

# INTERNAL REPORT

## Studio dell'architettura criogenica del ricevitore coassiale LP

G. Valente<sup>1\*</sup>, P. Marongiu<sup>1</sup>, J. Roda<sup>2</sup>

<sup>1</sup> INAF-Osservatorio Astronomico di Cagliari

<sup>2</sup> INAF-Istituto di Radioastronomia Bologna

\*valente@oa-cagliari.inaf.it

Report N. 43,  
9 Dicembre 2014

Revisore: A. Orfei

The logo for the Osservatorio Astronomico di Cagliari (OAC) consists of the letters 'OAC' in a bold, blue, sans-serif font.

Osservatorio  
Astronomico  
di Cagliari

# INDICE

INTRODUZIONE .....	3
1. DESCRIZIONE DEL FRONT-END DEL RICEVITORE COASSIALE LP .....	4
2. STIMA BUDGET TERMICO PRELIMINARE .....	9
Studio Separazione termica 300K-70K .....	9
Studio separazione termica 70-20K .....	13
Conclusione studio termico preliminare.....	14
3. STUDIO TERMICO BANDA P .....	16
Cavo COMJ-Dewar .....	16
Cavo dewar- ibrido frattale con accoppiatore direzionale integrato .....	17
Connessione della marca di rumore e LNA all'uscita del dewar .....	22
Conclusione RF-banda P .....	24
4. STUDIO TERMICO DEL BANDA L PRIMA VERSIONE .....	26
Ibridi DRWG .....	26
Carico Termico per irraggiamento dell'OMJ .....	26
Connessione dell'accoppiatore direzionale all'ibrido .....	27
Connessione della marca di rumore e LNA all'uscita del dewar .....	28
Conclusione RF-banda L .....	30
5. STUDIO TERMICO DEL BANDA L SECONDA VERSIONE .....	32
Configurazione con OMJ @20K .....	32
CONCLUSIONE .....	35
INDICI DELLE FIGURE E DELLE TABELLE .....	36
REFERENZE .....	38

## Introduzione

Nel seguente documento verrà definita l'architettura criogenica del ricevitore coassiale LP da installare sul fuoco primario di SRT. I moderni ricevitori radioastronomici, per minimizzare il contributo di rumore ( $T_{RIC}$ ) della catena ricevente, sono equipaggiati con un complesso sistema criogenico. Tale sistema consente di portare a temperature criogeniche i componenti a microonde, sia passivi che attivi, a monte dell'amplificatore a basso rumore (LNA, Low Noise Amplifier). In particolare, il ricevitore LP presenta due stadi di temperatura criogenica, denominati "primo stadio" e "secondo stadio". Nello specifico, il primo stadio è termalizzato ad una temperatura di circa 70K, il secondo stadio ad una temperatura di circa 20K. Nel documento verranno analizzati i tre fenomeni responsabili del trasporto termico (irraggiamento, convezione e conduzione) e le tecniche usate per separare i tre stadi di temperatura (stadio a temperatura ambiente, 300K, primo stadio criogenico 70K e secondo stadio criogenico, 20K). Sarà, inizialmente, analizzato e descritto un primo bilancio termico che deriva dai vincoli dimensionali e meccanici del ricevitore. Tale studio verrà poi raffinato e quindi verranno definiti nel dettaglio le posizioni dei componenti a radio frequenza all'interno del dewar. Il dewar è banalmente un contenitore in cui, attraverso un sistema di pompe, è realizzato un vuoto minore di  $10E-6$  mBar, e un criostato, il cui interno è termalizzato alle temperature criogeniche di 70K e di 20K. Il criostato deve essere scelto ad hoc dopo aver determinato il carico termico del ricevitore. In conclusione del documento verrà fatta una stima della temperatura di rumore del ricevitore da fuoco primario dual band.

## 1. Descrizione del front-end del ricevitore coassiale LP

In questa prima parte del documento verrà descritta brevemente la sequenza di componenti che compongono il front-end del ricevitore coassiale LP (Rx-LP). Il Rx-LP ha la particolarità di poter ricevere contemporaneamente due bande di frequenze distinte, la banda P, il cui intervallo di frequenza è 305-410 MHz e la banda L, il cui intervallo di frequenza è 1.3-1.8 GHz.

Per ogni banda è possibile osservare entrambe le polarizzazioni lineari, ovvero la polarizzazione lineare orizzontale (H-Pol) e la polarizzazione lineare verticale (V-Pol). Con un setup particolare degli switch interni al ricevitore è possibile generare, dalle polarizzazioni lineari, la polarizzazione circolare destra (RHCP) e la polarizzazione circolare sinistra (LHCP). In conclusione, il front-end del ricevitore Rx-LP è formato da quattro catene riceventi distinte, ognuna delle quali verrà termalizzata alla temperatura criogenica ottimale per il suo funzionamento.

Lo schema a blocchi in *Figura 1* descrive tutta la catena ricevente che costituisce il Rx-LP. Tale catena può essere divisa in due sezioni: la catena di front-end che è quella che viene raffreddata a temperatura criogenica, parte responsabile delle prestazioni principali del ricevitore come rumore e cross-polarizzazione e una seconda catena, esterna al dewar, che ha il compito di amplificare, filtrare e ricombinare il debole segnale proveniente dal dewar.

In questo rapporto tecnico, come già descritto precedentemente, verrà messo in evidenza il progetto del sistema di termalizzazione del ricevitore nella sua sezione criogenica. Si rimanda ad altri rapporti tecnici il dettaglio sulla scelta dei vari componenti e la distribuzione del segnale RF [1], [2], [3] e [4].

La *Figura 2* rappresenta nel dettaglio lo schema a blocchi del front-end del ricevitore LP [1]. Tale schema è necessario per capire la tipologia di componenti presenti nel ricevitore e quindi anche come procedere con la progettazione della parte criogenica. Analizzando lo schema infatti si evince che sono presenti 4 amplificatori, ovvero quattro componenti attivi che dissipano continuamente una certa potenza. Il valore della potenza dissipata è di fondamentale importanza per il calcolo del budget termico. Inoltre la presenza degli amplificatori comporta anche la necessità di avere fili elettrici per portare l'alimentazione a questi dispositivi. La tipologia dei componenti è molto importante in quanto indica le dimensioni di massima del dewar da progettare e quindi anche la scelta del sistema da vuoto da scegliere per poi portare alla giusta pressione il sistema. La descrizione della catena vuole essere molto semplice e poco dettagliata ma è necessario dare alcune informazioni che saranno poi riprese per capire nel dettaglio alcune scelte.

Il Rx-LP è un ricevitore che lavora nelle bande a più bassa frequenza del SRT, per cui i componenti che si utilizzano sono dei componenti di dimensioni considerevoli, essendo queste proporzionali alla lunghezza d'onda, che è inversamente proporzionale alla frequenza. Questo ha portato a definire la tecnologia con cui realizzare alcuni componenti.

Una configurazione generica di una catena ricevente di un ricevitore super eterodina, tipologia dei ricevitori presenti ad SRT, è costituita da un feed, necessario per accoppiare il segnale in spazio libero raccolto dall'antenna e lo spazio guidato in cui il segnale poi viene elaborato, un sistema di iniezione di un segnale di riferimento, quindi un polarizzatore, le cui uscite circolari RHCP e LHCP sono separate da un OMT (OrthoMode Transducer) sulle due uscite del quale è installato un LNA. Il segnale esce dal dewar a una sezione del circuito in cui il rumore a valle dall'amplificatore viene mascherato dal guadagno dell'amplificatore stesso.

# Schematic of L-P Band coaxial receiver V. 2.01

L-band: 1.3-1.8 GHz  
P-band: 305-410 MHz

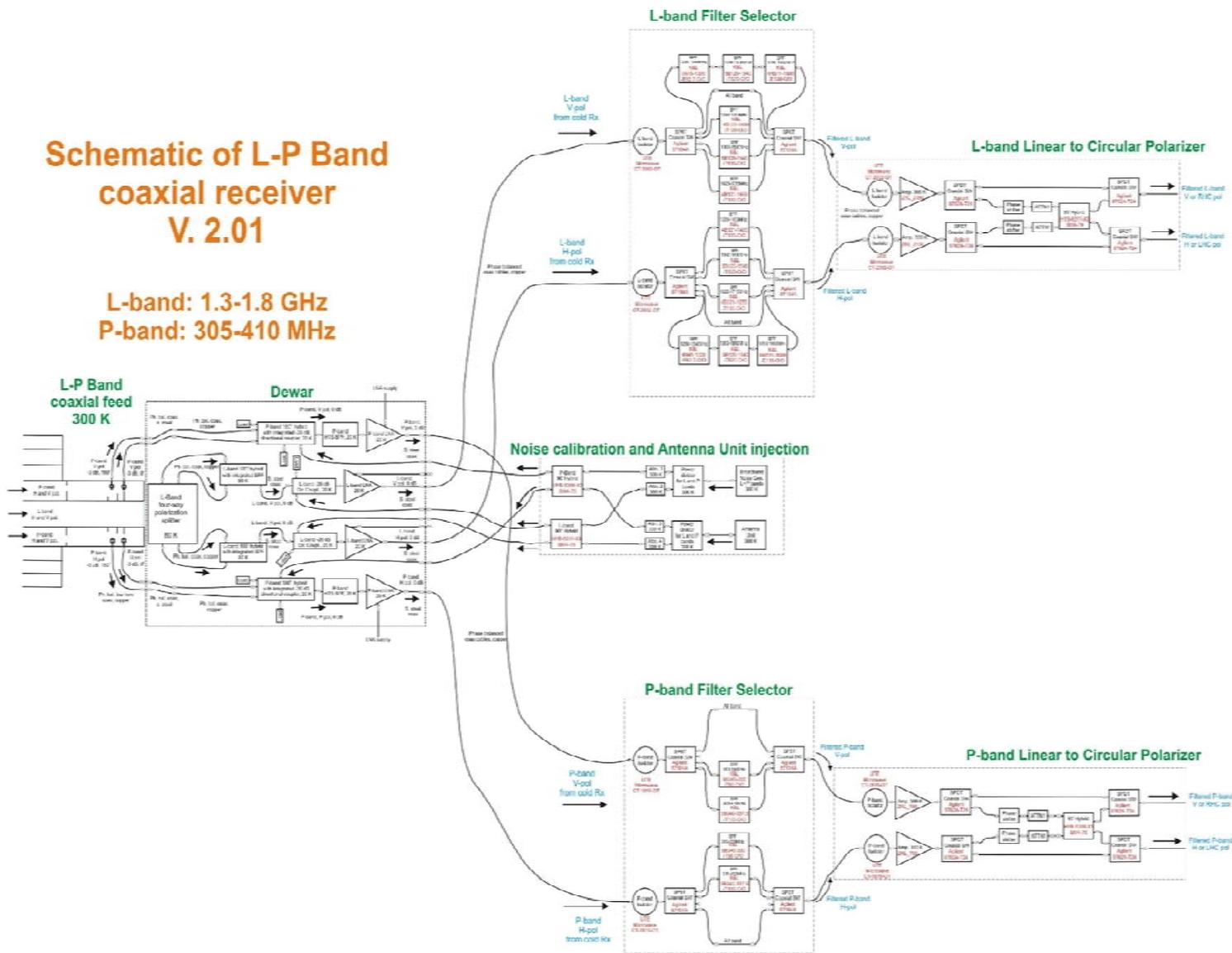
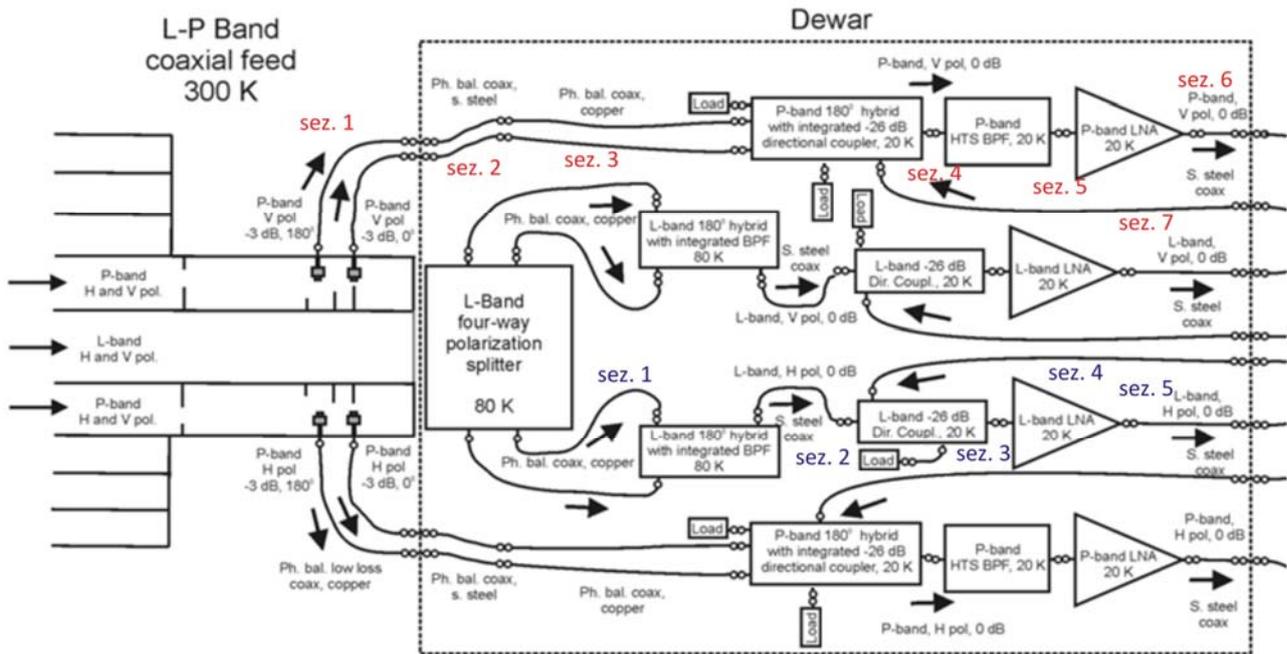


Figura 1: Schema dettagliato del ricevitore coassiale LP, installato nel fuoco primario di SRT.



**Figura 2:** Schema a blocchi dettagliato del dewar del ricevitore LP. Nella figura sono evidenziati i riferimenti alle varie sezioni di cavo che verranno poi analizzate. In rosso il percorso di una delle due polarizzazioni della banda P, in blu invece il percorso del segnale RF per la banda L. Nella figura sono indicate le temperature criogeniche di riferimento definite nello studio di fattibilità [1].

Il ricevitore coassiale LP non rispecchia totalmente la tipologia e la sequenza dei componenti definita per uno schema generale. Per prima cosa, a causa di problemi di spazio lungo l'asse verticale del ricevitore la sua altezza totale non deve superare 1.5 metri. Questo ha portato alla scelta di non inserire dopo il feed un polarizzatore. Inoltre, poiché le frequenze sono basse si è scelto di non raffreddare il feed, in quanto le dimensioni longitudinali del dewar sarebbero state elevate. In banda P @ 357MHz la lunghezza d'onda  $\lambda=840$  mm. Questo significa, essendo il ricevitore coassiale, che le dimensioni del feed in lunghezza saranno come minimo di circa 900 mm, ovvero rimangono solo 600 mm per tutti gli altri dispositivi a microonde e sistemi vari di funzionamento. Quindi è stato scelto di integrare l'OMT all'interno del feed per minimizzare lo spazio. Questo ovviamente ha comportato una configurazione ad orthomode junction, con l'inserimento dell'accoppiatore direzionale a valle del sistema di ricombinazione delle polarizzazioni per poter iniettare il segnale di marca proveniente dall'esterno del dewar. Per la banda P, prima dell'amplificatore a basso rumore è previsto un filtro per ridurre la densità di potenza che arriva al primo stadio di amplificazione. Alla fine della catena vi sono gli amplificatori le cui uscite sono collegate all'esterno attraverso dei cavi coassiali. Per semplificare, i segnali RF all'interno del dewar incontrano nel loro cammino rispettivamente,

per la banda P:

- *Feed coassiale con transizione guida coassiale – probe coassiali (Coaxial OrthoMode Junction COMJ), in realtà questa sezione è esterna al dewar @300K*
- *Ibrido 180° integrato con un accoppiatore direzionale, entrambi in microstriscia su substrato Arlon AD1000 con costante dielettrica 10.9, spessore 3.2258 mm e con un piano di massa di alluminio di 6.35 mm;*
- *Filtro High Temperature Superconductor (HTS);*
- *Low Noise Amplifier (LNA);*

per la banda L:

- *Feed circolare @300K concentrico al feed coassiale del banda P;*
- *Transizione guida circolare probe coassiali (OrthoMode Junction OMJ);*
- *Ibrido 180° in double ridge waveguide (DRWG) con un filtro passa banda integrato;*
- *Accoppiatore direzionale in microstriscia (Arlon AD1000);*
- *Low Noise Amplifier (LNA);*

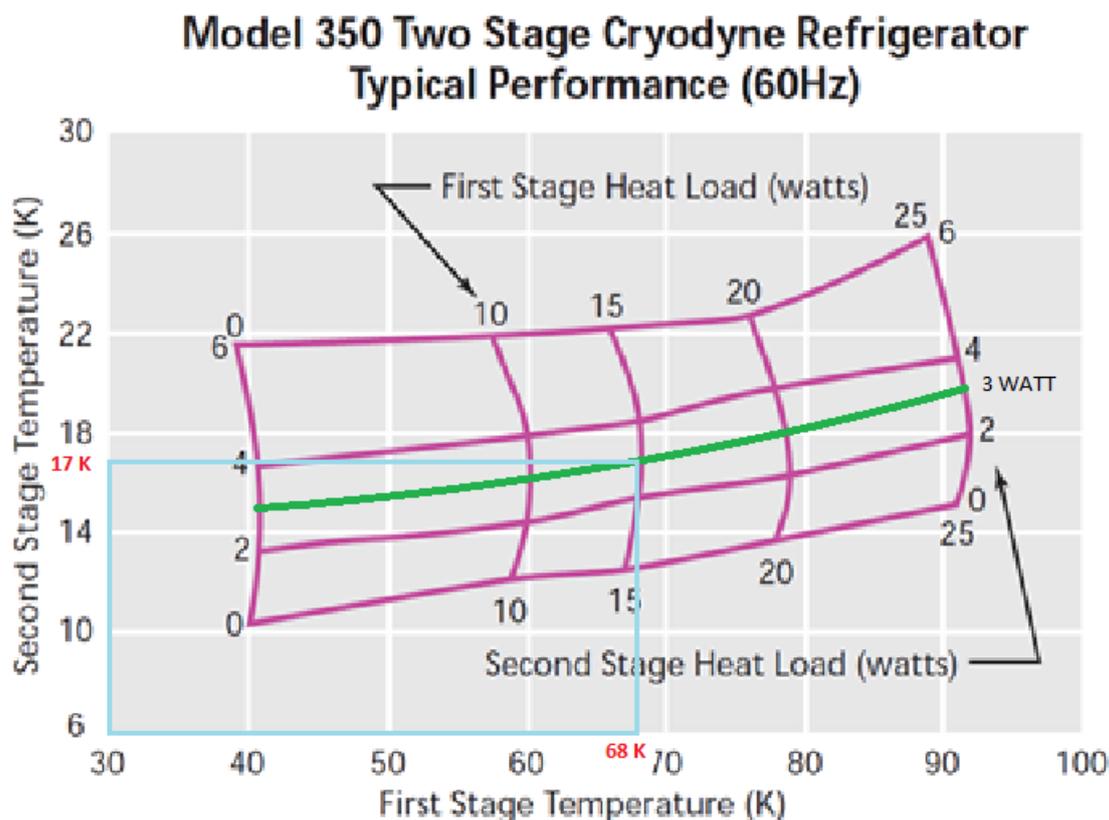
Nella Tabella 1 sono indicati i vari componenti elencati precedentemente con i relativi connettori.

Banda	Componente	Connettore IN		Connettore OUT		Modello
Banda P 0.305-0.410 GHz	Coaxial orthomode junction (COMJ in guida d'onda)	Coax WG	-	7/16	F	Radiall 185 405 270
	Ibrido 180° + accoppiatore (microstriscia)	SMA	F	SMA	F	Radiall 125 512 000
	Filtro HTS (microstriscia materiale superconduttore)	SMA	F	SMA	F	Radiall 125 512 000
	LNA RF	SMA	M	SMA	F	Radiall 125 512 000
	LNA Alimentazione	Micro-D				
Banda L 1.3-1.8 GHz	Orthomode junction (OMJ in guida d'onda)	Cir WG	-	7/16	F	Radiall 185 405 270
	Ibrido 180° drwg + filtro passa banda (in guida d'onda)	Tipo N	F	Tipo N	F	Radiall 161 404 530
	Accoppiatore direzionale (in microstriscia)	SMA	F	SMA	F	Radiall 125 512 000
	LNA RF	SMA	F	SMA	F	Radiall 125 512 000
	LNA Alimentazione	MICROTECH 7 PIN ER-7S-6				

**Tabella 1:** Elenco dei componenti e corrispettivi connettori.

Per il calcolo del budget termico si devono analizzare i tre contributi di trasporto termico, ovvero la conduzione, l'irraggiamento e infine la convezione. Quest'ultimo è il fenomeno dovuto al trasporto del calore attraverso le molecole presenti nell'atmosfera. Per minimizzare questo contributo il sistema di raffreddamento deve essere equipaggiato di un sistema che realizzi il vuoto. Ovviamente minore è la pressione che si raggiunge minore è l'effetto del trasporto dovuto alla convezione. Un valore di vuoto sufficiente è di circa  $1E-5$  mBar. In questo modo il fenomeno della convezione può essere trascurato. Nel ricevitore LP si punta ad avere un vuoto minore di tale valore.

Gli altri due fenomeni, conduzione e irraggiamento, non possono essere trascurati e tanto meno eliminati, ma devono essere limitati. Il ricevitore LP avrà un dewar che ha un'area fisica non nulla che scambia calore con l'esterno (irraggiamento). Tale valore ovviamente dipende da che cosa si vuole raffreddare e solo con alcuni accorgimenti che verranno esposti nei paragrafi successivi si può minimizzare tale valore. La conduzione è il trasporto del calore attraverso i materiali che creano un ponte termico tra due punti a differente temperatura. Il fenomeno della conduzione è tanto maggiore quanto migliore è la conducibilità termica del materiale. Ovviamente la conducibilità termica è bassa per materiali isolanti. Nelle varie sezioni del documento che seguono verranno descritti e dimensionati nel dettaglio le diverse parti per ottenere l'ottimale raffreddamento dei componenti RF elencati nella tabella 1. Verrà analizzata prima la separazione termica 300K-70K, quindi la separazione termica 70K-20K e infine verrà individuato se esiste una zona di contatto tra 300K-20K. Prima di passare al calcolo dell'apporto di potenza di ogni singolo fenomeno è bene chiarire la potenza disponibile. Questo ovviamente dipende al criostato che si utilizza. Per ora nei ricevitori di SRT si è sempre soddisfatta la dissipazione termica con un criostato della CTI cryogenic modello 350. Questo criostato con una potenza di 15W sul primo stadio e una potenza di circa 3W sul secondo stadio garantisce una temperatura sul primo stadio di circa 68K e sul secondo di 17K. Questo si evince anche dalla curva di potenza del criostato in oggetto, in *Figura 3*. I conti che verranno fatti avranno come riferimento i valori indicati.



**Figura 3:** Grafico della potenza disponibile in funzione della temperatura che si può raggiungere per il modello della CTI cryogenic 350-CS.

## 2. Stima Budget termico preliminare

In questa sezione verrà definito il budget termico sul primo e sul secondo stadio dovuto alla meccanica del ricevitore e alle parti strettamente necessarie per il funzionamento del ricevitore stesso. Questo significa che in questa sezione si stima l'irraggiamento dovuto al dewar e il carico dovuto alle parti di sostegno dei vari stadi termici. Oltre a queste parti vi è anche la parte elettrica di alimentazione degli LNAs e vari sensori di temperatura. E' possibile dividere la stima del budget termico fisso sul primo e sul secondo stadio. Verrà quindi analizzata la separazione termica 300K-70K il cui carico grava sullo primo stadio del criostato, la separazione termica 70K-20K e 300K-20K il cui carico grava sul secondo stadio del criostato.

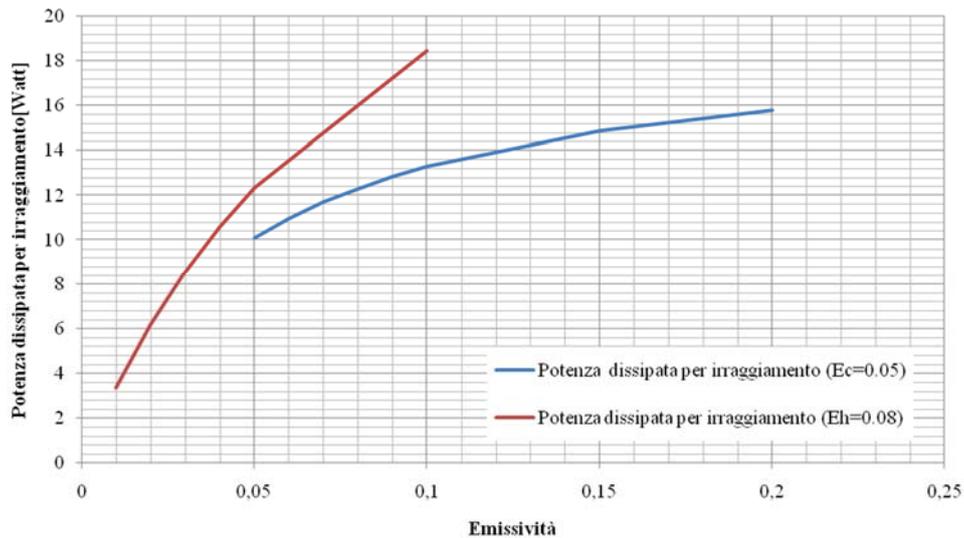
### Studio Separazione termica 300K-70K

Il dewar, definito in funzione delle dimensioni dei componenti indicati precedentemente e della loro disposizione, schema *Figura 2*, è un dewar cilindrico le cui dimensioni sono riassunte in *Tabella 2*.

	Dimensioni
<b>Altezza dewar</b>	248 mm
<b>Raggio dewar esterno</b>	274.5 mm
<b>Raggio dewar interno</b>	253 mm
<b>Superficie totale esterna</b>	0.918 m <sup>2</sup>
<b>Superficie totale interna</b>	0.812 m <sup>2</sup>

Tabella 2: Dimensioni geometriche del dewar del ricevitore coassiale LP.

Per minimizzare l'area fredda e uniformare la tipologia del materiale vista dalle pareti del dewar è necessario inserire tra le pareti esterne del dewar e la sua zona interna una superficie di separazione. Tale superficie è denominata scudo termico. La parete esterna del dewar è in acciaio inox (SS-304). Il materiale dello scudo interno invece è sempre acciaio inox ma lucidato. In questa sezione si vuole stimare il carico termico causato dall'irraggiamento delle superfici. In particolare si vuole dare una stima del trasferimento di calore tra le pareti esterne del dewar e lo scudo termico. Lo scudo termico è fissato sullo stadio a 70K, ovvero sul primo stadio del criostato, sezione in cui si ha la maggior potenza disponibile. Il calcolo di questo valore è abbastanza complicato in quanto dipende da parametri geometrici legati alle superfici, alla loro temperatura ma soprattutto dall'emissività dei materiali. Come si evince dal grafico in *Figura 4*, il valore di potenza dissipata per irraggiamento dipende fortemente dal valore di emissività e in particolare dall'emissività del materiale alla temperatura più bassa, che ovviamente è anche il parametro più difficile da misurare. Anche se la variazione della potenza dissipata per irraggiamento è ampia e incerta, è sempre molto utile avere una stima del valore finale in modo tale da considerare eventuali accorgimenti per minimizzare tale valore.



**Figura 4:** Grafico della potenza dissipata per irraggiamento al variare dell'emissività. La curva blu rappresenta la potenza dissipata tenendo costante il valore di emissività del materiale a più bassa temperatura (il valore fissato è 0.05), facendo quindi variare il valore di emissività della superficie calda. La curva rossa rappresenta la potenza dissipata per irraggiamento tenendo costante il valore di emissività del materiale a più alta temperatura (il valore fissato è 0.08) facendo quindi variare il valore di emissività della superficie fredda.

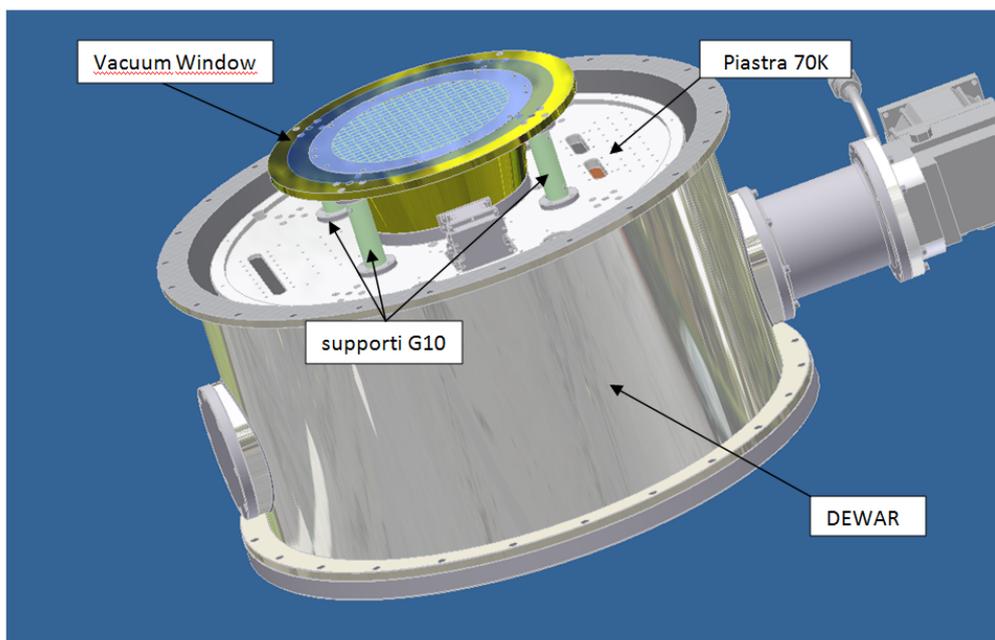
Il carico termico dovuto all'irraggiamento è stimabile intorno a circa 12W. Questa potenza deve essere dissipata dal primo stadio del criostato. Questo significa che circa il 80% della sua potenza refrigerante è spesa per assorbire la potenza irradiata.

Il valore determinato è troppo elevato, inoltre non è un valore del tutto certo. Infatti osservando la curva rossa della *Figura 4* si nota facilmente che piccole variazioni di emissività della parete fredda portano a elevate variazioni. Per ovviare a questo problema si è deciso di realizzare uno scudo termico costituito da una struttura solida fatta in acciaio. Lo scudo termico così fatto è poi stato rivestito da un materiale chiamato super insulation. Il valore di emissività di questo materiale è molto basso, circa 0.03 (questo implica che ci sia un valore di emissività sulla superficie fredda più stabile), ma nonostante questo la potenza sarebbe sempre troppo elevata, circa 10W (67% della potenza totale sul primo stadio del criostato). Per minimizzare al massimo tale valore si è scelto di inserire 10 strati di super insulation intervallati da una retina isolante di plastica in modo tale che il contatto tra un foglio e l'altro fosse minimizzato (idealmente eliminato). Questo accorgimento ha consentito di portare il carico termico dovuto all'irraggiamento ad un valore di circa 1W ovvero 6.7% della potenza totale sul primo stadio del criostato. Tutti i valori indicati sino ad ora sono riportati nella *Tabella 3*.

	Scudo Termico senza super insulation	Scudo Termico con super insulation
<b>Potenza Termica totale</b>	>12 W	<1W
<b>% utilizzo della potenza dello stadio</b>	>80%	< 7%

**Tabella 3:** Calcolo del carico termico per irraggiamento sul primo stadio dello scudo termico tra 300K e 70K.

Oltre al carico termico per irraggiamento si deve calcolare il carico termico per conduzione derivante dalla presenza del G10. Il G10 è un materiale fortemente isolante, costituito da fibre di vetro; dal punto di vista meccanico serve per sostenere tra di loro le varie parti e stadi del dewar. Dalle immagini realizzate con inventor [5] (*Figura 5*), si determinano le dimensioni geometriche, quali lunghezze e sezioni. Il G10 di *Figura 5* sostiene lo stadio a 70K alla flangia del feed, per cui realizza un ponte termico tra i 70 e 300 K.

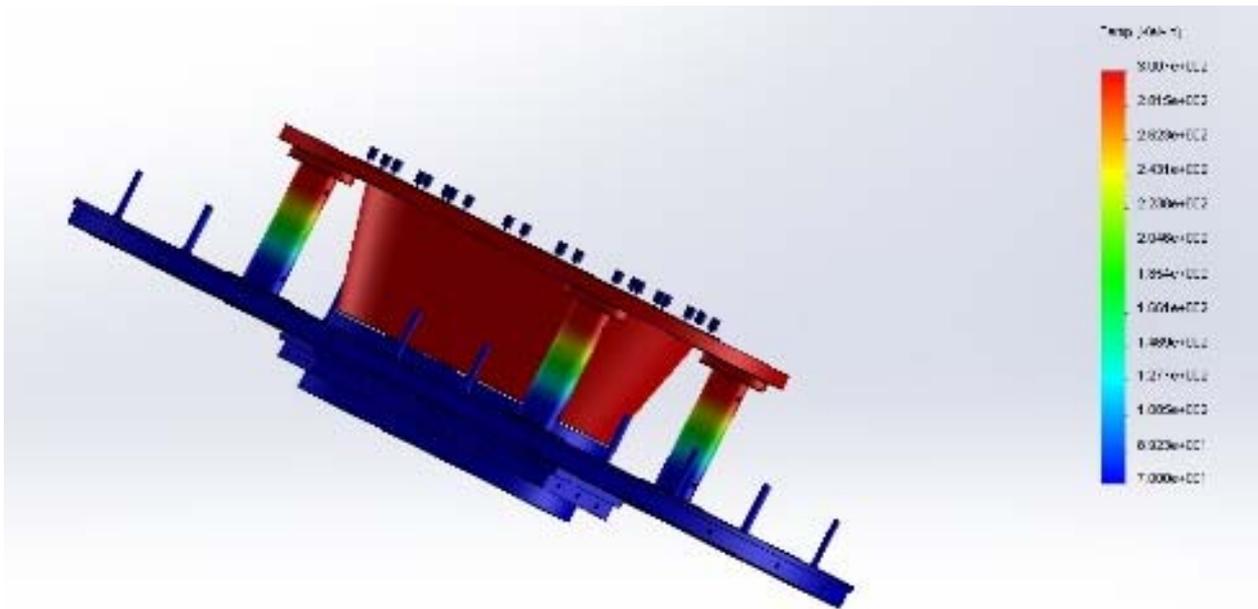


**Figura 5:** Assieme realizzato con il CAD 3D inventor. Nell'immagine sono evidenziati in verdolino i sostegni realizzati in G10 necessari per sostenere la piastra a 70K. La piastra è ancorata alla finestra da vuoto tramite 4 colonnette di G10, opportunamente sagomate e dimensionate.

	Stadio 70K
<b>Lunghezza [mm]</b>	77 mm
<b>Sezione [mm<sup>2</sup>]</b>	73.827 mm <sup>2</sup>
<b>Numero di barre di sostegno</b>	4
<b>Potenza Termica totale</b>	100.26mW => 401 mW
<b>% utilizzo della potenza dello stadio</b>	<2.7%

**Tabella 4:** Tabella riassuntiva sul carico termico dei sostegni di G10 tra la finestra da vuoto del ricevitore (@300K) e la piastra di sostegno dei componenti e dello scudo termico (@70K).

Per confermare i conti fatti, si è scelto di verificare tali valori con dei simulatori termici. In particolare la simulazione ha portato ad un valore di 380mW come valore di potenza necessaria per portare lo stadio freddo a 70K. In corrispondenza delle colonne di G10 si sviluppa la distribuzione della temperatura: la colorazione rossa rappresenta la parte calda del sistema (@300K) mentre la colorazione blu rappresenta la parte fredda @70K. Le colonne invece evidenziano una distribuzione della temperatura progressiva da 300K a 70K ( Figura 6).



**Figura 6:** rappresentazione della distribuzione della temperatura fisica del sistema. In rosso la temperatura di 300K e in blu la temperatura più fredda ovvero 70K. Il sistema raggiunge tale temperatura con una potenza complessiva di 380mW.

Le simulazioni termiche effettuate hanno confermato il valore stimato attraverso le classiche equazioni di trasferimento per conduzione.

Un altro contributo fisso a carico del primo stadio è dovuto ai cavi elettrici necessari per alimentare gli amplificatori e per cablare i sensori di temperatura. In totale il numero di cavi installati all'interno del dewar sono 40 cavi elettrici di sezione  $0.20 \text{ mm}^2$  e lunghezza di circa 1m. Il materiale ovviamente è rame e si considera come sezione l'equivalente di un cavo di sezione pieno.

	Soluzione 1	Soluzione 2	Soluzione 3
<b>Lunghezza [mm]</b>	250 mm	250 mm	1000 mm
<b>Sezione [mm<sup>2</sup>]</b>	0.2 mm <sup>2</sup>	0.05mm <sup>2</sup>	0.2 mm <sup>2</sup>
<b>Numero di cavi</b>	40	40	40
<b>Potenza Termica totale</b>	76mW => 3.04W	19mW=>0.75	19mW=>0.76W
<b>% utilizzo della potenza dello stadio</b>	20%		5%

**Tabella 5:** Soluzioni proposte per la scelta del compromesso migliore per la scelta del carico termico dovuto alla conduzione dei cavi elettrici. La soluzione 1 rappresenta la soluzione ideale trovata da un'analisi su CAD. La soluzione 2 e 3 sono le soluzioni di compromesso.

Da uno studio sul CAD 3D si è stimato che la lunghezza ideale del singolo cavo elettrico deve essere di 250mm. Questo, vedere *Tabella 5*, significa avere un peso termico di 3W totali, ovvero circa il 20% del budget totale. Questo valore è troppo alto. Per diminuire il carico termico si può agire su due parametri, sulla sezione del cavo elettrico (soluzione 2) oppure aumentando la lunghezza (soluzione 3). Si è scelta la strada di aumentare la lunghezza trovando un percorso alternativo per tutti i cavi. Quindi la soluzione 3, così chiamata nella tabella, prevede un carico termico totale di circa 0.75W ovvero circa 5% totale del budget sul primo stadio. Questa è la soluzione che verrà adottata. La soluzione 2 prevede lo stesso carico termico della soluzione 3 ma è stata scartata per motivi legati alla praticità di cablaggio.

### Studio separazione termica 70-20K

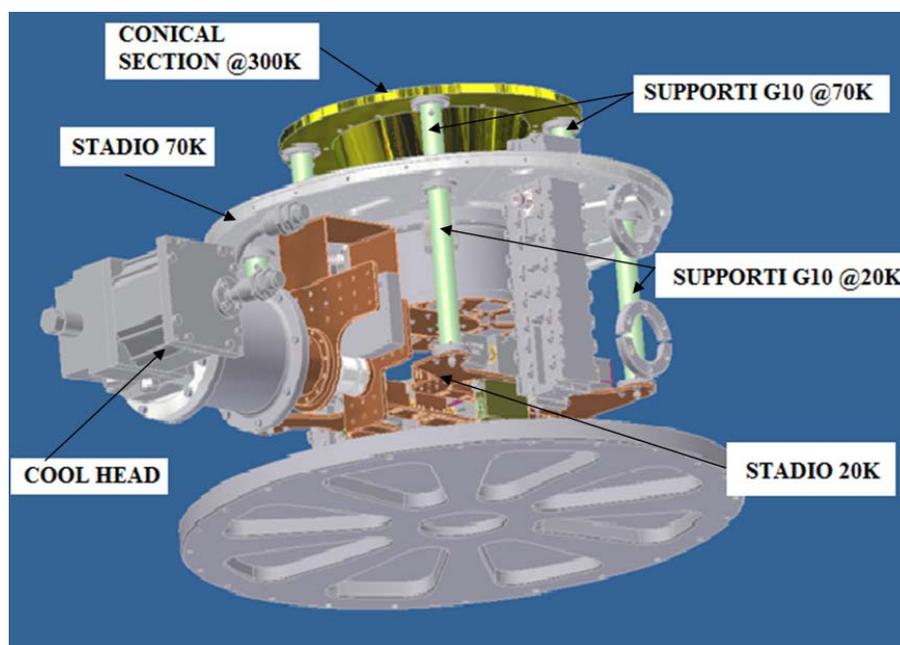
Lo scudo termico necessario per minimizzare il fenomeno dell'irraggiamento tra i 300K e 70K diventa la nuova superficie calda quando questa guarda la parte a 20K. La stima dell'estensione della superficie a 20K è difficile da fare in quanto si dovrebbe valutare tutte le superfici di tutti i componenti, i quali in aggiunta hanno una diversa tipologia di materiale (alluminio, alluminio con trattamento di Alodyne, Titanio dorato etc), è stato deciso pertanto di inserire un secondo scudo termico per schermare lo stadio a 20K. L'inserimento dello scudo termico sul secondo stadio ha permesso una valutazione del carico affetta da una minore incertezza, anche se il discorso fatto precedentemente sull'emissività permane. Proprio per l'incertezza che governa questi valori si è deciso di rivestire anche il secondo scudo termico con della super insulation: sono stati installati 3 fogli di super insulation, sempre intervallati da una retina di materiale plastico. In conclusione la valutazione del carico termico si può riassumere in poche unità di mW.

Il secondo contributo che può essere valutato è quello dovuto alla conduzione relativa ai supporti di G10 che sostengono la piastra a 20K, *Figura 7*.

In tabella sono riassunti i valori dimensionali e di trasporto di potenza termica del singolo supporto.

Stadio 20K	
Lunghezza [mm]	160 mm
Sezione [mm <sup>2</sup> ]	73.827 mm <sup>2</sup>
Numero di barre di sostegno	4
Potenza Termica totale	5.2 mW => 21 mW
% utilizzo della potenza dello stadio	< 1%

**Tabella 6:** Tabella riassuntiva sul carico termico da parte dei sostegni di G10 tra la piastra @70K e la piastra di sostegno dei componenti e dello scudo termico @20K.



**Figura 7:** Assieme realizzato con il CAD 3D inventor. Nell'immagine sono evidenziati in verdolino i sostegni realizzati in G10 necessari per sostenere la piastra a 20K. Nella figura sono indicate anche le altre parti del dewar.

Infine ci sono sempre i cavi di alimentazione e dei sensori in quanto tutto (o quasi) è collegato alla stadio a 20K. I sensori di temperatura a 20K sono 3, la sezione dei cavi è di 0.05mm<sup>2</sup> e la lunghezza

del cavo è di circa 1m; il carico termico di 6 cavi è di 2.5mW ognuno, per un totale di circa 12mW. Rimane da determinare il peso termico di 32 cavi (Tabella 7).

	Soluzione 1	Soluzione 2	Soluzione 3
<b>Lunghezza [mm]</b>	500 mm	250 mm	750 mm
<b>Sezione [mm<sup>2</sup>]</b>	0.2 mm <sup>2</sup>	0.05mm <sup>2</sup>	0.2 mm <sup>2</sup>
<b>Numero di cavi</b>	32	32	32
<b>Potenza Termica totale</b>	21W => 0.682W	10mW=>0.332W	14mW=>0.46W
<b>% utilizzo della potenza dello stadio</b>	23%	11%	15%

**Tabella 7:** Soluzioni proposte per la scelta del compromesso migliore per la scelta del carico termico dovuto alla conduzione dei cavi elettrici. La soluzione 1 rappresenta la soluzione ideale trovata da un'analisi su CAD. La soluzione 2 e 3 sono le soluzioni studiate e analizzate per ridurre il carico termico troppo elevato trovato con la soluzione 1.

La soluzione scelta è quella indicata con il numero 3. Si ha pertanto un carico di circa 0.5W sul secondo stadio del criostato.

### Conclusione studio termico preliminare

Nelle pagine precedenti sono state messe in evidenza alcuni aspetti della progettazione del sistema criogenico di un ricevitore. A quello già detto devono essere inseriti i valori di dissipazione termica dovuta agli LNA che possono essere considerati nella parte preliminare. Nella *Tabella 8* sono inseriti tali valori.

	LNA Banda P	LNA Banda L
<b>Numero di Amplificatori</b>	2	2
<b>Numero di stadi</b>	2	3
<b>Potenza Termica totale</b>	33mW => 0.13W	30mW=> 0.18W
<b>% utilizzo della potenza dello stadio</b>	4.5%	6%

**Tabella 8:** Potenza totale dissipata dagli amplificatori a basso rumore criogenici.

Nella *Tabella 9* è invece riassunta la potenza termica utilizzata in funzione delle scelte prese per le varie parti del dewar descritta nelle pagine precedenti.

	Carico Primo stadio	Carico Secondo Stadio
<b>Scudo Termico</b>	1 W	2-3E-3W
<b>Condizione G10</b>	0.41 W	21E-3 W
<b>Wires</b>	0.76 W	0.46 W
<b>LNAs</b>	-	0.31 W
<b>% utilizzo della potenza dello stadio</b>	~2.2 W <15%	~0.8 W <27 %

**Tabella 9:** Riepilogo tabella della prima stima di carico di potenza termica sui due stadi del criostato.

Dalla *Tabella 9* si evince che il primo stadio è stato utilizzato per circa il 15% della potenza totale. Il secondo stadio di contro è stato utilizzato per poco più di un quarto della sua potenza totale.

Nei prossimi due paragrafi si cercherà di determinare in modo dettagliato come realizzare il cablaggio e la disposizione dei vari componenti descritti nello schematico di *Figura 2*. Prima sarà valutata la catena radiofrequenza relativa alla banda P e poi verranno fatti degli studi di due possibili soluzioni per la catena radiofrequenza banda L.

### 3. Studio Termico banda P

#### Cavo COMJ-Dewar

In questa parte verranno descritte le diverse opzioni di scelta per il collegamento della transizione COMJ al dewar. In questa parte non vi sono calcoli termici da considerare, ma questa scelta influenza il calcolo della temperatura di rumore finale del ricevitore. Nella *Figura 2* questa porzione di cavo è indicata con il nome sez.1. La scelta di tale cavo deve essere fatta su una rosa di cavi a bassa perdita, senza però limitare troppo la flessibilità; questa scelta può essere ristretta a 3 tipi differenti:

- a) *Primo cavo LDF4.5-50: presenta delle perdite pari a 3 dB/100m @ 0.35GHz e può essere connesso N o 7/16. Il suo diametro è di 5/8", questo significa che è sufficientemente flessibile (Minimum Bending Radius 200mm).*
- b) *Secondo cavo LDF4-50: presenta delle perdite leggermente maggiori (4.2 dB/100m @ 0.35GHz) a causa di un diametro leggermente minore (1/2"). Ovviamente questo cavo rispetto a quello precedente presenta una flessibilità maggiore (Minimum Bending Radius 125 mm). Anche questo cavo può essere connesso sia N che 7/16.*
- c) *Terzo Cavo FSJ2-50: presenta delle perdite (7.50 dB/100m @ 350MHz) maggiori rispetto ai due cavi elencati precedentemente (LDF4.5-50 & LDF4-50), ma che di contro ha la proprietà di essere un cavo superflessibile (Minimum Bending Radius 25.40 mm).*

Da uno studio effettuato successivamente sui disegni inventor, *Figura 8*, si è determinato il percorso che il cavo deve seguire. I parametri in gioco sono perdite e raggio di curvatura.

Da una prima analisi si può stimare che una perdita maggiore del cavo può essere in parte compensata con una lunghezza minore del cavo, questo però comporta un raggio di curvatura piccolo. Dalla *Figura 8* si nota che il raggio di curvatura è circa 30mm. Quindi la configurazione indicata in figura può essere attuata solo con il terzo cavo, il quale garantisce un raggio di curvatura di circa 25 mm. Posto che la lunghezza del cavo sia di circa 290 mm, si evince che le perdite sono pari a 0.022 dB.

Se si utilizza il primo o il secondo cavo la limitazione proviene sul bending minimo. Per il primo cavo abbiamo un bending minimo pari a 200 mm; questo comporta un percorso minimo di mezza circonferenza per cui la lunghezza sarebbe pari a 600 mm. Quindi le perdite sono pari a 0.018 dB.

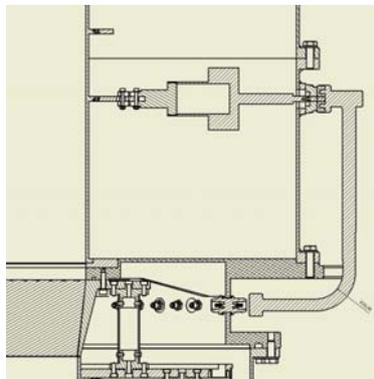
Per il secondo cavo il bending minimo è di 125mm quindi il percorso minimo pari a mezza circonferenza è di 400 mm. Le perdite sono pari a 0.017 dB.

	LDF4.5-50	LDF4-50	FSJ2-50
<b>Perdite data sheet [dB/100m] @ 350MHz</b>	3.0	4.2	7.5
<b>Lunghezza [mm]</b>	600	400	290
<b>Perdite del cavo [dB]</b>	0.018	0.017	0.022
<b>Perdite connettori @ 0.350 GHz [dB]</b>	0.03+0.03	0.03+0.03	0.03+0.03
<b>Rumore Introdotto @ 300K</b>	5.44 K	5.37 K	5.72 K

**Tabella 10:** Confronto cavo di connessione COMJ-Dewar. Connettori utilizzati entrambi della Radiall modello: R185166200 e R185032200.

La scelta per questo cavo è fatta anche nell'ottica di avere lo stesso cavo per diverse sezioni. Poiché, come vedremo successivamente, il collegamento tra OMJ e ibrido 180° DRWG all'interno del dewar avverrà con un cavo superflessibile non è pensabile di usare dei cavi con raggio di curvatura molto grandi, quindi il candidato principale è **FSJ2-50**. Dalla tabella si capisce che le variazioni di perdite

sono molto limitate, così come la temperatura di rumore. Il cavo per questa sezione sarà **FSJ2-50**. Per concludere l'utilizzo del cavo flessibile FSJ2-50: prevede l'intestazione da un lato di un connettore 7/16 a 90 deg, dall'altro lato (lato dewar), un connettore tipo N dritto, vedi *Figura 8*. Attenzione che la scelta del connettore dritto o del connettore a 90 deg ha ripercussioni sul VSWR. Il connettore dritto su un cavo di diametro 3/8" @ 1GHz ha un VSWR pari a 1.03 (-36.6 dB) mentre per un connettore a 90 deg si ha un VSWR 1.05 (-32.3 dB).



**Figura 8:** Dettaglio del cavo di collegamento COMJ- dewar

Da uno studio fatto con MWO (Microwave Office), si è visto che non è molto limitante la presenza del connettore 7/16 90 deg. Il cavo verrà fatto realizzare per garantire un controllo preciso sulla lunghezza. Infatti questa sezione è critica in quanto il cavo non deve introdurre uno sbilanciamento in fase tra i segnali da ricombinare.

#### Cavo dewar- ibrido frattale con accoppiatore direzionale integrato

Questa sezione di cavo è forse una delle sezioni più critiche da ottimizzare, in quanto si vogliono abbattere le perdite (siamo a monte del LNA) in modo tale da ridurre il rumore del ricevitore, ma non si vuole trasmettere il calore esterno all'interno del dewar, ovvero si deve minimizzare il peso termico sulla CTI350. Le sezioni in oggetto sono quelle denominate sez.2 e sez.3 (*Figura 2*). In questa parte si cercherà di determinare il tipo, la lunghezza, la sezione dei cavi da utilizzare tenendo sempre ben in mente i 3 obiettivi già indicati precedentemente: minimizzazione delle perdite, minimizzazione del carico termico e facilità di montaggio. Nella sez.2 per minimizzare la trasmissione del calore vengono usati dei cavi coassiali semi-rigidi stainless steel; nella sez. 3, per minimizzare le perdite, si utilizzano dei cavi coassiali semirigidi in rame; la prima sezione ha lo scopo di minimizzare la trasmissione del calore in quanto è la sezione che realizza il ponte termico. Il cavo che si utilizza è un cavo coassiale stainless steel, che rispetto al cavo coassiale in rame presenta delle perdite maggiori, ragion per cui la sez. 2 dovrà essere la più corta possibile. La prima considerazione che si può fare è che il cavo con camicia in acciaio inox, anima in acciaio inox argentata e isolato in PTFE viene preferito a cavi isolati in SiO<sub>2</sub> e cavi inox con anima in BeCu, in quanto questi ultimi sono più difficili da piegare ad hoc.

La seconda considerazione che si può fare è sulla sezione del cavo. Il cavo inox può avere una sezione pari a 0.141" e una sezione pari a 0.085". Riferendoci ai datasheet dei cavi [6] (materiale del core SPCW, Silver Plated Copper Weld), si ha che il connettore con sezione maggiore 0.141" ha delle perdite @0.5 GHz pari a 0.58 dB/m mentre il cavo con sezione minore 0.085" ha delle perdite @0.5 GHz pari a 1.02 dB/m. Se si hanno 90 mm di cavo inox, abbiamo che il cavo UT-141C-SS è caratterizzato da una temperatura di rumore pari a 0.93K mentre il cavo UT-085-SS è caratterizzato da una temperatura di rumore pari a 1.65K, *Tabella 11*.

	UT-085-SS	UT-141C-SS
<b>Lunghezza</b>	90 mm	90 mm
<b>Perdite @ 0.5 GHz</b>	0.092	0.052
<b>Temperatura di rumore @70K</b>	1.65K	0.93K

Tabella 11: Confronto tra il cavo stainless steel con sezione 0.085" ( UT-085-SS) e 0.141" (UT-141C-SS), su una lunghezza generica pari a 90 mm

Dal punto di vista del budget termico si ha che il cavo sez.2 costituisce un ponte termico tra lo stadio a 300K e lo stadio a 20K. Si ha quindi un trasferimento di calore per conduzione. Mettiamo a confronto i due cavi di sezione diversa (0.085" e 0.141"). I due cavi hanno la stessa lunghezza, stessa conducibilità termica e stessa differenza di temperatura per cui quello che varia è la loro sezione.

	UT-085-SS	UT-141C-SS
<b>Sezione AISI 304</b>	$1.5848+0.1742= 1.759 \text{ mm}^2$	$3.0735+0.597=3.671 \text{ mm}^2$
<b>Sezione Cu&amp;Ag</b>	$0.039 \text{ mm}^2$	$0.056 \text{ mm}^2$
<b>Potenza termica sezione AISI 304</b>	59 mW	123 mW
<b>Potenza termica sezione CuAg</b>	64 mW	91 mW
<b>Potenza Termica totale @300-20K</b>	123 mW	214 mW

Tabella 12: Bilancio termico del cavo sez.2, la lunghezza del cavo è pari a 90 mm

In conclusione, osservando i risultati intermedi presenti nelle *Tabelle 11 e 12* abbiamo che: il cavo con sezione 0.141" presenta una temperatura di rumore inferiore rispetto al cavo con sezione 0.085"; di contro il cavo coassiale con sezione 0.085" ha un carico termico minore rispetto al cavo con minor perdite. La prerogativa per questa sezione è un trade-off tra minimizzazione delle perdite e del carico termico. Sembra che la scelta possa essere impossibile da effettuare, ma può essere attuato uno stratagemma per ripartire in maniera più intelligente il carico termico del cavo con sezione 0.141"; nel caso del cavo con diametro pari a 0.085" ciò non può essere facilmente attuato. Lo stratagemma è quello di collegare attraverso una fascetta di rame il cavo allo stadio a 70 K. La fascetta viene posta a metà del cavo in modo tale da ottenere un piccolo miglioramento della temperatura di rumore e ripartire in modo diverso il carico termico [1]. Il cavo scelto per questa prima parte è quindi quello con sezione 0.141" ovvero, UT-141C-SS. Il cavo sez.2 effettua il ponte termico tra la parte esterna (300 K) e la zona più fredda del dewar (20K). Quindi si possono pensare due situazioni:

- La prima prevede un carico termico del cavo solo sulla sezione a 20K della CTI
- La seconda di contro prevede un carico termico del cavo non solo sulla sezione a 20K della CTI ma anche sulla sezione a 70K.

Le due situazioni sono individuate come: "conf\_without\_clump" e "conf\_with\_clump", i risultati sono riassunti nella *Tabella 13*, la lunghezza del cavo è stata posta a 86.6 mm. Le ragioni di questa scelta sono descritte nella parte successiva.

	conf_without_clump	conf_with_clump
<b>Range di temperatura [K]</b>	20-300	300-70 70-20
<b>Lunghezza [mm]</b>	86.6	40.8 40.8
<b>Carico termico [W]</b>	$95+128+=223 \text{ mW}$	$131+248=379 \text{ mW}$ $71+23=94 \text{ mW}$

Tabella 13: Bilancio termico sul cavo sez. 2 la cui lunghezza è di 86.6mm.

Dalla tabella sembrerebbe che il carico termico sia peggiorato. Infatti è così perché al denominatore ho una lunghezza del cavo che è minore della metà. Però analizzando i dati da un altro punto di vista,

ovvero quello della ripartizione del carico termico sulla CTI si capisce che la “conf\_with\_clamp” è quella vincente, vedi Tabella 14.

	conf_without_clump	conf_with_clump
<b>Carico termico Primo stadio</b>	0%	2,5%
<b>Carico termico Secondo stadio</b>	7.4%	3.1%

Tabella 14: Distribuzione del peso termico percentuale sui due stadi della CTI 350.

Si nota come la distribuzione nel caso di assenza di “clump” vada a caricare in maniera pesante la CTI nello stadio a 20K, mentre la configurazione con “clump” ha un carico termico ripartito sia sullo stadio a 70K che in quello a 20K. Con l’ausilio del software inventor, *Figura 9*, abbiamo stimato la lunghezza di questo tratto di cavo. Abbiamo individuato due possibili configurazioni:

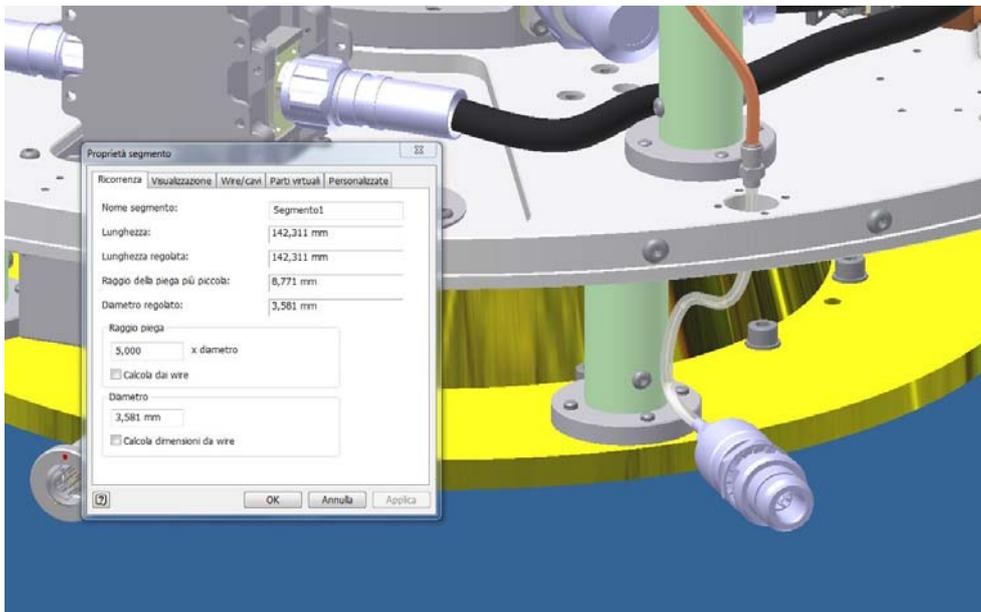
*conf\_a*: configurazione con connettore SMA straight maschio modello R125.055.901 (connettore perde  $0.03\sqrt{f}$ (GHz) e VSWR pari a 1.05 ovvero RL=32.3 dB), lunghezza cavo pari a 142.3 mm e connettore maschio straight modello R125.055.901 (*Figura 3*);

*conf\_b*: configurazione con connettore SMA right modello R125.154.901 (connettore perde  $0.05\sqrt{f}$ (GHz) e VSWR pari a 1.1 ovvero RL=26.4 dB) e lunghezza cavo pari a 86.8 mm e connettore maschio straight modello R125.055.901 (*Figura 4*). Da notare che la *conf\_b* presenta un “clump” descritto precedentemente, ragion per cui abbiamo che il cavo si trova a due differenti temperature. Il connettore maschio right e metà del cavo si trova alla temperatura di 70K, l’altra metà e il connettore femmina si trovano alla temperatura media di 57K.

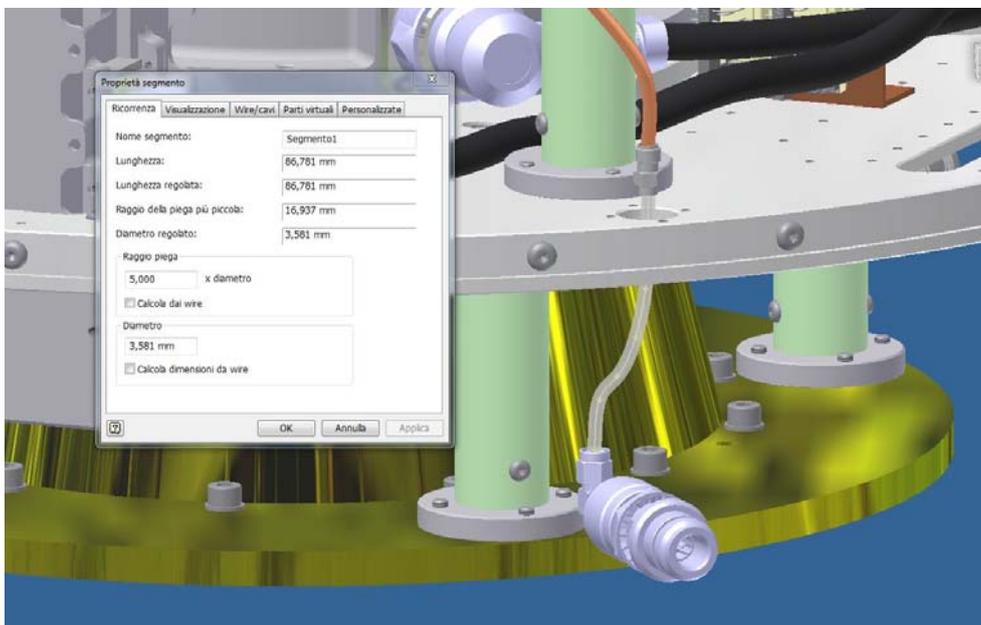
	Conf_a	Conf_b
<b>Lunghezza [mm]</b>	142.3	86.8
<b>Perdite cavo @ 0.5 GHz [dB]</b>	0.0825	0.0503
<b>Perdite connettore maschio @ 0.3575GHz [dB]</b>	0.0179 (R125.055.901)	0.0299 (R125.154.901)
<b>Perdite connettore maschio @ 0.3575GHz [dB]</b>	0.0179 (R125.055.901)	0.0179 (R125.055.901)
<b>Perdite cavo connessorizzato @ 0.3575GHz [dB]</b>	0.1183	0.0981
<b>Temperatura di Rumore @ 300-70K</b>	6.16 K	2.53K
<b>Temperatura di Rumore @ 70-20 K</b>	-	0.65K

Tabella 15: Perdite conf\_a e conf\_b della sez.2 del cavo. bilancio di temperatura di rumore per le due configurazioni.

Per la sez.2 si può trarre la conclusione che è conveniente utilizzare un cavetto Stainless Steel 304 con diametro 0.141” in Cu&Ag (UT-141C-SS) nella configurazione *conf\_b*.



*Conf\_a)*



*Conf\_b)*

**Figura 9:** Assieme Inventor relativa al cavo sez.2 nella conf\_a e nella conf\_b. La figura mostra in modo indicativo sia la lunghezza del cavo sia la forma. Infatti è un po' complicato realizzare un cavo stainless steel con le curve presenti nella conf\_a

La sez.3 sarà costituita da un cavo coassiale semi-rigido in rame adatto a minimizzare le perdite. Dal punto di vista del carico termico questa sezione peserà in maniera marginale in quanto grazie alla presenza del cavo inox esso risulta disaccoppiato rispetto ai 300K e la sua temperatura può essere considerata costante a 20K, per cui non si ha differenza di temperatura e quindi il carico termico è pari a zero. Infatti, il cavo dal lato B è collegato all'ibrido frattale che è posto nello stadio a 20K. Da simulazioni inventor (*Figura 10*) si è studiato un percorso del cavo cercando di massimizzare il bend minimo del cavo e contemporaneamente minimizzare il percorso per ridurre le perdite. La scelta è ricaduta su un cavo semi-rigido in rame la cui sezione è 0.141", il modello in particolare è RG-402/U. Nella *Tabella 16* di seguito sono indicate la lunghezza, le perdite e la temperatura di rumore del cavo. Il cavo è connettoreizzato con un Radial SMA modello maschio nel lato A (R125055000) e da un connettore femmina dal lato B (R125225000).



Figura 10: Print della schermata di inventor relativa al cavo sez.3

Per concludere il discorso sulla sez.2 e sez.3 possiamo affermare che:

- verrà utilizzato un cavo semi-rigido stainless steel 304 di sezione 0.141", modello UT-141C-SS al quale verrà collegata una fascetta in rame per ripartire in modo differente il carico termico alla CTI. Il cavo verrà connettorizzato con dei connettori della Radiall i cui modelli sono: R125.154.901 e R125.225.901.
- per quanto riguarda la sezione 3 esso sarà un cavo in rame semirigido di sezione 0.141", modello RG-402/U. Sarà connettorizzato con connettori Radiall modello: R125055000 e R125225000.

	RG-402/U
<b>Lunghezza [mm]</b>	549.4
<b>Perdite cavo @ 0.5GHz [dB]</b>	0.1442
<b>Perdite connettore maschio @ 0.3575GHz [dB]</b>	0.0179 (R125055000)
<b>Perdite connettore femmina @ 0.3575GHz [dB]</b>	0.0179 (R125225000)
<b>Perdite_cavetto_connettorizzato@ 0.3575GHz [dB]</b>	0.18
<b>Temperatura di Rumore @ 20K</b>	0.85 K

Tabella 16: Riassume la temperatura di rumore presente nella sezione del cavo individuato con il nome sez.3

Dal punto di vista delle perdite e quindi del rumore termico oltre alle perdite calcolate nelle Tabelle 15 e 16 dobbiamo anche inserire le perdite del connettore passa paratia N presente all'ingresso del dewar, modello H&S 34-N-50-0-3/133NE e la transizione N-SMA della Radiall modello R191329000, che verrà collegata al connettore passa paratia. I dettagli delle perdite di questi due connettori sono riassunti nella Tabella 17.

	H&S 34-N-50-0-3/133NE	Radiall R.191329000
<b>Perdite @ 0.3575GHz [dB]</b>		0.0287
<b>Temperatura di Rumore @ 300-70K</b>	1.5K	1.5 K

Tabella 17: Perdite del connettore passa paratia H&S e della transizione N-SMA. Abbiamo considerato lo stesso valore di perdite del Radiall anche per il connettore passa paratia H&S

Riassumendo, il bilancio termico e di temperatura di rumore della sez.1, sez.2 e sez.3 del percorso RF-Banda P è indicato nella Tabella 18. Da notare che nella sez.2 sono state comprese anche le perdite del connettore passa paratia e della transizione N-SMA.

	Sez.1	Sez.2	Sez.3
<b>Temperatura di rumore</b>	5.72 K	circa 6 K	0.85 K
<b>Carico Termico stadio 20K</b>	0	3.1%	0
<b>Carico termico stadio 77K</b>	0	2.5%	0

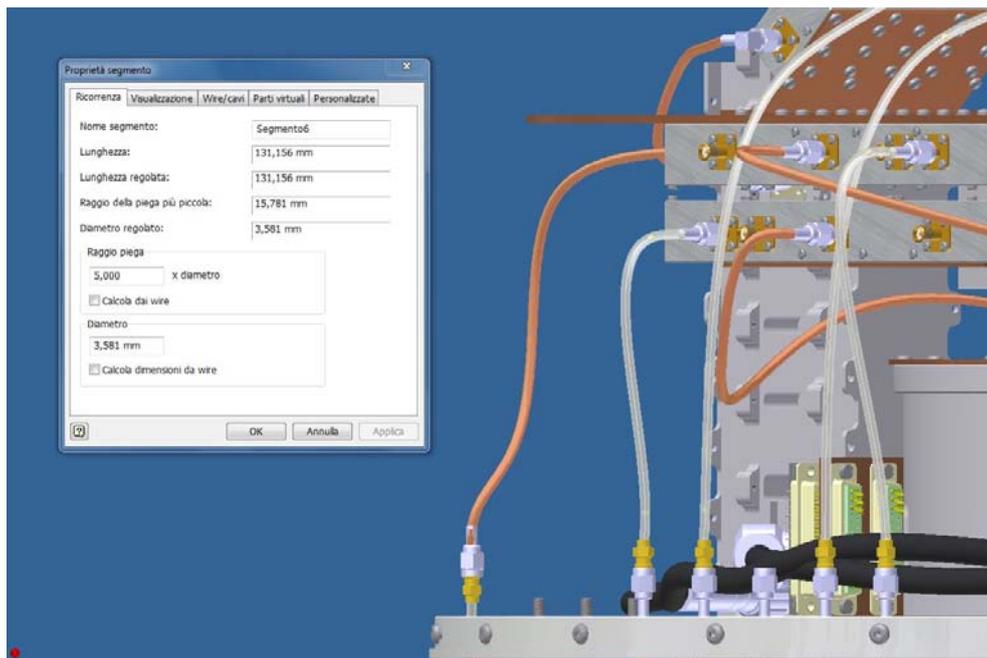
**Tabella 18:** Riassunto delle temperature di rumore e del bilancio termico % delle prime tre sezioni del cavo RF-banda P. Le perdite sono state estrapolate dalle Tabella 15 e Tabella 16, mentre le percentuali sul peso termico sono state riprese della Tabella 14.

Le sezioni di cavo tra i vari componenti sono pari a zero in quanto abbiamo fatto in modo che i componenti fossero connessi direttamente l'uno all'altro (il tratto dei cavi denominati sez.4 e sez.5 hanno una lunghezza pari a zero). Le perdite dei connettori sono tenute in considerazione nelle perdite dei componenti, quali ibrido 180° frattale con accoppiatore direzionale integrato, filtro HTS e amplificatore. Essi verranno collegati attraverso una transizione maschio/maschio della Radiall R 125.703.000.

#### Connessione della marca di rumore e LNA all'uscita del dewar.

Per quanto riguarda il discorso dei collegamenti di uscita (sez. 6) e il collegamento alla marca di rumore (sez.7), queste parti non sono critiche dal punto di vista delle perdite. La sez.6 perché a valle del LNA, la sez.7 perché inietta un segnale di riferimento gestito dall'esterno. Per la sez.7 e la sez.6 quello che si deve minimizzare è il loro carico termico sulla CTI, per cui ci si orienta su un cavo stainless steel 304 di sezione 0.085" oppure 0.141". Il ponte termico che questi tratti di cavo (sez.4 e sez.6) realizzano è tra i 300 e i 20 K.

Dai disegni fatti con inventor (*Figura 11*) si ha che la lunghezza del cavo della marca di rumore è pari a 131 mm e che la lunghezza del cavo all'uscita del LNA è pari a 284 mm. I cavi sono divisi in due sezioni, per facilitare le fasi di montaggio. Entrambi i cavi saranno connettorizzati nella prima sezione, partendo dall'accoppiatore, nel seguente modo: SMA a crimpare maschio (R125055901), SMA a crimpare maschio (R125055901); nella seconda sezione del cavo: SMA a crimpare maschio (R125055901), SMA a crimpare maschio 90 deg (R125154901), che si innesta al connettore.



a)

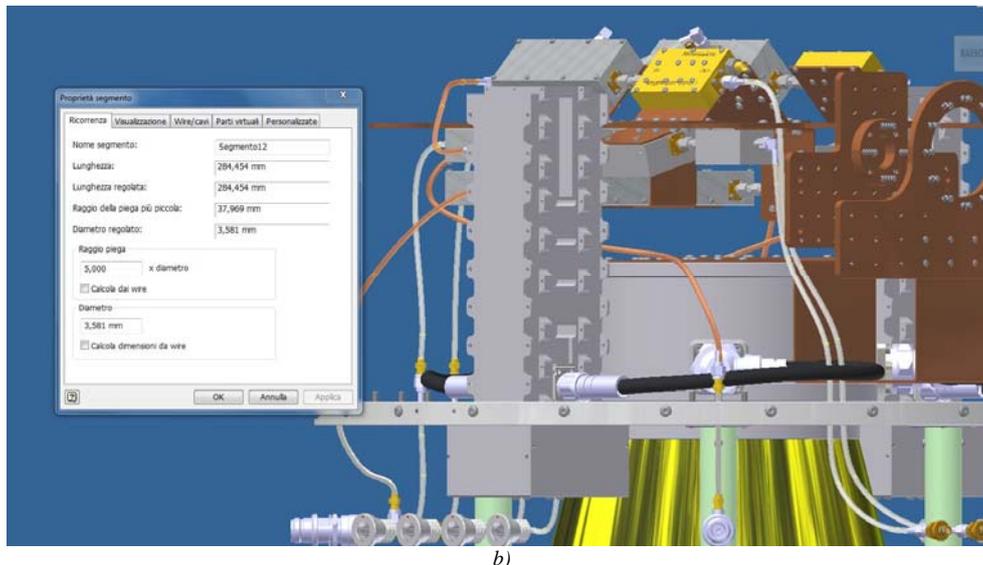


Figura 11: Vista 3D parte interna dewar: a) Marca di rumore del percorso RF-banda P b) Uscita LNA del segnale RF-banda P.

Tra i due verrà inserita una transizione SMA femmina/femmina, R125705000. Il suo inserimento è necessario perché il connettore femmina a crimpare (R125225901) è realizzato in stock da 500 pezzi. L'aumento delle perdite dovute all'inserimento della transizione aumentano di  $0.05 \cdot 0.3575 = 0.0178$  dB @0.3574 GHz, SMA passa paratia ermetico della H&S (34\_SMA-50-0-3/111\_N). Quindi la scelta è tra il cavo UT-085-SS e il UT-141C-SS.

	UT-085-SS	UT-141C-SS
<b>Sezione AISI 304</b>	$1.5848 + 0.1742 = 1.759 \text{ mm}^2$	$3.0735 + 0.597 = 3.671 \text{ mm}^2$
<b>Sezione Cu&amp;Ag</b>	$0.039 \text{ mm}^2$	$0.056 \text{ mm}^2$
<b>Potenza termica sezione AISI 304</b>	40 mW	84 mW
<b>Potenza termica sezione CuAg</b>	44 mW	63 mW
<b>Potenza Termica totale</b>	88 mW	147 mW

Tabella 19: Bilancio termico della marca di rumore (sez.7) cavo lungo 131 mm

	UT-085-SS	UT-141C-SS
<b>Sezione AISI 304</b>	$1.5848 + 0.1742 = 1.759 \text{ mm}^2$	$3.0735 + 0.597 = 3.671 \text{ mm}^2$
<b>Sezione Cu&amp;Ag</b>	$0.039 \text{ mm}^2$	$0.056 \text{ mm}^2$
<b>Potenza termica sezione AISI 304</b>	19 mW	39 mW
<b>Potenza termica sezione CuAg</b>	20 mW	29 mW
<b>Potenza Termica totale</b>	39 mW	68 mW
<b>Perdite cavo + connettori + Tras. F/F</b>	0.344 dB	0.219 dB
<b>Perdita SMA passa paratia</b>	valore non precisato nel data sheet 0.03 dB	valore non precisato nel data sheet 0.03 dB
<b>Temperatura di rumore @300K</b>	23.92 K	15.29 K

Tabella 20: Bilancio termico e temperatura di rumore della uscita del LNA (sez.6) cavo lungo 284 mm

Essendo a valle del LNA non prende peso nella scelta una minor perdita del cavo 0.141", inoltre le variazioni sul carico termico sono abbastanza contenute, quindi per uniformare la scelta dei cavi stainless steel abbiamo scelto di usare il cavo UT-141C-SS.

## Conclusione RF-banda P

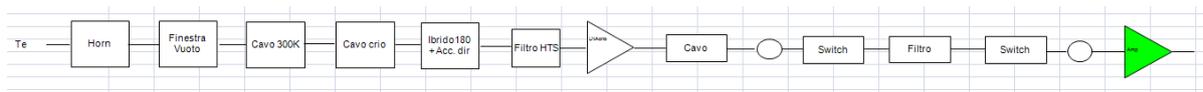
La scelte sul tipo e sezione del cavo sono schematizzate nella Tabella 21. Di seguito vi è anche una tabella riassuntiva del carico termico sui due stadi della CTI, tenendo conto del numero complessivo totale dei cavi presenti; esso è indicato tra parentesi nella prima colonna della tabella. Resta da evidenziare un aspetto importante sulla lunghezza dei cavi indicati nelle precedenti sezioni. I percorsi dei diversi cavi individuati con il software di modellazione 3D Inventor [6] sono del tutto indicativi, sia in termini di lunghezza sia in termini di forma del cavo. Infatti questo verrà prima affrontato e poi definito al momento del cablaggio vero e proprio del dewar. Un aspetto che in questo documento non viene considerato è il fattore di contrazione del cavo, in particolare sui cavi in rame.

RF-Banda P	Perdite (dB)	Carico Termico stadio 77K [W]	Carico Termico stadio 20K [W]
<b>Sez.1</b> (4 cavi FSJ2-50)	0.082	0	0
<b>Sez.2</b> (4 UT-141C-SS)	0.156	0.379	94E-3
<b>Sez.3</b> (4 RG-402/U)	0.181	0	0
<b>Sez.6</b> (2 UT-141C-SS)	<i>Trascurabile poiché a valle LNA</i>	0	68E-3
<b>Sez.7</b> (2 UT-141C-SS)	0.204	0	0.147
<b>Totale Carico termico</b>	*	1.516 W (10.1%)	0.806 (27%)

**Tabella 21:** Schema riassuntivo del carico termico totale (tenendo conto del numero complessivo dei cavi) e temperatura di rumore. Le sez.4 e la sez.5 sono state trascurate in termini di perdite in quanto sono delle transizioni.

Ovviamente il cavo in rame ad una temperatura di 300K avrà una sua lunghezza  $l$ . Quando il cavo viene raffreddato esso subisce una contrazione  $\Delta l$  che dipende dalle proprietà geometriche e fisiche del cavo. Questo viene tenuto in conto al momento del cablaggio mettendo in atto delle regole pratiche.

E stata calcolata (Tabella 22) la Temperatura di rumore del percorso RF banda P dell'intera catena del front-end, vedi Fig.1. Uno schema a blocchi è illustrato in *Figura 12*.



**Figura 12:** catena del front-end del feed coassiale banda P

Componente	T <sub>fisica</sub> (K)	G(dB)	NF(dB)	T <sub>noise</sub> (K)	355GHz
<b>Horn</b>	300	-0,01	0,01	0,7	0,69
<b>Finestra vuoto</b>	300	0,00	0,00	0,0	0,69
<b>Cavo 300K</b>	300	-0,09	0,09	6,3	6,99
<b>Cavo SS 300-20K</b>	160	-0,10	0,10	3,7	10,73
<b>Cavo Cu 20K</b>	20	-0,18	0,18	0,8	11,61
<b>Ibrido180+Acc.dir</b>	20	-0,35	0,35	1,7	13,45
<b>Filtro HTS</b>	20	-0,07	0,07	0,3	13,83
<b>LNA crio</b>	20	26		1,0	15,03
<b>Cavo</b>	300	-0,22	0,22	15,6	15,08
<b>Circolatore</b>	300	-0,4	0,40	28,9	15,17
<b>Switch</b>	300	-0,2	0,20	14,1	15,22
<b>Filtro</b>	300	-0,8	0,80	60,7	15,44
<b>Switch</b>	300	-0,2	0,20	14,1	15,50
<b>Circolatore</b>	300	-0,4	0,40	28,9	15,64
<b>Amp</b>	300	25	2,2	197,9	16,63
<b>Post attenuazione</b>	300	-3	3,00	298,6	16,64
<b>Cavo di discesa</b>	300	-5	5,00	648,7	16,64
<b>Te(K)= 16.7</b>					

Tabella 22: Calcolo progressivo della temperatura di rumore del percorso RF-banda P (foglio di calcolo Excel).

La temperatura di rumore del percorso RF banda P stimata è pari a **16.7.0K @ 0.3575 GHz**. Il peso termico invece prevede un utilizzo del **10.1 % della potenza totale del primo stadio del criostato** e il **27% della potenza totale del secondo stadio del criostato (Tabella 21)**.

## 4. Studio termico del banda L prima versione

### Ibridi DRWG

Il cavo indicato con il nome sez.1 deve collegare l'OMJ banda L con gli ibridi DRWG 180° (Figura 13). Dal lato della guida circolare il connettore è un 7/16 mentre gli ibridi sono di tipo N. Il cavo scelto per questa sezione è il **FSJ2-50**, che presenta delle perdite pari a 16.68 dB/100m @1.55. Il suo diametro è di 3/8", questo significa che è facilmente sagomabile (Minimum Bend Radius 25.40 mm). Dai disegni inventor si determina che la lunghezza massima del cavo FSJ2-50 è pari a 289.2 mm. Il cavo è connettorizzato con un connettore 7/16 a 90 deg dalla parte dell'OMJ e con un connettore tipo N dal lato dell'ibrido 180° double ridged waveguide. Anche questo cavo verrà fatto realizzare esternamente per avere una garanzia sulla lunghezza, in quanto come nel caso del percorso RF-banda P il cavo non deve introdurre uno sbilanciamento in fase tra i segnali da ricombinare. Nella *Tabella 23* vengono elencati i valori di temperatura di rumore e di carico termico.



Figura 13: Vista interna realizzata con Inventor. Collegamento tra OMJ e ibrido 180 deg

	FSJ2-50
<b>Lunghezza [mm,]</b>	289.2
<b>Perdite cavo @ 1.55GHz [dB]</b>	0.05
<b>Perdite connettore maschio @ 1.55GHz [dB]</b>	0.06
<b>Perdite cavetto connettorizzato @ 1.55 GHz [dB]</b>	0.17
<b>Temperatura di Rumore @70K</b>	3.07K

Tabella 23: temperatura di rumore del cavo super flessibile FSJ2-50.

### Carico Termico per irraggiamento dell'OMJ

Il fondo del componente denominato OMJ posto alla temperatura di 70K (Figura 2) in realtà propone un carico da irraggiamento sul primo stadio in quanto una superficie fredda vede una superficie calda quale è la finestra da vuoto. La finestra da vuoto è composta da uno strato di 125 um di Kapton HN e un tronco di cono alto 85 mm di Styrodur, il cui compito è quello di sostenere il film sottile di Kapton. Si ha un scambio termico tra la superficie dello styrodur e il back short dell'OMJ proprio per diminuire l'emissione della superficie. Il valore di emissività della parte calda è di difficile stima. Si può assumere un valore compreso tra 0.1 e 0.8. Il valore di emissività della parte fredda, fondo dell'OMJ di alluminio lucidato per diminuire l'emissione della superficie, si assume pari a 0.05. Il carico termico che grava sul primo stadio a causa dell'irraggiamento è circa 5%.

Carico su primo stadio	
$A_{\text{coold}} = A_{\text{hot}}$	28.35E-3 m <sup>2</sup>
Emissività $\epsilon_{\text{hot}}$	0.1÷0.8
Emissività $\epsilon_{\text{cool}}$	0.05
Carico Termico	(0.47÷0.680) W
% carico termico	(3.1÷4.5)%

Tabella 24: Calcolo del carico termico per irraggiamento della finestra a vuoto

### Connessione dell'accoppiatore direzionale all'ibrido.

Nella *Figura 2* questa sezione è indicata come sez.2 (blu). Visto che vi è un ponte termico tra la parte a 70K (ibrido DRWG) e 20K (accoppiatore direzionale) il cavo dovrebbe essere UT-141C-SS, ovvero stainless steel. Di seguito viene messo a confronto lo studio sia su cavo stainless steel che in rame, per valutare le perdite e il carico termico, che in questo caso andrà a pesare sullo stadio a 20K. Per valutare il carico termico per conduzione si utilizza la relazione presentata precedentemente. Le perdite e la temperatura di rumore di questo stadio sono riassunte nelle *Tabelle 25 e 26*.

	UT-141C-SS	RG-402/U
Lunghezza [mm]	124	124
Perdite cavo @ 1.55GHz [dB]	0.112 dB	0.068 dB
Connettore N-SMA (R 161051000)	*	0.062 dB
Connettore N-SMA (R161329000)	0.062	*
Connettore straight SMA plug crimp (R125055901)	0.062	*
Connettore right R125 154 000/901	0.062	0.062 dB
Perdite cavo connettorizzato	0.298	0.185 dB
Temperatura di rumore @70-20K	4K	2.48K

Tabella 25: Riassunto delle performance in termini di perdite e di temperatura di rumore del cavo sez. 2

	UT-141C-SS	RG-402/U
Sezione AISI 304	3.0735+0.597=3.671 mm <sup>2</sup>	*
Sezione Cu&Ag	0.056 mm <sup>2</sup>	3.321 mm <sup>2</sup> +0.657=3.978mm <sup>2</sup>
Potenza termica sezione AISI 304	7.5 mW	*
Potenza termica sezione CuAg	23 mW	1.65 W
Potenza Termica totale @70-20K	30.5 mW	1.65 W

Tabella 26: Bilancio termico del cavo sez.2, la lunghezza del cavo è pari a 124 mm

Per minimizzare le perdite e quindi minimizzare la temperatura di rumore del ricevitore si è scelto di inserire un cavo in rame, **RG-402/U**, a scapito del carico termico. Il cavo RG-402/U dal lato dell'ibrido sarà connettorizzato con un connettore N-SMA della Radiall modello R 161051007, mentre dal lato dell'accoppiatore direzionale avremo un connettore maschio 90 deg SMA della Radiall R125154000, vedi *Figura 14*.

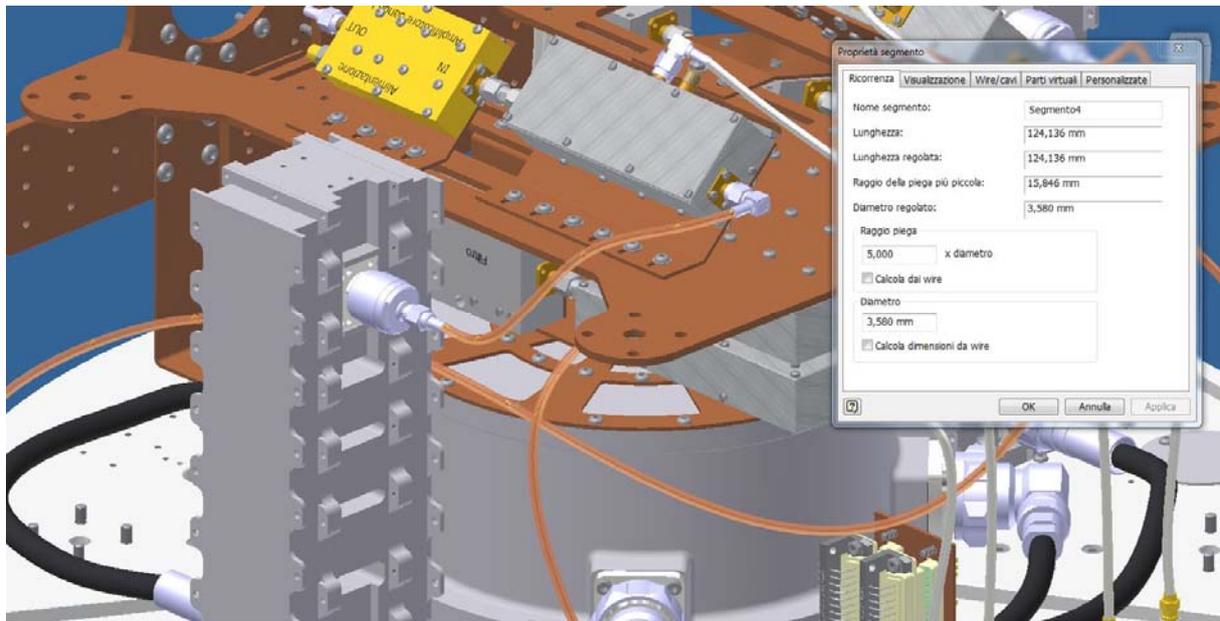


Figura 14: Tratto di cavo in rame che va dall'ibrido in guida d'onda all'accoppiatore in microstriscia.

#### Connessione della marca di rumore e LNA all'uscita del dewar.

Per quanto riguarda il discorso dei collegamenti di uscita (sez. 5) e il collegamento alla marca di rumore (sez.4) queste parti non sono critiche dal punto di vista delle perdite (Figura 15). La sez.5 perché a valle del LNA, la sez.4 perché inietta un segnale di riferimento gestito dall'esterno. E' importante, oltre che per ridurre il carico termico, che il cavetto di collegamento della marca di rumore (sez.4) sia freddo in quanto esso inietta del rumore proporzionale alla temperatura fisica anche se la marca di rumore è spenta. Il ponte termico che le sez.4 e sez.5 realizzano è tra i 300 e i 20 K.

Dai disegni fatti con inventor (Figura 15) si ha che la lunghezza del cavo della marca di rumore è pari a 355 mm e che la lunghezza del cavo all'uscita del LNA è pari a 271 mm.

	UT-085-SS	UT-141C-SS
<b>Sezione AISI 304</b>	$1.5848+0.1742= 1.759 \text{ mm}^2$	$3.0735+0.597=3.671 \text{ mm}^2$
<b>Sezione Cu&amp;Ag</b>	$0.039 \text{ mm}^2$	$0.056 \text{ mm}^2$
<b>Potenza termica sezione AISI 304</b>	15 mW	31 mW
<b>Potenza termica sezione CuAg</b>	16 mW	23 mW
<b>Potenza Termica totale</b>	31 mW	54 mW

Tabella 27: Bilancio termico della marca di rumore (sez.4) cavo lungo 355 mm

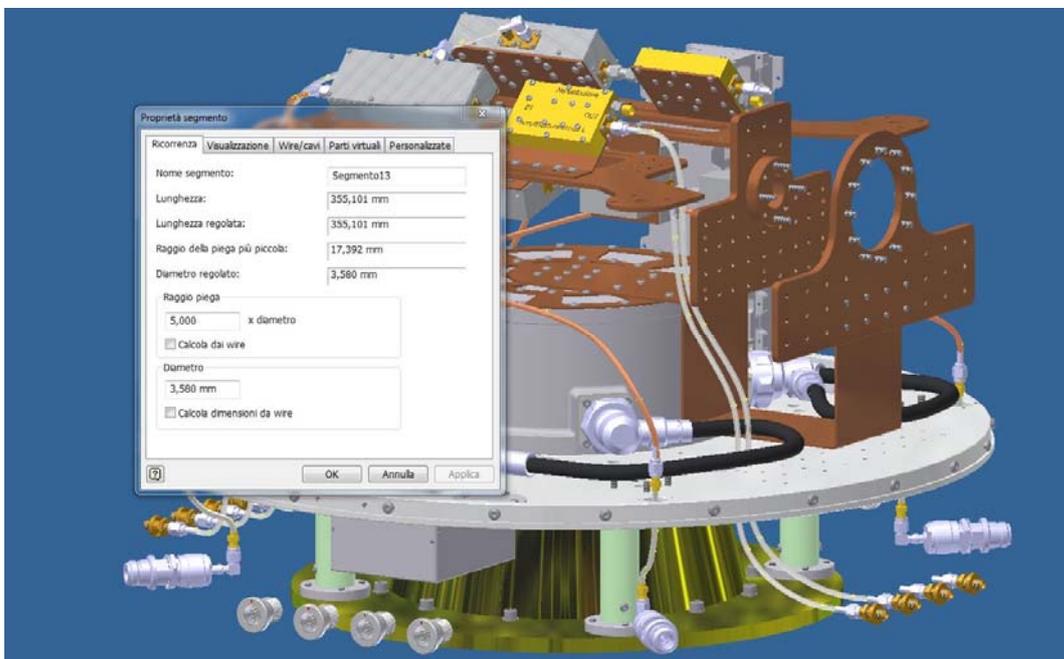
	UT-085-SS	UT-141C-SS
<b>Sezione AISI 304</b>	$1.5848+0.1742= 1.759 \text{ mm}^2$	$3.0735+0.597=3.671 \text{ mm}^2$
<b>Sezione Cu&amp;Ag</b>	$0.039 \text{ mm}^2$	$0.056 \text{ mm}^2$
<b>Potenza termica sezione AISI 304</b>	20 mW	41 mW
<b>Potenza termica sezione CuAg</b>	21 mW	30 mW
<b>Potenza Termica totale</b>	41 mW	71 mW
<b>Perdite cavo + connettori + Tras. F/F</b>	0.400 dB	0.280 dB
<b>Perdita SMA passa paratia</b>	0.03 dB*	0.03 dB*
<b>Temperatura di rumore @300K</b>	27.8K	19.5 K

Tabella 28: Bilancio termico e temperatura di rumore della uscita del LNA (sez.5) cavo lungo 271 mm.

\* valore non precisato nel datasheet



a)



b)

**Figura 15:** Schizzo 3D realizzato con inventor. a) Marca di rumore del percorso RF-banda L b) Uscita LNA del segnale RF-banda L

Le variazioni sul carico termico sono abbastanza contenute, quindi per uniformare la scelta dei cavi stainless steel è stato scelto di usare il cavo UT-141C-SS. I cavi delle sez.4 e sez.5 avranno quindi bisogno di connettori a crimpare. Così come nel caso del banda P la marca di rumore viene divisa in due sezioni per facilitare il cablaggio. La successione dei connettori è quindi SMA a crimpare maschio (R125055901), SMA a crimpare maschio (R125055901); nella seconda sezione del cavo: SMA a crimpare maschio (R125055901), SMA a crimpare maschio 90 deg (R125154901). Tra le due sezioni vi sarà un adattatore femmina/femmina SMA R125705000. Il cavo in inox nella parte esterna si innesta al connettore SMA passa paratia ermetico della H&S (34\_SMA-50-0-3/111\_N). La sez.3 non avrà cavetto, ma sarà caratterizzato da una transizione SMA maschio/maschio della Radiall R 125.703.000.

## Conclusione RF-banda L

Le scelte sul tipo e sezione del cavo sono schematizzate nella *Tabella 29*. E' anche riportato il carico termico sui due stadi della CTI, tenendo conto del numero complessivo dei cavi presenti, quest'ultimo è indicato tra parentesi nella prima colonna della tabella.

RF-Banda L	Perdite (dB)	Carico Termico primo stadio [W]	Carico Termico secondo stadio [W]
<b>Sez.1</b> (4 cavi FSJ2-50)	0.17	0	0
<b>Sez.2</b> (2 RG402/U)	0.185	0	1.65 (2.30)
<b>Sez.4</b> (2 UT-141C-SS)	<i>Trascurabile poichè a valle LNA</i>	0	54E-3 (0.108)
<b>Sez.5</b> (2 UT-141C-SS)	0.280	0	71E-3 (0.142)
<b>Totale Carico termico</b>		0 (0%)	3.45 (> 100%)

**Tabella 29:** Schema riassuntivo del carico termico totale (tenendo conto del numero complessivo dei cavi). La sez.3 è trascurabile in termine di perdite.

Anche nel caso del percorso RF Banda-L vale quanto detto precedentemente per quanto riguarda la lunghezza dei cavi indicati nelle precedenti sezioni: i percorsi individuati con il software Inventor sono del tutto indicativi, sia in termini di lunghezza sia in termini di forma del cavo. Infatti questo verrà poi definito in modo definitivo al momento del cablaggio vero e proprio del dewar. Un aspetto che in questo documento non viene considerato è il fattore contrazione del cavo, in particolare sui cavi in rame. Ovviamente il cavo in rame ad una temperatura di 300K avrà una sua lunghezza  $l$ . Quando il cavo viene raffreddato esso subisce una contrazione  $\Delta l$  che dipende dalle proprietà geometriche e fisiche del cavo. Questo viene tenuto in conto al momento del cablaggio mettendo in atto delle regole pratiche.

Dai calcoli fatti, se la configurazione criogenica è quella descritta in *Tabella 29* il criostato della CTI 350 non riesce a fornire tutta la potenza necessaria per contrastare il trasferimento del calore e portare i dispositivi alla temperatura criogenica di progetto. Solo la catena della banda L assorbirebbe tutta la potenza. A questo punto possono essere valutate svariate soluzioni:

sol\_1) Scelta di un criostato più potente in modo tale da ottenere tutta la potenza necessaria. Il modello che potrebbe essere utilizzato è la CTI 1020. Questo ha lo svantaggio di rivedere la progettazione del dewar mantenendo dei dispositivi che sono termalizzati a 70K, senza apportare grossi vantaggi in termini di prestazioni di rumore ( $T_{RIC}$ )

sol\_2) Utilizzo del cavo inox di collegamento tra la transizione OMJ e l'ibrido 180°. In questo modo si rimarrebbe sotto i 3W di potenza totali da utilizzare per portare il secondo stadio alla temperatura di 20K. Lo svantaggio di questa soluzione sarebbe quella di compromettere negativamente la temperatura di rumore della catena banda L. D'altronde il cavo inox ha notevoli perdite che a monte dell'amplificatore sono deleterie per le prestazioni del ricevitore in termine di rumore.

sol\_3) Accettare che i componenti non arrivino a 20K, ma ad un valore maggiore, peggiorando di conseguenza le prestazioni di rumore del ricevitore non solo quello in banda L ma anche le prestazioni della catena banda P.

sol\_4) Utilizzare tutti i componenti, compresi gli LNA a 70K e non a 20K come ipotizzato. In questo modo non vi sarebbe la differenza di temperatura tra un dispositivo e l'altro, connessi da cavi.

Si manterrebbe la stessa testa fredda (CTI 350) ma le prestazioni di  $T_{RIC}$  del banda L sarebbero non competitive.

sol\_5) Portare a 20K i componenti, OMJ e ibrido, che lavorano a 70K. Questa soluzione comporta la modifica del disegno del dewar, ma porterebbe anche ad un miglioramento delle prestazioni di rumore del ricevitore.

E' stata calcolata la Temperatura di rumore (*Tabella 30*) del percorso RF banda L nel caso della sol\_1, ovvero equipaggiando il ricevitore con un criostato con una potenza maggiore.

RF Banda-L	$T_{fisica}(K)$	G(dB)	NF(dB)	$T_{noise}(K)$	1.55GHz
<b>Horn</b>	300	-0,01	0,01	0,7	0,69
<b>Finestra vuoto</b>	300	-0,01	0,01	0,7	1,38
<b>OMT</b>	70	-0,05	0,05	0,8	2,20
<b>Cavo FSJ2-50</b>	70	-0,17	0,17	2,8	5,04
<b>Ibrido 180</b>	70	-0,15	0,15	2,5	7,64
<b>Cavo Cu</b>	56	-0,30	0,30	4,0	12,02
<b>Acc. Dir</b>	20	-0,20	0,20	0,9	13,12
<b>LNA crio</b>	20	38		2,5	16,19
<b>Cavo SS 20K-300K</b>	160	0,28	-0,28	-10,0	16,19
<b>Circolatore</b>	300	-0,4	0,40	28,9	16,20
<b>Switch</b>	300	-0,2	0,20	14,1	16,20
<b>Filtro</b>	300	-1,6	1,60	133,6	16,23
<b>Switch</b>	300	-0,2	0,20	14,1	16,23
<b>Circolatore</b>	300	-0,4	0,40	28,9	16,24
<b>Amp</b>	300	25	2,2	197,9	16,31
<b>Post attenuazione</b>	300	-3	3,00	298,6	16,31
<b>Cavo di discesa</b>	300	-12	12,00	4454,7	16,32
<b><i>Te(K)=16.30</i></b>					

Tabella 30: Calcolo progressivo della temperatura di rumore del percorso RF-banda L (foglio di calcolo Excel).  
Uso di una CTI1020.

La temperatura di rumore del percorso RF banda L è pari a **16.30K @ 1.55 GHz**.

Sono state anche valutate le altre situazioni ovvero:

sol\_2: utilizzo del cavo inox per il collegamento ibrido accoppiatore direzionale, la temperatura  $T_{RIC}$  diventerebbe 18.9 K. Il valore peggiorerebbe di circa 3K, rispetto a rivoluzionare la meccanica del ricevitore.

Sol\_3: peggiorare la temperatura sullo stadio a 20K, stimando la temperatura a circa 50K sicuramente andrebbe oltre il valore di  $T_{RIC} = 16.3$  e inoltre anche la temperatura del banda P ne pagherebbe un peggioramento. Questa soluzione è scartata.

Sol\_4: l'uso di tutti i componenti del banda L a 70K, non andando di conseguenza ad appesantire il secondo stadio del criostato. La temperatura passerebbe a circa 26K, ovvero quasi 10K in più rispetto al caso messo in tabella. Anche questo viene scartato.

Sol\_5: tutti i componenti a 20K, porterebbe la  $T_{RIC}$  del banda L ad una temperatura di 10K. Quindi un guadagno di circa 6K. Questa è la soluzione analizzata nel prossimo paragrafo.

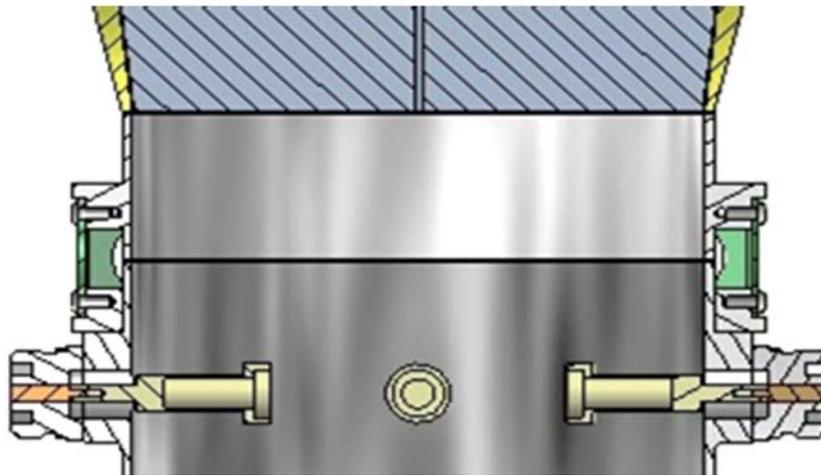
## 5. Studio termico del banda L seconda versione

In questo capitolo verrà esposta la configurazione con il posizionamento di tutti i componenti a 20K. La modifica più pesante da fare è quella di portare la transizione OMJ dalla temperatura di 70K alla temperatura di 20K.

### Configurazione con OMJ @20K

Nella configurazione analizzata fino ad ora l'OMJ era collegato direttamente alla piastra a 70K. Nella nuova configurazione si vuole collegare l'OMJ direttamente al secondo stadio del criostato. Questo può essere fatto semplicemente collegando il componente con delle piastrine di rame opportunamente sagomate e dimensionate. Il problema è il supporto meccanico dell'OMJ.

Per risolvere questo problema si è inserito tra il feed banda L e l'OMJ una sezione di guida d'onda circolare collegata alla piastra a 70K, e che permettesse l'installazione di un supporto per la transizione in guida (OMJ). Il tutto è rappresentato in *Figura 16*.



**Figura 16:** Schizzo 3D che mostra la parte a 300K (guida d'onda conica, nella quale è stato inserito lo styrodur per il sostegno della finestra da vuoto), il collettore a 70K e infine il dispositivo OMJ che è posto a 20K. In verdolino si vedono i piastrini di G10 che hanno la funzione di sostegno meccanico.

Questa sezione di guida è stata nominata semplicemente prolunga, altro non fa che sostenere meccanicamente la transizione OMJ e, con l'inserimento di un gap termico, separare l'OMJ dallo stadio a 70K. Il prezzo da pagare è un carico termico dovuto a dei piastrini in G10 necessari per il collegamento e sostegno della transizione. Per separare il primo stadio con il secondo, che comunque devono essere collegati tra di loro dal punto di vista meccanico, si è scelto di inserire 4 piastrini di G10. In prima analisi si è valutato di inserire un piastrino rettangolare di diverso materiale, abbiamo valutato delle dimensioni (riportate in *Tabella 31*) tali da garantire una robustezza meccanica adatta. Le soluzioni valutate sono state molteplici, quelle riportate in *Tabella 31* sono quelle più performanti.

	“Piastrino pieno “ G10	“Piastrino pieno” inox	“Piastrino sagomato” G10
<b>Lunghezza [mm]</b>	40	40	40
<b>Larghezza [mm]</b>	75	75	75
<b>Spessore[m]</b>	2	0.01	2
<b>Potenza Termica</b>	85 mW (0.34W)	95 mW (0.38 W)	35 mW (0.14 W)

**Tabella 31:** Calcolo termico del piastrino che sostiene il dispositivo OMJ.

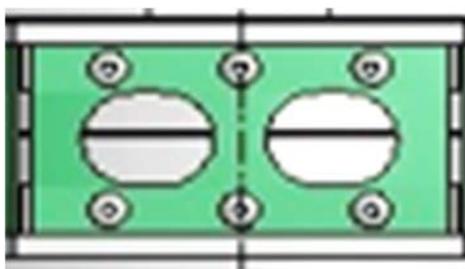


Figura 17: Forma del piastrino in G10 che sostiene l'OMJ quando questo viene posto alla temperatura di 20K.

Anche per la separazione termica effettuata con i piastrini è stata verificata attraverso le simulazioni termiche. La simulazione ha riguardato la configurazione con “piastrino sagomato”. Anche in questo caso la potenza necessaria per termalizzare il sistema a 20K è pari alla potenza calcolata. In particolare il valore è 0.16W. La rappresentazione della distribuzione della temperatura è rappresentato in figura 18.

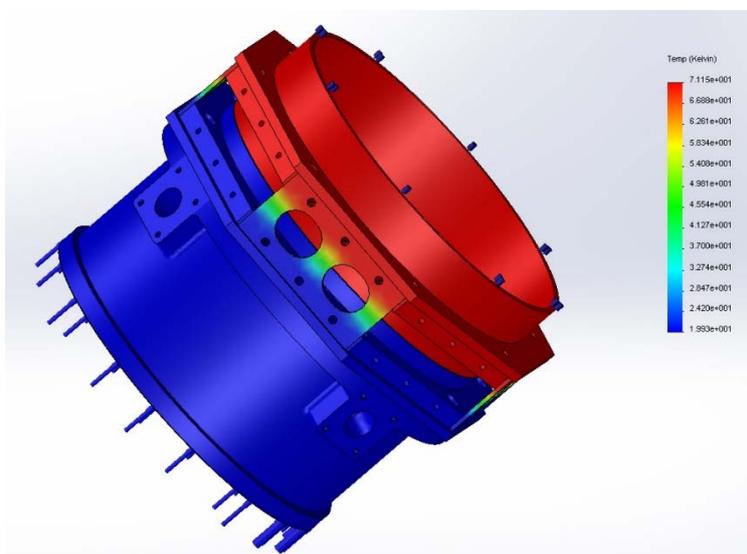


Figura 18: Rappresentazione della simulazione termica effettuata sul particolare dei piastrini di separazione termica tra lo stadio a 20K e lo stadio a 70K. In rosso la parte del componente alla temperatura maggiore (70K) mentre in blu la parte fredda del dispositivo.

La nuova configurazione ha ripercussioni sulla distribuzione del carico termico dovuto all'irraggiamento. Ora l'irraggiamento dovuto all'OMJ non sarà più caricato sul primo stadio del criostato, ma graverà sul secondo stadio del criostato. La *Tabella 24* deve essere rivista in funzione di questa considerazione. L'unico cambiamento rispetto ai parametri impostati precedentemente è la temperatura cool che passa da 70K a 20K. Non si hanno grosse variazioni. Ovviamente lo svantaggio è che in questa configurazione il carico irraggiato deve essere smaltito dal secondo stadio del criostato.

Carico su primo stadio	
<b>A<sub>coold</sub> = A<sub>hot</sub></b>	28.35E-3 m <sup>2</sup>
<b>Emissività ε<sub>hot</sub></b>	0.1÷0.8
<b>Emissività ε<sub>cool</sub></b>	0.05
<b>Carico Termico</b>	(0.47÷0.680) W
<b>% carico termico secondo stadio</b>	(15.7-22.7)%

Tabella 32: Calcolo del carico termico per irraggiamento della finestra a vuoto

Infine nella *Tabella 33* è riassunto il bilancio termico totale della configurazione appena discussa, considerando anche il contributo dell'irraggiamento e della conduzione del G10 dovuto ai piastrini sagomati.

RF-Banda L	Perdite (dB)	Carico Termico primo stadio [W]	Carico Termico secondo stadio [W]
<b>Irraggiamento</b>	-	0	0.5
<b>Conduzione G10 (4)</b>	-	-	35E-3 (0.14)
<b>Sez.2 (2 RG402/U)</b>	0.185	0	
<b>Sez.4 (2 UT-141C-SS)</b>	*	0	54E-3 (0.108)
<b>Sez.5 (2 UT-141C-SS)</b>	0.280	0	71E-3 (0.142)
<b>Totale Carico termico</b>		0 (0%)	0.89 W (30%)

**Tabella 33:** Schema riassuntivo del carico termico totale (tenendo conto del numero complessivo dei cavi).  
La sez.3 è trascurabile in termine di perdite.

In *Tabella 34* è dettagliato il calcolo della temperatura del ricevitore nella configurazione due del percorso RF banda L.

RF Banda-L	T <sub>fisica</sub> (K)	G(dB)	NF(dB)	T <sub>noise</sub> (K)	1.55GHz
<i>Horn</i>	300	-0,01	0,01	0,7	0,69
<i>Finestra vuoto</i>	300	-0,01	0,01	0,7	1,38
<i>OMT</i>	20	-0,05	0,05	0,2	1,62
<i>Cavo FSJ2-50</i>	20	-0,16	0,16	0,8	2,38
<i>Ibrido 180</i>	20	-0,15	0,15	0,7	3,12
<i>Cavo Cu</i>	20	-0,30	0,30	1,4	4,68
<i>Acc. Dir</i>	20	-0,20	0,20	0,9	5,78
<i>LNA crio</i>	20	38		2,5	8,85
<i>Cavo SS 20K-300K</i>	160	0,28	-0,28	-10,0	8,84
<i>Circolatore</i>	300	-0,4	0,40	28,9	8,85
<i>Switch</i>	300	-0,2	0,20	14,1	8,85
<i>Filtro</i>	300	-1,6	1,60	133,6	8,88
<i>Switch</i>	300	-0,2	0,20	14,1	8,88
<i>Circolatore</i>	300	-0,4	0,40	28,9	8,89
<i>Amp</i>	300	25	2,2	197,9	8,96
<i>Post attenuazione</i>	300	-3	3,00	298,6	8,96
<i>Cavo di discesa</i>	300	-12	12,00	4454,7	8,97
<b><i>Te(K)=9</i></b>					

**Tabella 34:** Calcolo progressivo della temperatura di rumore del percorso RF-banda L seconda versione.

## Conclusione

In conclusione, la versione del criostato individuata prevede l'installazione del canale banda P come descritto nel capitolo 3, mentre l'installazione del canale banda L è quello denominato seconda versione e descritto nel capitolo. La *Tabella 35* conclusiva, mette insieme tutti i valori di carico termico individuati e analizzati in questo rapporto tecnico, sia nei due capitoli che riguardano le catene RF nello specifico, sia relativamente al budget preliminare stimato nel capitolo 2.

	Carico Termico primo stadio [W]	Carico Termico secondo stadio [W]
<b>Budget Preliminare</b>	2.2	0.8
<b>Budget Banda P</b>	1.5	0.81
<b>Budget Banda L (seconda versione)</b>	0	0.9
<b>Potenza Totale</b>	3.7	2.51
<b>% Potenza Totale</b>	<b>25%</b>	<b>84%</b>

Tabella 35: Stima Budget finale dell'intero ricevitore coassiale LP.

La configurazione proposta rispetta totalmente i limiti di budget termici indicati all'inizio, e dai conti fatti il criostato CTI 350 è sufficiente per mandare a temperatura le diverse parti del ricevitore coassiale LP.

Infine la configurazione studiata ci permette di avere una temperatura di ricevitore  $T_{RIC}$  stimata per la banda P e per la banda L rispettivamente di **18K** e di **9K**.

## Indici delle figure e delle tabelle

Figura 2: Schema a blocchi dettagliato del dewar del ricevitore LP. Nella figura sono evidenziati i riferimenti alle varie sezioni di cavo che verranno poi analizzate. In rosso il percorso di una delle due polarizzazioni della banda P, in blu invece il percorso del segnale RF per la banda L. Nella figura sono indicate le temperature criogeniche di riferimento definite nello studio di fattibilità [1] .....	6
Tabella 1: Elenco dei componenti e corrispettivi connettori.....	7
Figura 3: Grafico della potenza disponibile in funzione della temperatura che si può raggiungere per il modello della CTI cryogenic 350-CS. ....	8
Tabella 2: Dimensioni geometriche del dewar del ricevitore coassiale LP.....	9
Figura 4: Grafico della potenza dissipata per irraggiamento al variare dell'emissività. La curva blu rappresenta la potenza dissipata tenendo costante il valore di emissività del materiale a più bassa temperatura (il valore fissato è 0.05), facendo quindi variare il valore di emissività della superficie calda. La curva rossa rappresenta la potenza dissipata per irraggiamento tenendo costante il valore di emissività del materiale a più alta temperatura (il valore fissato è 0.08) facendo quindi variare il valore di emissività della superficie fredda.....	10
Tabella 3: Calcolo del carico termico per irraggiamento sul primo stadio dello scudo termico tra 300K e 70K. ....	10
Figura 5: Assieme realizzato con il CAD 3D inventor. Nell'immagine sono evidenziati in verdolino i sostegni realizzati in G10 necessari per sostenere la piastra a 70K. La piastra è ancorata alla finestra da vuoto tramite 4 colonnette di G10, opportunamente sagomate e dimensionate.....	11
Tabella 4: Tabella riassuntiva sul carico termico dei sostegni di G10 tra la finestra da vuoto del ricevitore (@300K) e la piastra di sostegno dei componenti e dello scudo termico (@70K). ....	11
Figura 6: rappresentazione della distribuzione della temperatura fisica del sistema. In rosso la temperatura di 300K e in blu la temperatura più fredda ovvero 70K. Il sistema raggiunge tale temperatura con una potenza complessiva di 380mW. ....	12
Tabella 5: Soluzioni proposte per la scelta del compromesso migliore per la scelta del carico termico dovuto alla conduzione dei cavi elettrici. La soluzione 1 rappresenta la soluzione ideale trovata da un'analisi su CAD. La soluzione 2 e 3 sono le soluzioni di compromesso. ....	12
Tabella 6: Tabella riassuntiva sul carico termico da parte dei sostegni di G10 tra la piastra @70K e la piastra di sostegno dei componenti e dello scudo termico @20K. ....	13
Figura 7: Assieme realizzato con il CAD 3D inventor. Nell'immagine sono evidenziati in verdolino i sostegni realizzati in G10 necessari per sostenere la piastra a 20K. Nella figura sono indicate anche le altre parti del dewar. ....	13
Tabella 7: Soluzioni proposte per la scelta del compromesso migliore per la scelta del carico termico dovuto alla conduzione dei cavi elettrici. La soluzione 1 rappresenta la soluzione ideale trovata da un'analisi su CAD. La soluzione 2 e 3 sono le soluzioni studiate e analizzate per ridurre il carico termico troppo elevato trovato con la soluzione 1.....	14
Tabella 8: Potenza totale dissipata dagli amplificatori a basso rumore criogenici. ....	14
Tabella 9: Riepilogo tabella della prima stima di carico di potenza termica sui due stadi del criostato.....	14
Tabella 10: Confronto cavo di connessione COMJ-Dewar. Connettori utilizzati entrambi della Radiall modello: R185166200 e R185032200. ....	16
Figura 8: Dettaglio del cavo di collegamento COMJ- dewar.....	17
Tabella 11: Confronto tra il cavo stainless steel con sezione 0.085" ( UT-085-SS) e 0.141" (UT-141C-SS), su una lunghezza generica pari a 90 mm .....	18
Tabella 12: Bilancio termico del cavo sez.2, la lunghezza del cavo è pari a 90 mm .....	18
Tabella 13: Bilancio termico sul cavo sez. 2 la cui lunghezza è di 86.6mm.....	18
Tabella 14: Distribuzione del peso termico percentuale sui due stadi della CTI 350. ....	19
Tabella 15: Perdite conf_a e conf_b della sez.2 del cavo. bilancio di temperatura di rumore per le due configurazioni.....	19
Figura 9: Assieme Inventor relativa al cavo sez.2 nella conf_a e nella conf_b. La figura mostra in modo indicativo sia la lunghezza del cavo sia la forma. Infatti è un po' complicato realizzare un cavo stainless steel con le curve presenti nella conf_a .....	20
Figura 10: Print della schermata di inventor relativa al cavo sez.3.....	21
Tabella 16: Riassume la temperatura di rumore presente nella sezione del cavo individuato con il nome sez.3.....	21
Tabella 17: Perdite del connettore passa paratia H&S e della transizione N-SMA. Abbiamo considerato lo stesso valore di perdite del Radiall anche per il connettore passa paratia H&S.....	21
Tabella 18: Riassunto delle temperature di rumore e del bilancio termico % delle prime tre sezioni del cavo RF-banda P. Le perdite sono state estrapolate delle Tabella 15 e Tabella 16, mentre le percentuali sul peso termico sono state riprese della Tabella 14. ....	22

Figura 11: Vista 3D parte interna dewar: a) Marca di rumore del percorso RF-banda P b) Uscita LNA del segnale RF-banda P. ....	23
Tabella 19: Bilancio termico della marca di rumore (sez.7) cavo lungo 131 mm.....	23
Tabella 20: Bilancio termico e temperatura di rumore della uscita del LNA (sez.6) cavo lungo 284 mm .....	23
Tabella 21: Schema riassuntivo del carico termico totale (tenendo conto del numero complessivo dei cavi) e temperatura di rumore. Le sez.4 e la sez.5 sono state trascurate in termini di perdite in quanto sono delle transizioni.....	24
Figura 12: catena del front-end del feed coassiale banda P .....	24
Tabella 22: Calcolo progressivo della temperatura di rumore del percorso RF-banda P (foglio di calcolo Excel). ....	25
Figura 13: Vista interna realizzata con Inventor. Collegamento tra OMJ e ibrido 180 deg .....	26
Tabella 23: temperatura di rumore del cavo super flessibile FSJ2-50.....	26
Tabella 24: Calcolo del carico termico per irraggiamento della finestra a vuoto .....	27
Tabella 25: Riassunto delle performance in termini di perdite e di temperatura di rumore del cavo sez. 2 .....	27
Tabella 26: Bilancio termico del cavo sez.2, la lunghezza del cavo è pari a 124 mm .....	27
Figura 14: Tratto di cavo in rame che va dall'ibrido in guida d'onda all'accoppiatore in microstriscia. ....	28
Tabella 27: Bilancio termico della marca di rumore (sez.4) cavo lungo 355 mm.....	28
Tabella 28: Bilancio termico e temperatura di rumore della uscita del LNA (sez.5) cavo lungo 271 mm. ....	28
* valore non precisato nel datasheet .....	28
Figura 15: Schizzo 3D realizzato con inventor. a) Marca di rumore del percorso RF-banda L b) Uscita LNA del segnale RF-banda L.....	29
Tabella 29: Schema riassuntivo del carico termico totale (tenendo conto del numero complessivo dei cavi). La sez.3 è trascurabile in termine di perdite. ....	30
Tabella 30: Calcolo progressivo della temperatura di rumore del percorso RF-banda L (foglio di calcolo Excel).....	31
Uso di una CTI1020. ....	31
Figura 16: Schizzo 3D che mostra la parte a 300K (guida d'onda conica, nella quale è stato inserito lo styrodur per il sostegno della finestra da vuoto), il collettore a 70K e infine il dispositivo OMJ che è posto a 20K. In verdolino si vedono i piastrini di G10 che hanno la funzione di sostegno meccanico. ....	32
Tabella 31: Calcolo termico del piastrino che sostiene il dispositivo OMJ. ....	32
Figura 17: Forma del piastrino in G10 che sostiene l'OMJ quando questo viene posto alla temperatura di 20K. ....	33
Figura 18: Rappresentazione della simulazione termica effettuata sul particolare dei piastrini di separazione termica tra lo stadio a 20K e lo stadio a 70K. In rosso la parte del componente alla temperatura maggiore (70K) mentre in blu la parte fredda del dispositivo. ....	33
Tabella 32: Calcolo del carico termico per irraggiamento della finestra a vuoto .....	33
Tabella 33: Schema riassuntivo del carico termico totale (tenendo conto del numero complessivo dei cavi). ....	34
La sez.3 è trascurabile in termine di perdite. ....	34
Tabella 34: Calcolo progressivo della temperatura di rumore del percorso RF-banda L seconda versione. ....	34
Tabella 35: Stima Budget finale dell'intero ricevitore coassiale LP. ....	35

## Referenze

- [1] A. Orfei, et al, “ Studio di Fattibilità del front-end per il ricevitore doppia frequenza nelle bande L e P per il fuoco primario di SRT”, Rapporto interno IRA 413/08;
- [2] G. Valente, et al, " Progettazione Realizzazione e Caratterizzazione dei Componenti del Canale Banda L del Ricevitore Coassiale LP ", Rapporto interno OAC N. 15, 28 Dicembre 2011;
- [3] G. Valente, et al, " Progettazione Realizzazione e Caratterizzazione dei Componenti del Canale Banda P del Ricevitore Coassiale LP ", Rapporto interno OAC in scrittura;
- [4] G. Valente, et al, " Progettazione Caratterizzazione dei Componenti del sistema di post amplificazione del ricevitore coassiale LP", Rapporto interno OAC in scrittura;
- [5] Datasheet cavi: <http://www.micro-coax.com/>;
- [6] Inventor Autodesk: <http://www.autodesk.it/products/inventor/overview>;