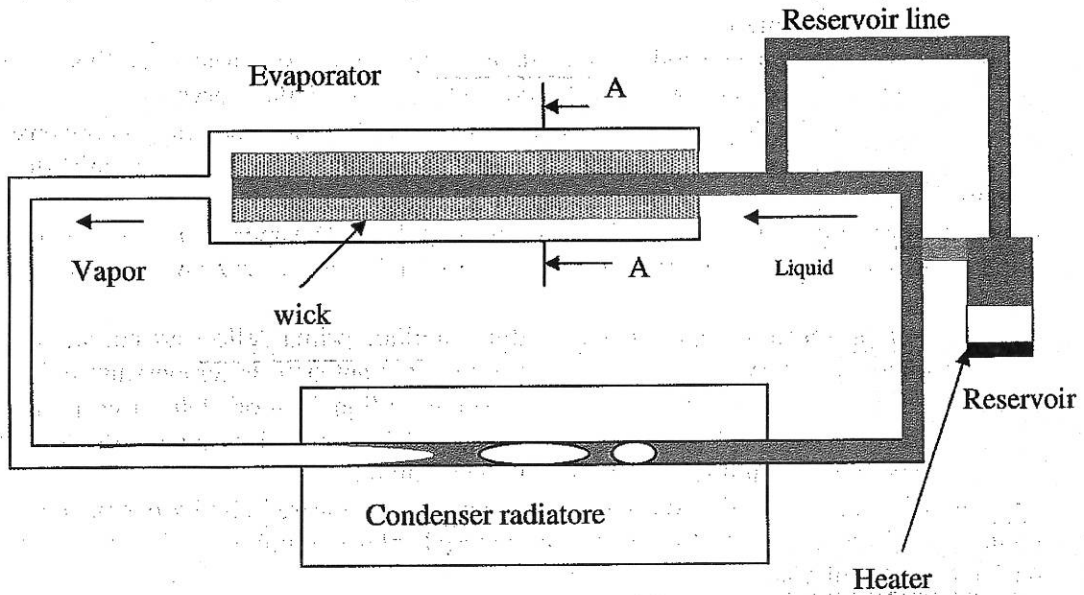
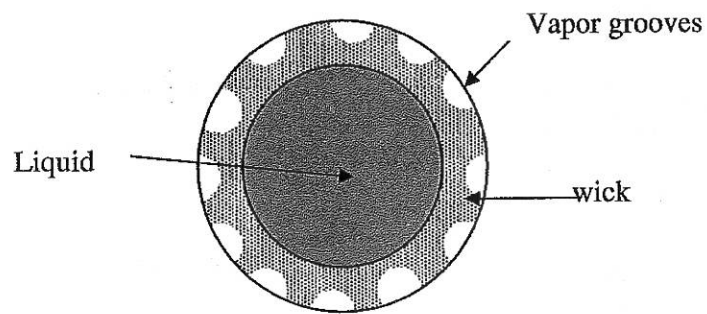


CPL Capillary pumped loop

Il sistema consiste di un evaporatore, un condensatore, una linea per il vapore, una linea per il liquido e un serbatoio di liquido. Il fluido viene fatto circolare dalla forza di tensione superficiale sviluppata nella struttura porosa, presente all'evaporatore.



Sezione A-A



- 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.
- Pressioni capillari fino a 4700 Pa con oltre 15 m di tubo (da confrontare con i 100 Pa massimi di un tubo di calore).

- 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 struttura porosa è costruita con un canale centrale per il liquido che migra radialmente per bagnare i pori capillari.
- 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 Δp 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.
- 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.
- 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°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 ammoniacca.
- Per evitare la vaporizzazione nel tubo di ritorno del liquido, il liquido deve essere sottoraffreddato di più di 5 K.

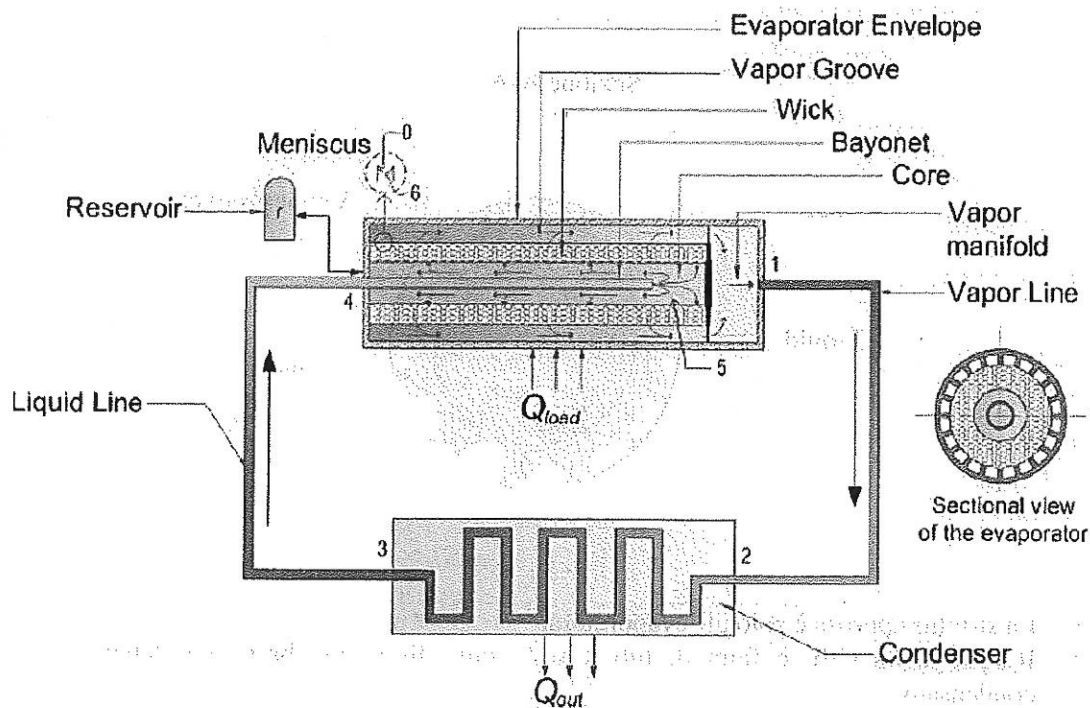
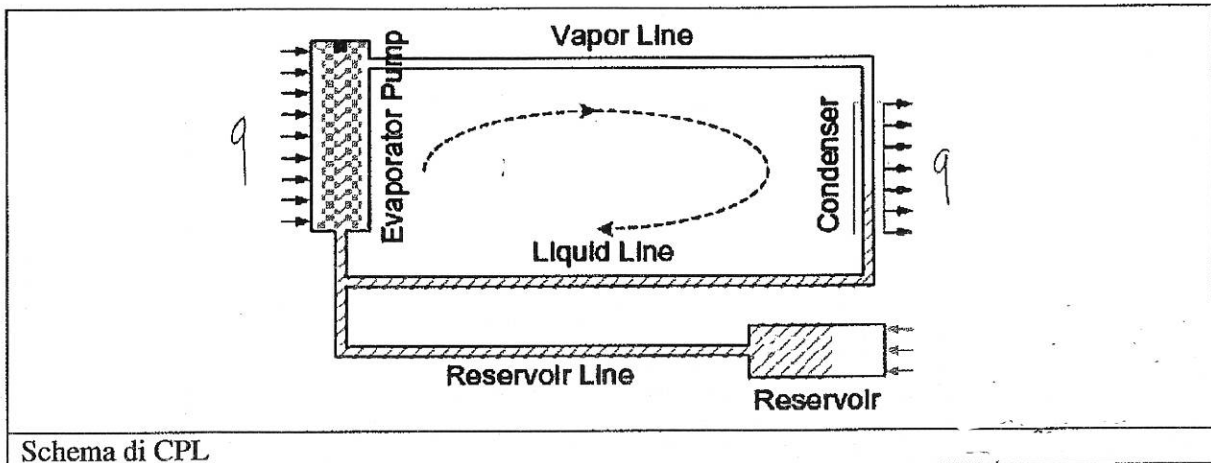


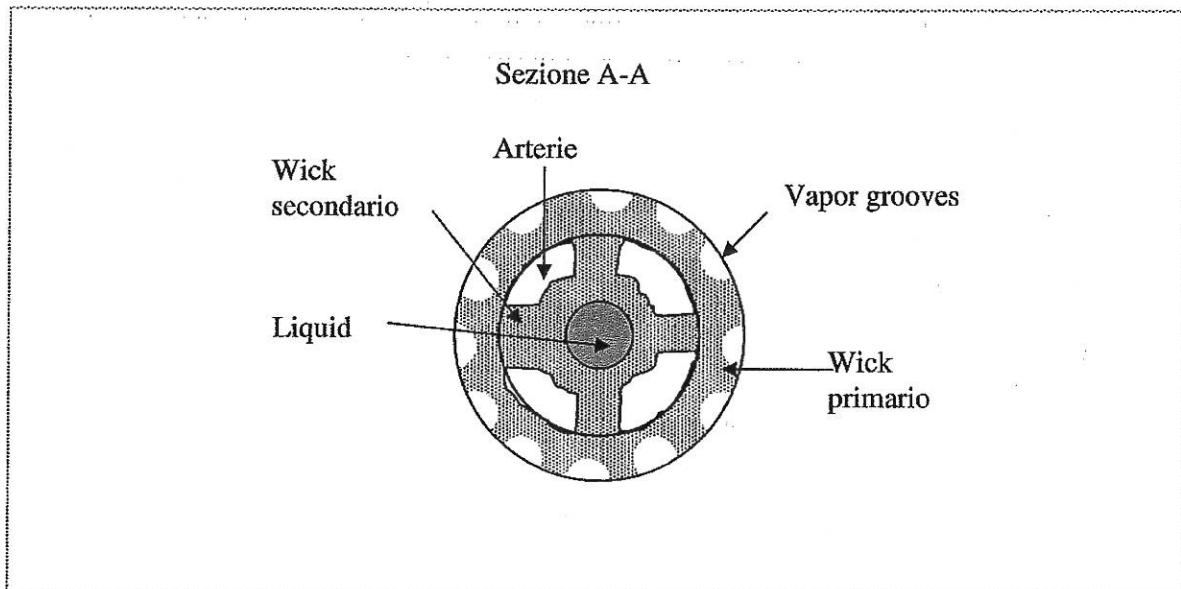
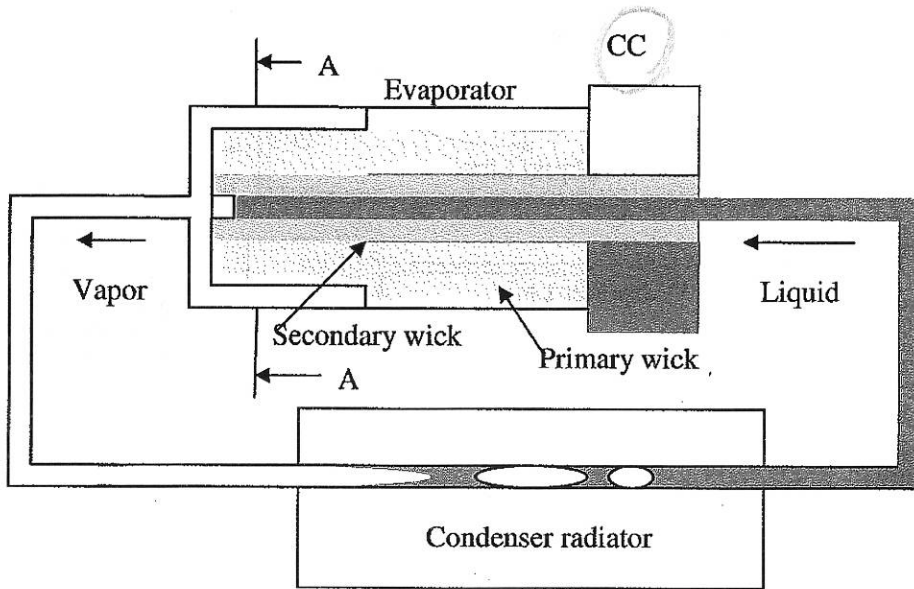
Figure 1 Schematic of a three-port capillary pumped loop with state points marked.



CPL vs. Heat pipe

- 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.
- Entrambi i sistemi trasportano energia come calore latente del fluido e quindi trasportano grandi quantità di energia.
- CPL evita la presenza del moto in controcorrente liquido-vapore presente nell'heat pipe.
- CPL fornisce un Δp capillare molto più alto del tubo di calore.
- In CPL la struttura porosa non è presente nelle linee del liquido e vapore e al condensatore.
- A volte CPL sviluppa vapore nella regione che dovrebbe contenere liquido, con conseguente malfunzionamento.
- CPL è più flessibile delle 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 di riscaldamento applicata alla riserva.

LHP Loop Heat Pipe



- La riserva è parte integrale della pompa capillare. Non si devono applicare noiose procedure di start up
- 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 niente procedure di start up.

- Si usano strutture porose di polveri metalliche sinterizzate con dimensioni dei pori dell'ordine di 1 micron, con $\Delta P_{capillare}$ (>0.34 atm con ammoniaca come fluido operativo) disponibile maggiore di quello fornito dalle strutture capillari di polietilene di CPL .
- 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.
- 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 all'evaporatore aggiusterà il suo raggio di curvatura, in modo che il ΔP capillare sia automaticamente uguale alla caduta di pressione totale del sistema.
- La caduta di pressione totale nel sistema

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

$$\Delta P_{CAP,MAX} = 2\sigma \cos \vartheta / r_c$$

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

- 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 ΔP massimo.

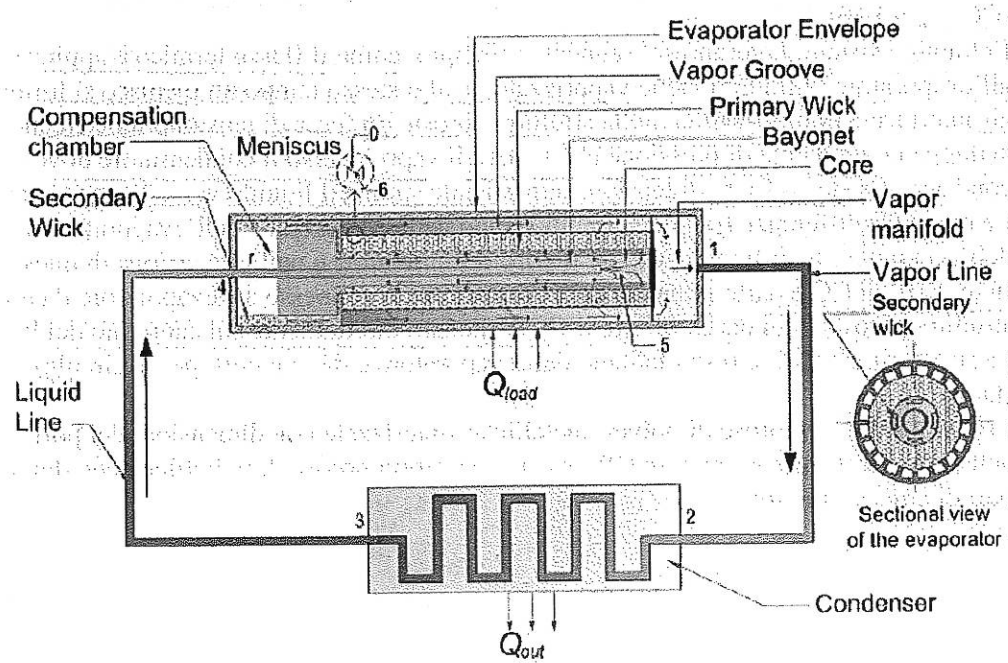
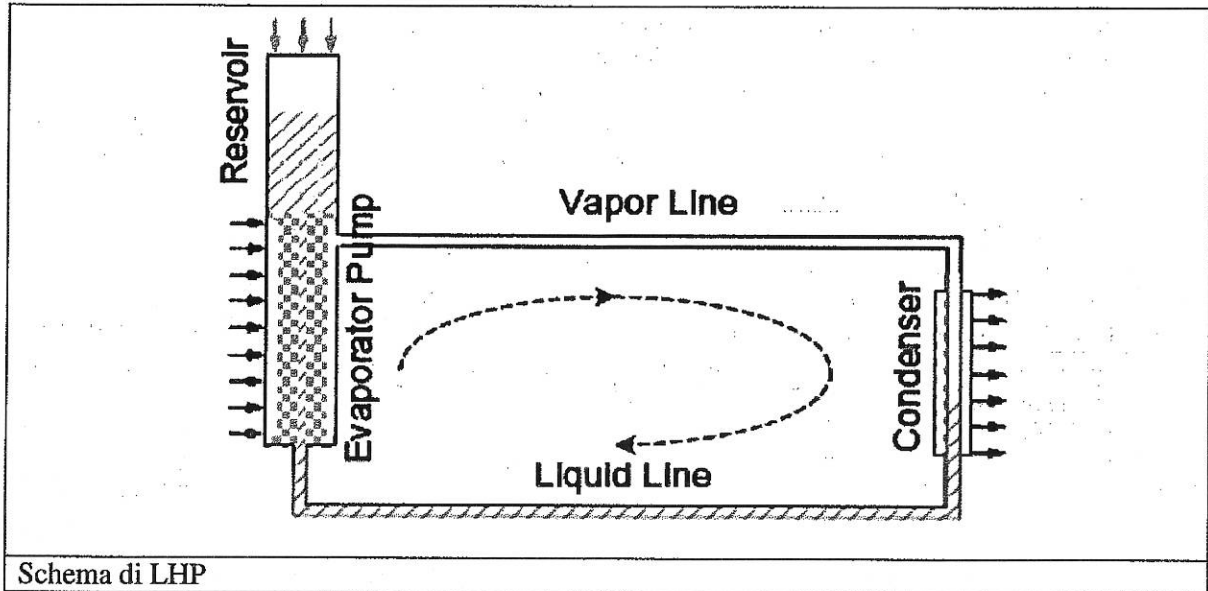


Figure 2 Schematic of a loop heat pipe with state points marked.



Schema di LHP

CPL vs. LHP

- 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.
- 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.
- 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.