

SECONDA UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI NAPOLI



FACOLTA' DI INGEGNERIA

Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione  
Corso di Laurea Triennale in Ingegneria Elettronica

TESI DI LAUREA IN INGEGNERIA ELETTRONICA

**Studio e soluzioni di controllo termico del payload di SORA**

**Relatore:**

Ch.mo Prof. Luigi ZENI

**Candidato:**

Francesco Capezzuto

Matricola 832/255

**Correlatore:**

Ing. Luca Ciofaniello

Anno Accademico 2009/2010

## Sommario

1	ARCHITETTURA DEL PAYLOAD DI SORA .....	9
1.1	Acronimi e Definizioni .....	9
1.2	Architettura del Sistema .....	10
1.2.1	Descrizione Generale .....	10
1.2.2	Stati degli Strumenti e Modalità Operative.....	12
1.3	Interfacce Gondola-Radar .....	16
1.3.1	Interfacce Elettriche .....	16
1.3.2	Interfacce Meccaniche .....	17
1.4	Sottosistemi del Radar .....	20
1.4.1	Computer di Bordo .....	20
1.4.2	Sw di Bordo.....	24
1.4.3	Unità Digitale .....	28
1.4.4	Unità RF.....	30
1.5	Considerazioni ambientali.....	34
2	Studio del problema termico dei componenti del sora.....	35
2.1	Condizioni ambientali e stratosfera .....	35
2.2	Analisi termica dei vari componenti del SORA.....	37
2.3	Analisi termica della struttura completa.....	38
2.3.1	Test nella camera termo vuoto .....	38
2.3.2	Incertezza dovuta alla misurazione della temperatura con sensori PT100 .....	44
2.3.3	Foto tramite termocamera .....	46
2.3.4	Analisi delle foto.....	47
2.4	Risultati dell'analisi termica.....	53
3	Prodotti e Software attualmente disponibili sul mercato.....	54
3.1	Cenni di termodinamica .....	54
3.1.1	Conduzione.....	54
3.1.2	Convezione.....	55
3.1.3	Irraggiamento .....	56
3.2	Prodotti attualmente disponibili sul mercato.....	57
3.2.1	Ventole di raffreddamento .....	57
3.2.2	Heat Pipe .....	58
3.2.3	Sistemi Peltier.....	62
3.2.4	Waterblok .....	66
3.2.5	Scelta del sistema di raffreddamento da utilizzare .....	71
3.3	Proposte del mercato.....	75
3.3.1	Aziende .....	75

3.4	Considerazioni .....	95
4	Soluzione finale.....	96
4.1	Progetto del Sistema di raffreddamento.....	97
4.1.1	Disposizione dei componenti .....	97
4.1.2	Costruzione della vasca e dello scambiatore di calore con spiegazione del relativo funzionamento.....	104
BIBLIOGRAFIA .....		109

# INTRODUZIONE

In questa tesi si parlerà del progetto SORA (SOunding RAdar) ed in particolare dei problemi termici che lo contraddistinguono e della loro risoluzione, l'attività di ricerca svoltasi presso il Co.Ri.S.T.A ha riguardato lo studio delle problematiche e delle soluzioni inerenti il controllo termico del payload SORA.

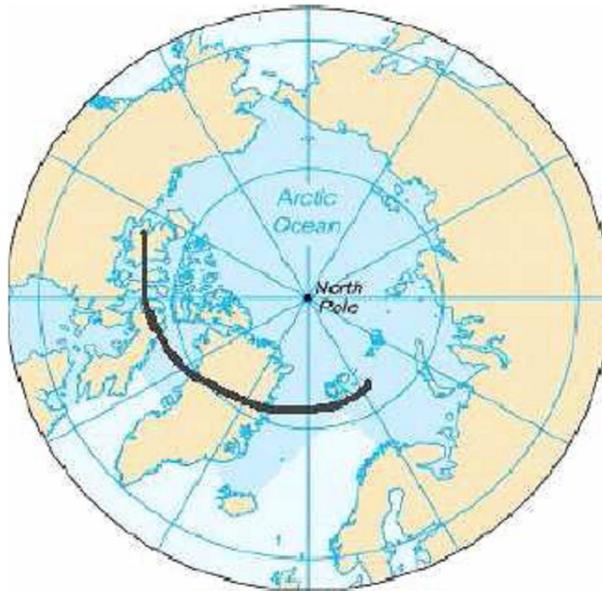
Nel primo capitolo illustreremo i principali sottosistemi del payload di SORA, il secondo capitolo sarà dedicato ai concetti generali sulle problematiche termiche nelle missioni spaziali, dopodiché effettueremo un'analisi sempre dal punto di vista termico dei vari componenti del payload SORA e infine concluderemo il capitolo con un'analisi termica della struttura nel suo insieme, nel terzo capitolo verranno illustrati prodotti e software disponibili sul mercato che generalmente si adattano a risolvere i problemi termici in questo tipo di missioni e infine nel quarto capitolo verrà proposta la soluzione adottata per risolvere il problema.

Il progetto SORA nasce con lo scopo di realizzare una serie di sperimentazioni di supporto alla comunità scientifica italiana nell'ambito della ricerca sui radar a penetrazione da utilizzare in missioni spaziali dedicate all'esplorazione del sistema planetario.

Per lo svolgimento delle attività, l'Agenzia Spaziale Italiana (ASI) e l'agenzia norvegese Andøya Rocket Range (ARR), hanno firmato un accordo per lo sviluppo e la gestione di un sito di lancio per missioni stratosferiche polari presso le isole Svalbard. Il sito, battezzato "Nobile/Amundsen Stratospheric Balloon Center", è situato oltre il Circolo Polare Artico, a circa 80 gradi di latitudine.

La missione stratosferica polare consiste in un pallone stratosferico che volerà a circa 36 km sul livello del mare, equipaggiato con un radar a penetrazione appositamente progettato.

Il volo, il cui percorso è mostrato in figura 1, che partirà dalle Isole Svalbard, circumnavigherà l'Artico sorvolando Spitsbergen, la Groenlandia e l'Arcipelago Artico Canadese, e durerà circa una settimana, raccogliendo dati di grande interesse scientifico.



**Figura 1:** *Traiettoria del SORA*

Le misurazioni della topografia del letto di ghiaccio e della stratificazione del ghiaccio possono essere fatte dalla superficie, da aerei o dallo spazio. Ad ogni modo, le misurazioni da pallone forniscono miglior copertura dell'osservazione da spazio aereo, e migliore risoluzione dell'osservazione da satellite. Rispetto alle osservazioni da aereo, le osservazioni da pallone non sono affette dal meteo troposferico e non sono limitate in range. Invece, di contro le osservazioni da satellite, si realizzano con tempi di integrazione molto più lunghi. Inoltre, lunghe durate delle operazioni da pallone sono molto meno costose delle operazioni da satellite, e sono meno costose delle operazioni da aereo.

Fondamentalmente si tratta di un sistema capace di acquisire dati radar per la creazione dei relativi modelli, per sperimentare nuovi algoritmi e per aumentare le capacità interpretative dei dati.

Le analisi del SORA saranno preziose nell'interpretazione ed inversione dei dati della sottosuperficie planetaria. Infatti, l'esperimento aiuterà ad acquisire dati dallo strato di ghiaccio allo scopo di avere un insieme di misure di riferimento da usare per eliminare possibili ambiguità nelle analisi dei dati Marziani dell'esperimento SHARAD (Shallow Radar). Quindi, SORA deve essere quanto più simile possibile a SHARAD in termini di larghezza di banda e risoluzione.

L'esperimento SORA ha posto l'attenzione sull'investigazione di strati di ghiaccio, permafrost (aree perennemente ghiacciate), zone stagionalmente ricoperte di neve e mare ghiacciato. L'obiettivo e

fornire (i risultati sono tuttora in fase di elaborazione) preziose informazioni sullo spessore e la stratificazione del ghiaccio, proprietà fisiche dello strato roccioso, assorbimento e acidità del ghiaccio, laghi ghiacciati (informazioni che, oltre all'interesse geomorfologico, serviranno per la validazione di dati provenienti da radar a penetrazione per esplorazione planetaria). Le regioni scelte possono essere correttamente considerate come l'analogo terrestre della morfologia polare Marziana, per la presenza di strutture geologiche simili.

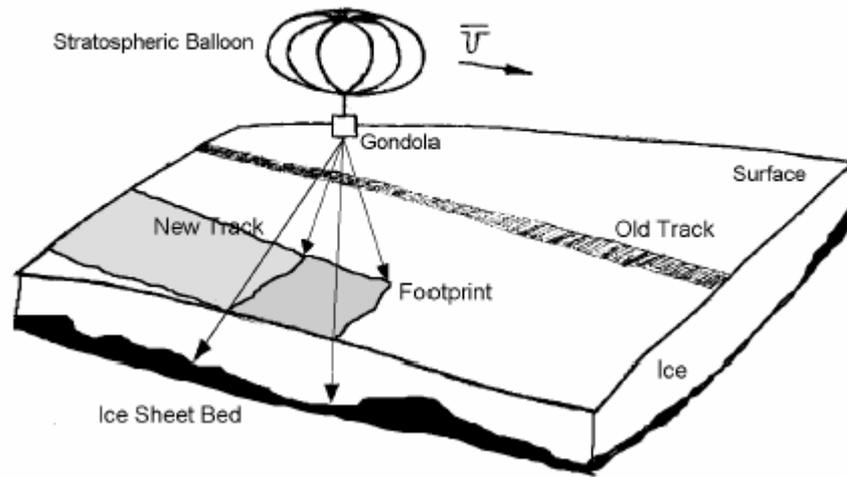
L'esperimento trasporterà una gondola riusabile resistente alla pressione ed all'acqua progettata e sviluppata dal CISAS (Centro Interdipartimentale di Studi e Attività Spaziali), dotata di tutti i sottosistemi necessari che fornirà al team scientifico le informazioni necessari.

I principali sottosistemi della gondola sono: la struttura meccanica ed il sottosistema di controllo termico; il sottosistema di alimentazione, il sottosistema di manipolazione e gestione dei dati (insieme con le telemetrie) ed il sottosistema di governo. La trasmissione dei dati e l'alimentazione sono le più esigenti; il radar produce un enorme carico di dati che saranno conservati a bordo mentre, a causa del basso bit rate di trasmissione di dati possibile, solo le informazioni di governo saranno inviate a terra.

In questo esperimento Co.Ri.S.T.A. (Consorzio di Ricerca su Sensori di Telerilevamento Avanzati) di Napoli è responsabile della progettazione e dello sviluppo del radar.

Velocità del Pallone	5 m/s
Altitudine di Volo	35 km
Frequenza Centrale	160 MHz
Banda Trasmessa	10 MHz
PRF	500 Hz
Durata dell'Impulso	3,2 $\mu$ s
Finestra di Ricezione	86 $\mu$ s
Range Gate Delay	175 $\mu$ s
Data Rate	8 KB (no presuming); 1 KB (presuming = 8)
Data Volume	1000 GB (no presuming); 130 GB (presuming = 8)
Massima Potenza Trasmessa	100 W
Risoluzione Verticale	15 m
Dimensioni	< 1000x1000x300 mm <sup>3</sup>
Massa	<100 kg

**Tabella 1:** Parametri del Sistema Payload del SORA



**Tabella 2:** *Concept Idea*



# 1 ARCHITETTURA DEL PAYLOAD DI SORA

## 1.1 Acronimi e Definizioni

ADC	Analog To Digital Converter (Convertitore Analogico Digitale)
CDMU	Command and Data Management Unit (Unità di Gestione Dati e Comandi)
CGU	Chirp Generetor Unit (Unità Generatore di Chirp)
DAC	Disk Array Controller (Controllore Array di Dischi)
DU	Digital Unit (Unità Digitale)
FGU	Frequency Generator Unit (Unità Generatore di Frequenza)
FPGA	Field Programmable Gate Array
INS	Inertial Navigation System (Sistema di Navigazione Inerziale)
LVDS	Low Voltage Differential Signal
MSB	Most Significant Bit
OBC	On-Board Computer (Computer Di Bordo)
PDU	Power Distribution Unit (Unità Distribuzione Alimentazione)
PRF	Pulse Repetition Frequency
PRI	Pulse Repetion Interval
RFU	Radio Frequency Unit (Unità a Radio Frequenza)
SORA	SOunding RAdar
SSD	Solid State Device (Dispositivo a Stato Solido)
TC	Telecommand (Telecomando)
TM	Telemetry (Telemetria)

## 1.2 Architettura del Sistema

### 1.2.1 Descrizione Generale

Il payload del SORA [1] [2] è composto dai seguenti principali sottosistemi:

- Unita di Distribuzione dell' Alimentazione (PDU)

Questo sottosistema ha il compito di provvedere ad alimentare i sottosistemi del radar.

- Computer di Bordo (OBC)

Ha il compito di monitorare e di controllare i sottosistemi del radar, di gestire telecomandi e telemetrie, di salvare i dati acquisiti, e di avviare il software a bordo. Rappresenta l'interfaccia principale per la gondola.

- Unita a Radio Frequenza (RFU)

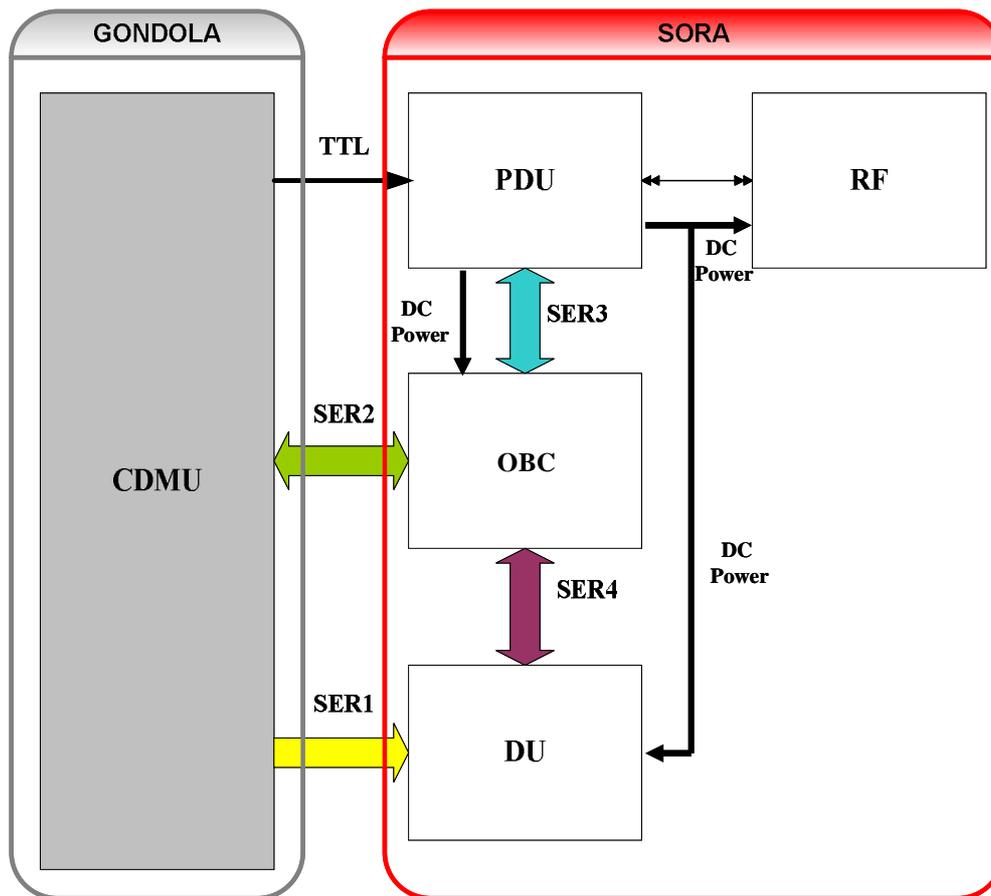
Ha il compito di generare e ricevere i segnali radar.

- Unita Digitale (DU)

Ha il compito di fornire i segnali di sincronizzazione del radar, di configurare e immagazzinare i dati acquisiti e quelli ancillari.

Il payload si interfaccia con il sottosistema CDMU, l'unità principale della gondola. Il CDMU è delegato ad accendere e spegnere il radar, inviare le sequenze dei telecomandi per commutare le modalità operative del radar, inviare telemetrie ancillari, ricevere le telemetrie del radar e segnali ALIVE.

In **Figura 1- 1: Architettura del Payload SORA** è riportata l'architettura generale del payload del SORA.



**Figura 1- 1:** Architettura del Payload SORA

Le modalità logiche di funzionamento del RADAR sono descritte di seguito:

- La CDMU accende la PDU tramite segnali logici TTL di abilitazione
- La PDU alimenta il Computer di Bordo (tramite alimentazione in DC)
- L'OBC avvia ed esegue il software di bordo
- La PDU alimenta la DU e l'FGU (o RFU) (tramite alimentazione in DC)
- L'OBC invia periodicamente segnali di ALIVE alla CDMU (tramite connessione seriale SER2)
- La CDMU invia periodicamente telemetrie ancillari alla DU (tramite connessione seriale SER1)
- La CDMU invia comandi all'OBC (tramite connessione seriale SER2)
- L'OBC invia comandi di riconoscimento alla CDMU (tramite connessione seriale SER2)
- L'OBC esegue i comandi della CDMU: invia comandi corrispondenti alla DU (tramite connessione seriale SER4) ed alla PDU (tramite connessione seriale SER3)
- La PDU alimenta l'RFU

- L'OBC chiede e riceve i dati ancillari del RADAR dalla PDU (tramite connessione seriale SER3) ed invia le telemetrie ancillari del RADAR alla CDMU (tramite connessione seriale SER2)
- La CDMU spegne l'OBC (tramite connessione seriale SER2)
- La CDMU spegne la PDU con segnali logici TTL di disabilitazione
- La PDU disalimenta OBC, RFU e DU

### 1.2.2 Stati degli Strumenti e Modalità Operative

Per il payload di SORA sono stati identificati i seguenti stati del RADAR:

- POWER ON (ACCESO)

Questo stato è attivato automaticamente all'accensione del computer di bordo: rappresenta le operazioni necessarie per far partire il RADAR. Al completamento di queste operazioni, lo strumento va nello stato IDLE;

- IDLE (INATTIVO)

Questo stato è attivato alla fine di tutte le altre modalità operative. Lo strumento accetta comandi dalla CDMU per commutare tra gli stati MEASUREMENT, DUMP, PROCESSING o POWER-OFF .

- MEASUREMENT (MISURAZIONE)

Rappresenta una modalità operativa dello strumento ed è attivata per far partire il RADAR ed iniziare l'acquisizione dati.

- POWER OFF (SPENTO)

Questo stato ha il compito di spegnere il RADAR.

- DUMP (SCARICO)

Rappresenta una modalità operativa dello strumento con il compito di copiare i dati acquisiti del RADAR dal disk array controller al disk array (sistemi di dischi).

- PROCESSING (ELABORAZIONE)

Questa è una modalità operativa attivata solo nella configurazione di autocheck. Quando si trova in questa modalità, lo strumento acquisisce dati a ciclo chiuso e li processa per stimare determinati parametri e valutare se il RADAR sta funzionando correttamente.

MEASUREMENT, DUMP e PROCESSING sono le modalità operative che sono comandate dalla CDMU secondo le seguenti sequenze di comandi:

Timing	Command	From	To	IF	Note
T0	SIGNAL	CDMU	PDU	TTL	TTL enabled
T0 + T <sub>2min</sub>	ALIVE	OBC	CDMU	SER 2	ALIVE signal sent periodically each 2 min
...	...	...	...	...	...
T0 + T <sub>2min</sub>	TM	CDMU	DU	SER 1	Ancillary data Telemetries sent each 2 min
...	...	...	...	...	...
T0 + T <sub>2min</sub>	TM_:RAD	OBC	CDMU	SER 2	Radar data Telemetries sent each 2 min
...	...	...	...	...	...
T0 + A	DIS_RAD_ACHK	CDMU	OBC	SER 2	Autocheck disabling command
T0 + B	DIS_RAD_ACHK_A CK	OBC	CDMU	SER 2	Acknowledge of previous command
T0 + C	EN_PSUMMING /DIS_PSUMMING	CDMU	OBC	SER 2	Pre-summing enabling/disabling command
T0 + D	EN_PSUMMING_A CK /DIS_PSUMMING_A CK	OBC	CDMU	SER 2	Acknowledge of previous command
T0 + E	RAD_START	CDMU	OBC	SER 2	Start acquisition command
T0 + F	RAD_START_ACK	OBC	CDMU	SER 2	Acknowledge of previous command
T0 + G	RAD_START_OK	OBC	CDMU	SER 2	OK start acquisition message
T0 + H	RAD_START_OK_A CK	CDMU	OBC	SER 2	Acknowledge of previous command
T0 + I	RAD_STOP	CDMU	OBC	SER 2	Stop acquisition command
T0 + L	RAD_STOP_ACK	OBC	CDMU	SER 2	Acknowledge of previous command
T0 + M	RAD_STOP_OK	OBC	CDMU	SER 2	OK stop acquisition message
T0 + N	RAD_STOP_OK_AC K	CDMU	OBC	SER 2	Acknowledge of previous command
T0 + O	RAD_SHUT_DOWN	CDMU	OBC	SER 2	OBC shut-down command
T0 + P	SIGNAL	CDMU	PDU	TTL	TTL disabled

**Tabella 1- 1:** sequenza Measurement

Timing	Command	From	To	IF	Note
T0	SIGNAL	CDMU	PDU	TTL	TTL enabled
T0 + T <sub>2min</sub>	ALIVE	OBC	CDMU	SER 2	ALIVE signal sent periodically each 2 min
...	...	...	...	...	...
T0 + T <sub>2min</sub>	TM	CDMU	DU	SER 1	Ancillary data Telemetries sent each 2 min
...	...	...	...	...	...
T0 + T <sub>2min</sub>	TM_:RAD	OBC	CDMU	SER 2	Radar data Telemetries sent each 2 min
...	...	...	...	...	...
T0 + A	RAD_SAVE	CDMU	OBC	SER 2	Start dump command
T0 + B	RAD_SAVE_ACK	OBC	CDMU	SER 2	Acknowledge of previous command
T0 + C	RAD_SAVE_OK	OBC	CDMU	SER 2	Executed dump message
T0 + D	RAD_SAVE_OK_A CK	CDMU	OBC	SER 2	Acknowledge of previous command
T0 + E	RAD_SHUT_DOWN	CDMU	OBC	SER 2	OBC shut-down command
T0 + F	SIGNAL	CDMU	PDU	TTL	TTL disabled

**Tabella 1- 2:** sequenza DUMP

Timing	Command	From	To	IF	Note
T0	SIGNAL	CDMU	PDU	TTL	TTL enabled
T0 + T <sub>2min</sub>	ALIVE	OBC	CDMU	SER 2	ALIVE signal sent periodically each 2 min
...	...	...	...	...	...
T0 + T <sub>2min</sub>	TM	CDMU	DU	SER 1	Ancillary data Telemetries sent each 2 min
...	...	...	...	...	...
T0 +	TM_:RAD	OBC	CDMU	SER 2	Radar data Telemetries sent each 2

Timing	Command	From	To	IF	Note
T <sub>2min</sub>					min
...	...	...	...	...	...
T0 + A	EN_RAD_ACHK	CDMU	OBC	SER 2	Enabling Autocheck command
T0 + B	EN_RAD_ACHK_A CK	OBC	CDMU	SER 2	Acknowledge of previous command
T0 + C	EN_PSUMMING /DIS_PSUMMING	CDMU	OBC	SER 2	Enabling/disabling on-board pre- summing command
T0 + D	EN_PSUMMING_A CK /DIS_PSUMMING_A CK	OBC	CDMU	SER 2	Acknowledge of previous command
T0 + E	RAD_START	CDMU	OBC	SER 2	Start acquisition command
T0 + F	RAD_START_ACK	OBC	CDMU	SER 2	Acknowledge of previous command
T0 + G	RAD_START_OK	OBC	CDMU	SER 2	OK start acquisition message
T0 + H	RAD_START_OK_A CK	CDMU	OBC	SER 2	Acknowledge of previous command
T0 + I	RAD_STOP	CDMU	OBC	SER 2	Stop acquisition command
T0 + L	RAD_STOP_ACK	OBC	CDMU	SER 2	Acknowledge of previous command
T0 + M	RAD_STOP_OK	OBC	CDMU	SER 2	OK stop acquisition message
T0 + N	RAD_STOP_OK_AC K	CDMU	OBC	SER 2	Acknowledge of previous command
T0 + O	RAD_SAVE	CDMU	OBC	SER 2	Start dump command
T0 + P	RAD_SAVE_ACK	OBC	CDMU	SER 2	Acknowledge of previous command
T0 + Q	RAD_END_SAVE	OBC	CDMU	SER 2	Executed dump message
T0 + R	RAD_END_SAVE_A CK	CDMU	OBC	SER 2	Acknowledge of previous command
T0 + S	RAD_PROC_START	CDMU	OBC	SER 2	Start on-board processing command
T0 + T	RAD_PROC_START _ACK	OBC	CDMU	SER 2	Acknowledge of previous command
T0 + U	RAD_PROC_END	OBC	CDMU	SER 2	Executed on-board processing message
T0 + V	RAD_PROC_END_A CK	CDMU	OBC	SER 2	Acknowledge of previous command

Timing	Command	From	To	IF	Note
T0 + Z	TM_RAD	OBC	CDMU	SER2	Radar telemetries which include processing results data
T0 + AA	RAD_SHUT_DOWN	CDMU	OBC	SER 2	OBC Shut-down command
T0 + AB	SIGNAL	CDMU	PDU	TTL	TTL disabled

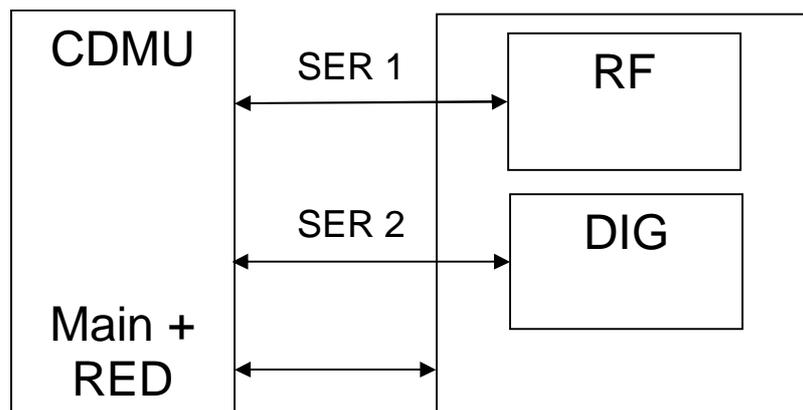
**Tabella 1- 3:** sequenza *AUTOCHECK*

## 1.3 Interfacce Gondola-Radar

### 1.3.1 Interfacce Elettriche

#### *Interfacce TC/TM*

Le interfacce TC/TM sono raffigurate in **Figura 1- 2:** *Interfacce TC/TM tra CDMU e SORA* e sono costituite da due interfacce RS-232: SER1 e SER2.



**Figura 1- 2:** *Interfacce TC/TM tra CDMU e SORA*

Le caratteristiche principali sono:

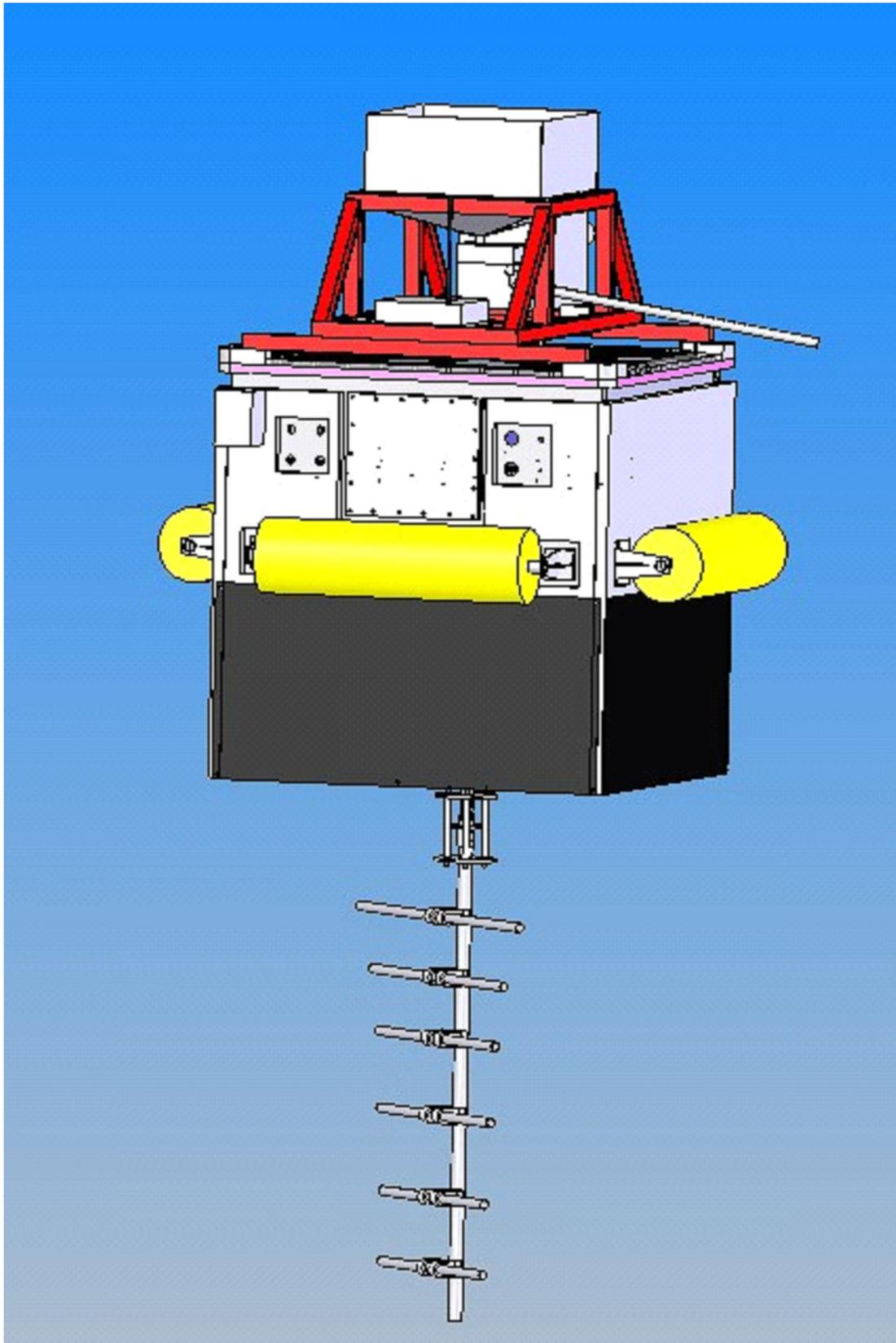
- SER 1: per mezzo di questo collegamento RS-232 la CDMU invia al RADAR tutti i dati ancillari che saranno conservati per ulteriori post-elaborazioni off-line. Sono:

- Tempo della Missione;
- Posizione (Latitudine, Longitudine e Altitudine fornite dal GPS);
- Orientamento della CDMU
- SER 2: per mezzo di questo collegamento RS-232 tutti i dati di telecomandi e di telemetrie sono scambiati tra la CDMU ed il payload di SORA.

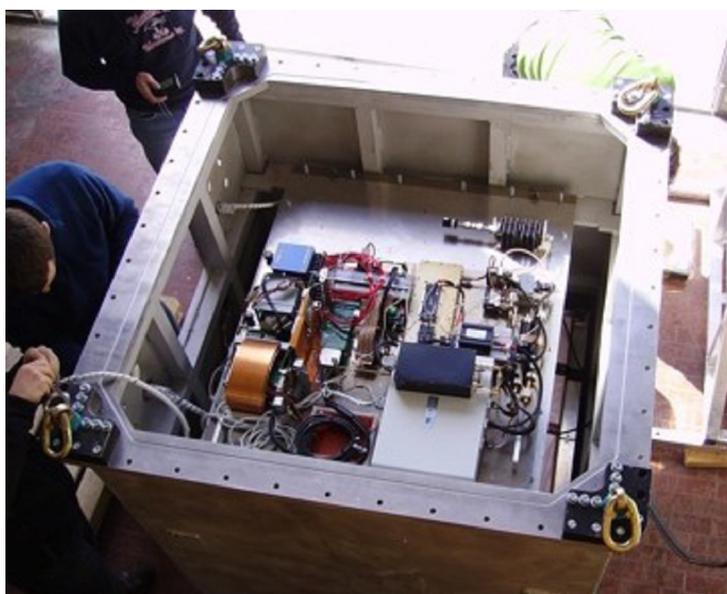
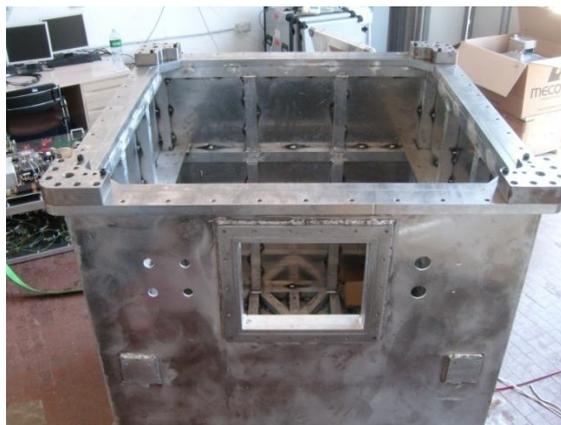
### **1.3.2 Interfacce Meccaniche**

Il payload di SORA sarà montato all'interno della sonda progettata e sviluppato dal CISAS.

La sonda è una gondola riusabile resistente alla pressione ed all'acqua. La sua struttura principale è realizzata in lega di alluminio eccetto per alcune componenti strutturali per le quali è stato utilizzato acciaio inossidabile. La sonda ospita l'antenna, l'equipaggiamento ASI per la telemetria, la zavorra di rilascio ed i sottosistemi per l'attuazione del paracadute all'esterno; all'interno ospita sul fondo le batterie e l'unità CDMU (con un software real time incorporato per l'acquisizione e la manipolazione dei dati ad hoc) sviluppata dal CISAS (Centro Interdipartimentale di Studi e Attività Spaziali) di Padova; l'unità di distribuzione dell'alimentazione viene montata sul piatto di alluminio di mezzo; mentre il payload del RADAR è posizionato sopra, sull'altro dei due piatti removibili di alluminio.



**Figura 1- 3:** Progetto della sonda (dal CISAS)



**Figura 1- 4:** *Struttura interna ed esterna della gondola*

Il payload di SORA deve essere montato a bordo del piatto removibile della sonda, della quale è riportato il progetto meccanico in **Figura 1- 4: Struttura interna ed esterna della gondola**, il piatto ha le dimensioni 1000mm×850mm e presenta 15 fori M5 localizzati a 215mm×330mm di distanza tra loro. Questi fori saranno utilizzati per montare il piatto removibile nella sonda.

Nessuna limitazione specifica è stata identificata per quanto concerne il montaggio meccanico del RADAR, con l'eccezione del disk array del RADAR. Infatti, poiché è richiesto che il disk array del RADAR sia removibile così che i dati acquisiti possano essere prelevati subito dopo il volo della

missione, il disk array deve essere montato vicino all'apertura della sonda localizzata al centro del lato lungo del piatto.

Le dimensioni dei vari componenti del RADAR sono riassunte in **Tabella 1- 4: Dimensioni dei componenti del radar.**

Descrizione	Dimensioni (mm)
Unità di Distribuzione dell'Alimentazione (PDU)	340×250×120
Computer di Bordo (OBC)	460×200×150
Unità Digitale (DU)	300×240×60
Unità Generatore di Frequenza (FGU)	110×200×60
Chirp Generator (CG)	110×140×70
Switch Control Unit (SCU)	110×140×70
Amplificatore a Basso Rumore (LNA)	100×90×30
Amplificatore	300×120×80
Attenuatore RF	140×80×80
Filtri	210×30Ø
Convertitore DC-DC	130×50×10
Switch 3	60×60×10
Switch 1 and 2	100×90×60

**Tabella 1- 4: Dimensioni dei componenti del radar**

## 1.4 Sottosistemi del Radar

### 1.4.1 Computer di Bordo

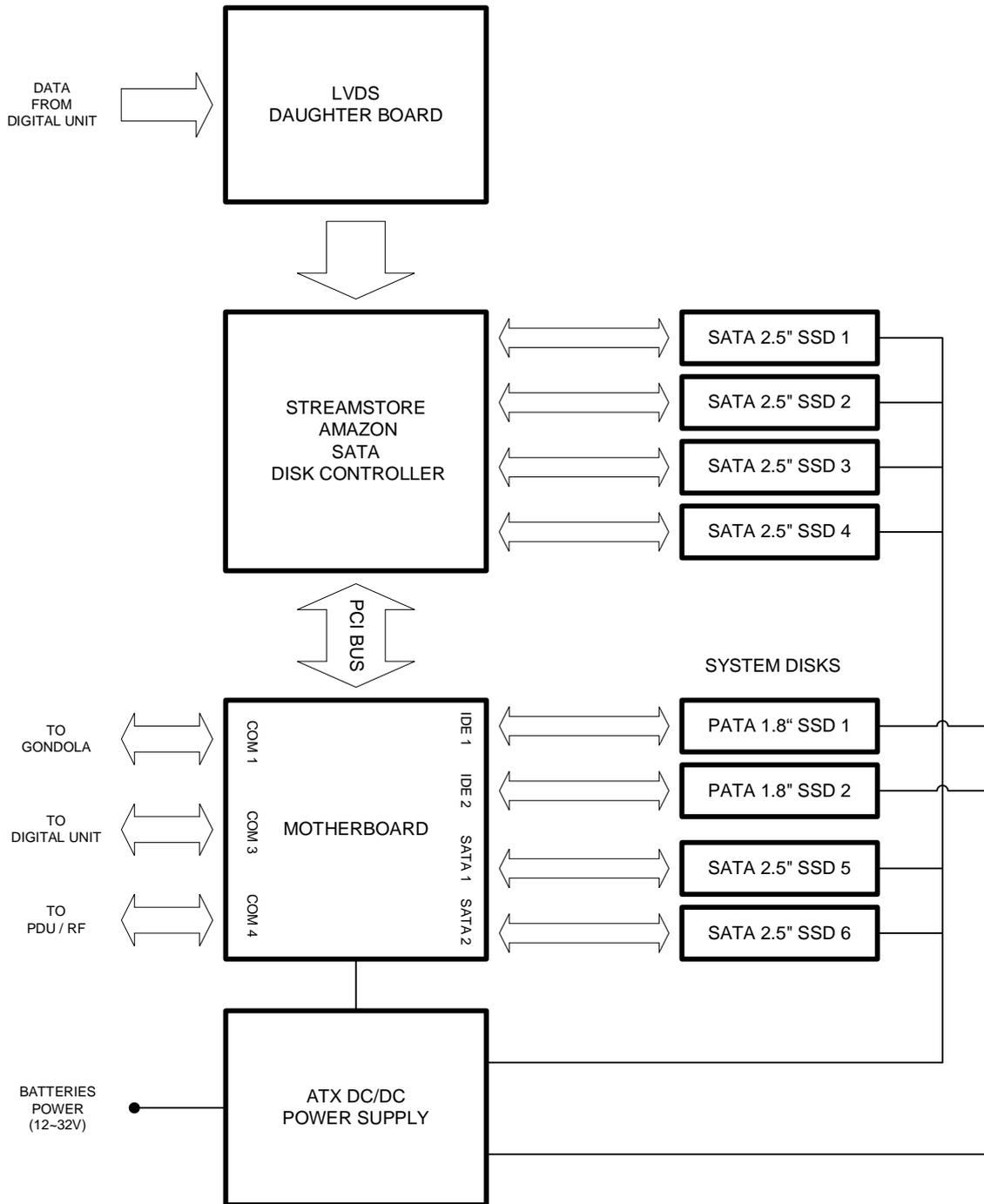
#### 1.4.1.1 Descrizione

Il RADAR contiene un piccolo personal computer, con un disk array controller ed alcuni array di dischi. Il sottosistema del computer di bordo ha i seguenti scopi:

- Monitoraggio e controllo dei sottosistemi del RADAR;
- Gestione della comunicazione della gondola;

- Pilotaggio del disk array controller;
- Risparmio di dati ridondanti;

Uno schema del computer è mostrato in **Figura 1- 5: Schema del computer di bordo:**



**Figura 1- 5: Schema del computer di bordo**

Il disk array controller Streamstore Amazon SATA consente di catturare dati in tempo reale dall'unità digitale con il corretto data rate, durante l'acquisizione del RADAR. I dati passano attraverso la daughter board LVDS che è montata sul disk array controller. Il controllore è provvisto di 4 dischi a stato solido SATA che memorizzano i dati.

Sulla scheda madre del computer ci sono 4 dischi aggiuntivi contenenti il software di bordo. Su questi dischi saranno copiati i dati già catturati dal disk array controller.

La scheda madre e tutti i dischi sono alimentati con un alimentatore ATX DC/DC.

#### 1.4.1.2 **Caratteristiche**

Il PC di bordo è composto da differenti sottosistemi.

Sono elencati di seguito con le loro specifiche:

##### *Streamstore Amazon SATA disk controller*

- Up to 16 SATA conventional or SSD drives;
- Data rate of more than 400 MB/s sustained recording;
- Internal memory buffer of 1 GB SDRAM;
- Power failure recovery support;
- Modular mezzanine interface system;
- PCI 2.1 compatible / Universal PCI board

##### *Daughter board LVDS*

- 16 bit Low Voltage Differential Signal (LVDS) interface;
- Sustained recording of 400MB/s;
- High speed Infiniband connectors;
- Up to 4 independent data channels;
- Direct data interface to StreamStore recorders;

##### *Motherboard*

- MINI-ITX form factor (17 x 17 cm);
- Embedded VIA C7 EDEN 1.2 GHz Fanless Processor;
- VIA CN700 Northbridge + VT8237RP Southbridge Chipsets

- 1GB Single Channel DDR2 533 Memory DIMM memory;
- IDE controllers (UltraDMA 133/100/66);
- SATA controllers;
- serial RS232 ports;

#### *Disk drives*

2 x Sandisk 1.8" PATA SSD - 32 GB capacity;

6 x Sandisk 2.5" SATA SSD – 32 GB capacity;

#### *Power Supply*

ATX DC/DC power supply;

Maximum power 250 W;

Input voltage 6-32V.

### 1.4.1.3 **Interfacce**

#### *LVDS daughter board*

La daughter board LVDS è integrata sul disk array controller;

La scheda è connessa alla digital unit con uno cavo standard 12 lane Infiniband

#### *Streamstore Amazon SATA disk controller*

Il disk controller è connesso alla scheda madre con uno slot PCI standard. Sulla scheda ci sono sedici connettori SATA L. Quattro di essi sono connessi a quattro SATA SSD da 2.5".

#### *Motherboard*

I connettori usati sono:

- COM1 standard RS232 DB9 connesso alla gondola;
- COM3 standard RS232 DB9 connesso alla Digital Unit;
- COM4 standard RS232 DB9 connesso alla PDU/RFU;
- Connettore IDE standard 40 pin connesso al PATA SSD 1 tramite cavo flat standard IDE;
- Connettore IDE standard 40 pin connesso al PATA SSD 2 tramite cavo flat standard IDE;
- Connettore SATA L connesso al SATA SSD 5 tramite cavo standard SATA;

- Connettore SATA L connesso al SATA SSD 6 tramite cavo standard SATA;
- Connettore 20 pin standard ATX power connesso all'alimentatore ATX DC/DC;

Solo per scopi di collaudo, vengono usati:

- Connettore PS/2 per la tastiera;
- Connettore PS/2 o USB per il mouse;
- Video DB per il monitor;
- Connettore RJ-45 per la rete.

#### *SATA 2.5" SSD drives*

Oltre alle già descritte connessioni, usano connettori di alimentazioni standard SATA L.

#### *PATA 1.8" SSD drives*

Hanno un connettore ZIF e sono integrati per mezzo di un adattatore ZIF – 3.5" che fornisce un connettore IDE standard a 40 pin e un connettore di alimentazione maschio standard MOLEX a 4 pin, l'ultimo connesso all'alimentatore tramite un cavo di alimentazione femmina MOLEX a 4 pin.

## **1.4.2 Software di Bordo**

### **1.4.2.1 Descrizione**

Il software di bordo ha lo scopo di tempificare ed attivare i vari componenti hardware del RADAR. Parte automaticamente all'avvio del computer.

Nel modo normale il software accetta comandi dalla CDMU tramite RS232: non usa tastiera, mouse e monitor. Ciò nonostante, c'è una speciale modalità di test locale che simula l'interazione della CDMU e consente al software di partire senza la presenza della CDMU. Può essere attivato mettendo a 0 il valore di un parametro della CDMU (normalmente settato a 1) nel file di configurazione.

Il software presenta, ad ogni modo, una GUI (Graphic User Interface) che consente all'operatore umano di monitorare e comandare: presenta pulsanti di comando per inviare comandi e finestre di testo che mostrano l'attività corrente.

C'è anche un server VNC che permette di connettersi al computer di bordo da un'altra stazione di lavoro tramite cavo standard RJ-45 cross-linked.

#### 1.4.2.2 Caratteristiche

Il sistema operativo è il Microsoft Windows XP Professional SP1.

Il software è sviluppato in Inprise/Borland C++ Builder 6.0 IDE ed un singolo file eseguibile (sorasw.exe) con un file di configurazione (sorasw.ini).

Richiede che il file xlrapi.dll (Conduant API interface to Streamstore Amazon SATA disk array controller) sia nel path della variabile d'ambiente del computer.

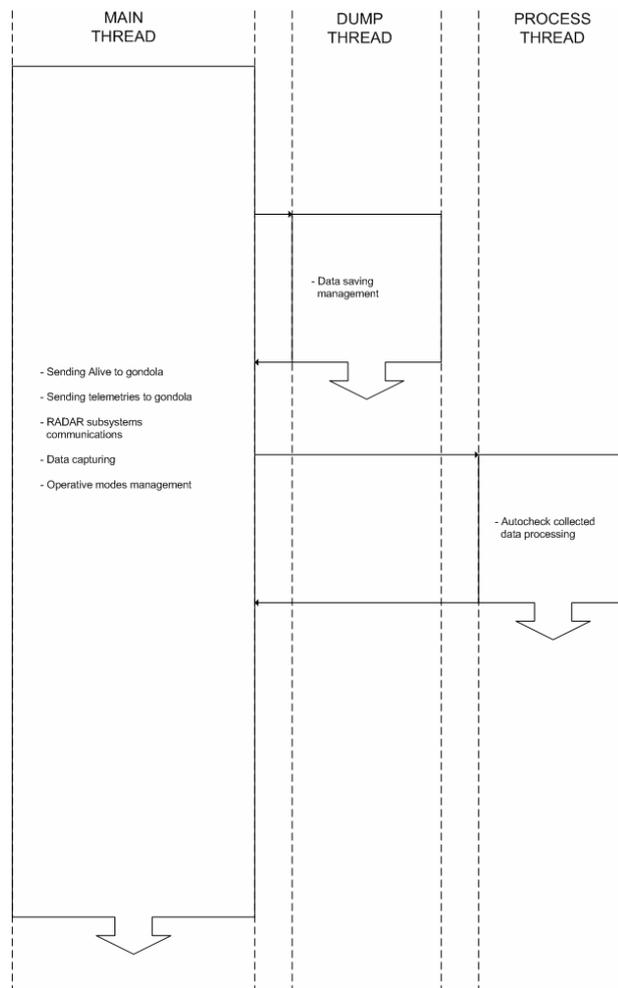
Il software di bordo presenta differenti stati, ciascuno corrisponde ad un modo operativo del RADAR, con i quali accetta e manda comandi alle varie interfacce. Sono:

- POWER ON  
Questo modo è attivato automaticamente all'avvio del PC: rappresenta le operazioni necessarie per far partire il RADAR. Dopo aver completato queste operazioni, il software va nel modo IDLE;
- IDLE  
Questo modo viene attivato al termine degli altri. Accetta comandi dalla CDMU che settano il software nei modi MEASUREMENT, DUMP, PROCESSING o POWER-OFF.
- MEASUREMENT  
Fa partire il RADAR e comincia l'acquisizione dati; può cominciare nel modo standard o *autocheck*, con o senza *presumming*. Durante l'acquisizione, il software attende un comando di stop acquisizione dati.
- POWER OFF  
Accende il RADAR.
- DUMP  
Copia i dati acquisiti dal RADAR dal disk array controller al sistema di dischi.
- PROCESSING  
Questo modo è attivato solo in configurazione di autocheck. Viene chiamata una funzione esterna, passandole una certa quantità di dati precedentemente acquisiti. Questa funzione

elabora i dati e ritorna dei valori che consentono di determinare se il RADAR sta funzionando correttamente.

In tutti i modi di funzionamenti, il software di bordo manda un segnale di ALIVE alla CDMU ogni due minuti. Se la CDMU non riceve questo segnale, spegne il RADAR.

Il software ha due thread aggiuntivi, oltre a quello principale: uno per le operazioni di scarico e l'altro per l'elaborazione.



**Figura 1- 6: I Thread**

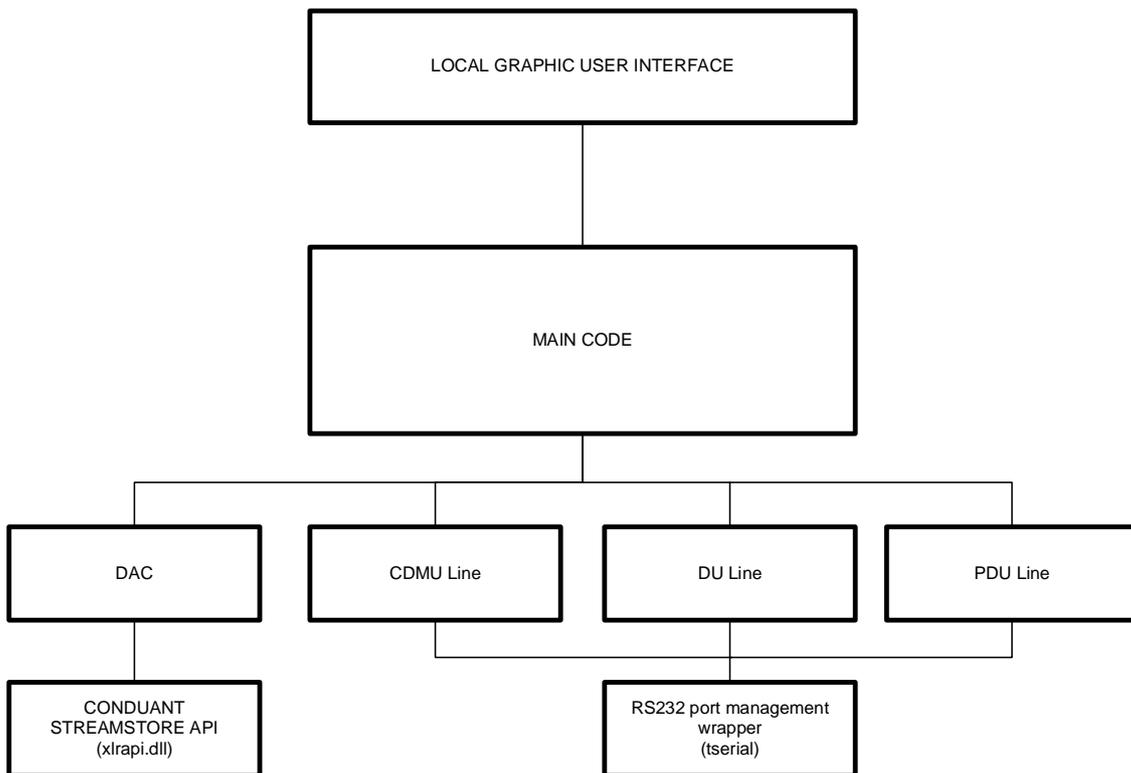
Parte del codice di elaborazione è su un programma esterno, chiamato software principale.

### 1.4.2.3 **Interfacce**

Il software di bordo ha le seguenti interfacce:

- CMDU Line      Interfaccia con la CDMU tramite apposito protocollo su RS232;

- PDU Line           Interfaccia con la PDU/RFU tramite apposito protocollo su RS232;
- DU Line            Interfaccia con la DU tramite apposito protocollo su RS232;
- DAC                Interfaccia con la scheda Streamstore Amazon Disk Array Controller, tramite manufacturer's API;



**Figura 1- 7:** Componenti del software

L'interfaccia del DAC è implementata in un modulo contenente funzioni che fanno operazioni necessarie allo scopo di controllare la scheda disk array controller. Tali funzioni chiamano appropriatamente il codice API contenuto nella xlrapi.dll della manufacturer's shared library.

Le altre interfacce ed i loro protocolli sono implementati con codice di Programmazione Orientata agli Oggetti in moduli contenenti classi e funzioni. Viene usata una classe base incapsulante per gestire la porta RS232.

Queste classi e funzioni consentono la dissociazione dalla funzione basso livello legata al hardware.

### 1.4.3 Unità Digitale

#### 1.4.3.1 Descrizione

Gli scopi principali dell'unità digitale sono:

- acquisire e memorizzare echi RF;
- memorizzare dati ancillari che arrivano dalla CDMU;
- fornire segnali di tempificazione a tutto il RADAR.

Inoltre l'unità digitale è capace di operare in due modi differenti:

- **No Presumming:** in questa modalità il RADAR opera normalmente, gli echi sono campionati, formattati insieme con i dati ancillari ed immagazzinati nel disk array;
- **Presumming:** in questa modalità il RADAR opera esattamente come la precedente ma gli echi campionati sono sommati 8 a 8 e solo la somma viene formattata con i dati ancillari e memorizzata sul disk array.

#### 1.4.3.2 Caratteristiche

L'architettura generale dell'unità digitale è riportata **Figura 1- 8: Architettura generale ed interfacce dell'unità digitale.**

I principali sottosistemi che compongono l'unità sono:

- Analog To Digital Converter;
- Timing and Control unit;
- Data Formatting and Disk Array Controller Board.

I sottosistemi menzionati sono implementati per mezzo di due schede: la prima è il Convertitore Analogico Digitale e la seconda è la scheda basata su FPGA.

L'ADC è un kit di valutazione dell'LTC2208-14 della Linear Technologies; il clock di campionamento a 50MHz viene ricevuto dal sottosistema RF ed è trasmesso alla scheda FPGA in formato elettrico LVDS insieme con i campioni a 14 bit del segnale digitalizzato. L'uscita del clk LVDS viene usata dalla scheda FPGA allo scopo di sincronizzare tutti i sottosistemi digitali allo stesso clock di riferimento.

La scheda FPGA è principalmente composta da un FPGA Virtex-4 della Xilinx. I sottosistemi principali, tutti implementati nello stesso FPGA, sono:

- *Timing&Control Unit*, questo sottosistema genera i segnali di timing e di controllo necessari al RADAR allo scopo di operare correttamente: Start\_CGU, Enable\_Autocheck, RF\_Switch, PRI, Start\_ADC, Start\_Formatting e così via. Tutti questi segnali sono derivati dal clock di riferimento ricevuto dall'ADC.  
Inoltre, questo sottosistema è responsabile di reagire ai comandi ricevuti dal Control PC e fornire le risposte adatte. Questo obiettivo è realizzato per mezzo di una custom board composta da un microcontrollore che converte comandi/risposte RS-232 ricevuti dal PC/FPGA in segnali elettrici;
- *CDMU IF-INS/GPS*: questo sottosistema è deputato a ricevere dati ancillari trasmessi dalla CDMU, verificare la loro integrità e immagazzinarli in ordine FIFO per consentire loro la sincronizzazione al timing PRI;

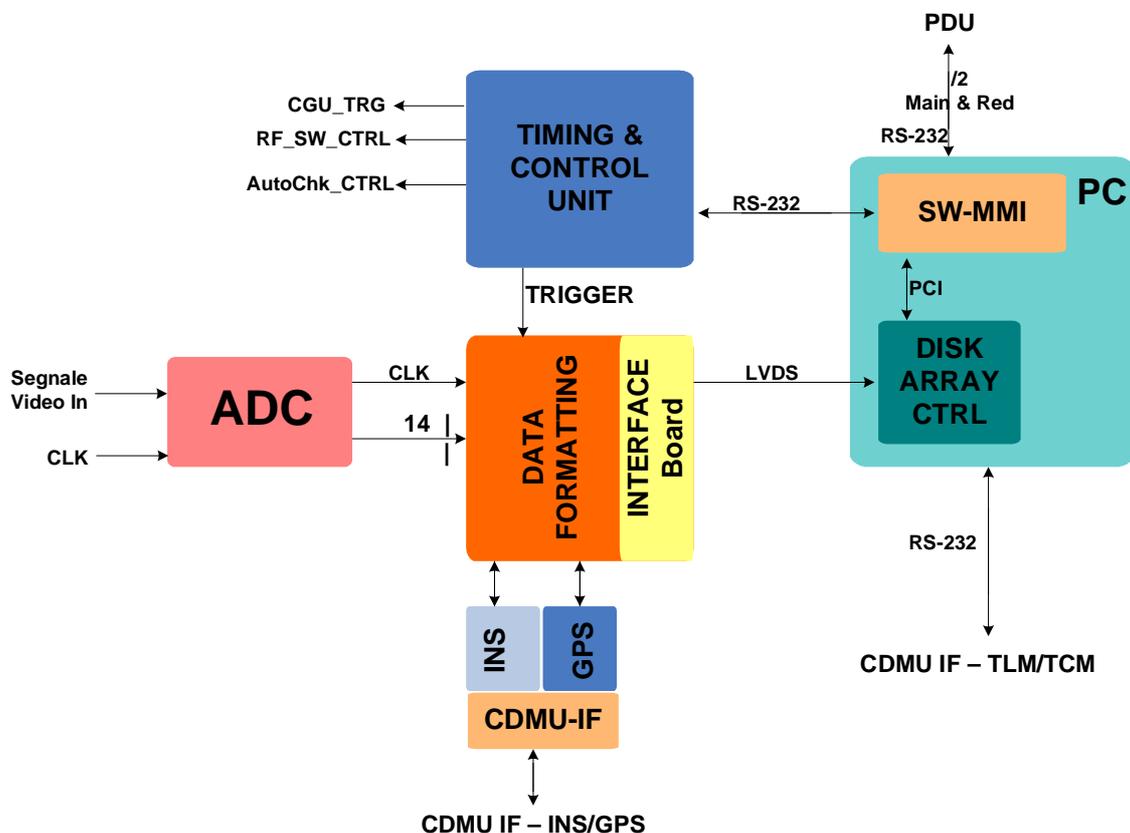


Figura 1- 8: Architettura generale ed interfacce dell'unità digitale

- *Interface to Disk Array Controller*: questo sottosistema è responsabile dell'implementazione del Protocollo del Disk Array Controller e di trasmettere il pacchetto dati PRI formattato.

### 1.4.3.3 **Interfacce**

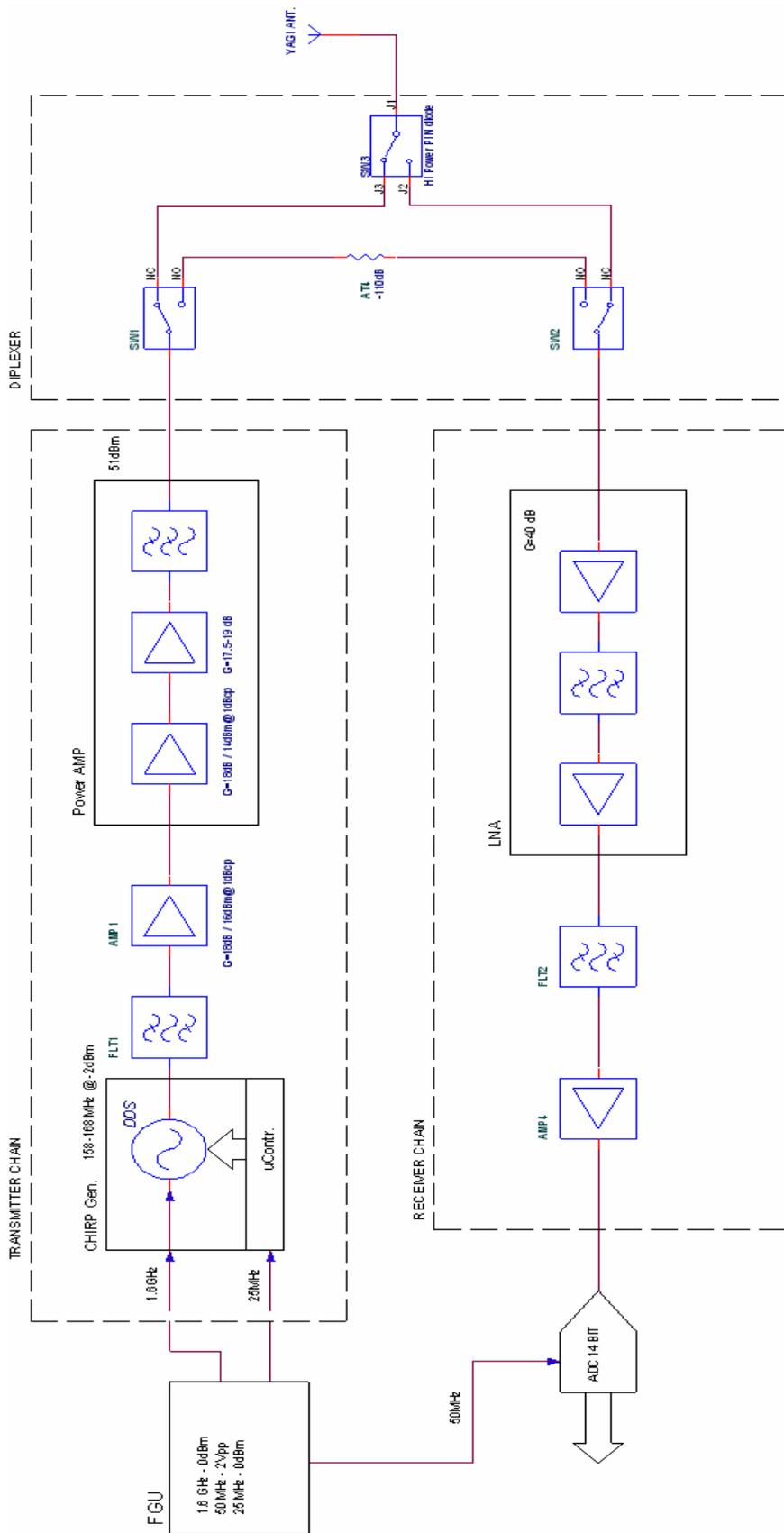
Le interfacce dell'unità digitale verso la CDMU sono:

- 1) *CDMU IF-INS/GPS*: questa interfaccia è una RS-232 operante a 9600 8N1. Questa interfaccia è unidirezionale in modo che i dati ancillari sono trasmessi dalla CDMU e ricevuti dall'unità digitale allo scopo di raccogliarli ed immagazzinarli in un modo sincrono insieme con i relativi echi digitalizzati;
- 2) *CDMU IF-TLM/TLC*: questa interfaccia è una RS-232 operante a 9600 8N1. Il controller PC è responsabile di decodificare e di deformatte correttamente i telecomandi ricevuti dalla CDMU e di trasmetterli all'unità digitale; allo stesso tempo è incaricata di raccogliere i dati trasmessi dall'unità digitale, di formattarli e di trasmetterli alla CDMU.

### **1.4.4 Unità RF**

La RFU (Radio Frequency Unit) è il sottosistema del SORA che genera, trasmette e riceve gli impulsi radar. È costituita dai seguenti blocchi:

- FGU
- Trasmitter Chain (Catena di Trasmissione)
- Receiver Chain (Catena di Ricezione)
- Duplexer
- Antenna



#### 1.4.4.1 **FGU**

L'FGU (Frequency Generator Unit) è l'unità che genera i segnali di sincronismo. L'oscillatore principale è basato su dispositivo al quarzo ultrastabile e termostato OCXO (Oven-Controlled Crystal Oscillator) che genera un segnale a 100MHz. Attraverso divisori di frequenza e dispositivi a PLL, dal segnale di riferimento a 100MHz si ottengono i segnali di clock utilizzati per sincronizzare l'impulso radar trasmesso e i dispositivi digitali e di timing del sistema. Le frequenze di tali segnali sono: 1,6GHz; 50MHz; 25MHz.

#### 1.4.4.2 **Trasmitter Chain**

La catena di trasmissione ha il compito di generare il segnale di chirp, condizionarlo e amplificarlo opportunamente prima che venga mandato in antenna. È costituita da:

- a) chirp generator
- b) filtro passa banda
- c) amplificatore driver
- d) amplificatore di potenza

Il chirp generator è il circuito che genera i segnali di chirp che sono degli impulsi a modulazione lineare .

Il cuore del chirp generator è il dispositivo AD9858 dell'Analog Devices che è un DDS (Direct Digital Synthesizer) ossia un generatore di frequenza a sintesi digitale diretta. Esso è completamente programmabile e può generare attraverso un suo DAC interno una forma d'onda periodica sinusoidale partendo da un singolo oscillatore di riferimento (1,6GHz). Nel nostro caso il DDS è programmato per sintetizzare un segnale sinusoidale con modulazione di frequenza lineare in banda VHF (Very High Frequency, banda 30 ÷ 300 MHz). La programmazione del AD9858 è affidata ad un microcontrollore che ne gestisce tutte le funzionalità ed è pilotato da un segnale di clock di 25 MHz prelevato dal FGU. Il chirp prodotto ha una banda di 10MHz intorno alla frequenza centrale di 163 MHz ed ha una durata di 3µs. il livello di potenza del segnale in uscita dal chirp generator è di -2dBm.

Il filtro passa banda FLT1 serve per eliminare le repliche del segnale di chirp che vengono prodotte con esso. L'amplificatore driver introduce una prima amplificazione per pilotare correttamente l'amplificatore di potenza. Mentre l'amplificatore di potenza innalza il livello del segnale in modo da essere sufficiente a pilotare l'antenna.

#### 1.4.4.3 Receiver Chain

La catena di ricezione ha il compito di condizionare il segnale catturato dall'antenna e portarlo all'ingresso analogico dell'ADC a 14 bit, di cui parleremo nel Capitolo 4, che preleva il clock di campionamento a 50 MHz dall'FGU. È costituito da un LNA (Low Noise Amplifier) cioè amplificatore a basso rumore, un filtro passa banda ed un amplificatore che adatta il livello del segnale in modo da poter pilotare opportunamente il convertitore.

#### 1.4.4.4 Duplexer

Il duplexer o diplexer, permette di commutare la catena di trasmissione, quella di ricezione e l'antenna. Si compone di tre switch SW1, SW2, SW3 e un attenuatore. SW1 e SW2 sono degli interruttori elettromeccanici RF 12VDC 4GHz della RelComm Technologies, che se posti nella posizione NO (Normally Open) settano l'unità nella modalità **autocheck** isolando completamente l'antenna sia dall'apparato di ricezione che da quello di trasmissione. I due NO sono collegati tramite un attenuatore da 110dB che serve a simulare l'effetto della trasmissione e della ricezione sul segnale. In altre parole la modalità **autocheck** chiude il trasmettitore direttamente sul ricevitore attraverso l'attenuatore. Mentre nella posizione NC (Normally Close) connettono rispettivamente la catena di trasmissione all'ingresso J2 e la catena di ricezione all'ingresso J3 di SW3. SW3 è uno switch PIN diode cioè un relay a stato solido ed a secondo della sua posizione, connette l'antenna o alla catena di trasmissione o a quella di ricezione.

	SW1	SW2	SW3
TX	NC	NC	J3
RX	NC	NC	J2
Auto check	NO	NO	x

**Tabella 1- 6:**Commutazione degli switch del Duplexer

#### 1.4.4.5 Antenna

L'antenna è di tipo direttivo Yagi-Uda a 6 elementi con guadagno di 13dB, essa serve ad irradiare i segnali di chirp prodotti dalla catena di trasmissione e catturare gli echi radar di ritorno per fornirli

alla catena di ricezione. Non fa parte del payload ma è montata sul fondo della gondola in modo da consentire il nadir-looking della superficie sorvolata.

## **1.5 Considerazioni ambientali**

La missione SORA avrà luogo a bordo di un pallone stratosferico poiché come discusso nell'introduzione si traggono vantaggi rispetto alle missioni con radar a penetrazione, sia da satelliti che da aerei. Ma la stratosfera presenta caratteristiche ben diverse da quella della troposfera, in particolare:

- bassa pressione 10mbar (e di conseguenza aria rarefatta)
- bassa temperatura, circa  $-2^{\circ}\text{C}$

Una pressione al di sotto di quella atmosferica potrebbe causare lo scoppio dei condensatori elettrolitici. L'alimentatore del PC di Bordo è stato perciò inglobato nella resina poliestere in modo da irrobustire l'involucro dei condensatori. Inoltre eventuali condensatori che non supereranno il test a termovuoto saranno sostituiti con condensatori per applicazioni spaziali.

La rarefazione dell'aria risulta rilevante a fini della dissipazione del calore dei vari dispositivi elettronici di cui si compone il payload. Tali dispositivi in genere presentano sistemi alettati o ventole di raffreddamento che consentono uno scambio di calore per convezione, ma questo meccanismo è possibile solo se è presente un fluido, mentre le ventole a quell'altitudine sono completamente inutili. L'idea è quella di dissipare calore trovando una soluzione che non gravi molto sull'alimentazione del SORA, ma che allo stesso tempo risolva tutte le problematiche termiche che si possano presentare in una missione di questo genere.

Il compito in questo lavoro di tesi, come già detto in precedenza, riguarderà quest'aspetto del problema.

## **2 STUDIO DEL PROBLEMA TERMICO DEI COMPONENTI DEL SORA.**

In questo capitolo faremo per prima cosa un accenno sulla stratosfera, cioè dell'ambiente in cui verrà effettuata la missione, poi andremo ad effettuare un' analisi dal punto di vista della dissipazione di potenza dei vari componenti del radar SORA al fine di ricercare quelli che dissipando maggior potenza producono maggior calore e di conseguenza sono soggetti a surriscaldamento.

Nella seconda parte di questo capitolo invece vedremo una panoramica generale dal punto di vista termico del radar utilizzando foto realizzate tramite termocamera e soprattutto dati provenienti da test realizzati nella camera a termovuoto del C.I.S.A.S di Padova .

Il capitolo si concluderà fornendoci la conoscenza delle zone su cui si dovrà intervenire con sistemi di raffreddamento per evitare problemi di guasto dei vari componenti del radar con conseguente sospensione della missione.

### **2.1 Condizioni ambientali e stratosfera**

La stratosfera è il secondo dei cinque strati in cui è stata suddivisa l'atmosfera (troposfera, stratosfera, mesosfera, termosfera e esosfera).

La stratosfera è caratterizzata da un gradiente termico verticale positivo e molto piccolo, cioè in essa la temperatura aumenta leggermente con la quota, contrariamente a quanto avviene nello strato sottostante. Questo aumento di temperatura con la quota è dovuto alla dissociazione delle molecole di ozono presenti nella stratosfera. L'ozono è un gas le cui molecole sono formate da tre atomi di ossigeno: quando i raggi ultravioletti emessi dal Sole vanno ad urtare contro le molecole di ozono, queste si dissolvono, ovvero i tre atomi che le compongono si dividono. Il processo ha due effetti: la produzione di calore, tanto più grande quanto maggiori sono le dissociazioni, e l'arresto dei raggi

ultravioletti che sono dannosi per la vita. L'emanazione di calore in seguito alla dissociazione dell'ozono ha effetto di riscaldare l'atmosfera circostante, per cui nella stratosfera la temperatura aumenta con la quota.

La stratosfera inizia intorno ai 12 km (8 km ai poli e 20 km all'equatore) e termina ad un'altitudine di circa 50 km. Al di sopra di essa troviamo la stratopausa che, a differenza della tropopausa, non ha dimensioni verticali, neppure limitate; è una zona di transizione che divide la stratosfera dallo strato immediatamente superiore, la mesosfera.

La stratosfera si estende da 12-20 Km a circa 50 Km e mostra un andamento di temperatura abbastanza costante, almeno fino all'altezza di 30 Km, dove la presenza dell'ozono si fa sentire con notevoli assorbimenti di radiazione UV e conseguente riscaldamento.

Dal punto di vista dinamico, non assistiamo più a moti convettivi come nella troposfera o alle forti correnti a getto poco sotto la tropopausa; la stratosfera è una zona sostanzialmente in quiete, che non risente del gradiente barico presente ad altitudini più basse causato dall'irraggiamento terrestre (e solare di conseguenza). Il confine della stratosfera, detto stratopausa, si trova poco sopra lo strato principale di ozono, dove la temperatura raggiunge il suo massimo, attorno agli 0°C (gradiente termico negativo). Oltre questa quota il gradiente termico diventa di nuovo positivo, quindi la temperatura riprende a diminuire con l'altezza. La stratosfera è una regione molto secca.

La formazione di sistemi nuvolosi è molto rara (anche la bassa densità contribuisce a ciò), anche se ci sono delle eccezioni. Le nubi stratosferiche polari sono sottili sistemi nuvolosi sopra le regioni polari che si formano in piena stratosfera, a quote comprese tra 15 e 25 km, dove le temperature sono molto basse (circa -78°C al polo nord e - 88°C al polo sud). A seconda della temperatura alla quale si formano e della loro composizione, che varia da puro vapore acqueo ad una miscela di acido nitrico e solforico, possiamo distinguere tre tipi diversi di nubi, il cui aspetto si mostra quando il Sole è sotto l'orizzonte ed esse ne vengono illuminate dal basso, diffondendo verso terra la loro luce ed evidenziando la loro tenue struttura.

In definitiva la missione Sora che si svolge nella stratosfera ad un'altezza di 36 Km dal suolo presenta due condizioni che ci interesseranno particolarmente nei calcoli termici che affronteremo in seguito e che possono essere riassunte in una temperatura intorno ai meno due gradi centigradi e una pressione di 10 mbar (cioè aria rarefatta).

Una pressione così bassa non permette l'utilizzo di ventole di raffreddamento, mentre una temperatura bassa è utilizzabile per il raffreddamento dei componenti del SORA.

## 2.2 Analisi termica dei vari componenti del SORA.

Il SORA come spiegato brevemente nel primo capitolo è composta da tantissimi componenti elettrici che dissipano potenza. Dalla dissipazione di potenza potremo ricavarci il contributo termico degli oggetti e delle zone a rischio surriscaldamento che necessitano di essere raffreddate, per evitare rischi di guasti di alcune apparecchiature elettriche del radar che potrebbe inficiare la missione.

Item	Sottosistema	Potenza dissipata( Watt)
Ad converter	Elettronico digitale	1
Scheda disk controller	Elettronico digitale	25
Scheda FPGA	Elettronico digitale	15
PC (piastra madre processore e accessori)	Computer di controllo	12
Dischi SSD	Computer di controllo	0.7-2.5
FGU - CGU	Parte a Radio Frequenza	5 FGU 11 CGU
RF Power Amplifier	Parte a Radio Frequenza	10
LNA - RF Chain – Filter	Parte a Radio Frequenza	2
PDU	Power distribution unit	1.5

Tabella 2- 1: Componenti del SORA con relative dissipazioni di potenze

Nella prima versione del SORA erano state predisposte nelle zone a rischio riscaldamento termico delle bandelle di rame (che si trovavano sul disk array controller) e un ponte in rame (montato su delle alette che coprivano il Northbridge, il Southbrige e la CPU) che scaricavano il calore acquisito sulla piastra rimovibile su cui poggiano tutti i componenti del SORA.

I test a cui faremo riferimento in questo capitolo sono stati effettuati con il sistema di raffreddamento sopra descritto.

## 2.3 Analisi termica della struttura completa

### 2.3.1 Test nella camera termovuoto

Il radar è stato portato nei laboratori dell'Università di Padova per i test in termovuoto. Sono stati posizionati 7 sensori di temperatura (PT100) per controllare altrettanti punti critici del radar. Di seguito è riportata la tabella di corrispondenza di tali sensori:

No. sensore	Posizione
PT 1	Disk array controller lamina di rame (BASSO)
PT 2	Disk array controller lamina di rame (ALTO)
PT 3	Piastra
PT 4	Amplificatore RF
PT 5	CGU (DDS)
PT 6	Disk array controller scheda
PT 7	PC lamina di rame

**Tabella 2- 2:** Posizione dei sensori di temperatura

Alcuni dettagli del posizionamento dei sensori di temperatura possono essere dedotti dalle seguenti **Figura 2- 1:** Posizione del sensore sul ponte in rame e **Figura 2- 2:** Posizione del sensore sul piatto removibile.

Il radar è stato poi posizionato nella camera termovuoto come mostrato nella **Figura 2- 3:** Il radar SORA nella camera termovuoto dell'università di Padova.

La camera è stata chiusa e si è portata la pressione interna al valore operativo di missione di circa 10 mbar. Gli andamenti delle temperature dei termistori posizionati sul radar è mostrato in **Figura 2- 4:** Andamento delle temperature dei 7 termistori posizionati sul radar SORA ( temperatura ambiente, pressione 10 mbar), dove si nota che il termistore n. 6 si porta ad una temperatura molto

alta di circa 82 °C. In questa prima prova si è lasciato il radar a temperatura ambiente, come si può evincere dal termistore n. 3 che risulta sempre intorno a 22 °C.

I salti nelle temperatura n. 4 corrispondono a successive accensioni e spegnimenti del trasmettitore radar.

La notte del 19 febbraio il radar è stato lasciato nella camera termovuoto a bassa pressione.

I test in termovuoto sono ricominciati la mattina del 20 febbraio, riaccendendo il radar a temperatura ambiente e pressione intorno a 10 mbar. L'andamento delle temperature dei termistori posizionati sul radar è mostrato in **Figura 2- 5: Andamento delle temperature dei 7 termistori sul radar SORA ( temperatura ambiente e poi bassa temperatura, pressione 10 mbar)**.

In mancanza di azoto per il raffreddamento si è prima acceso il radar a bassa pressione (10 mbar) ed a temperatura ambiente. L'andamento delle temperature nella prima parte (circa 1 ora e 47 minuti) del grafico di **Figura 2- 5: Andamento delle temperature dei 7 termistori sul radar SORA ( temperatura ambiente e poi bassa temperatura, pressione 10 mbar)** è simile a quelle misurate il giorno prima.

La massima temperatura si riferisce al termistore n. 6 e vale circa 90.5 °C. La piastra raggiunge la temperatura massima di 28.7 °C.

Dopo circa 1ora e 47 minuti il radar è stato spento e si è cominciato ad usare l'azoto per raffreddare il radar.

Purtroppo per un non ottimale contatto fra la piastra del radar e quella della camera a termovuoto, il raffreddamento del radar non è stato efficiente ed è avvenuto molto lentamente. Dopo circa 2 ore dallo spegnimento del radar, la piastra dello stesso aveva raggiunto la temperatura di -2.3 °C.

A questo punto, dato il limitato tempo a disposizione si è deciso di riaccendere il radar e si sono registrati gli andamenti di temperatura dell'ultima parte del grafico di **Figura 2- 5: Andamento delle temperature dei 7 termistori sul radar SORA ( temperatura ambiente e poi bassa temperatura, pressione 10 mbar)**.

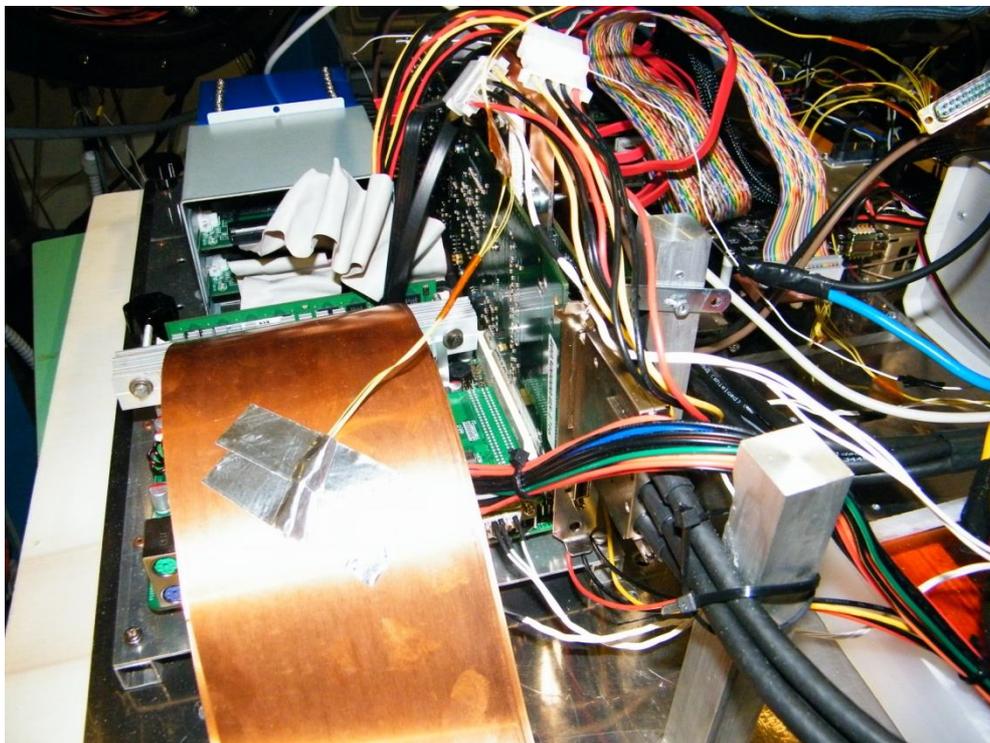
In particolare dopo 1.8 ore (1ora e 48 minuti) di accensione, la massima temperatura raggiunta (PT 6) è stata di 73.4 °C. Gli andamenti delle temperature di tutti i termistori durante questa fase (bassa temperatura e pressione) sono riportati in **Figura 2- 6: Andamento delle temperature dei 7 termistori posizionati sul radar SORA ( bassa temperatura e pressione di 10 mbar)**.

Infine, in

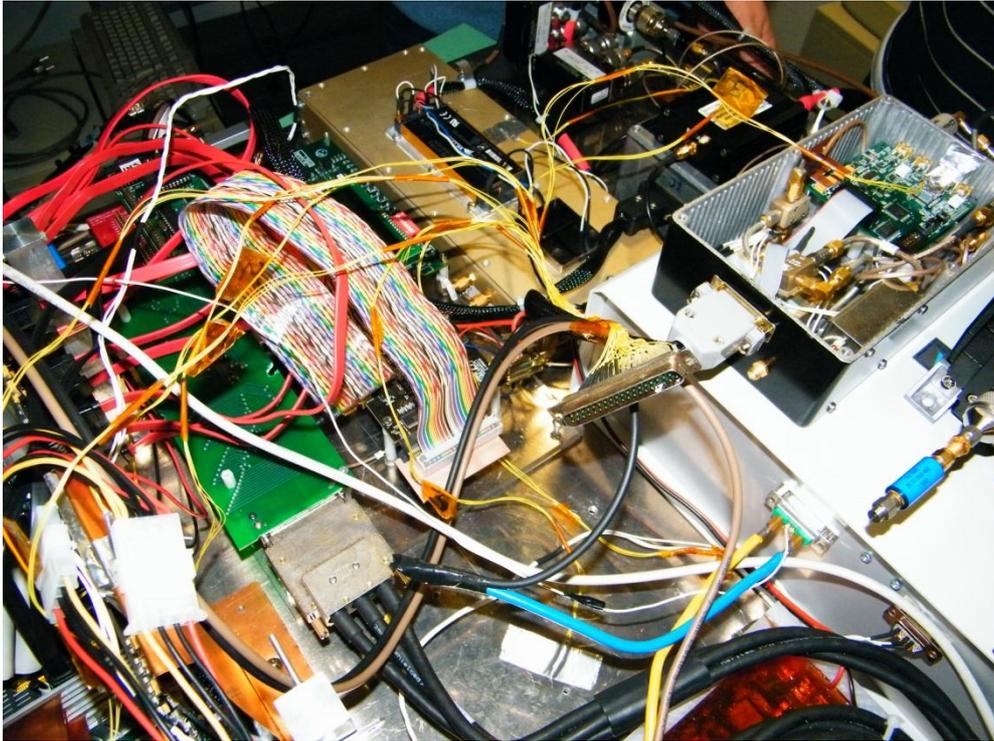
Figura 2- 7: Confronto dell' andamento delle temperature del termistore 6

è riportato il confronto dell'andamento della temperatura del termistore 6 in condizione di temperatura ambiente e bassa temperatura.

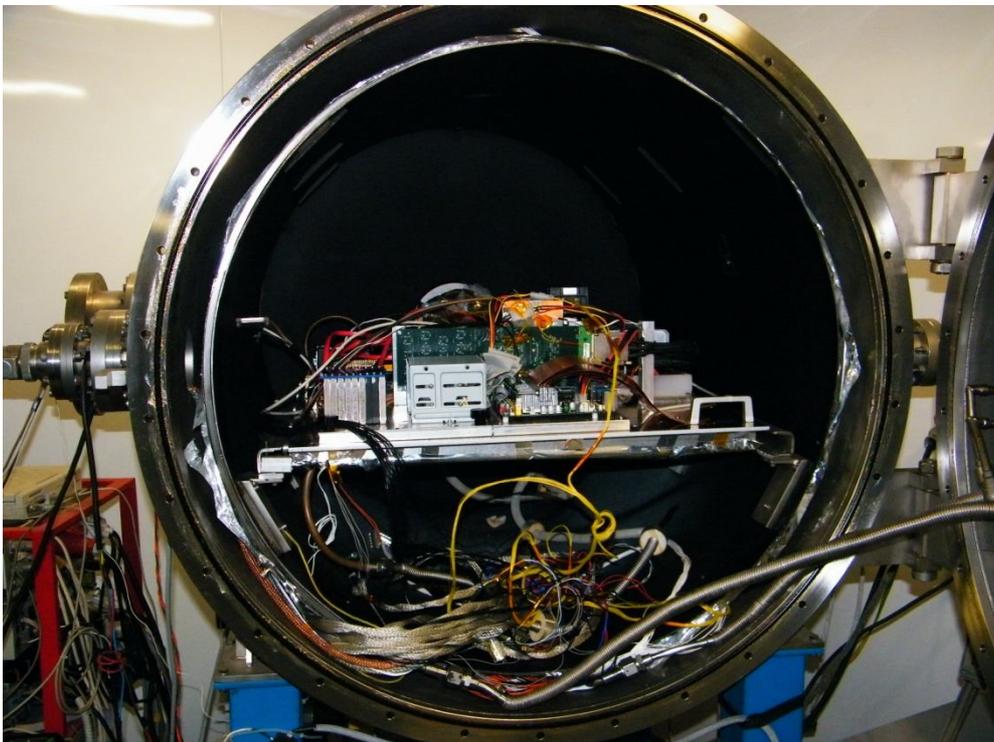
Tutte le analisi riguardanti i componenti che necessitano di essere raffreddati sono rimandate al paragrafo conclusivo di questo capitolo.



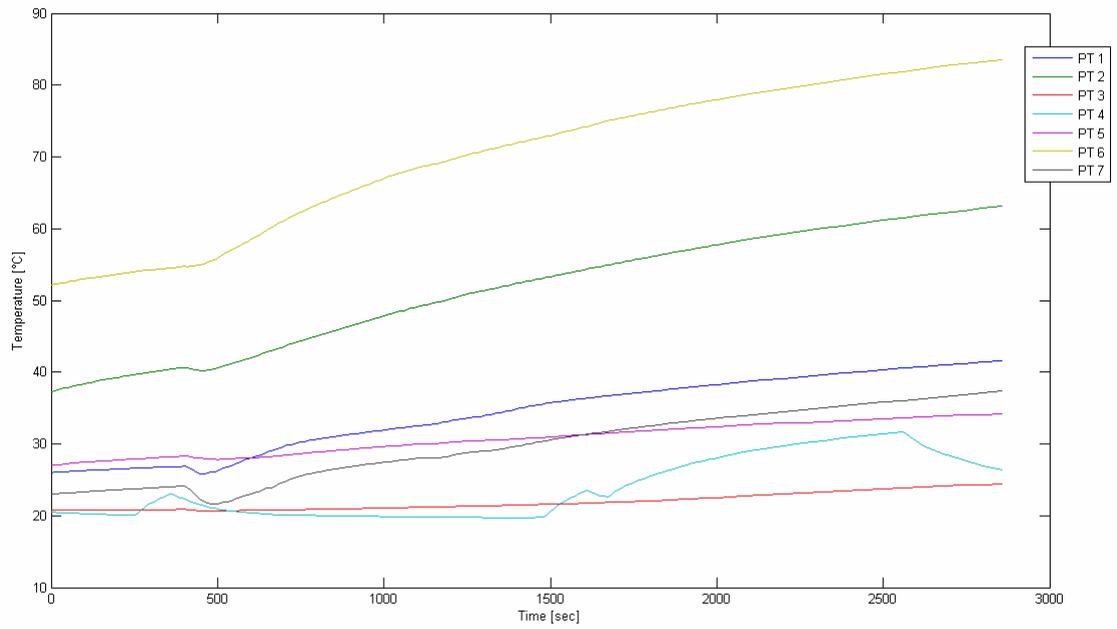
**Figura 2- 1:** *Posizione del sensore sul ponte in rame*



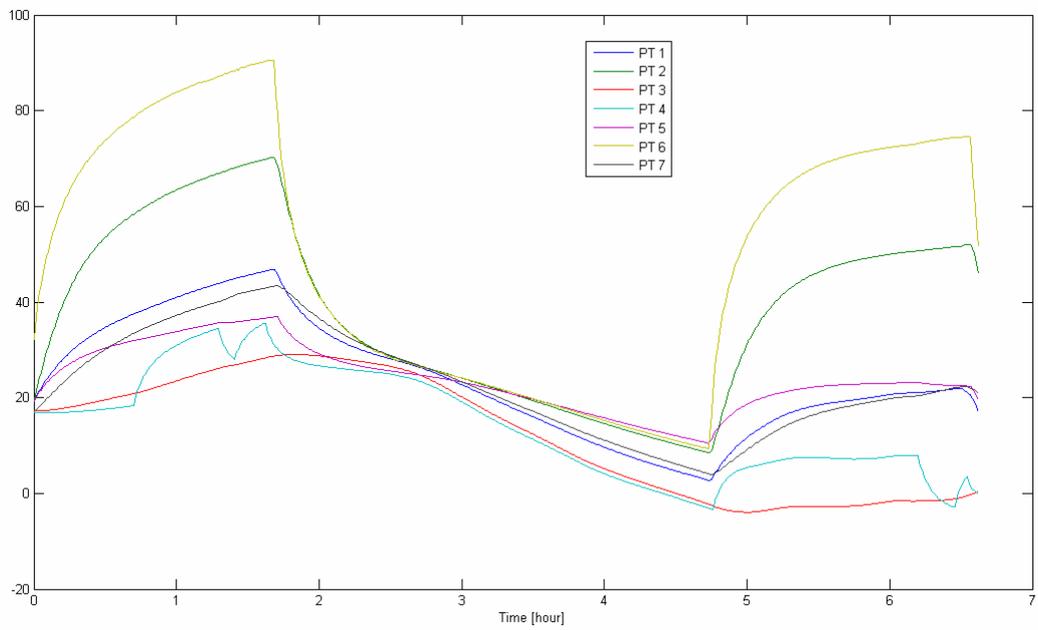
**Figura 2- 2:** *Posizione del sensore sul piatto removibile*



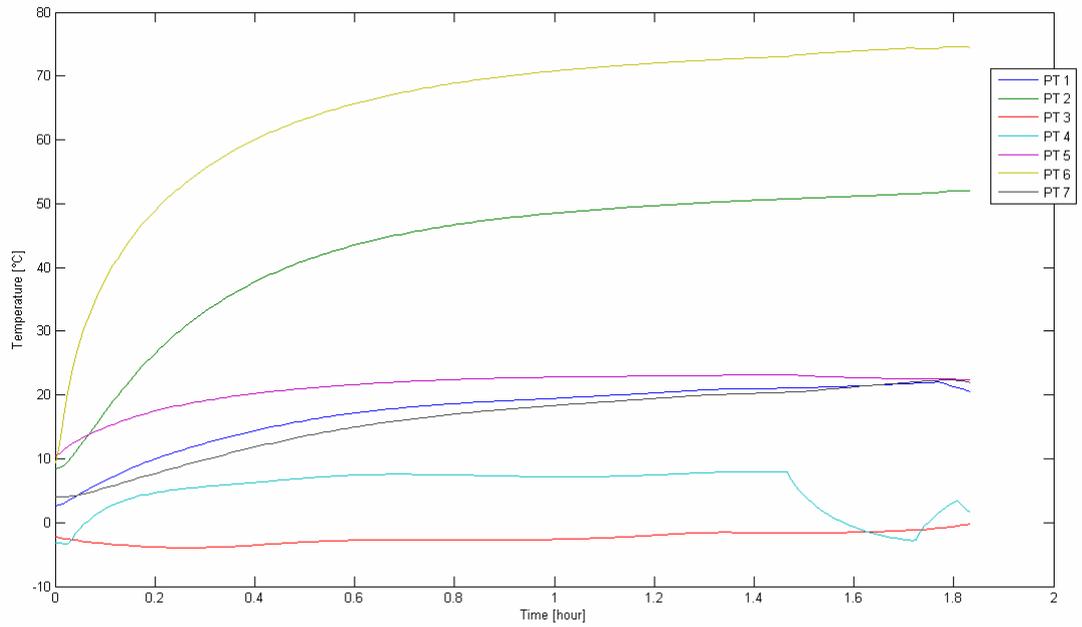
**Figura 2- 3:** *Il radar SORA nella camera termovuoto dell'università di Padova.*



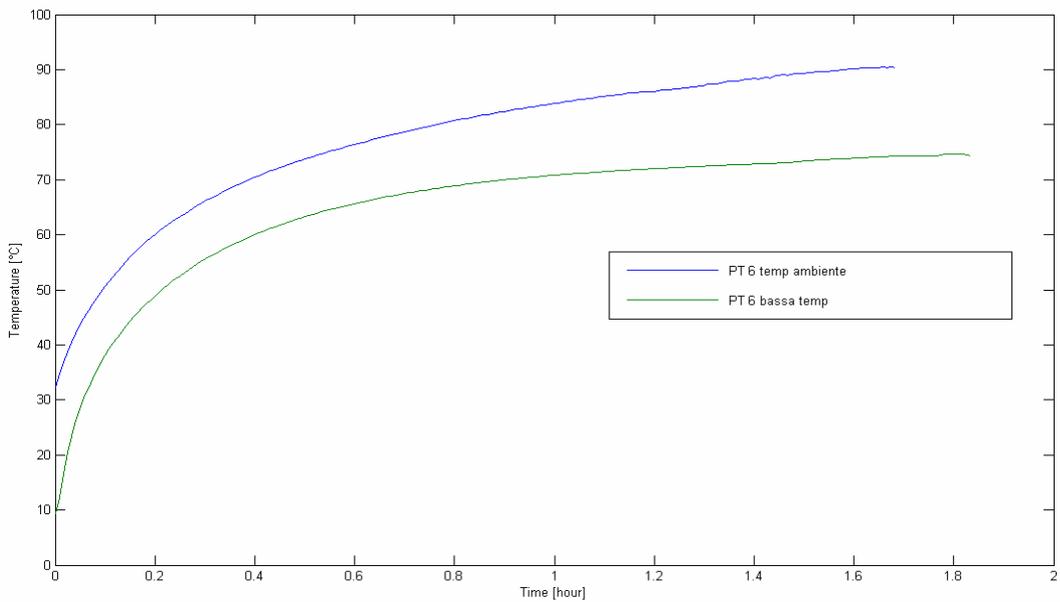
**Figura 2- 4:** *Andamento delle temperature dei 7 termistori posizionati sul radar SORA ( temperatura ambiente, pressione 10 mbar)*



**Figura 2- 5:** *Andamento delle temperature dei 7 termistori sul radar SORA ( temperatura ambiente e poi bassa temperatura, pressione 10 mbar)*



**Figura 2- 6:** Andamento delle temperature dei 7 termistori posizionati sul radae SORA ( bassa temperatura e pressione di 10 mbar)



**Figura 2- 7:** Confronto dell' andamento delle temperature del termistore 6

### 2.3.2 Incertezza dovuta alla misurazione della temperatura con sensori PT100

Nel effettuare la misura di qualsiasi grandezza si ha una incertezza che deve essere associata alla misurazione.

In questo caso l'incertezza dovuta alla misura di temperatura è attribuibile all'incertezza derivante la resistenza utilizzata dal sensore che rivela queste temperature.

I Termometri a Resistenza di Platino (PRT Platinum resistance thermometers) o Termoresistenza di Platino (Pt) offrono eccellente precisione su un largo range di temperatura (da -200 a + 850°C). Sensori standard di questo tipo sono prodotti da molte aziende con diverse specifiche e diversi package per adattarsi alla maggior parte delle applicazioni. Il principio di funzionamento è misurare la resistenza di un elemento di platino. Il tipo più comune (Sensore PT100) ha una resistenza di 100 Ohm a 0°C. e 138.4 Ohm a 100°C. Esistono anche sensori PT1000 che hanno una resistenza di 1000 Ohm a 0°C.

Il rapporto tra la temperatura e la resistenza può considerarsi lineare su un limitato range di temperatura. Ad esempio assumendo che sia lineare tra 0°C e 100°C, l'errore a 50°C è di 0.4°C. Per misure di precisione non è necessario linearizzare la resistenza per avere un lettura di temperatura accurata. La linearizzazione è fatta automaticamente dal software quando viene utilizzato un condizionatore di segnale della Pico. L'equazione di linearizzazione è:

$$R_t = R_0 * (1 + A * t + B * t^2 + C * (t - 100) * t^3)$$

Dove:

$R_t$  è la resistenza alla temperatura  $t$ ,

$R_0$  è la resistenza a 0 °C, e

$$A = 3.9083 \text{ E-}3$$

$$B = -5.775 \text{ E-}7$$

$$C = -4.183 \text{ E-}12 \text{ (sotto lo } 0 \text{ °C), o}$$

$$C = 0 \text{ (sopra lo } 0 \text{ °C)}$$

Per un Sensore PT100 la variazione di temperatura di 1°C provoca la variazione della resistenza di 0.384 Ohm, per cui anche un minimo errore nella misura della resistenza (per esempio la resistenza di contatto del connettore del sensore) può provocare un rilevante errore nella misura della temperatura. Per misure di precisione i sensori hanno 4 fili, due per forzare la corrente e due

per misurare la tensione sulla resistenza di platino. Esistono anche sensori a tre fili, che presuppongono che la resistenza dei tre fili sia la stessa, cosa non sempre vera.

La corrente attraverso il sensore produce del calore: per esempio una corrente di 1mA forzata sulla resistenza da 100Ohm genera un calore di 100  $\mu$ W. Se l'elemento sensore non è in grado di dissipare questo calore sarà registrata una temperatura artificialmente più alta. Questo effetto può essere contenuto sia utilizzando sensori di grandi dimensioni sia assicurandosi che il contatto con il suo ambiente sia buono.

Forzando una corrente di 1mA si otterrà un segnale di soli 100mV. Siccome il cambio di resistenza per variazioni di un grado celsius è molto piccolo, un piccolo errore nella misura della tensione ai capi del sensore produrrà un grande errore nella misura della temperatura. Per esempio un errore di 100  $\mu$ V nella misura di tensione causerà un errore di 0.4°C nella misura della temperatura. Per cui un errore di 1  $\mu$ A della corrente forzata produrrà un errore di 0.4°C nella misura della temperatura.

Visti i bassi livelli dei segnali in gioco sarà opportuno tenere i cavi lontano da cavi elettrici, motori, commutatori e qualsiasi dispositivo che possa causare l'emissione di rumori elettrici. Può essere utile in tal caso utilizzare cavi schermati con lo schermo a massa per ridurre eventuali interferenze. Quando si usano cavi lunghi bisogna assicurarsi che lo strumento di misura sia in grado di gestire la resistenza di questi cavi. La maggior parte degli strumenti riescono a compensare fino a 100 Ohm per elemento.

Per ogni applicazione va scelto con cura il tipo di sonda e il cavo più appropriato. Le principali considerazioni riguardano il range di temperatura da misurare e l'esposizione della sonda a liquidi (corrosivi o conduttivi) e a metalli. Chiaramente eventuali saldature sul cavo non dovrebbero essere esposte a temperature superiori a 170°C.

Nel nostro caso un sensore PT100 fornisce un valore di misura associato ad un valore di incertezza molto piccolo rispetto agli scopi prestabiliti per il nostro progetto, in definitiva il sensore offre prestazioni esuberanti rispetto alle nostre necessità.

### 2.3.3 Foto tramite termocamera

Prima di effettuare i test nella camera a termovuoto sono state scattate delle foto tramite termocamera. Queste foto non rappresentano punto punto le varie temperature presenti sul radar, ma nel loro complesso ci forniscono una panoramica termica generale del SORA dandoci un'indicazione sui componenti che sono maggiormente soggetti al surriscaldamento.

#### 2.3.3.1 Dettagli della termocamera



**Figura 2- 8:** Termocamera PCE-TC 3

La termocamera utilizzata per le foto è la PCE-TC 3, il cui nucleo è ad alta risoluzione e presenta un microbolometro non refrigerato (Uncooled Focal Plane Array) con una risoluzione di 160 x 120 pixel. La termocamera ha un disegno ergonomico che ne facilita l'uso con una sola mano. Grazie al suo peso di 750 g è ideale per le analisi di macchine e impianti, per la termografia da costruzione e tante altre applicazioni. La termocamera PCE-TC consente di ottenere una precisione di misurazione di massimo  $\pm 2$  °C o  $\pm 2$  % in un campo di temperatura da -10 °C fino a +250 °C, con una sensibilità di solo 0,15 °C.

Con questa termocamera si ha la possibilità di trovare e vedere in modo automatico il punto di misurazione più caldo e quello più freddo (Hot-Spot e Cold Spot find), e inoltre può misurare la differenza di temperatura. Il puntatore laser integrato le consente in modo supplementare di situare in modo preciso il campo di misura durante l'analisi o la registrazione di immagini. Le immagini registrate dalla termocamera possono essere trasmesse al computer o portatile mediante la memory card SD. E' possibile effettuare anche una misurazione continua attraverso la porta USB che collega la camera al computer.

Infine tramite un software di valutazione dei dati si potrà analizzare in modo esteso le immagini termiche.

### 2.3.3.2 **Analisi delle foto**

Di tutte le foto effettuate quattro risaltano all'attenzione perché presentano temperature superiori alla media.

Nella **Figura 2- 9: Alimentatore ATX** si osserva un particolare dell'alimentatore del PC di bordo ATX DC-DC, mentre nella **Figura 2- 10: Termofoto dell'alimentatore ATX** si possono notare due zone in particolare che arrivano a raggiungere temperature elevate e si trovano entrambe all'interno dell'alimentatore. La temperatura massima raggiunta è di  $62.8C^{\circ}$ , cioè la zona contraddistinta dal colore rosso e bianco, tuttavia questa temperatura rientra ampiamente nella norma, anche perché il costruttore si è mantenuto basso visto che il prodotto è stato testato a  $80C^{\circ}$  e non ha dato problemi.

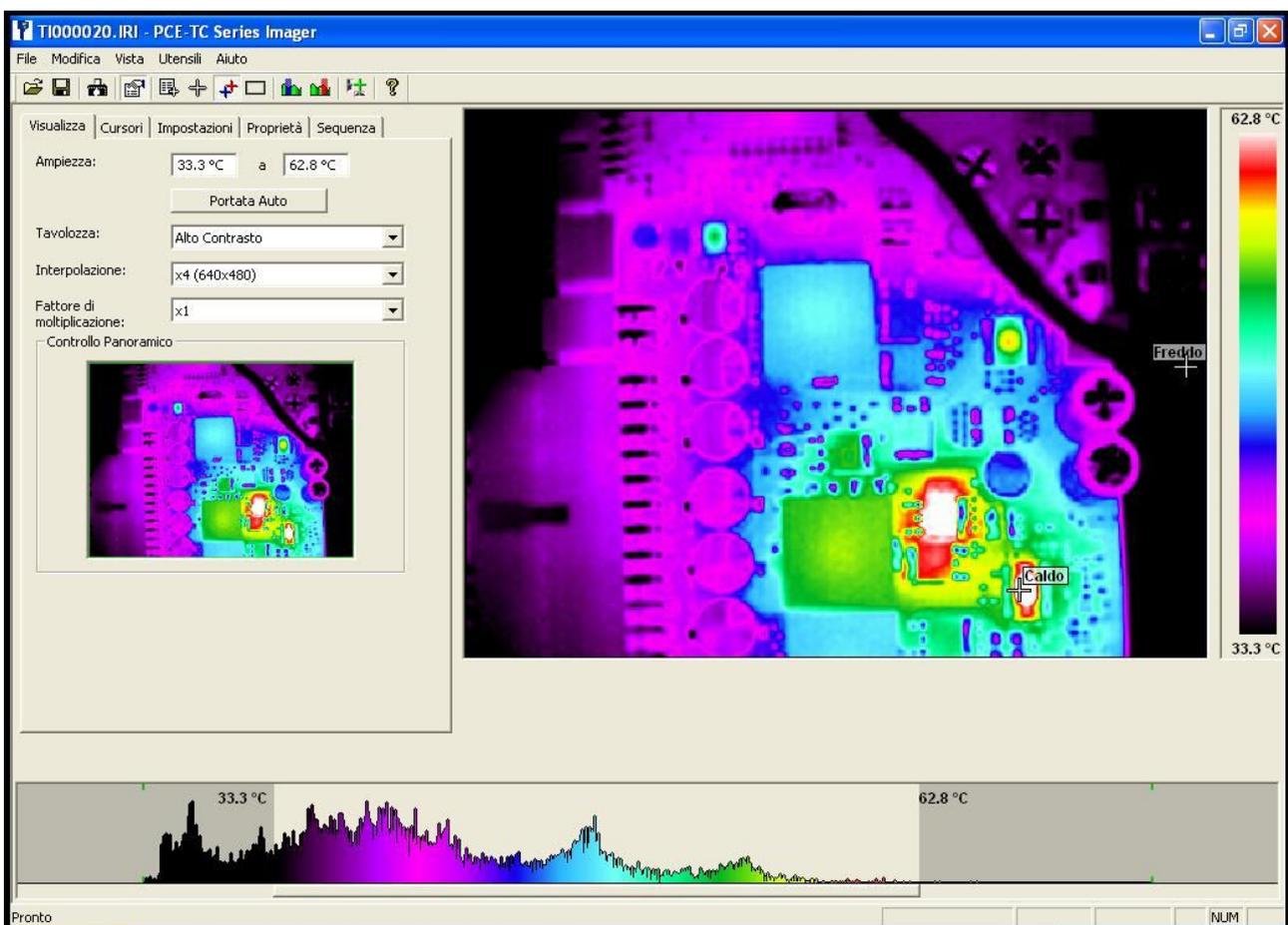
Dalle caratteristiche tecniche della ATX riporto due importanti voci:

- 1) potenza di uscita max 250 Watt / 300 watt di picco
- 2) temperatura di funzionamento da -40 a 125 gradi Celsius (accumulo), -40 - 65C (operativo).



**Figura 2- 9:** Alimentatore ATX

Quindi possiamo già dire che questo componente non ci crea problemi dal punto di vista termico e quindi non ha bisogno di essere raffreddato.



**Figura 2- 10:** Termofoto dell'alimentatore ATX

Un altro elemento che fornisce temperature di valore elevato è il Disk Array Controller, realizzato con una scheda Conduant (**Figura 2- 11: Disk array controller**) che dalle caratteristiche tecniche assorbe una potenza di 25 watt.



**Figura 2- 11:** *Disk array controller*

Dalle foto realizzate con la termocamera ( **Figura 2- 12: Termofoto del disk array controller (fronte)** e **Figura 2- 13: Termofoto del disk array controller (retro)**) si evince chiaramente che la zona che maggiormente si surriscalda è quella designata dai colori rosso e bianco. Sia nella parte anteriore che posteriore del disk array. La temperatura massima raggiunta in questa termofoto è di 71 C° mentre quella minima è di 30.2C°.

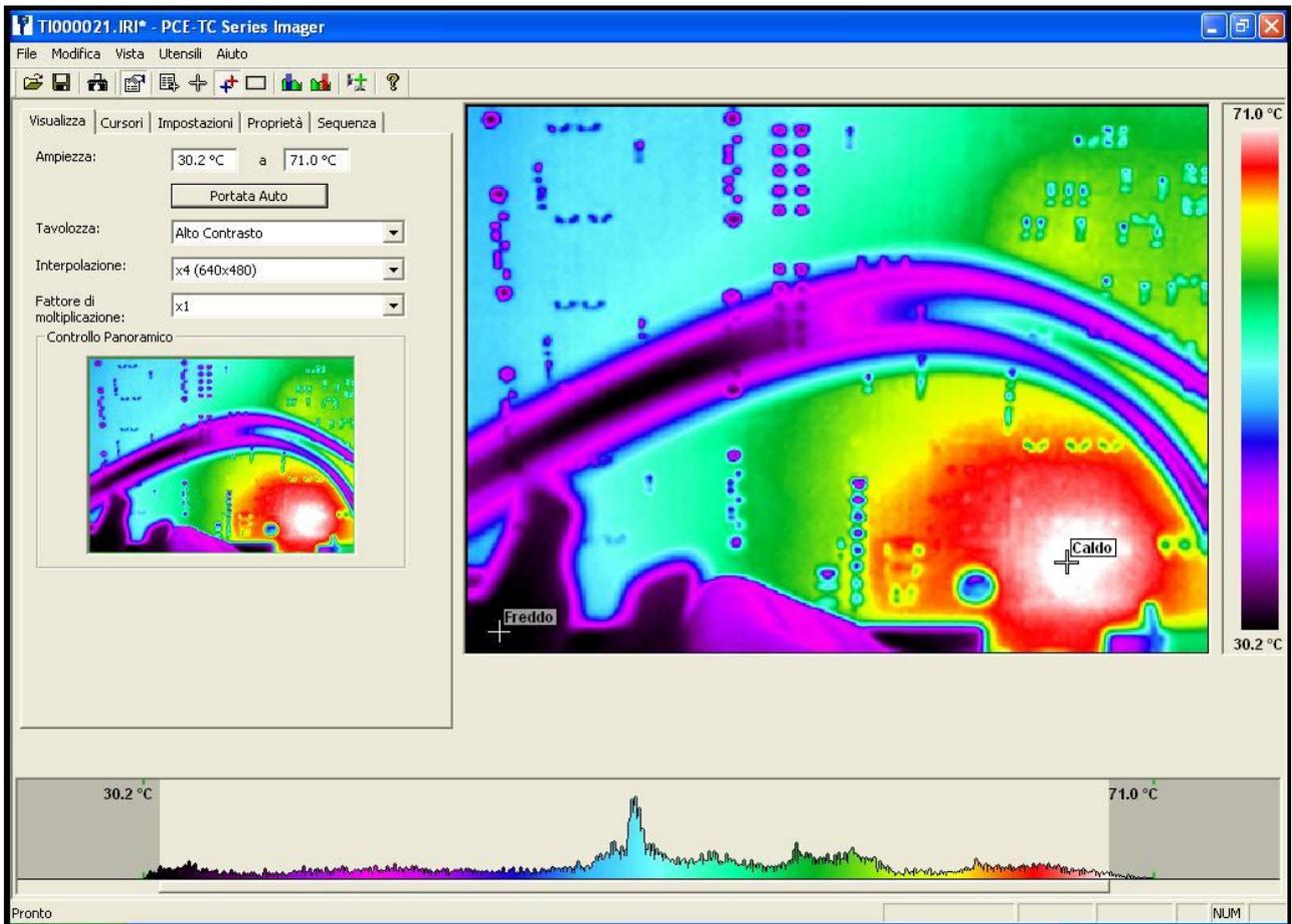
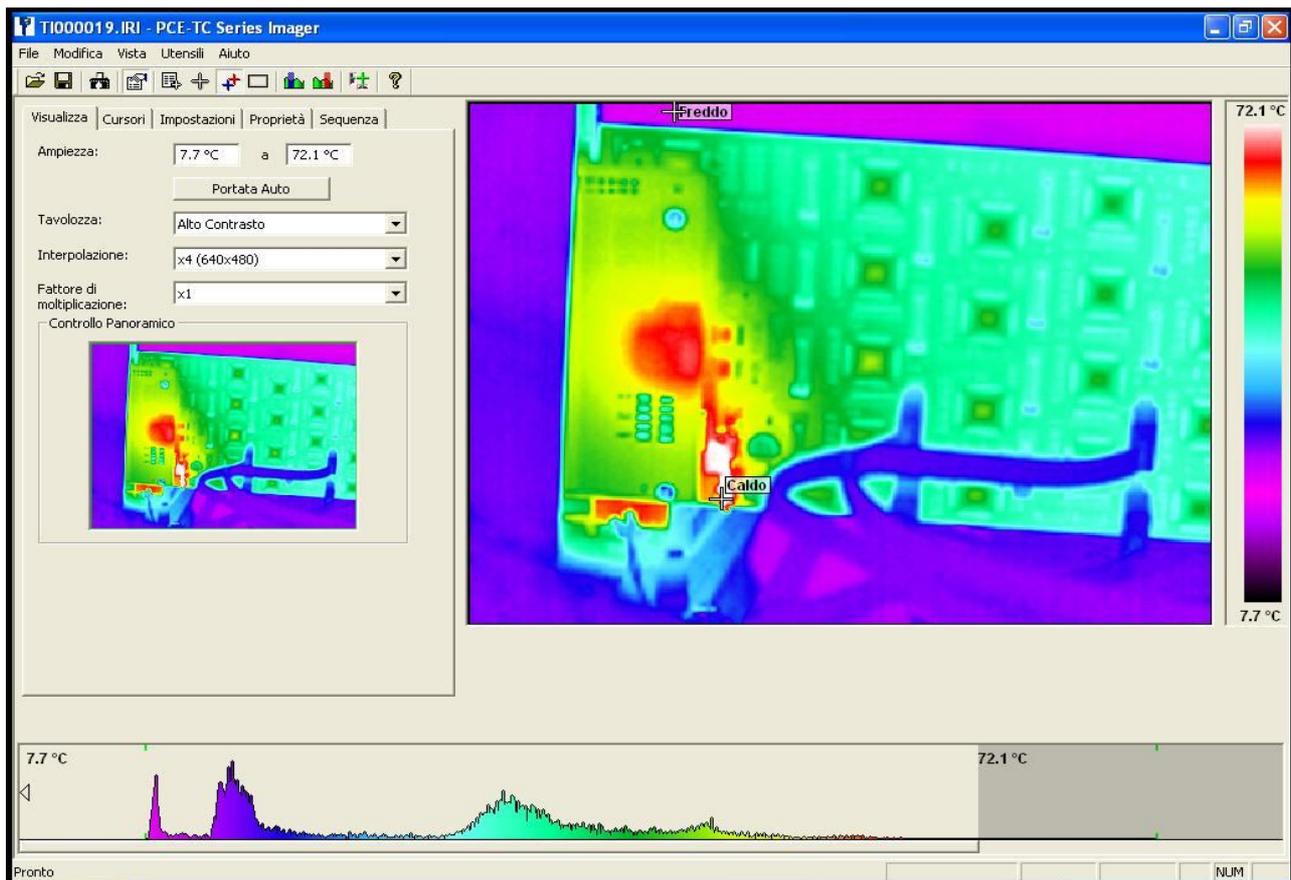


Figura 2- 12: Termofoto del disk array controller (fronte)



**Figura 2- 13:** Termofoto del disk array controller (retro)

Infine l'ultima termofoto ( **Figura 2- 14:** *Termofoto della scheda madre, processore e ponte in rame*) riguarda una panoramica della scheda madre , in particolare l'insieme della parte alettata più il ponte di rame utilizzato per disperdere il calore dalla parte più delicata (cioè quella contenente il processore) alla piastra di alluminio.

In quest'ultima termofoto si può notare che il ponte in rame sembra funzionare bene visto che la temperatura massima è di 43C° mentre quella minima non supera i 25C°.

Questa termofoto tuttavia contrasta con i risultati ottenuti nella camera a termovuoto dove le temperature raggiunte dal ponte (sul quale è stato posizionato un termistore) risultano notevolmente maggiori .

Tuttavia come già detto all'inizio di questo paragrafo le termofoto sono state utilizzate prima di portare il SORA nella camera a termovuoto proprio per avere un'idea di fondo su quali siano le zone del radar soggette a surriscaldamento.

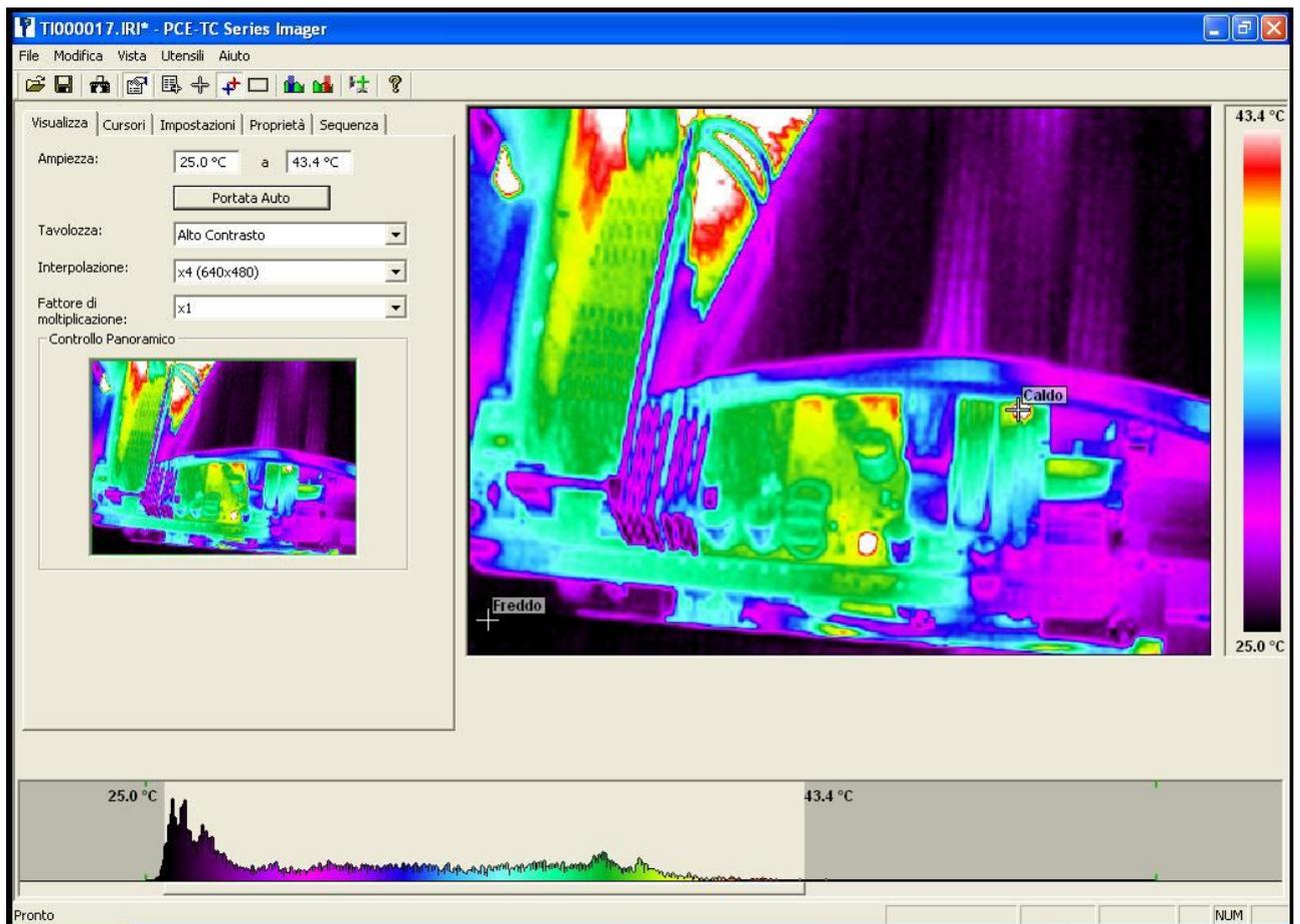


Figura 2- 14: Termofoto della scheda madre, processore e ponte in rame

## 2.4 Risultati dell'analisi termica

Tutti i risultati e i dati analizzati in questo capitolo ci portano a scoprire quali sono le aree del radar soggette a maggior stress dal punto di vista termico.

Sia dalle prove a termovuoto che attraverso le termofoto risulta che il componente che raggiunge la temperatura più alta è il disk array, ed è proprio su quest'ultimo che andranno concentrati maggiori sforzi e approntate le soluzioni più efficaci per raffreddarlo. Nella versione precedente del radar si è pensato di utilizzare delle bandelle di rame collegate con la piastra, questa soluzione risulta funzionale perché effettivamente riesce ad abbassare la temperatura della scheda, tuttavia come mostrato anche dalle prove a termovuoto si raggiungono comunque temperature maggiori di 70C° per un tempo di 3000 s circa simulando le stesse condizioni ambientali in cui si troverà ad operare il radar durante la missione. Pertanto è assolutamente necessario intervenire sulla Conduant per abbassare la sua temperatura a livelli accettabili.

L'altro componente che richiede interventi per il raffreddamento è la parte dell'OBC contenente la scheda madre ed il processore, nella versione precedente si era predisposto un ponte di rame che collegava le alette di raffreddamento situate sopra il processore ad una parte della lamiera di alluminio vuota nei dintorni (dalle varie foto esposte nei capitoli precedenti si vede chiaramente questo dettaglio), questo ponte realizzato con bandelle di rame serve per disperdere il calore dalla scheda madre alla piastra in alluminio ed in parte ha assolto questo compito. Tuttavia il sensore è stato predisposto sul ponte di rame, ma probabilmente la temperatura sulle alette e sul processore potrebbe essere maggiore (anche di molto), pertanto un intervento per aumentare l'efficienza del ponte o una soluzione alternativa che permette un raffreddamento maggiore va studiata e applicata.

Infine non è necessario intervenire sull'alimentatore DC/DC perché dalla termofoto risulta evidente che ha delle aree che raggiungono una temperatura alta ma che rientra pienamente nelle sue temperature di funzionamento.

### **3 PRODOTTI E SOFTWARE ATTUALMENTE DISPONIBILI SUL MERCATO.**

Nel terzo capitolo dopo un cenno sui principi termodinamici andremo a ricercare prodotti e software attualmente disponibili sul mercato atti a risolvere e analizzare il problema di surriscaldamento di componenti elettronici, concentrandoci soprattutto su quelli adatti ad operare alle condizioni ambientali in cui avrà luogo la missione.

In primis daremo una descrizione generale dei singoli sistemi per poi andare a valutare le varie proposte che il mercato ci offre.

#### **3.1 Cenni di termodinamica**

Il trasferimento di calore avviene per conduzione, convezione e radiazione.

Giacché tutte le apparecchiature elettroniche generano del calore, esiste il rischio di surriscaldamento se non si provvede a dei percorsi adeguati per condurre il calore dalle zone a rischio alla superficie appropriata per la dispersione del calore.

##### **3.1.1 Conduzione**

La conduzione è uno dei metodi di trasferimento di calore, in particolare la conduzione è il passaggio di calore all'interno di corpi per contatto molecolare. A seconda del mezzo dove avviene la conduzione ci sono diversi meccanismi a livello microscopico, ma a livello macroscopico Fourier trovò un'equazione che rispecchiasse i fenomeni reali. L'equazione di Fourier per la conduzione è la seguente :

$$q = -k \cdot S \cdot (dT/dx)$$

dove:

$k$  è la conducibilità termica e dipende sia dalla temperatura sia dal tipo di materiale [ $Wm \cdot K$ ]

$S$  è la superficie normale al flusso di calore

$dT/dx$  è il gradiente di temperatura.

Il segno meno rappresenta la diversa direzione tra flusso termico e gradiente di temperatura; infatti il gradiente di temperatura è un vettore che ci indica la direzione tra la superficie più fredda verso quella più calda mentre il flusso di calore è diretto dalla zona più calda a quella più fredda, ciò significa che i due vettori sono opposti ed ecco quindi spiegato il significato del meno.

### 3.1.2 Convezione

La **convezione** è il meccanismo di trasmissione del calore attraverso i fluidi. La convezione oltre alla trasmissione del calore coinvolge anche il trasporto di materia.

Durante la conduzione all'interno di un materiale consideriamo solamente il trasporto di calore da una parte all'altra del materiale, mentre la convezione coinvolge il movimento del fluido stesso. Sicuramente vi sarà capitato di vedere una pentola piena d'acqua messa sui fornelli; avrete notato che dopo un po di tempo nella pentola iniziano a formarsi dei vortici, noti come moti convettivi, e sono questi moti convettivi che caratterizzano tale meccanismo di scambio termico.

La trattazione analitica è rappresentata dall'equazione di Newton:

$$q = h A \Delta T$$

Dove  $A$  è la superficie,  $\Delta T$  la differenza di temperatura tra il fluido e il corpo in contatto con il fluido, mentre  $h$  è il coefficiente di scambio termico convettivo. Secondo l'equazione sopra riportata la trattazione sembra molto semplice, in realtà le maggiori

difficoltà si riscontrano nel determinare il coefficiente  $h$ , che sarà differente tra convezione naturale e convezione forzata.

Di tutti i meccanismi di trasferimento del calore, la convezione è il più difficile, in quanto è essenzialmente un fenomeno di fluidodinamica il cui comportamento dipende da molti fattori non facilmente misurabili o predicibili.

L'energia è ancora trasferita per conduzione o radiazione, ma le condizioni che definiscono il trasferimento sono modificate fortemente dal trasporto di massa nel fluido.

### 3.1.3 Irraggiamento

L'irraggiamento è uno dei tre modi attraverso cui avviene la propagazione del calore. In particolare, al contrario della conduzione e della convezione, l'irraggiamento non prevede contatto diretto tra gli scambiatori, e non necessita di un mezzo per propagarsi.

Quindi è un fenomeno che interessa ogni aggregato materiale, non importa se solido, liquido o gassoso, e avviene anche nel vuoto. Questo è giustificato dal fatto che il trasferimento di calore per irraggiamento avviene sotto forma di onde elettromagnetiche. Si ha sia emissione che assorbimento di radiazione elettromagnetica. È un fenomeno che si presenta ad ogni temperatura, ma solo a temperature abbastanza elevate il contributo allo scambio termico per irraggiamento supera i contributi per conduzione e convezione.

La quantità di calore emessa da un corpo per irraggiamento è infatti proporzionale a  $T^4$ , cioè alla quarta potenza della sua temperatura, perciò a basse temperature l'irraggiamento è responsabile di una frazione trascurabile del flusso di calore rispetto alla convezione e alla conduzione, ma al crescere della temperatura la sua importanza aumenta rapidamente fino a diventare il principale artefice della trasmissione del calore per temperature medio - alte.

Fisicamente l'irraggiamento consiste nell'emissione di onde elettromagnetiche generate dagli atomi e molecole eccitati dall'agitazione termica, che si diseccitano emettendo fotoni di lunghezza d'onda proporzionale alla loro temperatura: per esempio i corpi a temperatura ambiente emettono in prevalenza fotoni nella gamma degli infrarossi, che per questo sono anche detti raggi termici; corpi molto freddi irradiano microonde (quelli vicini allo zero assoluto semplici onde radio), mentre i corpi molto caldi arrivano ad emettere luce visibile, dapprima rossa (temperatura del cosiddetto calor rosso, circa  $700\text{ C}^\circ$ ) poi sempre più bianca (temperatura del calor bianco, circa  $1200\text{ C}^\circ$ ): man mano che la temperatura aumenta, la frequenza della luce emessa aumenta fino al bianco-azzurro, per poi passare ai raggi ultravioletti, e ai raggi X nel caso di plasmi stellari a temperature dell'ordine di milioni di gradi.

Il calore scambiato per irraggiamento si trasmette prevalentemente dal corpo a temperatura maggiore a quello a temperatura minore; in realtà, l'energia si propaga in entrambe le direzioni, ma con minore intensità da quello freddo a quello caldo. Infatti, se un corpo emanasse soltanto e non assorbisse mai energia elettromagnetica, la sua temperatura raggiungerebbe lo zero assoluto.

L'emissione e l'assorbimento dipendono dalla frequenza della radiazione, dalla natura del corpo e da alcune caratteristiche della sua superficie; un corpo avente una superficie scura è un buon assorbitore, mentre un corpo avente una superficie chiara è un buon emettitore.

## **3.2 Prodotti attualmente disponibili sul mercato**

I prodotti attualmente presenti sul mercato che si ripropongono di risolvere problemi di surriscaldamento di materiali e oggetti elettronici sono di diversa natura.

I più utilizzati sono le ventole, gli heat pipe e i sistemi peltier e ultimamente anche i waterblock.

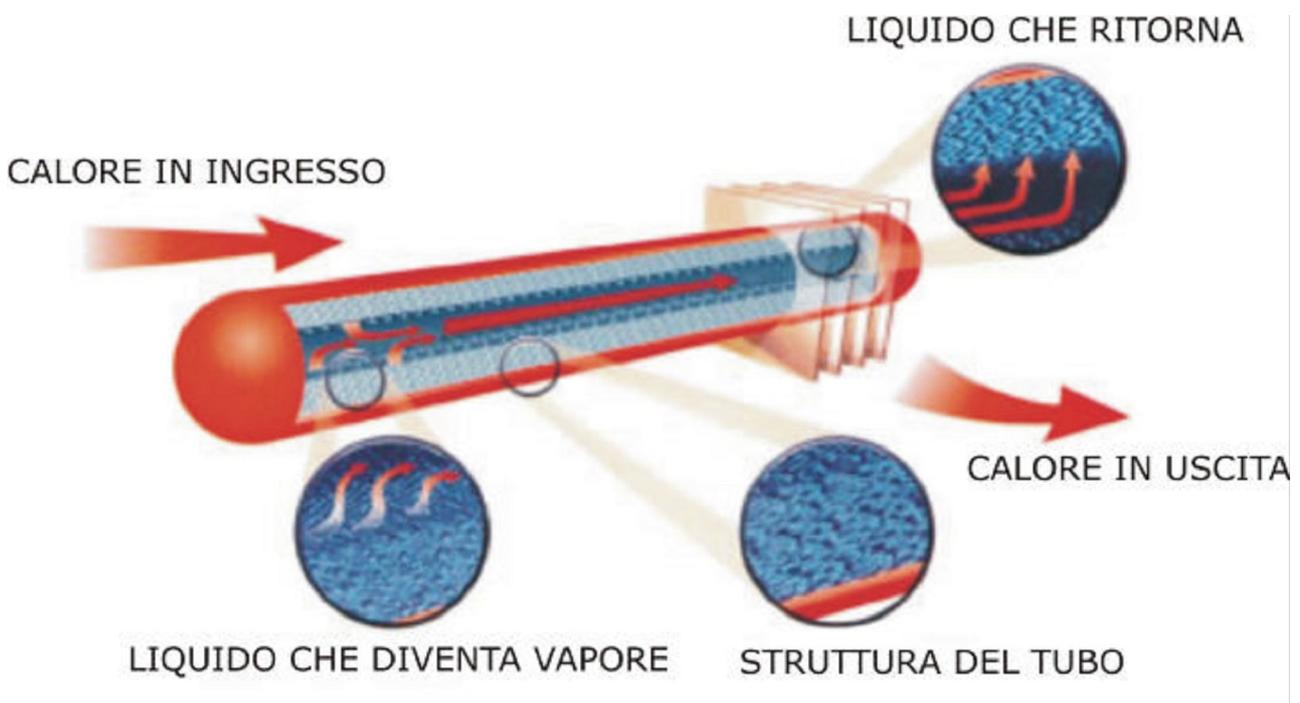
### **3.2.1 Ventole di raffreddamento**

La ventola è uno strumento in grado di muovere l'aria o altri gas attraverso delle pale in movimento. Nei computer viene utilizzato un motorino elettromagnetico collegato all'alimentatore del PC, in questo ambito vengono usate per estrarre l'aria calda dall'interno in modo da prevenire surriscaldamenti del processore e di altro hardware o montate direttamente sui radiatori di alcuni componenti, come il processore della scheda madre o della scheda video.

Spesso per aumentare l'efficienza del sistema di raffreddamenti si montano sopra a sistemi alettati. La forma può essere quadra o tonda, le dimensioni variabili da pochi cm a oltre 30, in origine erano realizzate esclusivamente in alluminio pressofuso, in seguito si iniziò a produrle anche in materiale plastico, queste hanno il vantaggio di avere minor peso ma risultano inevitabilmente più rumorose. Tuttavia non ci fermiamo a parlare di questo sistema di raffreddamento perché a causa della bassa pressione un sistema di questo tipo risulta completamente inutile.

### 3.2.2 Heat Pipe

Un heat pipe (condotto termico) è un meccanismo di scambio di calore che può trasportare delle grandi quantità di calore con una differenza molto piccola nella temperatura fra le interfacce calde e fredde.



**Figura 3- 1:** *Struttura di un heat Pipe*

Un heat pipe ( **Figura 3- 1:** *Struttura di un heat Pipe*) tipico è un tubo (cilindro cavo) di metallo termoconduttore, ad esempio rame o alluminio, chiuso, contenente una piccola quantità di fluido refrigerante quali acqua, etanolo o mercurio; il resto del tubo è riempito dal vapore del liquido, in modo che non siano presenti altri gas.

Un heat pipe serve per trasferire calore da un estremo (caldo) all'altro (freddo) del condotto, per mezzo dell'evaporazione e condensazione del refrigerante. L'estremo caldo, a contatto con una sorgente di calore, cede calore al liquido refrigerante, che vaporizza e perciò aumenta la pressione

del vapore nel tubo. Inoltre, il calore latente di vaporizzazione assorbito dal liquido fa diminuire la temperatura all'estremo caldo del cilindro. La pressione del vapore vicino all'estremo caldo è più alta di quella d'equilibrio all'estremo freddo, perciò questa differenza di pressione fa sì che ci sia un trasferimento molto veloce di vapore verso l'estremo freddo, dove il vapore in eccesso rispetto all'equilibrio condensa, cedendo calore all'estremo freddo. Se ci fossero altri gas che non condensano, questi potrebbero rallentare il movimento del vapore sopra descritto e rendere meno efficiente il trasferimento di calore, specialmente a temperature basse, dove la pressione del vapore è bassa anch'essa. Il moto delle molecole di vapore è approssimativamente quello della velocità del suono (circa 300 m al secondo) e, in assenza di altri gas, questa è la velocità di trasferimento limite del calore nell'heat pipe. In pratica, però, la velocità delle molecole di vapore dipende dalla velocità di condensazione del vapore stesso all'estremo freddo. Il liquido refrigerante rifluisce quindi all'estremo caldo del tubo: se l'heat pipe è orientato verticalmente (con l'estremo caldo in basso), è sufficiente la forza di gravità, altrimenti si sfrutta l'azione di capillarità delle pareti del cilindro.

Nella fabbricazione non c'è necessità di creare il vuoto nel condotto. È sufficiente far bollire il liquido di riempimento nella heat pipe finché il vapore che ne risulta faccia uscire dal condotto i gas che non condensano, e quindi sigillarne l'estremità.

Le temperature alle quali comincia a funzionare lo scambio termico tra la parte calda e fredda degli heat pipe è motivo di interesse, infatti ad una prima valutazione si potrebbe ritenere che una heat pipe caricata con acqua inizi a funzionare solo al raggiungimento della temperatura di 100 °C all'estremità calda, temperatura in cui l'acqua bolle e inizia il trasferimento di massa che è alla base del funzionamento. Si deve invece notare che la temperatura di ebollizione dipende sia dalla temperatura che dalla pressione, e che all'aumentare di quest'ultima la temperatura di ebollizione aumenta conseguentemente. In un condotto in cui sia stato creato il vuoto e successivamente inserita una quantità di acqua molto ridotta, la temperatura di ebollizione si avvicina agli 0 °C. Per questo il trasferimento di calore inizierà quando l'estremità calda si trova a una temperatura anche solo lievemente superiore a quella dell'estremità fredda. Per la stessa ragione una heat pipe contenente acqua funzionerà anche a temperature superiori a 100 °C, poiché l'aumentare della pressione al suo interno innalzerà proporzionalmente la temperatura di ebollizione dell'acqua contenuta.

La ragione principale dell'efficienza delle heat pipes dipende dalla evaporazione e condensazione del liquido contenuto, che richiede o rilascia molta più energia di quella richiesta per il semplice cambiamento di temperatura. Usando l'acqua come esempio, l'energia necessaria a far evaporare un grammo di liquido è equivalente all'ammontare di energia necessaria per innalzare la temperatura dello stesso grammo d'acqua di 540 °C. Quasi tutta l'energia viene trasferita rapidamente

all'estremità fredda quando il fluido vi si condensa, creando un sistema di trasferimento di calore molto efficiente e privo di parti in movimento.

Le pareti interne del tubo sono fatte in modo da favorire la risalita per capillarità del fluido refrigerante; ciò viene realizzato, ad esempio, applicando per sinterizzazione metallo in polvere sul tubo o ricavando una serie di scanalature parallele all'asse del tubo; ma, in linea di principio, potrebbe essere il materiale di cui è fatto il tubo a favorire la risalita per capillarità del refrigerante. Se l'heat pipe è inclinato con l'estremità riscaldata in basso, non è indispensabile alcun rivestimento delle pareti interne. In questo caso il fluido refrigerante rifluisce semplicemente giù lungo il tubo. Questo tipo di heat pipe è conosciuto come tubo di Perkins.

Gli heat pipe non contengono parti in movimento e quindi non richiedono manutenzione, anche se heat pipe nei quali il fluido refrigerante è un gas senza condensazione possono perdere gas per diffusione attraverso le pareti del tubo e alla lunga perdere efficacia, specialmente quando la pressione del vapore del fluido refrigerante è bassa.

Il metallo con il quale è fatto l'heat pipe ed il refrigerante contenuto sono scelti in base alle condizioni termiche in cui l'heat pipe deve funzionare; i refrigeranti variano dall'elio liquido per applicazioni a temperatura estremamente basse, al mercurio per applicazioni a temperatura elevata. Tuttavia, la maggior parte dei condotti termici usa l'ammoniaca o l'acqua come fluido operante.

L'heat pipe è molto efficiente nel trasferire calore, molto più di un condotto di rame pieno con la stessa sezione.

Lo spessore delle pareti del condotto dipendono dalla pressione massima interna prodotta dalla vaporizzazione del fluido refrigerante che l'heat pipe deve essere in grado di sopportare con sicurezza. La pressione totale nell'heat pipe può essere controllata regolando la quantità di fluido refrigerante contenuta nel tubo. Per esempio, consideriamo un heat pipe che abbia come fluido refrigerante l'acqua che, passando dallo stato liquido a quello areiforme alla pressione di 1 atmosfera, si espande occupando 1600 volte il volume originale. Se 1/1600 del volume interno dell'heat pipe è riempito di acqua, quando tutto il liquido sarà vaporizzato, la pressione interna sarà di un'atmosfera. Se la pressione di sicurezza del tubo in questione è per esempio 5 atmosfere, si può dunque riempire il tubo con una quantità di acqua uguale a 5/1600 del volume interno.

#### Heat Pipe piatti

Gli heat pipe piatti sottili ( spalmatori di calore) sono fatti essenzialmente come gli heat pipe cilindrici. Sono composti da un recipiente vuoto, ermeticamente sigillato, contenente un fluido refrigerante e da un sistema capillare di ricircolazione chiuso del fluido.

Gli heat pipe piatti trasportano meglio il calore attraverso le superficie degli heat pipe cilindrici (efficienti soprattutto nel trasferimento lineare, unidimensionale, di calore) e di conseguenza possono essere molto più sottili di questi (fino a 500 micrometri).

Gli heat pipe piatti sottili stanno quindi avendo molto successo nelle applicazioni in cui è necessario smaltire ingenti quantità di calore rispettando alcuni limiti geometrici, come ad esempio nei computer portatili.

### Origini

Il principio generale dei condotti termici che sfruttano solo la forza di gravità risale all'epoca del vapore (fine 1700 - inizio 1800); il vantaggio di sfruttare la diffusione per capillarità nei condotti termici fu notato per primo da George Grover al laboratorio nazionale di Los Alamos nel 1963; un articolo relativo all'argomento fu successivamente pubblicato nella rivista Physics, nel 1964.

### Limitazioni

Gli heat pipe devono essere adeguati alle condizioni di funzionamento: il materiale di cui è composto il cilindro, le sue misure ed il tipo di fluido refrigerante hanno un effetto sulle temperature ottimali in cui gli heat pipe possono funzionare.

Quando viene riscaldato oltre una determinata temperatura, tutto il fluido refrigerante nel condotto termico si vaporizza ed il processo di condensazione cessa; in tali circostanze, l'heat pipe conduce calore solamente attraverso il metallo del cilindro, tale conduzione è però molto esigua rispetto a quella trasferita dal meccanismo vaporizzazione/condensazione. Ad esempio, se il cilindro, come la maggior parte degli heat pipe, è di rame (un metallo ad altissima conducibilità), e viene riscaldato oltre la temperatura massima di esercizio, continuerà a condurre il calore solo per la conducibilità del metallo stesso che, pur elevata, sottrarrà solo circa 1/80 del calore trasferito a condensazione.

In sintesi: se si supera la temperatura ottimale di funzionamento (vaporizzazione/condensazione) la sottrazione di calore, pur continuando in piccola misura, crolla a valori molto bassi.

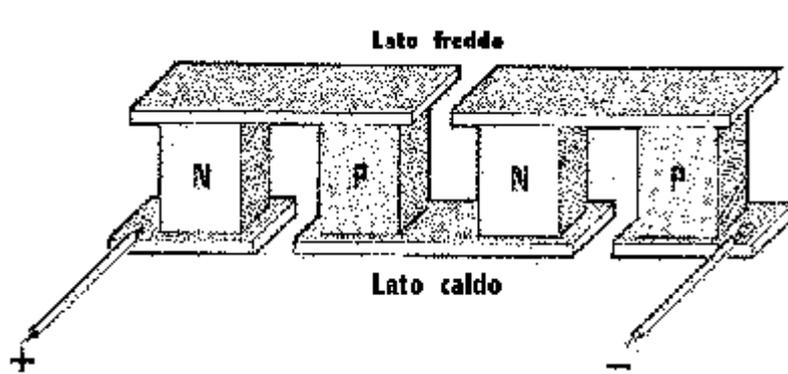
I tipi di heat pipes più diffusi sono il Thermosipon che è il sistema più semplice perché non possiede struttura porosa in quanto la forza di gravità pompa il liquido verso l'evaporatore, le sue posizioni sono verticale o inclinata. Il Normal Heat Pipe, prodotto molto versatile per la sua struttura capillare, sono alcuni prodotti di costruzione particolare, sono molto durevoli. il Loop Heat Pipe che è il prodotto più costoso e difficile da produrre in quanto possiede capacità di trasportare calore con linee di liquido e vapore di diversa lunghezza.

Gli Heat Pipes tipo Termosifone trovano applicazione nel campo dei Pannelli Solari Termici o altri campi in cui la gravità funge da struttura porosa per il pompaggio del liquido. Il campo in cui trovano svariate applicazioni Normal Heat Pipes sono Elettronica di Potenza, Microprocessori,

Schede Elettroniche mentre i Loop Heat Pipes trovano applicazioni di tipo aeronautico e/o aerospaziale, tipo su satelliti, missili ed altre applicazioni similari.

### 3.2.3 Sistemi Peltier

Le celle di peltier nascono ufficialmente nel 1834 ad opera del fisico francese Jean Charles Peltier. Il principio di funzionamento è semplice: facendo passare una tensione continua attraverso due conduttori di diverso materiale, da un lato viene assorbito calore (parte fredda), e dall'altra viene ceduto (parte calda). Una cella di peltier è composta da più cellette, dalle 30 cellette in su. In commercio si trovano prevalentemente celle del tipo isolato, con la parete superiore ed inferiore in ceramica, che è un materiale isolante.





**Figura 3- 2:** *Struttura di una cella di peltier*

La cella di Peltier è fondamentalmente una pompa di calore a stato solido dall'aspetto di una piastrina sottile con una superficie da cui il calore è assorbito e una da cui il calore è emesso. La direzione in cui il calore viene trasferito dipende dal verso della corrente applicata.

Una comune cella Peltier (**Figura 3- 2:** *Struttura di una cella di peltier*) è formata da due materiali semiconduttori drogati di tipo N e di tipo P, collegati tra loro da una lamella di rame. Se si applica al tipo N una tensione positiva e al tipo P una tensione negativa, vedremo che la lamella superiore si raffredderà, mentre quella inferiore si riscalderà. Invertendo la tensione lo spostamento di energia termica verrà altresì invertito. In commercio esistono celle Peltier isolate e celle Peltier non isolate: le prime sono rivestite sotto e sopra da materiale ceramico e garantiscono rendimenti maggiori delle seconde.

Dovendo produrre lavoro per trasferire calore contro il secondo principio della termodinamica, ovvero creare una differenza di temperatura, le celle Peltier assorbono necessariamente un gran quantitativo di corrente elettrica. Inoltre, a causa della curva tensione-corrente caratteristica per la giunzione, usualmente si alimenta il dispositivo in limitazione di corrente (a corrente costante).

Qualora si utilizzi un insieme di celle per spostare una certa quantità di calore, come nel caso del raffreddamento di un diodo laser e diversamente dal caso del raffreddamento di un sensore, si tenga presente che per far funzionare la cella occorrerà ovviamente asportare dal lato della giunzione "calda" la potenza totale fornita alla giunzione, si noti che ad effetto del modesto rendimento solo una parte limitata corrisponde al calore effettivamente spostato.

Il rendimento di una cella di Peltier è massimo quando la differenza fra lato caldo e lato freddo è molto bassa, e quanto più è bassa la corrente assorbita. Il sistema è alquanto poco efficiente, e può avere qualche giustificazione, se ben governato, solamente per la possibilità di raffreddamento molto preciso, sia puntiforme (nel senso di raffreddare solo punti specifici) che per il campo di temperature che localmente può assicurare.

Per questo motivo le celle Peltier sono principalmente usate dove occorre spostare solo piccole quantità di calore.

Il comune uso della cella è la sottrazione di calore mediante adesione del lato freddo al corpo da raffreddare; la sottrazione di calore è favorita dalla creazione di opportuni ponti termici (adesivi termoconduttori) che permettano al meglio la sottrazione del calore. Il calore sottratto è trasferito sul lato caldo, assieme al calore di funzionamento (che è la maggior parte); dal lato caldo il calore deve essere trasferito all'ambiente esterno.

Il problema principale è il controllo della intensità di corrente a cui corrisponda la dovuta sottrazione di calore; se la sorgente termica cambia in valore di emissione di calore anche la sottrazione effettuata dalla cella deve variare di conseguenza, possibilmente con rilevatori di temperatura che regolino in retroazione la intensità di corrente somministrata alla cella, in modo che il funzionamento rimanga nei campi di temperatura ammissibili.

Si può verificare infatti che la sorgente termica refrigerata diminuisca la produzione di calore o cessi di produrne, in tal caso la sottrazione di calore della cella, se non controllata, può abbassare in pochi secondi la temperatura al di sotto del punto di congelamento. Nel caso che la parte raffreddata sia ad esempio una CPU di un computer questo significa che il complesso CPU-piastra di Peltier può congelare e, se esposta all'atmosfera, condensare sulla parte l'umidità atmosferica in ghiaccio.

Ugualmente un improvviso innalzamento della temperatura della sorgente, in funzione della sottrazione di calore effettuata, fa aumentare la temperatura del lato caldo della cella. Se la temperatura del lato caldo della cella supera i valori ammessi questa può "cuocere", cioè essere irrimediabilmente danneggiata cessando di funzionare; inoltre il danneggiamento interrompe la sottrazione di calore e quindi anche le parti non più raffreddate possono a loro volta essere danneggiate. In sintesi il funzionamento della cella, in caso che provveda alla sottrazione di entità variabili di calore, deve essere attentamente governato in maniera variabile.

Tutta la energia erogata al sistema deve essere sottratta sotto forma di calore in modo efficiente e sicuro dal lato caldo e dispersa verso l'esterno.

Le celle di Peltier sono usate laddove occorra raffreddare piccole quantità di materiale in modo rapido. Sono utilizzate per esempio per congelare campioni biologici, per raffreddare i sensori CCD di telescopi e termocamere e nei laser per mantenere stabile la temperatura di lavoro e alcune volte

per raffreddare le CPU o GPU utilizzando una heatpipe per raffreddare il lato della cella che si riscalda.

Le celle di Peltier sono reversibili grazie all'effetto Seebeck: riscaldando un lato e raffreddando l'altro ai capi dei conduttori della cella fluirà una corrente continua proporzionale al dislivello termico presente tra le due facce. La differenza di potenziale ai capi è direttamente proporzionale al numero di elementi presenti all'interno della cella, mentre la corrente è inversamente proporzionale al numero di elementi. Questo rapporto è sintetizzabile con queste espressioni matematiche:

$$I \propto V/Ne$$

$$Ne \propto V/I$$

$$V \propto Ne I$$

ove:

I è l'intensità di corrente generata (esprimibile in ampère)

V è la differenza di potenziale elettrico (esprimibile in volt) ai capi della cella

Ne è il numero degli elementi presenti all'interno della cella.

Le celle di Peltier hanno alcuni pesanti limiti che ne penalizzano l'utilizzo.

I rendimenti, sia nel caso diretto della cella, che nel caso inverso (Seebeck), sono bassi, questo determina una elevata quantità di energia persa sotto forma di calore, ed inoltre la necessità di dover smaltire il calore stesso. Sostanzialmente il sistema è poco efficiente; l'uso è ragionevole solo se è imperativo ottenere il risultato, trascurando le efficienze.

I trasferimenti di calore alla cella, e dalla cella, sono spesso molto più costosi e complessi della cella stessa.

È estremamente facile, con un uso sbadato, uscire dai campi di temperatura ammissibili, (la cella è un componente elettronico ottenuto da adesione di cristalli e saldatura di conduttori, con precisi limiti di densità di corrente e temperature ammissibili, determinati dal componente più debole); se si superano i limiti si ha il danneggiamento irreversibile della cella. Di norma le celle possono sopportare una temperatura di circa 75 °C, e per tenere sotto controllo la temperatura è opportuno inserire un sensore termico nell'impianto, oppure, semplicemente, utilizzare un termometro a distanza (i cosiddetti termometri laser). Per evitare il surriscaldamento della stessa cella si può ricorrere a sistemi di raffreddamento ad aria forzata o attraverso dissipatori di calore e heat pipe, a seconda della quantità di calore da smaltire.

#### **3.2.4 Waterblok**

Nei casi in cui si ha la necessità di dissipare grandi quantità di calore, troviamo quasi sempre un sistema di raffreddamento a liquido, basta pensare ad esempio alle automobili o alle moto, il motivo è semplice e per capirne il motivo basta confrontarlo con il raffreddamento ad aria tenendo presente due principali proprietà da considerare: la conducibilità termica e il calore specifico.

La conducibilità o conduttività termica (indicata con  $\lambda$  o  $k$ ) è il rapporto, in condizioni stazionarie, fra il flusso di calore e il gradiente di temperatura che provoca il passaggio del calore. In altri termini, la conducibilità termica è una misura dell'attitudine di una sostanza a trasmettere il calore e dipende solo dalla natura del materiale, non dalla sua forma.

La conducibilità termica dell'acqua è 25 volte superiore a quella dell'aria. Ovviamente, questa caratteristica dona un gran vantaggio al raffreddamento a liquido rispetto quello ad aria, dato che il calore può essere trasferito molto più velocemente e costantemente rispetto a quello ad aria.

Invece il calore specifico di una sostanza è definito come la quantità di calore necessaria per aumentare di 1 °C la temperatura di un'unità di massa (generalmente un grammo o un chilogrammo) del materiale.

Il calore specifico dell'acqua è circa quattro volte quello dell'aria, e ciò significa che necessita di un'energia quattro volte superiore per scaldarsi di un grado rispetto all'aria, queste considerazioni ci fanno capire del perché si utilizza un raffreddamento a liquido .

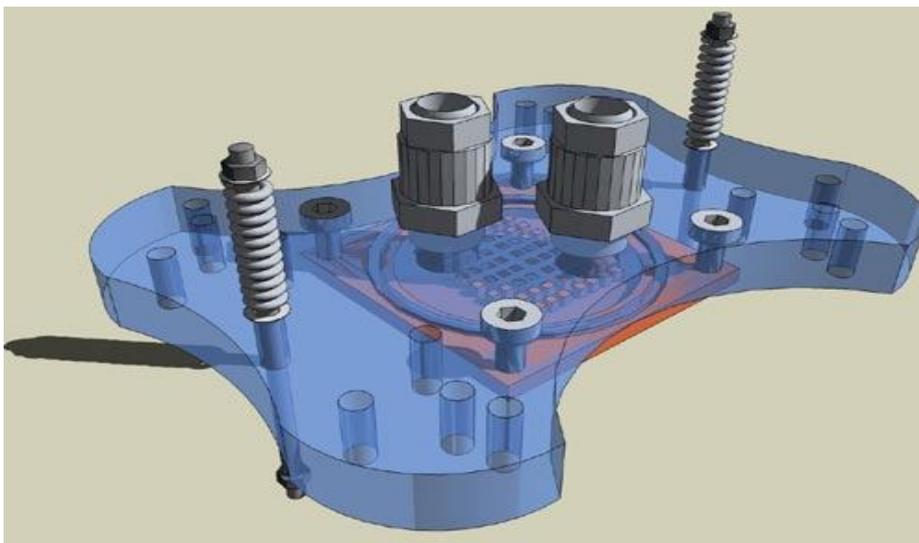
In questi ultimi anni tale pratica è stata introdotta anche nel campo dei pc e dei dispositivi elettronici, soprattutto in seguito alla diffusione della pratica dell'overclock. Come sapete, questa consiste nell'innalzare le frequenze di funzionamento di un processore (CPU, GPU, ecc...) in modo da ottenere un incremento di prestazioni; ciò però ha il suo rovescio della medaglia, ovvero un aumento del calore prodotto che va ovviamente dissipato.

Per rendersi conto di quanto sia problematico gestire una tale situazione, basta ricordare che lo scambio termico tra processore e dissipatore avviene attraverso una superficie molto ridotta, quindi il rapporto tra potenza dissipata e superficie di dissipazione è molto elevato. Per questi motivi gli impianti a liquido diventano necessari, specialmente in overclock, per poter superare i limiti imposti dai dissipatori ad aria. Anche i dissipatori ad aria più potenti, voluminosi ed avanzati hanno difficoltà a smaltire, la maggior parte delle volte, tali quantità di calore, senza contare poi che ventole ad alta portata sono in genere rumorose.

Waterblock (tradotto in modo letterale blocco d'acqua) è un componente che permette di scambiare il calore con una determinata parte del nostro dispositivo soggetto a riscaldamento. Il principio di funzionamento è questo : l'acqua, fatta circolare da una pompa, passa attraverso il waterblock, acquistando il calore tramite conduzione dalla fonte su cui il waterblock è posizionato (sia essa una cpu, gpu o chipset) e cedendolo al resto dell'impianto. Sarà poi compito del

radiatore di scambiare il calore acquistato dall'acqua con l'ambiente esterno. In parole povere il principio base non si discosta da quello dei dissipatori ad aria,l'unica differenza sta nel fatto che si usa l'acqua o un altro tipo di liquido per trasferire il calore dalle zone calde .

Esistono diversi tipi di waterblock adatti ai diversi componenti che generano calore; si parla quindi di waterblock per CPU, GPU,CHIPSET ,MOSFET, RAM e HARD DISK.



**Figura 3- 3:** *Struttura di un Waterblock*

Il waterblock generalmente è fatto di rame elettrolitico e può essere ricavato da un blocco pieno, scavato all'interno praticando fori ai lati che poi vengono chiusi da dei “tappi” oppure può essere in 2 o più pezzi (in questo caso si parla di BASE e TOP del waterblock),rendendolo smontabile per una manutenzione e pulizia più semplice. Il top del waterblock può essere di vari materiali,rame, delrin o plexiglass. Presenta generalmente due raccordi,che permettono l'entrata e l'uscita dell'acqua: di solito i waterblock accolgono raccordi filettati da 1/4” a gas,e se non specificato dal produttore in genere i raccordi sono equivalenti,cioè possono fungere da ingresso o uscita dell'acqua. I waterblock sono all'incirca di 6cm per lato,quanto basta per coprire interamente la superficie della cpu e ovviamente le superfici a contatto del processore sono in genere rettificate in modo da avere una planarità perfetta : alcuni addirittura sono lappati a specchio per massimizzare il contatto con la superficie da raffreddare.

Con l'evoluzione del sistema di raffreddamento si è passato a dei waterblock più evoluti e il raffreddamento è passato dal processore al chipset e successivamente alla scheda video. Il waterblock per chipset (**Figura 3- 4:** *Waterblock per chipset*) ,la cui evoluzione non è stata così grande, è leggermente diverso da quello della CPU : sono ovviamente più piccoli, e hanno una

struttura interna tipicamente ad alette, grandi o magari molto piccole. La quantità di watt da dissipare non è eccessiva e se ne consiglia l'utilizzo in caso di overclock abbastanza spinti o nel qual caso avete problemi di temperature con il vostro overclock, ma questo ovviamente è soggettivo. Tuttavia se si pensasse di utilizzare questo sistema di raffreddamento sul disk array controller andrebbe sicuramente posizionato.



**Figura 3- 4:** *Waterblock per chipset*

Il raffreddamento a liquido degli hard disk è molto poco usato attualmente. L'evoluzione di questi waterblock è stata minima, perché poco usati.

I waterblock per HDD (**Figura 3- 5:** *Waterblock per hard disk*) sono in genere formati da 2 parallelepipedi che circondano i lati dell'HDD, oppure sono waterblock che si avvitano sotto l'HDD, praticamente dove c'è la circuiteria elettronica. Rimane comunque una soluzione di nicchia, in quanto gli hard disk possono essere raffreddati in altre maniere più facili e più economiche. Una soluzione di questo tipo abbassa notevolmente la temperatura ancor più che con i "tradizionali" sistemi ad aria, eliminando il rumore prodotto dalle ventole di cui questi sistemi dispongono.



**Figura 3- 5:** *Waterblock per hard disk*

E' possibile raffreddare a liquido anche le RAM, anche se , come nel caso degli HDD, è una pratica abbastanza rara. Esistono sia waterblock che coprono un singolo modulo di RAM, sia waterblock che ne coprono di più (**Figura 3- 6:** *Waterblock per RAM*). Cito come esempio i waterblock della Koolance, ma ne esistono anche molti altri come quelli integrati nelle serie di ram OCZ Flex XLC. In realtà l'effettiva utilità di simili sistemi è da provare, specie nel caso di sistemi non overclockati o comunque non in maniera eccessiva : ovviamente andando a modificare pesantemente per esempio, i voltaggi, utilizzando un waterblock è possibile mantenere le temperature più basse. Questi sistemi sono vivamente consigliati in caso di altissimi voltaggi fuori norma.



**Figura 3- 6:** *Waterblock per RAM*

### 3.2.5 Scelta del sistema di raffreddamento da utilizzare

Dopo una panoramica generale sui prodotti esistenti sul mercato atti a risolvere il nostro problema è necessario adesso fare alcune considerazioni che ci porteranno alla scelta finale del tipo di soluzione che verrà adottata.

A priori abbiamo scartato le ventole di raffreddamento per via della bassa pressione, degli altri tre sistemi andiamo a valutare i pro e i contro.

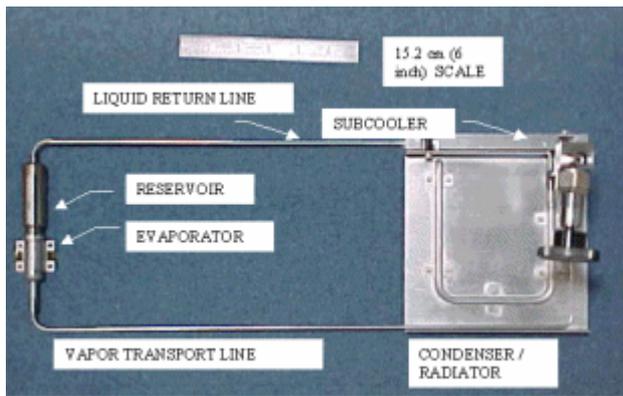
Gli heat pipe sono una soluzione efficace ampiamente utilizzata nelle missioni spaziali e per il raffreddamento dei pc portatili, hanno il grande vantaggio di non utilizzare energia per il loro funzionamento e anche il costo è contenuto, ma ci sono dei problemi riguardante l'utilizzo di questi componenti nonostante tutte le considerazioni positive sopra descritte. Infatti in molti degli heat pipe attualmente in commercio i costruttori consigliano, per un corretto funzionamento, l'utilizzo congiunto con una ventola di raffreddamento, cosa che noi nella stratosfera per via della bassa pressione non possiamo assolutamente realizzare, tuttavia vi sono tantissimi heat pipe che funzionano benissimo senza il bisogno di ventole, come quello riportato in **Figura 3- 7: Thermaltake Fanless Heat Pipe**



**Figura 3- 7:** *Thermaltake Fanless Heat Pipe*

Quello in figura è un dissipatore heat pipe per CPU prodotto dalla termaltake , tutti gli heat pipe che non utilizzano ventole hanno più o meno quel tipo di forma, quindi tutto il calore scambiato con la CPU viene trasferito al piccolo radiatore posto sopra, questa soluzione è efficace se ci troviamo nell'atmosfera terrestre, tuttavia nella stratosfera l'aria è rarefatta non permette un adeguato raffreddamento di questo componente e pertanto anche questo componente è da scartare.

Tuttavia esistono heat pipe per applicazioni spaziali (**Figura 3- 8:** *Loop heat pipe*) ma sono prodotti che non si trovano in commercio perché realizzati per la NASA da enti di ricerca e anche se lo fossero il loro costo sarebbe proibitivo. Per tutti questi motivi gli heat pipe non verranno utilizzati nel nostro progetto.



**Figura 3- 8:** *Loop heat pipe*

Invece i sistemi peltier potrebbero essere utilizzati tranquillamente nelle condizioni ambientali in cui deve operare il SORA, tuttavia utilizzando questa tecnologia il calore scambiato rimarrebbe all'interno della gondola cosa che si vuole assolutamente evitare visto i problemi termici avuti nella prima missione. Infatti se nella gondola ci fosse solo il radar una soluzione di questo tipo potrebbe andare anche bene, ma bisogna tener presente che quest'ultima ospita anche altri dispositivi elettronici come il CDMU oltre alle batterie produttrici anch'esse di ulteriore riscaldamento al suo interno. Quindi l'obiettivo è di spostare la maggior parte del calore prodotto dal SORA all'esterno della gondola, in modo da avere l'assoluta garanzia che non dia contributo ad eventuali problemi di riscaldamento termico.

Quindi lo scopo finale del progetto illustrato in questa tesi è il trasferimento di calore dai componenti che sono soggetti a surriscaldamento del SORA all'esterno della gondola ed è questo il motivo per cui le celle di peltier nonostante abbiano molti vantaggi sono state scartate nell'utilizzo all'interno della gondola.

Inoltre la cella di peltier è fondamentalmente una pompa di calore, che è vantaggiosa per il suo peso e le sue dimensioni ridotte, ma soprattutto perché è possibile variare il potere refrigerante al variare della tensione in ingresso, ma ciò provoca come svantaggio un grande assorbimento di corrente causato da una grande generazione di calore con conseguente necessità di un adeguato raffreddamento, oltre alla possibile formazione di condensa sulla superficie fredda, dovuta alla differenza di temperatura tra quest'ultima e l'umidità dell'ambiente circostante.

La formazione di condensa intorno alla cella è una delle insidie peggiori nell'utilizzo delle peltier a tensioni consistenti, cioè maggiori di 12 V, perché tende a sciogliersi quando si spegne il sistema, mettendo in grave pericolo i componenti elettronici. I rimedi non sono tanti, e ancora meno sono quelli che realmente funzionano, l'ideale sarebbe quello di creare il vuoto intorno alla cpu-peltier;

un altro buon sistema è quello di usare della schiuma ad espansione, o meglio del polistirolo sagomato e ritagliato intorno al gruppo processore – peltier – dissipatore.

Infine tra gli svantaggi bisogna anche tener presente che queste celle per funzionare assorbono corrente e quindi vanno a gravare anche sul sistema di alimentazione della gondola.

Quindi per via dei problemi sopra elencati anche la cella di peltier non verrà utilizzata per risolvere il problema di cui si occupa questa tesi.

I waterblock invece riescono a risolvere il problema dello smaltimento del calore all'esterno della gondola, infatti basta posizionare lo scambiatore di calore, che normalmente è costituito dal radiatore ma nel nostro caso è un sistema più complesso, all'esterno della gondola.

I waterblock riescono quindi nell'obiettivo prefisso in questa tesi, ma rispetto agli heat pipe hanno un piccolo prezzo da pagare che è dovuto all'assorbimento di corrente della pompa per la circolazione del liquido, tuttavia quest'assorbimento è talmente basso che praticamente può essere trascurato.

### **3.3 Proposte del mercato**

I waterblock quindi rappresentano la soluzione al problema. Tuttavia il mercato di questi apparati anche se in espansione (soprattutto per quello che riguarda i personal computer) è ancora limitato a poche aziende, le prime che hanno puntato su questa tecnologia di raffreddamento.

Nelle missioni spaziali si predilige l'uso degli heat pipe e dei peltier e difficilmente troviamo sistemi di raffreddamento a liquido. Tuttavia per il progetto SORA questa è la soluzione migliore perché riesce a garantire un ottimo raffreddamento dei componenti con lo spostamento del calore all'esterno della gondola.

In questo capitolo faremo una panoramica dei waterblock esistenti sul mercato e infine sceglieremo quelli che utilizzeremo per il nostro progetto, inoltre daremo uno sguardo anche a tutti gli altri elementi necessari

#### **3.3.1 Aziende**

La richiesta di impianti a liquido è cresciuta notevolmente negli ultimi tempi, ciò comporta che sempre più produttori tirano fuori kit più o meno completi.

Bisogna distinguere questi kit in base a due canoni.

C'è chi passa al liquido ma non richiede prestazioni estreme prediligendo una facilità di assemblaggio e la manutenzione ridotta al minimo. Ad esempio note case produttrici propongono kit completi e di facile installazione a discapito però delle prestazioni.

Chi invece punta alle prestazioni estreme, e in genere si tratta di utenti esperti non certo alla loro prima esperienza con questo tipo di impianti.

Ci sono noti produttori che si danno "battaglia" a colpi di innovazioni sempre più performanti per i loro impianti. E' il caso di Lunasio, Ybris, Koolance e Thermaltake che se da un lato offrono prestazioni altissime dall'altro lasciano in mano all'utente l'assemblaggio dell'impianto.

Quindi di kit e componenti in commercio se ne trovano tantissimi, ognuno con i suoi pregi e difetti. Cercare di raccogliarli tutti è un'opera davvero complessa per cui non ci proviamo nemmeno, ma cercherò di presentarne alcuni partendo dal componente del SORA su cui va posto il waterblock mostrando alcune proposte sul mercato delle varie aziende.

Delle aziende produttrici di waterblock ha attirato la mia attenzione la Lunasio per la sua grande precisione nella descrizione di ogni singolo pezzo prodotto, invece quella che ha una scelta

maggiore è la Koolance che ha prodotto dei waterblock che vengono montati anche sulle schede madri, inoltre è una delle poche che tiene conto anche della dimensione dei singoli pezzi, infatti produce dei waterblock di spessore piccolo (praticamente vengono definiti piatti).

Insomma la scelta è ampia e ognuno può decidere in base alle proprie esigenze, capacità o costi.

### 3.3.1.1 Waterblock per CPU

Come già detto nei precedenti capitoli uno dei componenti principali che è soggetto a riscaldamento di tutto il sistema SORA è il processore del computer di bordo ciò comporta che il suo waterblock deve essere scelto accuratamente in modo da garantire un buon raffreddamento. In realtà in commercio i waterblock per processori sono quelli che garantiscono il rendimento più alto poiché in un personal computer la CPU è il componente che oltre a dissipare la maggior potenza e il primo che si guasta in caso di malfunzionamento del sistema di raffreddamento (basti pensare che in un normale PC di casa pochi secondi di interruzione della ventola di raffreddamento comportano il guasto irrimediabile del processore).

Per tali motivi i waterblock per CPU sono grandi, con dei raccordi in entrata e in uscita che si aggirano attorno ai 12 millimetri di diametro per consentire una grande portata di acqua. I waterblock sono all'incirca di 6 cm per lato, e ovviamente le superfici a contatto del processore sono lappate a specchio (cioè sono piane e senza imperfezioni in modo da garantire una piena aderenza tra la superficie superiore del processore ed il waterblock). Il peso dei waterblock per CPU si aggira attorno ai 400 gr, ma anche meno, perciò non ci sono problemi di peso in ogni caso. Spesso vengono accompagnati da una backplate (accessorio presente anche in molti dissipatori ad aria di alto livello) che elimina il problema dell'incurvamento della mainboard intorno al socket, favorendo un contatto migliore tra Cpu e waterblock.

Inoltre è importantissimo anche il materiale di cui è costituito il waterblock, naturalmente i migliori sono i conduttori, di solito commercialmente si predilige il rame. I waterblock sono attaccati al socket del processore tramite staffe che vengono vendute insieme al waterblock per i processori più comuni, altre volte è necessario ricercarle o ricavarle in altri modi l'importante è che blocchino e facciano aderire al meglio il waterblock ed il processore.

Tra i più si annoverano Pctuner, Lunasio, Oclabs, Ybris e Koolance in primis.

Tra tutti per raffreddare la CPU si è scelto il waterblock denominato Lunasio X-R1 1096-E (**Figura 3-9: Waterblock Lunasio X-R1 1096-E**) che, come si evince dal nome, è realizzato dalla Lunasio,

lo 1096 è la versione più performante del modello X-R1 ed è stato ottimizzato per poter trasferire il calore dalla CPU all'acqua molto più velocemente per le massime prestazioni in overclock.

Si è scelto questo water block per la sua notevolissima portata d'acqua (grazie anche ai super raccordi con interno da ben 11mm), anche con pompe relativamente piccole, senza sforzare i meccanismi interni (boccole, perni e girante), da cui una maggiore affidabilità nel tempo di qualsiasi pompa.



**Figura 3- 9:** Waterblock Lunasio X-R1 1096-E

Inoltre Lunasio assicura che le saldature professionali evitano una qualsiasi manutenzione per quello che riguarda la tenuta stagna anche dopo anni e anni.

Nel fondo della base sono state fresate delle incisioni calibrate, che vanno a formare altre micro alette a serpe per potenziare la turbolenza e la superficie di contatto con l'acqua, il tutto per aumentare le prestazioni totali del waterblock (circa 550 litri con una pompa eheim da 1200).

Inoltre sia la base che il coperchio offrono masse di rame molto generose, che in caso di necessità hanno il compito di assorbire notevoli quantità di calore, preservando il più possibile la CPU da spiacevoli surriscaldamenti.

La traversa centrale e le due laterali sono massicce per un motivo: il loro compito è quello di trasportare quanto più calore possibile al coperchio ricavato dal pieno da 10mm, nel caso si renda necessario .

#### CARATTERISTICHE TECNICHE:

Misure corpo WB: 20x50x50 mm.

Compatibilità con tutti i socket attualmente nel mercato.

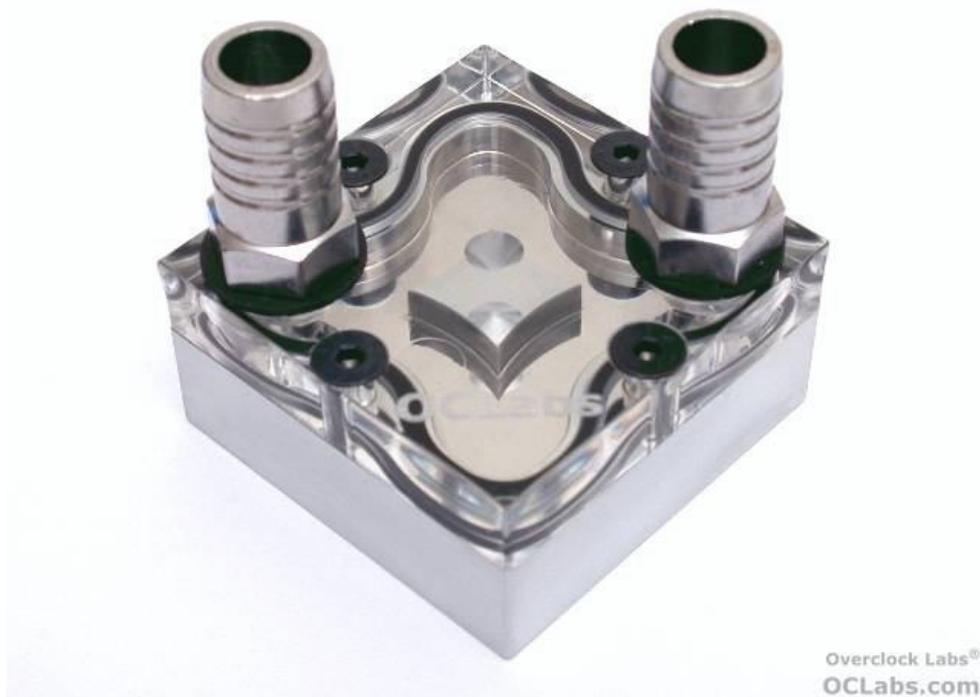
Rame di altissima qualità.

Compatibilità tubi: 10x14 - 12x17 - 14x19 - Silicone, Cristall e Air-Tech

Portata: 550 litri /h con pompa Eheim 1200

Peso: 370gr - 490gr con l'aggancio universale in acciaio Inox

Altro waterblock che poteva essere utilizzato è quello di Oclab denominato B3, tuttavia il sito della ditta non riportava tutte le caratteristiche tecniche di questo componente e soprattutto non mi riporta la portata d'acqua oraria del componente, tuttavia in alcuni forum ho trovato persone che dopo averlo utilizzato ne parlano positivamente, tuttavia la Lunasio oltre ad avere molti pareri positivi ne garantisce personalmente le prestazioni e sul suo sito si possono trovare anche i risultati dei vari test effettuati sul componente al fine di garantire la bontà del prodotto.



**Figura 3- 10:** Waterblock per CPU OCLabs B3

Moltissimi sono anche gli altri waterblock ( **Figura 3- 11: Altri Waterblock** ) prodotti dalle varie aziende come la Koolance o la Ybris, tuttavia queste aziende hanno adottato una politica commerciale che permette l'utilizzo di questi componenti anche a persone meno esperte realizzando waterblock per singole socket che possono essere montati facilmente, tuttavia con piccole modifiche è possibile utilizzarli anche sul processore dell'OBC, ma questi prodotti come si può vedere chiaramente anche dalle foto hanno una portata minore rispetto ai prodotti artigianali , l'architettura è più bella ma sono meno funzionali per gli scopi prefissate .

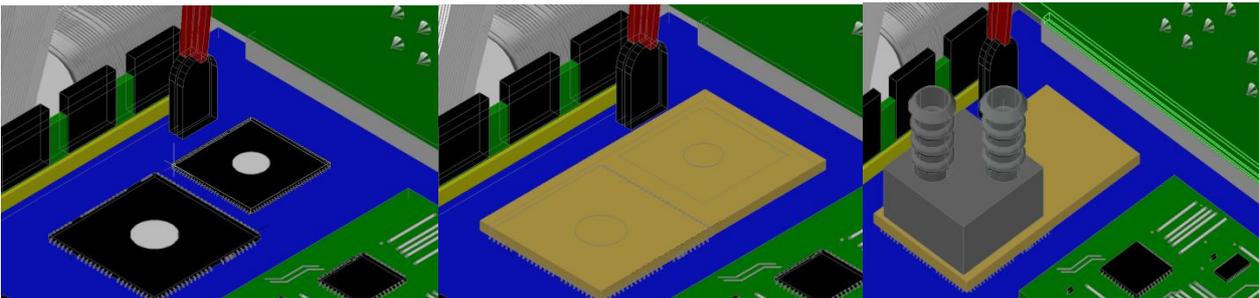


**Figura 3- 11: Altri Waterblock**

Oltre alla CPU è necessario per il nostro progetto raffreddare anche il northbridge e il southbridge. Il northbridge (dall'inglese ponte nord), conosciuto anche come Memory Controller Hub (MCH), costituisce, insieme al Southbridge, la parte logica (chipset) di una scheda madre, non scaldano ai livelli della CPU ma è buona norma raffreddare anche loro, per questi due componenti si è scelto un altro waterblock della Lunasio denominato LunaFORCE /3 le cui caratteristiche sono riportate sotto:

- Lavorazione della serpentina, filetti, battuta di tenuta e raccordi con macchine a controllo numerico.
- Rame di sezione diversa per la base
- Isolamento con liquido sigillaraccordi tra la guarnizione del raccordo e il WB
- Nuovo processo di lappatura e lucidatura del fondo
- Spazzolatura dei bordi e coperchio
- Misure corpo wb: 37x37x15
- Portata flusso: 205 litri/ora (Sicce Nova 800 e 2 mt. di tubo da 8mm interno)
- Peso 129 gr.

Per quanto riguarda il montaggio il northbridge e il southbridge vengono collegati da un piccolo pezzo di rame e il waterblock va posizionato sul Northbridge (che tra i due è il componente che scalda maggiormente). La sequenza delle operazioni è riportata in **Figura 3- 12: Montaggio della piastra in rame e del waterblock sul Northbridge e Southbridge**:



**Figura 3- 12: Montaggio della piastra in rame e del waterblock sul Northbridge e Southbridge**

### 3.3.1.2 Waterblock per disk array controller

Con l'evoluzione del sistema di raffreddamento si è passato a dei waterblock più evoluti e il raffreddamento è passato dal processore al chipset e successivamente alla scheda video.

In commercio vi sono tantissimi waterblock ma nessuno che possa inserirsi nella piccola intercapedine del disk array controller (stiamo parlando di un interspazio inferiore al centimetro). Tra tutte le proposte esistenti sul mercato è stato quindi impossibile trovare un waterblock così piccolo, ma anche se fosse esistito avrebbe avuto una portata talmente bassa che avrebbe costituito una strozzatura per l'intero sistema abbassando le prestazioni del sistema di raffreddamento (praticamente il classico collo di bottiglia).

Pertanto abbiamo studiato una soluzione differente che prevede delle bandelle di rame che aderiscono perfettamente alle zone calde del disk array controller e che terminano su un piccolo piedistallo che è montato sul piatto rimovibile che ospita il SORA e che è costituito in materiale isolante per evitare che scarichi il calore acquisito dal disk array sul piatto.

Sopra le bandelle e il piedistallo verrà montato il waterblock che a questo punto possiamo scegliere senza nessuna limitazione.

La soluzione più efficiente è quella di utilizzare lo stesso waterblock utilizzato per la CPU in modo da garantirci una grande portata.

### 3.3.1.3 Pompe

Ora veniamo ad un'altra parte principale del sistema, che senza questo accessorio non avrebbe ragione di esistere: la pompa. Esistono molte pompe in commercio, specialmente nel campo degli acquari, speciali per la loro silenziosità e la loro potenza (insieme alle piccole dimensioni). Una pompa in media è grande 8cm x 8cm ma ovviamente più potenti sono maggiore è la loro grandezza.

Le cose principali da tenere d'occhio nelle pompe durante l'acquisto sono la portata e la prevalenza. La portata massima di una pompa è quella quantità di acqua che fuoriesce dalla pompa in un determinato tempo, in linea di massima le pompe si suddividono in 800, 1200, 1700 litri all'ora.

La prevalenza è l'altezza massima che la pompa può far raggiungere l'acqua, di solito per le pompe in commercio i valori si aggira nell'intervallo di 1.50-2 metri. Naturalmente è chiaro che più elevati sono i valori di portata e prevalenza maggiori sono le prestazioni di tutto l'impianto di raffreddamento.

Tra tutte le pompe, due marche spiccano per la loro potenza elevata, prezzo basso e silenziosità contenuta: Hydor e Newjet. (Ci sono anche le Ehiem e le Ruwa che sono molto buone, da evitare invece le Sicce che costano poco ma valgono altrettanto poco). Tuttavia a noi serve un prodotto diverso, che abbia una grande affidabilità perché il guasto di quest'apparecchio comprometterebbe irrimediabilmente tutto il sistema di raffreddamento, per questo motivo abbiamo cercato e trovato un prodotto che soddisfa appieno le nostre esigenze, si tratta della SANSO PDH054 che grazie alla sua alimentazione a 12 volt è ideale per l'utilizzo congiunto con i normali alimentatori per PC, ma soprattutto stiamo parlando di una pompa fatta per lavorare 24 ore su 24 nel campo del raffreddamento dei laser industriali, macchine che devono essere raffreddate con affidabilità assoluta e che non possono fermarsi per una pompa guasta.

Inoltre ha una prevalenza 9 metri cioè la possibilità di collegare sei-sette waterblock senza alcun problema di portate, inoltre anche quest'ultima è ottima infatti se non si superano i tre metri di prevalenza la portata è di 360l/h.

Per testare adeguatamente la PDH 054 e mostrarvi di cosa è capace questa pompa alcuni esperti hanno utilizzato una semplice metodologia:

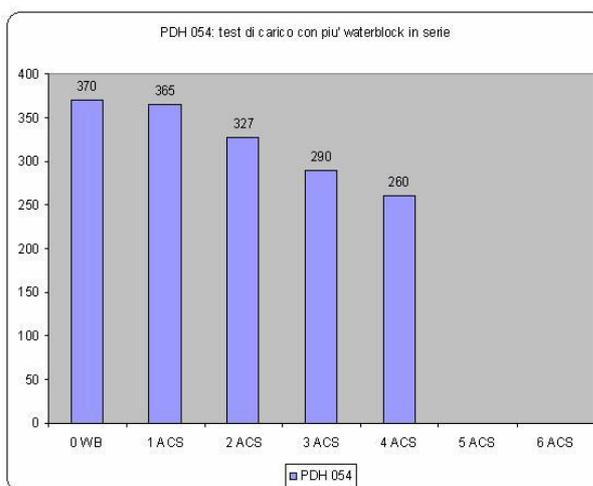
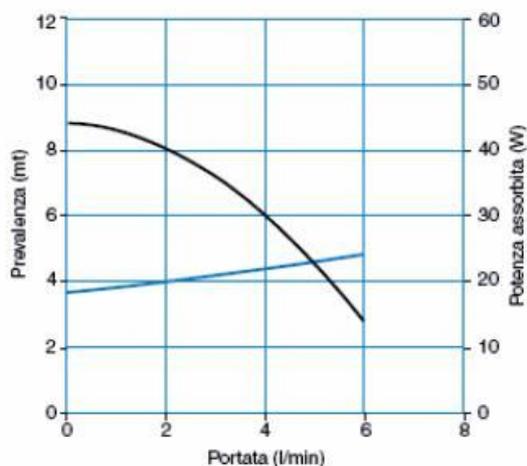
nella **Figura 3- 13:** Sanso PDH 54 e foto del test con 4 waterblock in serie si nota la pompa che verrà utilizzata è un test effettuato inserendo quattro waterblock in serie.



**Figura 3- 13:** Sanso PDH 54 e foto del test con 4 waterblock in serie

Nella **Figura 3- 14:** Curva di funzionamento della pompa e grafico delle portate in funzione dei waterblock si possono osservare i grafici dei test, con un solo waterblock collegato non c'è molto da dire , la pompa lavora praticamente a vuoto ed eroga tutti i 360 lt/h di cui è capace, possiamo dire che praticamente nemmeno si "accorge" di avere un ACS collegato partendo dal funzionamento a vuoto ( ovvero con un carico minimo formato da un waterblock ACS) hanno aumentato progressivamente il numero dei waterblock collegati in serie fino ad arrivare ad una portata minima di 250 lt/h , pari a 4 lt/min e ben 6 mt di prevalenza

**PDH - 054 12V**



**Figura 3- 14:** Curva di funzionamento della pompa e grafico delle portate in funzione dei waterblock

Se osserviamo il grafico con le curve tipiche di funzionamento della pompa noteremo che quel valore corrisponde al 66% della potenza totale della pompa, ovvero in quelle condizioni saremo a circa  $2/3$  della potenza massima. La **Figura 3- 13**: *Sanso PDH 54 e foto del test con 4 waterblock in serie* mostra una prova effettuata fino a 4 waterblock ma avremmo potuto tranquillamente aggiungere anche il quinto e il sesto.

Questo test è stato effettuato con dei waterblock ACS che notoriamente “strozzano” cioè riducono di molto la portata del liquido, con i waterblock scelti da noi le portate saranno notevolmente superiori rispetto a quelle dell’esperimento.

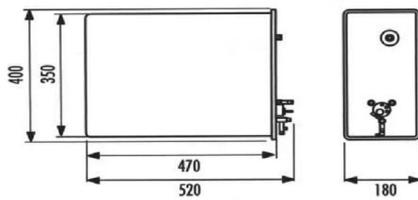
#### 3.3.1.4 Scambiatore di calore e vaschetta

Un componente essenziale in tutti i tipi di raffreddamento a liquido è il radiatore che ha la funzione di abbassare la temperatura dell'acqua.

Nel tempo i radiatori hanno avuto un'evoluzione passando dai normali con tubi e alette ai migliori e più performanti a celle piatte. Nel radiatore passa l'acqua del sistema e tramite una o più ventole viene raffreddata. La ventola come molti credono non deve raffreddare direttamente il radiatore, ma deve fare passare l'aria tra le alette, il problema purtroppo è che non è possibile realizzare questo sistema per via della bassa pressione che come al solito ci impedisce l'utilizzo delle ventole, pertanto si è escogitato un altro sistema che permetterà il raffreddamento dell'acqua, tale sistema verrà illustrato nel prossimo capitolo e comprende uno scambiatore di calore realizzato ad hoc e un boiler da utilizzare come vaschetta.

La vaschetta, è parte abbastanza importante di tutto il sistema dove ha luogo la "custodia" dell'acqua che non è in circolo. La vasca normalmente non deve essere eccessivamente grossa quando si ha a disposizione un radiatore tuttavia noi non l'abbiamo e in parte ovvieremo a tale problema con una vasca grande (nell'ordine **15** litri), in modo da far stabilizzare l'acqua con la temperatura esterna raggiungendo in tal modo un punto di equilibrio termico tra la temperatura esterna e quella interna della gondola. La costruzione di una vasca non ha regole fisse, solo la nostra fantasia può porre dei limiti. In generale non si dovrebbero utilizzare materiali che possono dar luogo a fenomeni di elettrolisi, però utilizzando l'acqua distillata e acciaio inox questo problema non sussiste.

Quindi per raffreddare bene il nostro sistema è necessaria una vasca di discrete dimensioni, per realizzarla si utilizzerà un boiler di 16 litri della Quick denominato boiler rettangolare mostrato in **Figura 3- 15: Boiler Quick**, un prodotto che si utilizza per produrre acqua calda sanitaria sulle imbarcazioni. Questo boiler è ottimo per le sue dimensioni ridotte (i dati tecnici sono riportati nella figura sottostante) inoltre l'isolamento termico, è assicurato da una schiumatura a iniezione di poliuretano ad alta densità a cellule chiuse e soprattutto è possibile asportare facilmente dei pezzi (utilizzando una smerigliatrice) e poi richiuderli successivamente tramite una saldatura.



**Figura 3- 15:** *Boiler Quick*

In questo paragrafo mi limito solo alla descrizione dei pezzi che verranno utilizzati per il progetto, per spiegazioni del loro utilizzo e montaggio rimando il tutto all'ultimo capitolo.

### 3.3.1.5 Additivi

Parliamo ora del materiale liquido con cui andremo a riempire il nostro sistema. In teoria ci serve un liquido che non formi alghe e microorganismi che potrebbero compromettere lo stato e le prestazioni del nostro sistema oltre ad evitare la formazione di ghiaccio se la temperatura (come nel nostro caso) è bassa inoltre deve essere tale da non generare fenomeni di elettrolisi. . Nella maggior parte dei casi si usa acqua distillata e solo con questa in un sistema ben chiuso e senza molta luce, si eviterebbero problemi di ogni sorta. Molti usano l'aggiunta del 2-3% di alcool (in particolare si aumentano le dosi se si va sottozero con l'acqua) tuttavia esagerando con l'alcool si potrebbe danneggiare la pompa e compromettere l'efficienza del sistema portando aumenti di temperatura. Molte case offrono prodotti tipo l'amuchina o antialghe particolari, altre case invece propongono additivi studiati per i nostri sistemi. Altri additivi possono essere coloranti che conferiscono un effetto ottico ai tubi e offrono un sistema con un effetto luce particolare, bello a vedersi ma completamente inutile, anzi possono essere anche dannosi poiché lasciano una patina colorata sui tubi. Acqua distillata demineralizzata , più una percentuale di liquido antigelo sono la cosa migliore nel nostro caso, ovviamente se con lo stesso sistema si faranno più missioni è buona norma controllare il liquido per ognuna di esse ed effettuare il cambio dell'acqua ogni 6-8 mesi, in questo modo si toglie ogni probabilità di trovare strani ospiti nel nostro sistema garantendo un corretto funzionamento dell'impianto.

Il liquido antigelo da miscelare con l'acqua distillata scelto è l'api Antigelo Red è formulato con glicole etilenico a cui è aggiunto un nuovo pacchetto di additivi inibitori della corrosione a base di composti carbossilati, chimicamente più stabili e non deperibili alle alte temperature. Questa nuova formulazione, offre una maggiore affidabilità durante tutto il periodo di esercizio (fino a 5 anni ), assicurando una maggiore ed efficiente protezione a lungo termine "Long Life" contro la corrosione di tutte le varie parti metalliche. Il prodotto è biodegradabile ed è privo di: Ammine, Boro, Fosfati, Nitriti, Silicati, composti potenzialmente dannosi per l'ambiente. Le principali prerogative del prodotto sono:

-La particolare formulazione, garantisce elevate prestazioni in tutte le condizioni operative, anche in condizioni di notevole severità, proteggendo l'alluminio alle elevate temperature.

-Elevata protezione a lungo termine delle superfici di scambio termico contro il fenomeno della corrosione e delle incrostazioni/depositi, sia delle parti ferrose (ghisa) che dei metalli non ferrosi (alluminio, rame) e leghe di saldatura che compongono il circuito di raffreddamento.,grazie all'impiego di agenti inibitori organici che non deperiscono nel tempo, che mantengono inalterate le caratteristiche protettive, per tutta la durata del prodotto in servizio,garantendo la massima efficacia nel raffreddamento .

-Garantisce una eccellente compatibilità (non provoca rigonfiamenti) con le guarnizioni, con i raccordi/manicotti in gomma e con gli altri materiali di tenuta che compongono il circuito di raffreddamento.

-Per l'elevato grado di protezione che il prodotto fornisce, riduce notevolmente gli interventi di manutenzione all'intero circuito di raffreddamento, dovuti ad incrostazioni e/o ai depositi che si formano nel radiatore, sulla girante della pompa dell'acqua e sul termostato.

-L'Antigelo Red assicura all'utilizzatore una maggiore affidabilità ed una manutenzione ridotta, rappresentando un ottimo compromesso del rapporto qualità/prezzo, offrendo prestazioni di elevato livello qualitativo a dei costi contenuti.

#### Modalità d'uso

Il prodotto puro, deve essere miscelato meccanicamente con acqua, si raccomanda l'impiego di acqua demineralizzata (acqua dolce). Per ottenere il massimo della protezione, la miscela ottimale deve essere composta al 50% in volume di prodotto e 50% in volume di acqua, per avere una protezione alle basse temperature, fino a  $-38^{\circ}\text{C}$  e l'innalzamento del punto di ebollizione della miscela a  $109^{\circ}\text{C}$ . Il produttore raccomanda che la diluizione minima della miscela, non deve essere inferiore al 35% in volume di prodotto puro, al fine di garantire una buona protezione contro la corrosione ed al gelo fino alla temperatura di  $-20^{\circ}\text{C}$ . I rabbocchi, per ripristinare il livello del liquido, devono essere effettuati con la miscela (prodotto + acqua al 50% in volume) preparata a parte, raccomandiamo di non utilizzare il prodotto puro tal quale. Al fine di mantenere le superiori caratteristiche qualitative, si consiglia di non miscelarlo con prodotti tradizionali.

Il punto di congelamento e la temperatura di ebollizione della miscela, dipendono dalla concentrazione (%) del prodotto nell'acqua:

<b>Antigelo Red % in volume</b>	<b>Acqua % in volume</b>	<b>Punto di congelamento:</b>	<b>Temperatura di ebollizione:(1)</b>
25	75	<b>-12°C</b>	<b>105°C</b>
35	65	<b>- 20°C</b>	<b>106°C</b>
50	50	<b>- 38°C</b>	<b>109°C</b>
60	40	<b>- 50°C</b>	<b>113°C</b>

Dati indicativi riferiti alla temperatura di 20°C - (1) Alla pressione di 1atm

**Tabella 3- 1:** *Quantità di liquido antigelo da aggiungere in funzione della temperatura*

Siccome noi ci aspettiamo una temperatura intorno ai -2C° allora possiamo restare entro i primi parametri della tabella cioè 25% antigelo e 75% acqua

### 3.3.1.6 Tubi

Parte non meno importante di tutto il sistema sono i tubi. Solo tramite questi passa l'acqua il che lascia presupporre che l'importanza di un buon flusso faccia parte (e molto) anche di questo componente.

La **portata** appunto è un elemento che tiene conto anche della grandezza dei tubi, più piccoli sono i tubi minore è la portata, ad esempio usando tubi tipo 6mm ci potrebbero essere dei problemi e non si riuscirebbe a sfruttare appieno le caratteristiche della pompa, allora si consiglia di prendere tubi da 12mm e di usare quelli in modo di avere meno sprechi di portata, sforzare meno la pompa e soprattutto avere più acqua in circolo. Oltre a questo i tubi non devono seguire tragitti contorti o lunghe tratte, ma ancora più importante è cercare di non far strozzare i tubi (cioè di non fargli fare curve troppo strette). I tubi in commercio sono pochi, più che altro sono quasi sempre gli stessi usati da tutti: i crystal e quelli di Silicone, poi si vedono delle particolari soluzioni con tubi retinati al loro interno per evitare del tutto le strozzature, naturalmente quest'ultimi sono molto più costosi. In questa foto di tubi, c'è un tubo crystal, uno retinato e uno con l'anima in metallo. Quelli con l'anima in metallo sono i migliori perché fanno tutte le curve senza strozzare il tubo.



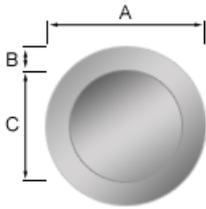
**Figura 3- 16:** *Tubi in commercio*

Per esattezza ricordo che è un tubo composto da gomma/metallo/gomma e quindi il metallo non è in nessun modo a contatto con l'acqua.

Alcune definizioni :

ID : Internal diameter, diametro interno del tubo

OD : Outside diameter, diametro esterno del tubo



**Figura 3- 17:** Sezione di un Tubo

A = Diametro esterno

B = Spessore del tubo

C = Diametro interno

Ad ogni modo, nell'integrare un impianto all'interno del vostro sistema è molto probabile che il tubo in un punto strotzi a causa di una curva molto stretta: crystal o silicone che sia risultano molto comode le spirali per tubo (della misura appropriata), come le lunaspring di Lunasio, che evitano che il tubi strotzi. Tuttavia noi dobbiamo avere l'assoluta certezza che i nostri tubi siano resistentissimi, sia per le condizioni avverse in cui devono operare, ma anche perché una fuoriuscita di liquido guasterebbe i componenti del radar. Per questo motivo si è scelto i tubi gore Style 400 ad alta resistenza s composti da un fluoro elastomero (FKM) in PFTE espanso (ePFTE) e Viton. Questi tubi si distinguono soprattutto per la loro lunga durata in esercizio. Resistono addirittura ad alti carichi di compressione fino 7 bar (100 psi), senza provocare quasi nessuna abrasione di particelle. Hanno superato i test USP più severi della classe VI e sono stati classificati come atossici. La loro alta resistenza allo scoppio, grazie al materiale composito incomparabile del nuovo GORE™ Style 400, riduce i rischi per la sicurezza causati da improvvise rotture del tubo. Durante la portata, i GORE™ Tubi per pompe Style 100 dimostrano una durata in esercizio fino a 50 volte superiore rispetto ad altri tubi di fluoroelastomero. Anche durante il trasporto di prodotti chimici aggressivi, quando la maggior parte dei materiali per tubi viene attaccato, durano per migliaia di ore. Inoltre hanno superato i test USP più severi della classe VI.



**Figura 3- 18:** *Tubi gore style 400*

### **Caratteristiche Principali**

- Eccellente resistenza chimica contro acidi concentrati e idrocarburi aromatici
- Eccezionale longevità
- Durata più lunga di cinquanta volte rispetto agli altri tubi in Viton o Fluorel con conseguente miglioramento dell'affidabilità
- Portata costante
- Mantenimento della calibrazione del flusso con conseguente possibilità di misurazioni chimiche accurate
- Possibilità di pompaggio ad alta pressione costante
- Disponibili elementi per pompaggio a 4 e 7 bar
- Resistenza a picchi di pressione di 22 bar (350PSI)

### 3.3.1.7 Raccordi

I raccordi si avvitano al waterblock e accolgono il tubo che collega i vari componenti dell'impianto. Ovviamente a seconda della scelta fatta per il tubo, bisogna munirsi di raccordi compatibili, possibilmente con un ID (diametro interno) uguale a quello del tubo scelto. Iniziamo a fare delle distinzioni, perchè spesso sulle misure dei raccordi si fa grande confusione. Le misure da tenere d'occhio sono 2, totalmente indipendenti l'una dall'altra. La prima è il diametro del portatubo, cioè la misura della parte del raccordo che deve calzare il tubo; è generalmente espressa secondo il sistema metrico (quindi in mm) a parte per i prodotti made in USA (ad esempio D-Tek) dove vengono usati i pollici (NOTA BENE 1 POLLICE=2,54 cm). La seconda misura riguarda il passo del filetto del raccordo. In questo caso la misura è espressa ovunque in pollici. Facciamo qualche esempio per essere chiari. Gli impianti "nostrani" utilizzano dei raccordi con filettatura 1/4" e diametro esterno del portatubo 12mm, quindi adatto a tubi da 12mm di ID. Nessuno mi vieta però, per esempio, di usare una misura di tubi più piccola, quindi se io volessi usare dei tubi con ID 10mm dovrei cambiare i raccordi con altri sempre con filettatura 1/4", ma questa volta portatubo da 10mm esterno. Vi sono anche i raccordi a ghiera che stanno prendendo piede perchè molto belli esteticamente e perchè danno una sicurezza in più, infatti hanno una ghiera che si avvita sul portatubo che permette di tenere il tubo più saldo sul raccordo. Da sinistra (Figura 3- 19: Raccordi portatubo (classico, pneumatico e a ghiera)), raccordo portatubo EK, raccordo pneumatico Legris e raccordo a ghiera Koolance



Figura 3- 19: Raccordi portatubo (classico, pneumatico e a ghiera)

Per quanto riguarda i portatubo classici non c'è molto da dire, il tubo si infila nel raccordo e si fissa con una fascetta, per stare tranquilli. Fascette in plastica o magari in ferro, vanno bene entrambe, facendo magari attenzione con le fascette in ferro a non stringere troppo perchè il tubo potrebbe rovinarsi. I raccordi pneumatici prevedono l'innesto di un tubo più rigido, di solito il rilsan lungo più o meno 5 cm, sul quale poi si può infilare del tubo cristal ecc, oppure l'uso di appositi tubi per impianti ad aria compressa (vedi tubo PUR o in poliuretano). Questi tipi di raccordi consentono una maggiore facilità in fase di montaggio/smontaggio dell'impianto. N.B.: al contrario di quanto qualcuno pensa i raccordi pneumatici hanno una grande tenuta, sopportano pressioni fino a 6/8 bar, ben lontane dalla pressione che può avere il liquido anche nel più potente degli impianti. Ci sono infine i raccordi a ghiera, che sono praticamente un'estensione dei raccordi portatubo classici : l'unica differenza sta in una ghiera appunto che funge da fascetta.

### **3.4 Considerazioni**

Siamo giunti alla conclusione di questo capitolo in cui abbiamo descritto i vari pezzi che verranno utilizzati per il nostro progetto, la loro scelta è stata accurata prediligendo tutti componenti le cui case produttrici davano le maggiori garanzie corredando il prodotto con tabelle, test e analisi che garantiscono la totale affidabilità ed efficienza del prodotto.

Naturalmente non sono state descritte tutte le marche e i prodotti esistenti sul mercato ma ci siamo soffermati su alcuni tra cui sono stati scelti quelli che maggiormente si adattavano per il sistema di raffreddamento che dovevamo progettare .

Nel capitolo successivo verrà illustrata la realizzazione del progetto dalla quale si vedrà e capirà la posizione e l'impiego di ogni singolo componente scelto in questo capitolo .

## **4 SOLUZIONE FINALE**

In questo capitolo andremo a mostrare la soluzione finale del progetto per il raffreddamento del SORA . Tale soluzione sarà mostrata attraverso un progetto tridimensionale realizzato con un noto programma da disegno AutoCad .

In questo capitolo si sintetizzerà tutto il lavoro di descrizione e ricerca effettuato nei capitoli precedenti per arrivare alla soluzione finale del nostro progetto.

Verranno presentati i modi in cui montare i vari componenti e quelli per calcolare la portata finale dell'impianto ,veranno descritte le prime prove da effettuare per valutarne l'affidabilità e inoltre verrà descritto il modo in cui si costruisce e funziona lo scambiatore di calore.

## 4.1 Progetto del Sistema di raffreddamento

Ora che abbiamo tutto il materiale e le informazioni che ci servono possiamo passare alla fase realizzativa del nostro sistema di raffreddamento del payload del SORA. Nei paragrafi successivi si descriverà la disposizione dei componenti, la costruzione dello scambiatore di calore e della vasca.

### 4.1.1 Disposizione dei componenti

Ogni componente del nostro circuito ha una portata massima differente pertanto è necessario poter capire in quale ordine e come disporre ogni elemento, generalmente i collegamenti si effettuano dalla portata maggiore a quella minore. E' logico che per ottenere una portata globale di buon livello bisogna attenersi a questa logica per progettare la sequenza dei vari componenti del nostro circuito.

Altra cosa importante del nostro progetto è la scelta della tipologia di circuiti per i sistemi a liquido, ve ne sono di due tipi in serie ed in parallelo. In un ipotetico sistema montato in serie, l'ordine dei pezzi dovrebbe quindi andare dalla portata maggiore a quella minore e lo stesso discorso vale anche per impianti in parallelo, dove possiamo trovare su qualche ramo più di un componente, che va quindi ordinato nella giusta sequenza.

Nel primo caso in pratica tutti i componenti del sistema sono disposti uno di seguito all'altro, per esempio avendo una vaschetta con la pompa, un waterblock per cpu e uno per disk array avremo questa disposizione: dalla vaschetta partirà un tubo (dall'uscita della pompa) che arriva al waterblock della CPU, da qui si arriva a quello del disk array controller, infine si ritorna nella vaschetta.

Nel caso di un sistema in parallelo, l'idea è quella di sdoppiare il circuito in due rami, questo per vari motivi, quello principale è di riuscire a sfruttare meglio le pompe visto che queste non sono certo state pensate per i sistemi a liquido, specie se si tratta di circuiti molto lunghi, per questo si potrebbero avere anche problemi di usura per la pompa, invece andando a dividere in maniera opportuna due rami, è quasi come raddoppiare la portata del circuito, sforzando in questo modo di meno la pompa. L'importante è usare degli sdoppiatori (**Figura 4- 1: Sdoppiatore**) di flusso opportuni, in pratica lo sdoppiatore deve avere un ingresso con una sezione almeno doppia rispetto alle sezioni dei due rami uscenti, in questo modo in ogni punto del circuito vi è la stessa sezione, in questo senso anche se ho due rami sommando la loro sezione ottengo la sezione di uscita dalla

pompa, e' sbagliato prendere delle Y con i tre rami di sezione uguale, si avranno delle portate ridotte, perche' avrò una strozzatura, nell'entrata allo sdoppiatore, in pratica e' come strozzare un tubo fino a farlo diventare di metà sezione, e' ovvio che non e' una cosa buona.



**Figura 4- 1:** *Sdoppiatore*

Per lo stesso ragionamento nel momento in cui si deve ritornare in vasca bisogna utilizzare lo stesso tipo di Y oppure usare due rientri separati in vasca, uno per ogni ramo. In commercio si trovano vari tipi di Y alle quali e' possibile cambiare i raccordi.

Usare un sistema in parallelo e' sempre consigliabile, certo aumenta la complessità del sistema, e aumentano il numero di tubi all'interno del SORA, tuttavia per sistemi composti da pochi elementi, ad esempio solo due waterblock e' possibile usare la topologia serie, usando più componenti diventa necessario sdoppiare il flusso, per avere un sistema ottimizzato ed efficiente ed allora è preferibile quella parallelo.

In questo modo e' possibile distribuire i componenti nei due rami, attenzione però che l'acqua segue sempre la via con meno resistenza e facilmente ci possiamo ritrovare con due rami sbilanciati , con portate diverse specie se i componenti hanno raccordi di sezione differenze, per esempio non e' una buona idea mettere sullo stesso ramo un waterblock cpu con raccordi da 12mm interni e un altro in serie con raccordi da 8mm interni, la portata sarà sicuramente limitata dai raccordi più piccoli, allo stesso modo se abbiamo due waterblock in parallelo su due rami differenti in cui uno ha raccordi da 10mm interni mentre l'altro con raccordi da 14mm, e' facile avere basse portate sul ramo del waterblock con i raccordi più piccoli perché l'acqua andrà con maggior abbondanza sul ramo con meno resistenza. Quindi è importantissimo l'ordine dei waterblock in funzione della portata mentre è ininfluente l'ordine rispetto ai componenti che devono essere raffreddati , cioè mettere in fondo alla catena il waterblock del componente che scalda maggiormente col timore che l'acqua che arriva sia troppo

calda e non raffreddi abbastanza perché ha già recepito calore dai waterblock precedenti, infatti bisogna capire che non è importante la temperatura locale prima-dopo un qualsiasi waterblock ma l'obiettivo è raggiungere l'equilibrio termico più favorevole. Se un sistema richiede alte portate, è necessario accontentarlo senza preoccuparci che l'acqua che arriva ad un waterblock qualsiasi sia leggermente più calda perché ne ha già attraversati altri poiché la differenza di temperatura tra il prima e dopo un waterblock si misura in decimi di grado, talmente è irrisoria infatti nel circuito l'acqua gira molto velocemente, e attraversando il waterblock non fa in tempo a divenire così calda.

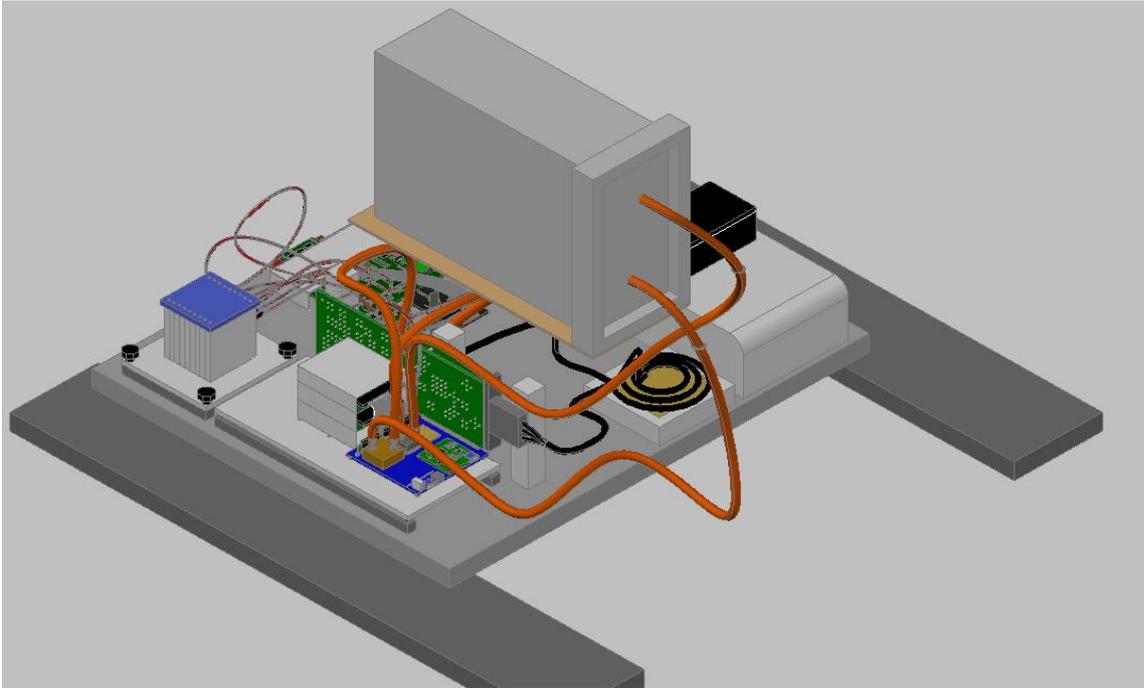
Soltanto nei primi minuti, si nota un raffreddamento maggiore dei componenti posti subito dopo la pompa ma con il passare del tempo dopo le temperature di acqua e waterblock si stabilizzano, fino a raggiungere il fantomatico equilibrio, dove i due corpi acquistano e cedono la stessa quantità di calore, mantenendo invariata la propria temperatura. Giunti a questo punto si capisce come sia ininfluenza la temperatura locale dell'acqua che arriva al waterblock, poiché la quantità di calore che assorbirà dipenderà interamente dalla temperatura totale del circuito. Ricordate infatti che l'acqua stessa, nelle diverse parti del circuito, è sempre un' unico corpo che, per le leggi fisiche, scambia calore al suo interno fino ad arrivare prima di tutto al proprio equilibrio. Questo perché l'acqua assorbe dai waterblock e rilascia (grazie allo scambiatore) moltissimo calore lentamente.

Ricapitolando l'obiettivo di un efficiente sistema di raffreddamento a liquido non dovrebbe essere principalmente quello di raffreddare i componenti, ma quello di costruire un sistema che assorba nel minor tempo la maggior quantità di calore possibile e che lo ceda altrettanto velocemente e massicciamente, ottimizzando i flussi e la velocità di percorrenza dell'acqua a seconda delle caratteristiche tecniche dei componenti.

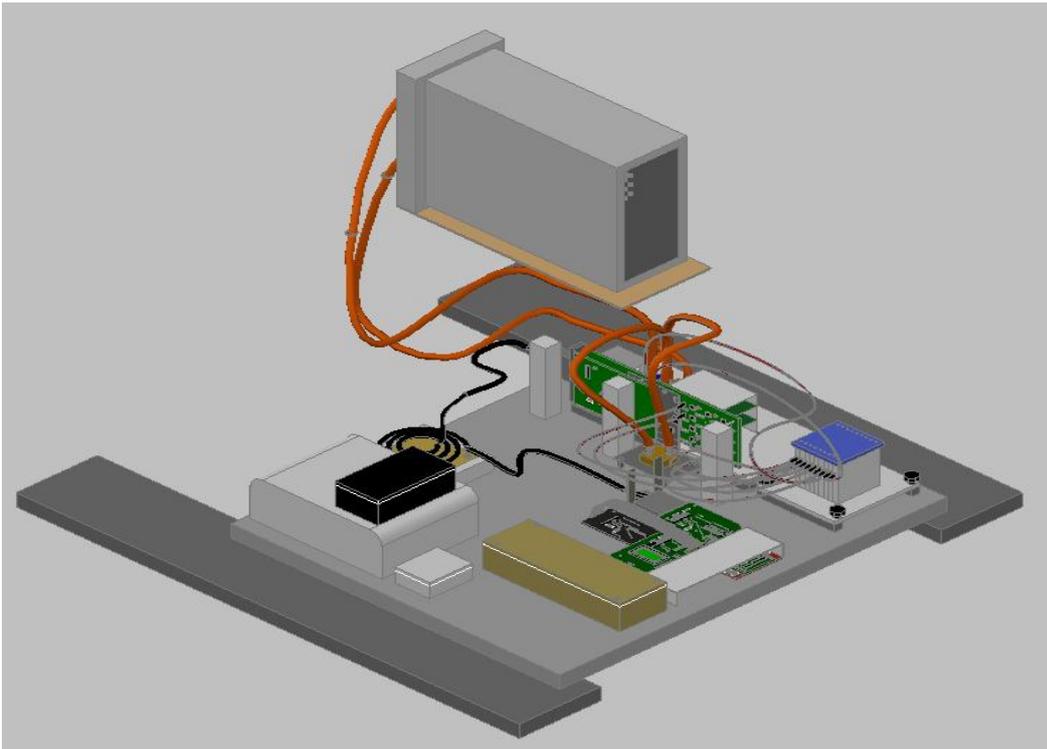
Ora nel nostro caso dobbiamo decidere la topologia da adottare, da quello che abbiamo detto sopra si evince che uno dei metodi migliori sia la topologia parallelo tuttavia noi abbiamo adottato una pompa che ha delle caratteristiche di prevalenza e portata tali che può supportare tranquillamente anche sei waterblock in serie. Pertanto utilizzeremo proprio quest'ultima configurazione tenendo quest'ordine:

- 1) Waterblock CPU .
- 2) Waterblock disk array controller.
- 3) Waterblock Northbridge / Southbridge.
- 4) Waterblock sulla piastra.

Quindi nel nostro sistema di raffreddamento (**Figura 4- 2: Sistema di raffreddamento ( fronte)**) avremo la pompa che preleverà il liquido dalla vaschetta e lo immetterà nel ingresso del waterblock della CPU , poi l'uscita della CPU sarà collegata all'ingresso del water block del disk array (**Figura 4- 3: Sistema di raffreddamento (Retro)**), e proseguendo in questo modo si attraverseranno il waterblock del North/Soutbridge e quello della piastra, infine l'uscita del waterblock della piastra verrà collegato alla vaschetta.



**Figura 4- 2: Sistema di raffreddamento ( fronte)**



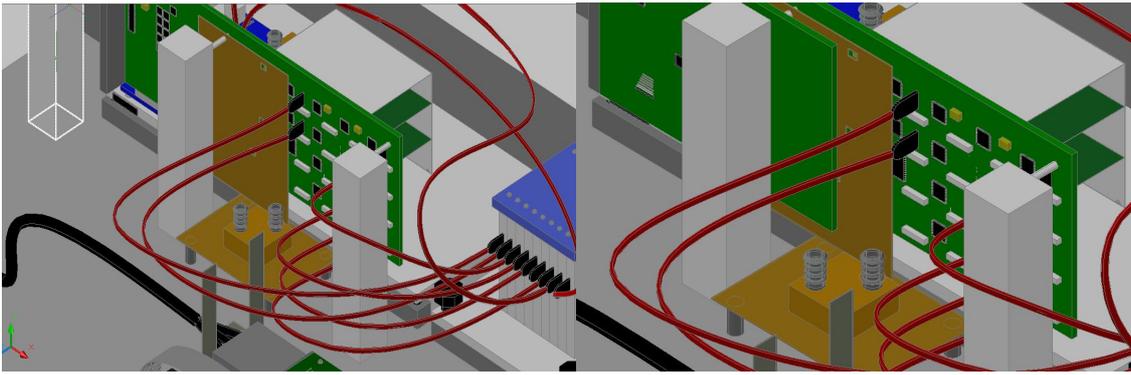
**Figura 4- 3:** *Sistema di raffreddamento (Retro)*

Per quanto riguarda il posizionamento dei waterblock avremo che quello per CPU verrà posizionato direttamente sul processore , mentre quello dedicato al raffreddamento del northbridge e southbridge verrà posizionato sulla piastra in rame come già descritto nel terzo capitolo, in entrambi i casi non bisogna dimenticare di applicare la pasta termoconduttiva tra il waterblock della CPU e la CPU medesima e tra il duo southbridge/northbridge e la piastra in rame e da quest'ultima al waterblock.

La pasta termoconduttiva è importantissima perché anche se le varie superfici di contatto sono “lappate a specchio” ci possono essere zone, non visibili ad occhio nudo, in cui non c'è una perfetta aderenza tra queste superfici e pertanto ci può essere un decadimento delle prestazioni nel raffreddamento che possono essere evitate utilizzando proprio la pasta termoconduttiva.

Il waterblock del disk array controller va montato sulla bandella che fuoriesce dall'intercapedine tra le due schede che lo costituiscono (**Figura 4- 4:Particolare del montaggio del waterblock e della bandella di rame sul disk array**) , nella figura si può anche notare il particolare della bandella di rame che deve aderire perfettamente ai dispositivi sul disk array controller che vanno raffreddati.

Anche in questo caso non bisogna assolutamente dimenticare di applicare la pasta termoconduttiva su tutte le superfici di contatto.



**Figura 4- 4:** Particolare del montaggio del waterblock e della bandella di rame sul disk array

Inoltre altra cosa importantissima è di stringere bene i tubi intorno ai raccordi dei waterblock per evitare perdite di liquido che potrebbero compromettere il funzionamento dei componenti su cui poggiano.

Nel nostro impianto di raffreddamento abbiamo utilizzato tutti tubi del diametro di 12 mm al fine di avere una buona portata, i primi due waterblock hanno una portata superiore a quella della pompa e pertanto non “strozzano” il sistema quindi il primo e il secondo waterblock vengono attraversati con la portata massima della pompa, cioè 360 l/h, l’ultimo waterblock, quello montato sul Nortbrige/Southbrige , essendo di dimensioni più piccole ha conseguentemente una portata minore stimata in 200 l/h se si usasse una pompa Since 800, tuttavia la pompa Sanso PDH 54 ha una prevalenza superiore ( e di molto) a quella della Since pertanto la portata all’uscita del waterblock sarà notevolmente superiore.

Per calcolare la portata finale del nostro impianto di raffreddamento , una volta acquistati tutti i componenti, si collegano in serie la pompa e i tre waterblok, nell’ordine in cui l’abbiamo progettati, si immerge la pompa in una vasca contenente acqua e quando l’impianto va a regime ,cioè quando si eliminano tutte le bolle d’aria che all’inizio possono essere presenti nel circuito, si collega l’uscita dell’ultimo waterblock della serie ad un contenitore graduato , si fa partire il cronometro e si ferma il riempimento del contenitore dopo cinque minuti, la quantità di acqua presente nel contenitore diviso il tempo in cui abbiamo effettuato la prova (cinque minuti nel nostro esempio) ci daranno la portata finale del nostro impianto di raffreddamento. Questo modo di calcolare la portata è abbastanza “ grossolano” tuttavia noi vogliamo avere un valore approssimativo della portata perché, per quanto detto nel paragrafo precedente, un litro in più o in meno di portata non fa differenza.

Altra cosa importante è, dopo aver calcolato la portata nel modo sopra indicato, provare l'impianto tenendolo acceso per due-tre giorni, per verificare la robustezza della pompa ed eventuali perdite che si potrebbero avere per non aver allacciato i tubi sui raccordi dei waterblock in maniera ottimale.

#### **4.1.2 Costruzione della vasca e dello scambiatore di calore con spiegazione del relativo funzionamento.**

Nel terzo capitolo avevamo demandato la discussione sulla costruzione dello scambiatore di calore e sulla spiegazione del suo funzionamento in questo capitolo ed è proprio in questo paragrafo che ci occuperemo di tali problematiche.

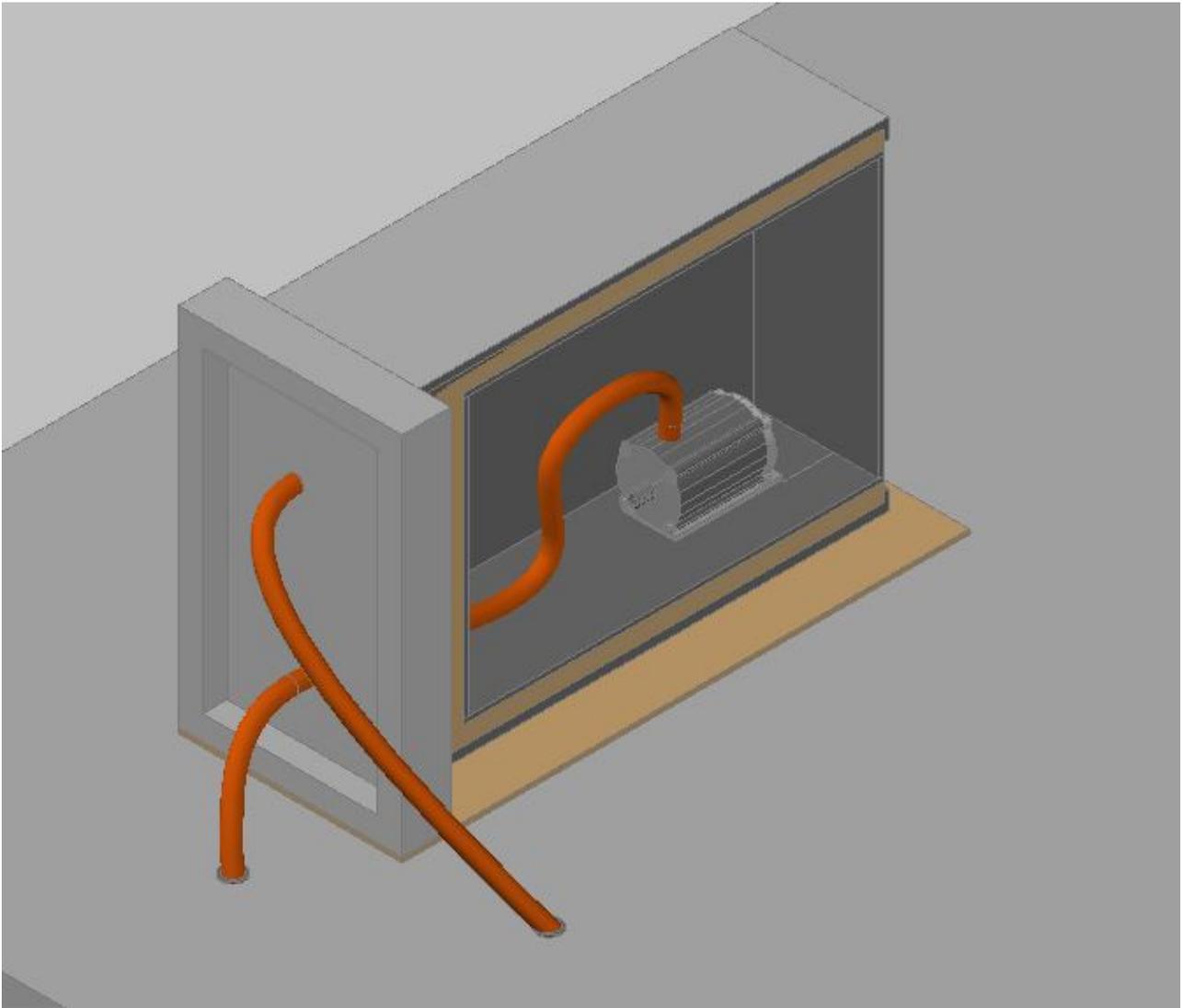
Nel paragrafo 4.1.1 abbiamo visto come il nostro impianto tramite il liquido che attraversa i vari waterblock raccoglie il calore presente nel SORA e lo trasferisce nella vaschetta di raccolta del liquido, presente all'esterno della sonda. Tuttavia, come già spiegato nel paragrafo precedente, all'inizio quando viene acceso il SORA il liquido sarà ad una certa temperatura (quella ambiente), ma con il passare del tempo questo tende a riscaldarsi fino a quando non si arriva al punto di equilibrio termico, cioè quando il calore acquistato dal sistema di raffreddamento è uguale a quello ceduto all'ambiente.

La cessione del calore avviene proprio tramite lo scambiatore di calore che in un normale sistema a liquido è costituito dal radiatore. Ma come già detto più volte il radiatore non può essere utilizzato perché ha bisogno di una ventola che noi per via della bassa pressione non possiamo utilizzare. Quindi ho ovviato a questo problema utilizzando una grande quantità di liquido (15 litri) e uno scambiatore di calore realizzato ad hoc.

La realizzazione avviene utilizzando il boiler della quick (**Figura 4- 5: Sezione del boiler**) che abbiamo visto nel capitolo 3 completamente coibentato (dalla figura si vede lo strato di materiale isolante tra le due lastre d'acciaio) in modo tale che mi isoli la superficie esterna in acciaio inox con il liquido interno. Su questo boiler si ritaglierà un pezzo della grandezza giusta per poter inserire la pompa e il tubo che dalla pompa alimenta l'impianto di raffreddamento, da questo pezzo inoltre si asporta la parte isolante ripulendo per bene in modo che fuoriesca lo strato d'acciaio della parte esterna del boiler soprattutto nella parte superiore ove la temperatura è più alta.

Infine si salda il pezzo al boiler ottenendo così uno scambiatore di calore che utilizza tutta la superficie esterna di cui è costituito il boiler, ma che è isolato nella parte sottostante in cui il liquido presente nel boiler è più freddo.

Nella **Figura 4- 5: Sezione del boiler** inoltre si può notare anche lo strato di materiale isolante su cui poggia il boiler e che serve ad evitare che il calore acquisito da quest'ultimo venga scambiato con la struttura della gondola che contiene le apparecchiature elettroniche.



**Figura 4- 5:** *Sezione del boiler*

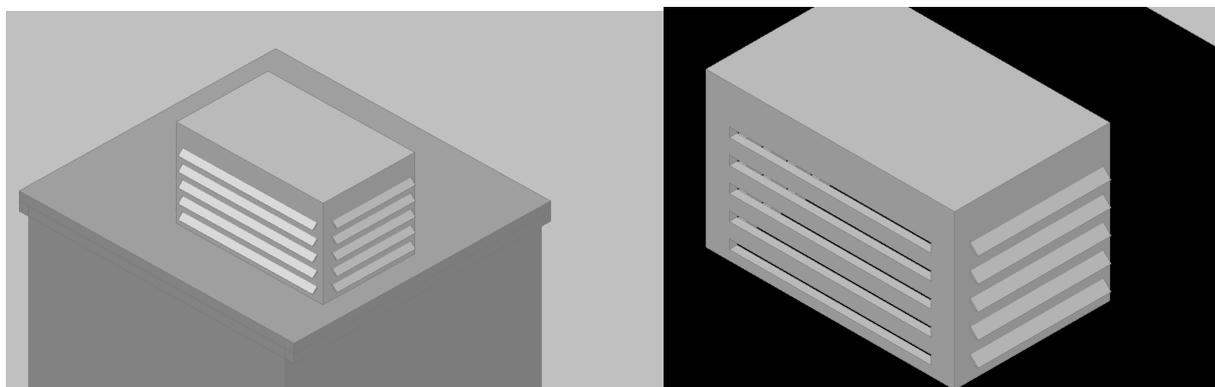
Inoltre è importante il primo riempimento del boiler , quello più critico, per effettuarlo prima di tutto si riempie il boiler a pompa spenta, poi quest'ultima si accende per qualche secondo fino a che non entri tutto il liquido nei tubi e nei vari waterblock del sistema di raffreddamento, è bene non riempirlo fino all'orlo per avere la possibilità di eliminare le bolle d'aria e anche perchè l'acqua scaldandosi aumenta leggermente di volume , per questo, anche se il boiler ha una capacità di 16 litri, è bene riempirlo di solo 15 litri.

Tuttavia ricordo che il boiler è premunito anche di una valvola per evitare problemi di pressione interna.

Il boiler va infine posizionato (**Figura 4- 6:** *Posizione del boiler e particolare costruttivo*) sul coperchio della gondola nella parte più vicina al computer di bordo e alla conduttura per evitare che i tubi che trasportano il liquido compiano percorsi troppo lunghi.

Infine un'ultima accortezza, per evitare che l'irraggiamento solare provochi un eccessivo riscaldamento sul boiler con conseguente aumento della temperatura del liquido, e quella di predisporre un piccolo e leggero tettuccio in materiale isolante e colore bianco che ombreggi i componenti esterni alla gondola del sistema di raffreddamento( il boiler e i tubi che fuoriescono), ma che allo stesso tempo faccia passare anche i flussi d'aria attraverso delle feritoie laterali.

Il bianco si è scelto perché il colore di un oggetto dipende da come questo riflette le lunghezze d'onda della radiazione luminosa che lo raggiunge. Un oggetto che riflette tutte le lunghezze d'onda lo vedi bianco, mentre uno che tende ad assorbirle lo vedi nero.



**Figura 4- 6:** *Posizione del boiler e particolare costruttivo*

Nelle (**Figura 4- 6:** *Posizione del boiler e particolare costruttivo*) si può notare la posizione della gondola e un particolare costruttivo del copriboiler senza le alette che ricoprono le fessure.

### 4.1.3 Costi

Giunti alla fine della tesi mi sembra doveroso dover affrontare anche l'aspetto economico e valutare la spesa finale per realizzare l'impianto di raffreddamento descritto in questa tesi.

Componente	Prezzo
Waterblock LunasioX-R1 1096-E	85 €
Waterblock LunasioX-R1 1096-E	85 €
Waterblock Lunasio LunaFORCE /3	65 €
Pompa Sanso PDH 54	109 €
Tubi Gate Stile 400 (3 mt)	450 €
Boiler Quich rettangolare 16 litri	200 €
Pasta termoconduttiva, raccordi portatubo e spese varie	40 €
Totale	1.034 €

**Tabella 4- 1:** Costi dei singoli componenti del sistema di raffreddamento

I costi sono indicativi e possono variare nel tempo, dalla tabella di sopra si può notare che la spesa maggiore è per l'acquisto dei tubi, il mercato ne offre anche di più economici, tuttavia questo prodotto ( come già spiegato nel capitolo 3) è adattissimo ad operare nelle condizioni ambientali della stratosfera, questi tubi realizzati negli Stati Uniti sono testati e garantiti dall'azienda produttrice, anche i waterblock scelti costano di più rispetto ad altri ma questi sono prodotti artigianalmente dalla Lunasio e sono completamente in rame, mentre quelli più "comerciali" spesso presentano anche parti in plastica dura che per quanto possa essere resistente potrebbe cedere operando in condizioni ambientali diverse da quelle per cui normalmente vengono progettati.

Il boiler della quick è stato scelto tra i tanti anche perché l'azienda mi ha garantito che questo prodotto può essere facilmente manipolato sia per inserire la pompa nel suo interno, che per asportare parte del rivestimento termico.

I motivi della scelta della pompa sono stati ampiamente spiegati nel capitolo tre, rispetto alle altre pompe in commercio costa 3 volte tanto, ma la sua resa e affidabilità vale ampiamente i soldi investiti.

## Conclusioni

Il lavoro di tesi ha riguardato lo studio e il progetto del sistema di raffreddamento del payload del SORA.

Dapprima si è andato ad analizzare l'architettura del payload SORA , di cui si sono apprese le varie modalità di funzionamento, le sue interfacce ed i suoi sottosistemi, dopo si è focalizzata l'attenzione sulle problematiche inerenti all'ambiente in cui ha luogo la missione.

Abbiamo analizzato i dati termici del SORA che erano in nostro possesso e da quelli si sono individuati i componenti che soffrivano di eccessivo riscaldamento e su cui era necessario intervenire per abbassare le loro temperature e per riportarle ad un valore accettabile .

Una volta stabilito i componenti su cui operare si è affrontata la problematica di scegliere tra tutti i sistemi attualmente disponibili quello che risolveva il nostro problema nella maniera migliore, e tra le varie proposte si è scelto il sistema che utilizza i waterblock.

Successivamente con un'indagine di mercato si sono scelti i prodotti in commercio che risolvevano al meglio le problematiche che abbiamo riscontrato per via delle condizioni ambientali critiche nelle quali il SORA deve lavorare.

Infine nell'ultimo capitolo ci siamo dedicati alla descrizione del progetto del sistema di raffreddamento e del funzionamento dei singoli componenti che ne fanno parte, inoltre il progetto è stato allestito e illustrato utilizzando il programma da disegno tridimensionale AUTOCAD 2008.

Il lavoro di tesi è stato in gran parte un lavoro di ricerca e progetto, ma nel momento in cui si passa alla fase di realizzazione del progetto di raffreddamento è necessario rifare le prove nella camera a termovuoto per stabilire se c'è un corretto funzionamento, tuttavia il progetto che abbiamo realizzato è "dinamico" cioè si presta facilmente a delle modifiche( qualora sorgessero problemi). Infatti se durante le prove nella camera a termovuoto si riscontrassero problemi di riscaldamento su altri componenti basta montare su di loro altri waterblock senza preoccuparci della portata perché proprio in previsione di questi possibili problemi abbiamo montato una pompa dall'alta prevalenza che non risente assolutamente dell'aggiunta di altri waterblock in serie a quelli già predisposti .

## **BIBLIOGRAFIA**

[1] **PRC\_COR\_ADD\_08\_003**

Alberti G., Bortone M., Galiero G., Mattei S., Palmese G.

[2] **PRC\_COR\_NTE\_08\_002\_01**

Giovanni Alberti, Stefania Mattei

[3] **Termodinamica e trasmissione del calore**

Cengel Yunus A, McGraw-Hill, New York, (2008)

[4] **A Heat Transfer Textbook**, 3rd edition

John H. Lienbard, internet, (2006)

[5] **Introduction to Radar Systems**

MI Skolnik, McGraw-Hill, New York, (1985)

[6] **Influenza dell'effetto Marangoni sull'efficienza di heat pipes per applicazioni spaziali**

Tesi di Francescantonio Nicola

[7] **Heat pipe Science and Technology**

Amir Faghri, Taylor & Francis Group, (1996)

[8] **PRC-COR/ NTE/09 /2004**

Giovanni Alberti, Stefania Mattei

[9] **Appunti in rete**

<http://www.hwupgrade.it>

<http://www.coolingtechnique.com/>

<http://www.pctuner.net/>