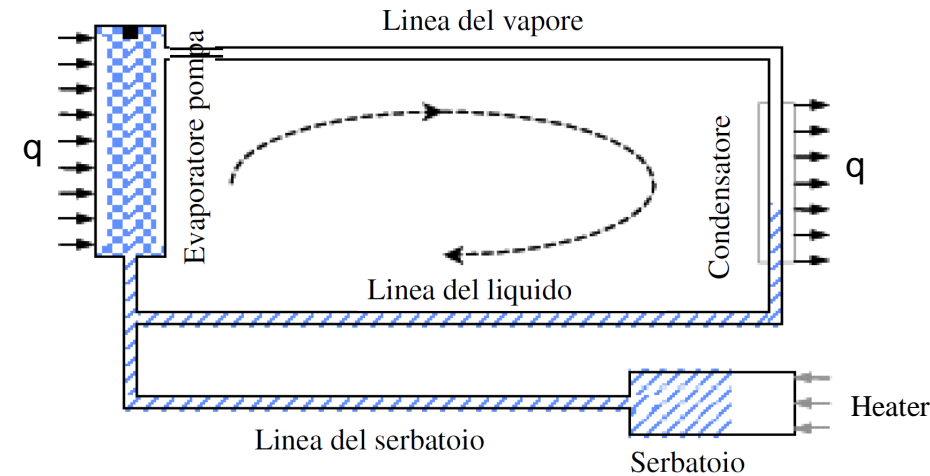


# Capillary pumped loop (CPL) Vs. Loop Heat Pipe (LHP)

La struttura porosa è presente solo all'evaporatore e al serbatoio del liquido; il resto del circuito è fatto di tubi lisci.

In letteratura il serbatoio del liquido è detto 'reservoir' per CPL e 'compensation chamber (CC)' per LHP.

Entrambi i sistemi lavorano sul seguente principio: come il flusso termico è applicato all'evaporatore, il liquido viene vaporizzato, e, allo stesso tempo un menisco si forma all'interfaccia liquido-vapore nella struttura porosa. La forza di tensione superficiale sviluppa un gradiente di pressione che muove il vapore verso il condensatore dove condensa. La stessa forza di tensione superficiale spinge il liquido verso l'evaporatore.



# Capillary pumped loop (CPL) Vs. Loop Heat Pipe (LHP)

Le maggiori differenze tra i due circuiti stanno nella costruzione dell'evaporatore e dell'accumulatore di liquido-vapore (hydro-accumulator) e nell'allocazione di quest'ultimo.

In un LHP, il CC è parte integrale dell'evaporatore, è connesso all'evaporatore da una struttura porosa secondaria. Inoltre il CC è allocato direttamente sul cammino del liquido.

La riserva in un CPL è posta lontano dall'evaporatore e dai condotti per la circolazione del fluido.

LHP usa strutture porose di polveri metalliche sinterizzate con dimensioni dei pori dell'ordine di 1 micron, mentre CPL usa una struttura porosa di polietilene con diametri dei pori di circa 15 microns.

