

Numero

Data

Rev.

Pagina

**SPE-MH-FG-LRF-00069**

16/10/2020

0

1 di 18

Documento tipo / Document type

**SPECIFICA TECNICA / TECHNICAL SPECIFICATION (SPE)**

Titolo / Title

**Specifiche Tecniche della LLRF del LINAC**

Autori (CNAO se non diversamente indicato) / Authors (CNAO if non differently indicated)

Garlaschelli Simone

Referente / Contact person

Parole chiave / Keywords

Riassunto / Abstract

**Specifiche tecniche LLRF Linac per migrazione a nuova LLRF Digitale**

Emesso / Compiled

Verificato / Controlled

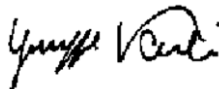
Verificato / Controlled

Approvato / Approved

**S.Garlaschelli**

**G.Venchi**

**S.Rossi**


Informazioni strettamente riservate di proprietà della Fondazione CNAO – Da non utilizzare per scopi diversi da quelli per cui sono state fornite – Tutti i diritti riservati. Nessuna parte di questa pubblicazione può essere riprodotta, immagazzinata o trasmessa in nessuna forma o con qualsiasi mezzo elettronico, meccanico, registrato, fotocopiato o in qualsiasi altro modo senza il permesso della Fondazione CNAO.

Confidential information property of CNAO Foundation – Not to be used for any purpose other than that for which is supplied – All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system or transmitted, in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording or otherwise, without the prior permission of the CNAO Foundation.

**LISTA DI DISTRIBUZIONE / DISTRIBUTION LIST**

#	Data / Date	Nome / Name	Ditta / Society

**ELENCO DELLE VARIAZIONI / HISTORY OF CHANGES**

Ver.	Data / Date	Pag.	Descrizione / Description

**INDICE**

<b>1</b>	<b>CONTESTO E INTRODUZIONE .....</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>OGGETTO DELLA FORNITURA.....</b>	<b>6</b>
<b>3</b>	<b>FUNZIONALITÀ NUOVA LLRF DIGITALE.....</b>	<b>6</b>
3.1	Specifiche nuova LLRF digitale .....	7
3.2	Features aggiuntive .....	8
3.3	Alimentazione di rete .....	8
3.4	Specifiche meccaniche.....	8
3.5	Specifiche ambientali .....	8
3.6	Specifiche di qualità del prodotto.....	9
3.7	Specifiche SW .....	9
3.8	Tabelle potenze amplificatori (IH/DEB/RFQ) .....	11
3.9	Misure ritardi di gruppo linee di trasmissione.....	14
<b>4</b>	<b>ASSISTENZA E GARANZIA .....</b>	<b>15</b>
<b>5.</b>	<b>TIME PLAN E CONSEGNE .....</b>	<b>16</b>
<b>6</b>	<b>VARIAZIONI RISPETTO ALLE SPECIFICHE.....</b>	<b>18</b>

## 1 CONTESTO ED INTRODUZIONE

Il CNAO (Centro Nazionale di Adroterapia Oncologica, [www.fondazionecnao.it](http://www.fondazionecnao.it)), con sede a Pavia, è una struttura innovativa e tecnologicamente avanzata, istituita dal Ministero della Salute con lo scopo di curare i pazienti affetti da tumori radioresistenti solidi mediante l'uso di protoni e ioni carbonio, particelle denominate adroni (da cui "adroterapia"). Per questa finalità al CNAO è stato realizzato un "sincrotrone" destinato ad accelerare entrambe le particelle. I fasci generati sono utilizzati sia a scopo terapeutico che di ricerca in ambito clinico e fisico.

CNAO è ente di ricerca lombardo capofila del progetto INSPIRIT, condotto in partenariato con l'INFN e la PMI Hifuture, (ID PROGETTO 1161908 CUP E18I19000180007) finanziato dalla Regione Lombardia nell'ambito del POR FESR 2014-2020 Call Hub Ricerca e Innovazione. Il progetto ha tra i suoi obiettivi la realizzazione di una sorgente innovativa in grado di produrre nuove specie ioniche che verranno accelerate dal sincrotrone e indirizzate nella sala sperimentale per essere rese disponibili per attività di ricerca e industriale. Rientrano nel progetto una serie di upgrades di macchina necessari per il funzionamento della nuova sorgente, tra cui la fornitura in oggetto, consistente in un nuova LLRF (Low Level Radio Frequency) digitale.

Di seguito la descrizione dei componenti dell'acceleratore di particelle presente al CNAO di Pavia

### LINAC

Il Linac (LINear ACcelerator) ha la funzione di accelerare particelle provenienti da una sorgente, verso il sincrotrone, ad una energia di 7 MeV/u.

Esso è composto da tre elementi :

- RFQ
- IH
- DEBuncher

Ogni elemento è costituito da :

- Una LLRF
- Una unità amplificatrice RF a singolo stadio o più stadi
- Una Cavità acceleratrice
- Un Sistema di tuning della cavità denominato "Resonance Frequency controller (RES\_Contr)"

I tre sistemi differiscono per la massima potenza di uscita:

- RFQ=200KW
- IH= 1400KW
- DEbuncher = 4 KW

Il LINAC è un sistema sincrono in quanto ha un'unica sorgente RF di riferimento.

Le cavità sono situate in sala sincrotrone. Il segnale RF è invece generato e amplificato a una distanza di 40 m e trasmesso su guida d'onda verso la cavità. Tre probe prelevano il segnale RF dalla cavità: uno di essi è utilizzato per monitoraggi, mentre gli altri due vengono utilizzati dalla LLRF: una probe (detta *amp-tank-probe*) è campionata per misurare l'ampiezza del segnale in cavità mentre l'altra probe (detta *phase-tank-probe*) è campionata per misurarne la fase.

Ogni cavità è accordata tramite un elemento meccanico denominato "plunger".

Il “Plunger” è gestito dal modulo denominato “resonance Frequency controller” con le seguenti funzionalità:

- Misura potenza diretta e riflessa e da esse calcola il VSWR
- Minimizza il VSWR muovendo dentro e fuori dalla cavità il plunger

La Fig.1 riassume l’architettura appena descritta.

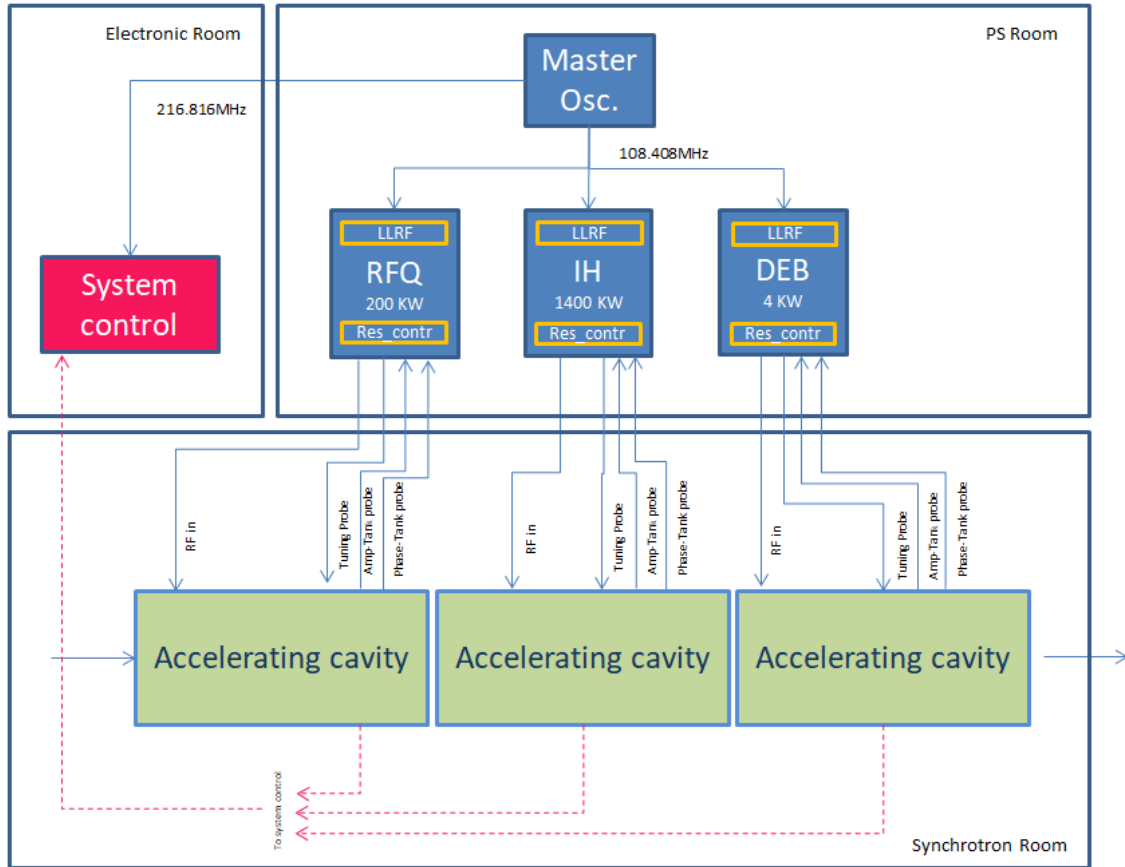


Fig 1 Linac completo

Le probe utilizzate dalla scheda *resonance Frequency controller* sono installate subito dopo ogni amplificatore e forniscono una rilettura della potenza diretta (detta *FWD*) e della potenza riflessa (detta *Rev*) campionate anche dalla LLRF. La Fig. 2 schematizza quanto detto nel caso dell’IH.

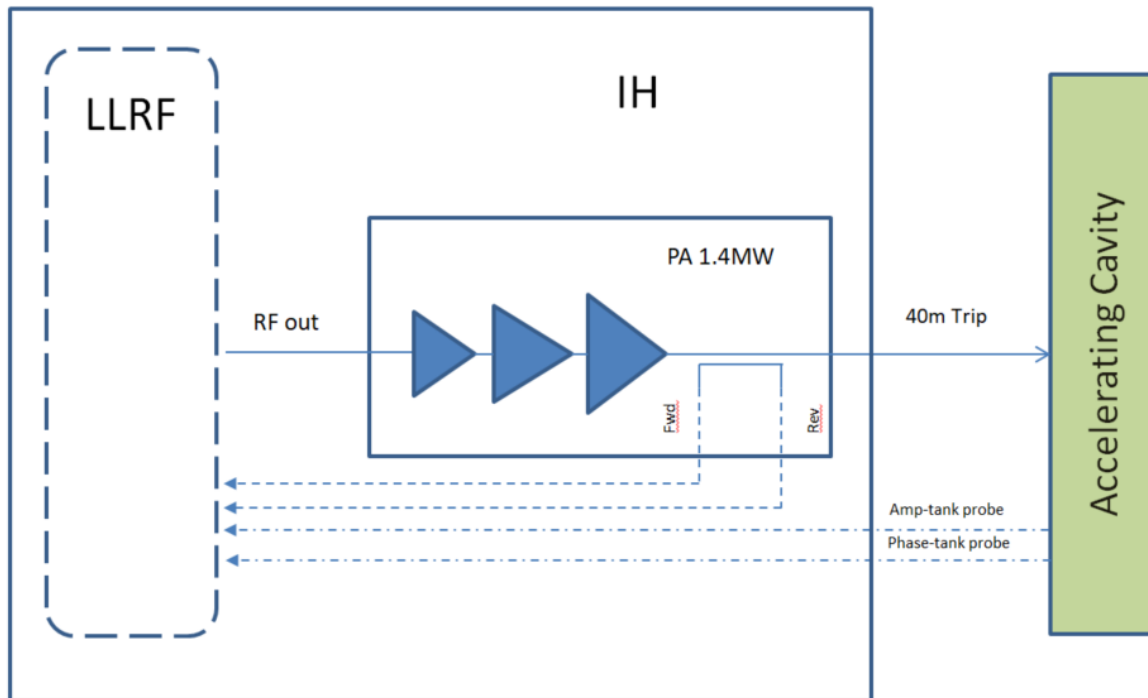


Fig 2 IH vista in dettaglio

La frequenza di funzionamento del sistema è 216.816 MHz e, il segnale generato è sinusoidale non modulato (CW).

Il funzionamento del LINAC per motivi termici è impulsato: ogni 100 msec, eroga potenza per 500  $\mu$ s. L'impulso RF parte alla ricezione di due diversi trigger fisici denominati *stability pulse* e *beam pulse* a cui corrispondono due diversi set di parametri di ampiezza e fase per la radiofrequenza. Il trigger di *stability* ha lo scopo di mantenere la cavità a una temperatura costante mentre la funzione del beam è di iniettare fascio dentro il Linac: il fascio dura 100  $\mu$ s ed è centrato nel mezzo dell'impulso RF da 500  $\mu$ s. In altre parole, ogni 100 msec la LLRF riceve sempre o lo *stability pulse* o il *beam pulse* ma non è mai noto a priori quale dei 2 arriverà. Nel normale funzionamento dell'impianto il *beam pulse* arriva ogni 1-15 sec o è assente per lunghi periodi (minuti o ore). Attualmente le LLRF del LINAC sono schede completamente analogiche.

## 2 OGGETTO DELLA FORNITURA

Oggetto del presente appalto è la fornitura di n. 6 schede LLRF elettroniche digitali che, con una opportuna configurazione del firmware, siano in grado di implementare su FPGA il controllo del segnale RF per IH, RFQ e DEBuncher.

La realizzazione dovrà attenersi alle specifiche tecniche e alle funzionalità descritte nel presente documento.

Si richiede la realizzazione e la fornitura dei seguenti oggetti:

- 6 LLRF identiche e configurate nel software e nel firmware come descritto nei paragrafi successivi
- Manuale utente
- Manuale di servizio
- Risultati dei test
- Certificazione di conformità secondo direttive europee della scheda (EN61010-1, EN61326-1, IEC 60601-1-2, ISO9001)
- Sorgenti e binari di software e firmware ed eventuali strumenti (e.g. software e cavi) necessari a scaricarli sulle schede.

- Garanzia di poter fornire schede identiche o completamente compatibili nei 10 anni successivi all'installazione.

La fornitura dovrà comprendere anche la consegna, l'installazione e il collaudo di tutte le LLRF oltre che l'assistenza specifica descritta al paragrafo 4 del presente documento e la garanzia minima di 12 mesi.

### **3 FUNZIONALITA' NUOVA LLRF DIGITALE**

- Generazione del segnale RF di input a un amplificatore di potenza a loop aperto e a loop chiuso col controllo di ampiezza e fase
- Funzionamento remoto/locale
- Sincronizzazione RF esterna (reference clock input 216.816 MHz)
- Acquisizione misure RF
- Interfaccia con Controller CNAO connesso al sistema di controllo del CNAO
- Comunicazioni allarmi sul buon funzionamento della scheda (temperatura, alimentazioni, altro specificato dal costruttore)
- Ricezione di input digitali
- Generazione di segnali digitali

#### **3.1 SPECIFICHE NUOVA LLRF DIGITALE**

##### **3.1.1 RF**

- Frequenza operativa generata 216.816 MHz (ref. input)
- Segnale generato impulsato non modulato
- I/O RF impedenza porta 50  $\Omega$  single ended
- Purezza spettrale: armoniche e spurie < -50 dBc
- Stabilità in frequenza in 24h < 1 ppm
- Potenza di uscita Massima = 10dBm.
- Dinamica di controllo 30 dB
- Per i dettagli di potenza dei 3 elementi si vedano Tabella 1, 2 e 3 della sezione 3.8.
- Precisione del loop di fase 0.1 Deg
- Precisione sull'ampiezza del segnale: si vedano Tabella 1, 2 e 3 della sezione 3.8.
- Pulse duration (50-500  $\mu$ s @ step 1  $\mu$ s)
- Pulse rate (1-10 Hz @ step 1 Hz)
- Pulse rise time (0-99% 1-40  $\mu$ s)
- Pulse fall time (99-0% 1-40  $\mu$ s)
- Pulse delay (0-100 ms, step 1 $\mu$ s)
- Input RF sampling point: Forward
- Input RF sampling point: Reflected
- Input RF sampling point: Amp tank probe
- Input RF sampling point: Phase tank probe

##### **3.1.2 I/O digital**

- Master Pulse: Digital Output (single ended 15V 1 M $\Omega$  enable control grid )

- Sample Pulse: Digital Output (single ended 15V 1 M $\Omega$  enable measurement PLC)
- W0 Pulse: Digital Output (single ended 5V TTL 1 M $\Omega$  Enable plunger measurement)
- PSS-out: tensione continua, (valore a discrezione del costruttore) su LEMO-TWIN
- PSS-in (personal protection): Digital Input (rilettura della tensione PSS-out che viene inviata a dei relè interni all'amplificatore. In assenza del segnale PSS-in viene disabilitata la generazione dell'RF (entro 1 msec). Il segnale viene riletto su LEMO-TWIN
- Beam Pulse: trigger per l'impulso RF. input, 5V TTL su 50 ohm;
- Stability Pulse: trigger per l'impulso RF. input, 5V TTL su 50 ohm;
- Tank-in-resonance: input da scheda del plunger indicatore dello stato di risonanza della cavità. Il segnale sarà 24 V su 33kohm. Quando il segnale è alto vuol dire che la cavità è in risonanza. Quando è basso è necessario che la LLRF limiti la potenza di uscita. Il limite dipende dall'amplificatore:
  - IH : 100 kW
  - RFQ : 10 kW
  - DEB : 0.100 kW

Quando il segnale da basso diventa alto la LLRF ripristina il valore di potenza richiesto in 8 sec con, incremento graduale automatico fino al raggiungimento del set-point precedentemente configurato.

- RF interlock: input da scheda VG TTL 15V (1 Mega  $\Omega$  ). Quando il segnale è alto l'RF deve essere disabilitata (entro 1 microsecondo).
- RF IL: input dalle schede ME: TTL 15V (1 Mega  $\Omega$  ). Quando il segnale è alto l'RF deve essere disabilitata (entro 1 microsecondo)
- RF ON from PLC: input 24 V su 1 Mega: se è basso l'RF viene disabilitata.
- RF-pulse: output 15 V su 1Mohm: il segnale è sempre alto e viene abbassato dopo un ritardo rispetto al trigger e corrisponde alla generazione dell'RF.

La figura 3 illustra alcuni dei segnali appena citati:



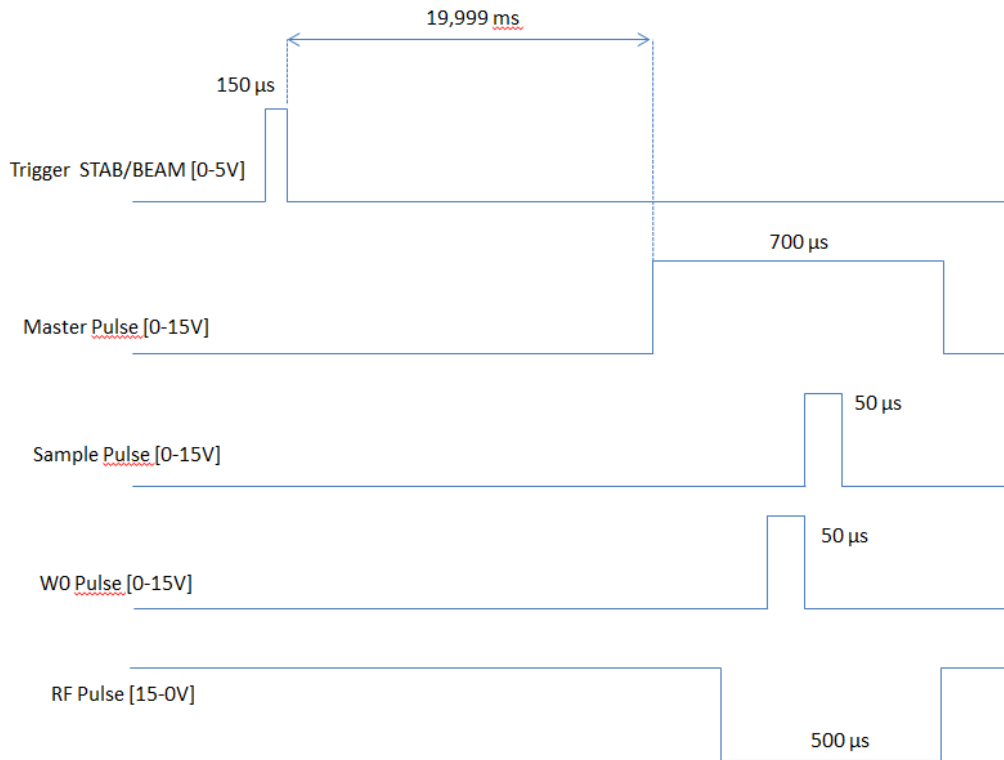


Fig 3

### 3.2 FEATURES AGGIUNTIVE

- Dovrà essere predisposta una interfaccia locale con un meccanismo di esclusione parziale dell'interfaccia remota. La modalità andrà concordata tra le parti.

### 3.3 ALIMENTAZIONE DI RETE

- AC line single phase 230VAC

### 3.4 SPECIFICHE MECCANICHE

- Rac 19" enclosure (3U max) con profondità non superiore a 35 cm.
- Sistema con schede estraibili dal rack senza lo smontaggio completo del cestello
- Connessioni di segnale sul fronte e non sul retro
- Schede facilmente sostituibili senza l'utilizzo di attrezzi proprietari.
- Tutte le schede devono essere estraibili dall'esterno

### 3.5 SPECIFICHE AMBIENTALI

- Working +15 ÷ +35°C
- Max Humidity 80 % non-condensing

### 3.6 SPECIFICHE DI QUALITÀ DEL PRODOTTO

- MTBF maggiore di 100000 ore.

### 3.7 SPECIFICHE SW

- Il firmware dovrà essere presente sulla scheda su memoria non volatile in modo che venga caricato sull'FPGA all'alimentazione della scheda.
- La LLRF dovrà generare il segnale RF sia a loop aperto che a loop chiuso. Il loop chiuso andrà implementato usando la sonda *Amp-Tank-Probe*.
- Dovrà essere predisposta una comunicazione tramite Ethernet TCP-IP tra un controller interno alla scheda LLRF che fungerà da server e un controller esterno sviluppato da CNAO che fungerà da client.
- Il controller CNAO comunicherà con la LLRF per 3 distinte funzioni:
  - Invio dei parametri di configurazione per la generazione della RF e dei digitali (*Send\_Par*)
  - Richiesta stato della LLRF (*Request\_Status*)
  - Richiesta di un campionamento di alcune variabili RF (*Acq-Stabe, Acq-Beam*)

#### 3.7.1 Send\_Par

- I parametri di configurazione saranno suddivisi in 3 gruppi: RF-par-gen, RF-par-beam e RF-par-stab. L'invio di una classe di parametri è indipendente dalle altre e la LLRF deve garantire l'applicazione di tali parametri entro 100 msec dalla loro ricezione. Gli ultimi parametri ricevuti vanno memorizzati in una memoria non volatile interna alla scheda cui la stessa deve accedere in seguito a un riavvio.
- La LLRF risponderà al controller CNAO rimandando indietro il messaggio nella sua interezza.
- RF-par-gen sono parametri generali.
  - Parametri per la generazione dell'impulso RF:
    - *RF-Delay*: Delay (rispetto al trigger beam e stability pulse) per l'inizio di generazione dell'impulso RF
    - *RF-Rise-time*: Tempo di salita dell'impulso RF
    - *RF-Fall-time*: Tempo di discesa dell'impulso RF
    - *RF-Duration*: Durata dell'impulso RF
    - *Pmax-Out*: Potenza massima in KW dell'amplificatore. Tale valore verrà utilizzato per convertire in binario la potenza richiesta dall'impulso RF.
    - *Pmax-LLRF* : Per salvaguardare l'amplificatore viene imposto alla LLRF di non superare un determinato valore di potenza in uscita. Il valore è indicato in dBm.
    - *ParaLoop*: le 3 LLRF saranno identiche. I parametri dei loop saranno però differenti perché gli amplificatori sono differenti. Si prevede quindi di comunicare i parametri del loop (componente proporzionale e integrale). Il costruttore definirà questi parametri. Tale curva di calibrazione è già nota ma dovrà essere ricostruita con la nuova scheda LLRF utilizzata in loop aperto e rileggendo la potenza dal PLC dell'amplificatore.
    - *ParaPLLRF*: per lavorare a loop aperto e per avere un primo valore da utilizzare nel caso del loop chiuso la LLRF dovrà conoscere la relazione tra la potenza in kW e la potenza in dBm che dovrà generare. Questa curva può essere fittata con un polinomio di sesto grado, quindi questi sono in realtà 7 parametri. Col costruttore si definirà la tipologia di variabili da scambiare. Tale curva di calibrazione è già nota ma dovrà essere ricostruita con la nuova

scheda LLRF utilizzata in loop aperto e rileggendo la potenza dal PLC dell'amplificatore.

- *ParaPTank*: per lavorare a loop chiuso, la LLRF dovrà conoscere la relazione tra la potenza in kW e la potenza in dBm dell'amp-tank-probe utilizzata nel loop. Questa curva potrebbe essere fittata con un polinomio di sesto grado, quindi questi sarebbero in realtà 7 parametri. Col costruttore si definirà la tipologia di variabili da scambiare.
- Parametri per la generazione dei digitali:
  - *Master-Pulse-Delay*: Delay rispetto al trigger per la generazione del Master Pulse
  - *Master-Pulse-Duration*: Durata del Master Pulse
  - *Sample-Pulse-Delay*: ritardo rispetto al trigger per la generazione del Sample Pulse
  - *Sample-Pulse-Duration*: durata del sample Pulse
  - *W0-Pulse-Delay*: ritardo rispetto al trigger per la generazione del W0 Pulse
  - *W0-Pulse-Duration*: durata del W0 Pulse

La precisione su tali parametri verrà concordata col costruttore.

- RF-Par-beam sono la fase e l'ampiezza del segnale RF generato in seguito al beam pulse. I parametri sono:
  - Beam-Amp.
  - Beam-Phase.
- RF-Par-stab sono la fase e l'ampiezza del segnale RF generato in seguito allo stability pulse.. I parametri sono:
  - Stab-Amp.
  - Stab-Phase.
- I parametri di tipo Amp contengono la potenza erogata dall'amplificatore in kW. Pertanto le variabili di tipo Amp precedentemente presentate avranno un fondo scala che dipende dall'amplificatore e che sono normalizzate alla grandezza Pmax-out dei RF-Para-gen.
- I parametri di tipo Phase indicano una fase in gradi

### 3.7.2 *Request\_status*

- Ad un rate variabile, ma comunque non superiore all'hertz, il controller cnao invierà tale richiesta a cui la LLRF risponderà entro 100 msec indicando uno stato di ok oppure un allarme della scheda (codifica fornita dal costruttore).

### 3.7.3 *Acq-Stab*

- Ad un rate variabile, ma non superiore all'hertz, il controller CNAO invierà tale richiesta cui la LLRF risponderà con un array contenente 6 diverse grandezze (campionate a un rate superiore al MHz) relative all'impulso RF triggerato dallo stability pulse (quindi tenendo conto del delay di generazione rispetto al pulse) successivo all'invio della richiesta: l'ampiezza del segnale RF di amp-Tank-probe, dell'RF in uscita dalla LLRF, di phase-Tank-Probe, di FWD, di Rev, la fase calcolata dell'amp-Tank-Probe

### 3.7.4 *Acq-Beam*

- Questo comando richiede una risposta analoga al Acq-Stab ma le grandezze sono relative all'impulso RF triggerato dal beam pulse successivo all'invio della richiesta.

## 3.8 TABELLE POTENZE AMPLIFICATORI (IH/DEB/RFQ)

Tabelle dei tre amplificatori che contengono le seguenti grandezze:

Pout[KW] =potenza di uscita degli amplificatori in KW

Pout (dBm)=potenza di uscita degli amplificatori in dBm

Pin(dBm)=potenza in ingresso all'amplificatore (Potenza in uscita dalla LLRF)

FWD (dBm)=potenza diretta da accoppiatore RF dell'amplificatore

Ref (dBm)=essendo questa misura condizionata dalla controllo VSWR si indica solo un range di valori max-min

IH Potenza riflessa +13.3 +11.7 (dBm)

RFQ Potenza riflessa +3.9 -7.6 (dBm)

DEB Potenza riflessa +1.5 -1.9 (dBm)

IH					
Pout (KW)	Pout(dbm)	Pin (dBm)	FWD (dbm)	Tank (dbm)	Precisione in potenza
1	60	-9,85	-3,9	-14,5	
50	76,98	-3	16,65	9,1	1%
100	80	-1,5	19,35	12	1%
150	81,76	-0,6	21,2	13,8	1%
300	84,77	1,1	24,12	17,14	1%
400	86,02	1,8	25,5	18,42	1%
600	87,78	2,8	27,5	20,15	1%
800	89,03	3,95	28,35	21,2	0,30%
900	89,54	4,5	28,82	21,65	0,30%
1000	90	4,9	29,3	22,05	0,30%
1100	90,41	5,23	29,7	22,35	0,30%

Tab1

RFQ					
Pout (KW)	Pout(dbm)	Pin (dBm)	FWD (dbm)	Tank (dbm)	Precisione in potenza
0.1	50	-19,9	2,9	-2,45	
10	70	-7,89	17,7	11,38	1%
20	73,01	-5,65	22,3	17,8	1%
50	76,98	-3,1	26,5	20,09	1%
100	80	-1,1	29,1	22,47	1%
150	81,76	0,5	30,6	24,04	0,30%
170	82,3	1,5	31,27	24,75	0,3%
190	82,78	2,3	31,6	25,1	0,30%
200	83,01	2,8	32,01	25,4	0,30%
220	83,42	4,9	32,6	25,82	0,30%

Tab2

**DEB**

Pout (KW)	Pout(dbm)	Pin dBm	FWD (dbm)	Tank (dbm)	Precision e
0,1	50	-7,85	20,32	19,08	1%
0,7	58,45	-4,95	23,85	22,3	1%
1	60	-4	23,53	23,23	0,50%
1,5	61,76	-2,5	25,8	24,51	0,50%
2	63,01	-1,9	26,5	25,18	0,50%
3	64,77	0,5	27,85	26,61	0,50%
4	66,02	3,5	29,21	27,65	0,50%

Tab3

### 3.9 MISURE RITARDI DI GRUPPO LINEE DI TRASMISSIONE

Di seguito vengono riportate le misure della funzione di trasferimento (ampiezza e fase) dell'intero sistema (dall'uscita della LLRF al segnale amp-tank-probe) per IH, RFQ e DEBuncher dei ritardi di propagazione dovuti alla dislocazione tra le varie sorgenti e carichi RF. Da tali misure sono stati ottenuti per i 3 casi i ritardi totali del sistema (dovuti all'amplificatore e alla trasmissione dei segnali), un valore sicuramente fondamentale nella determinazione dei parametri e delle performance del feedback da implementare nelle LLRF.

Risulta che il ritardo totale è 611 ns nel caso dell'IH, 547 ns nel caso dell'RFQ e 471 ns nel caso del DEBuncher.

#### 3.9.1 IH

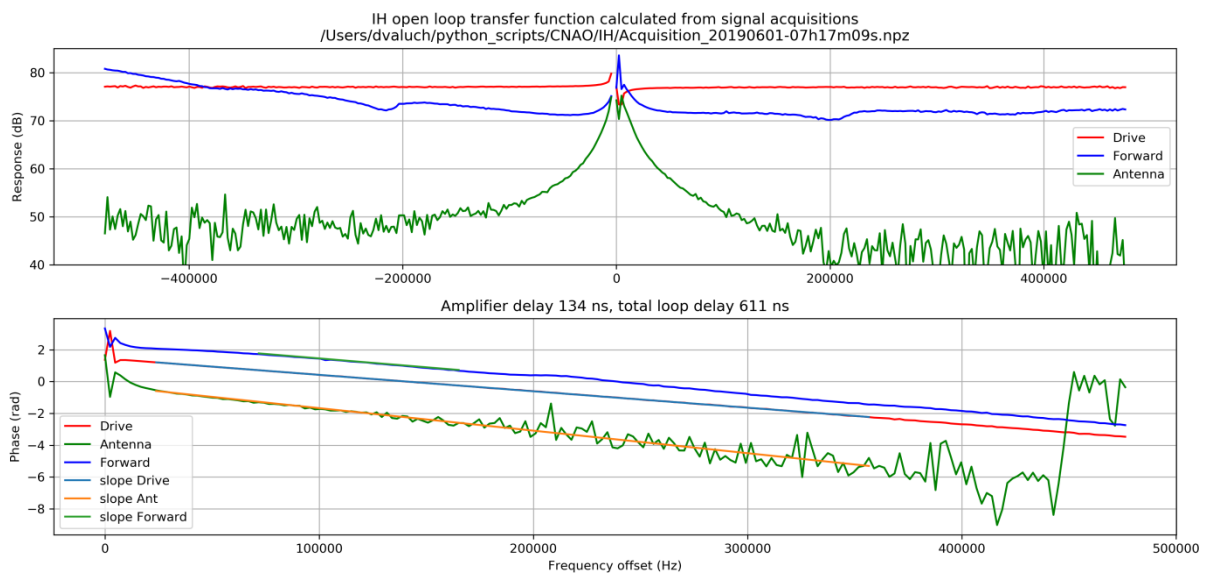


Figura 4

## 3.9.2 RFQ

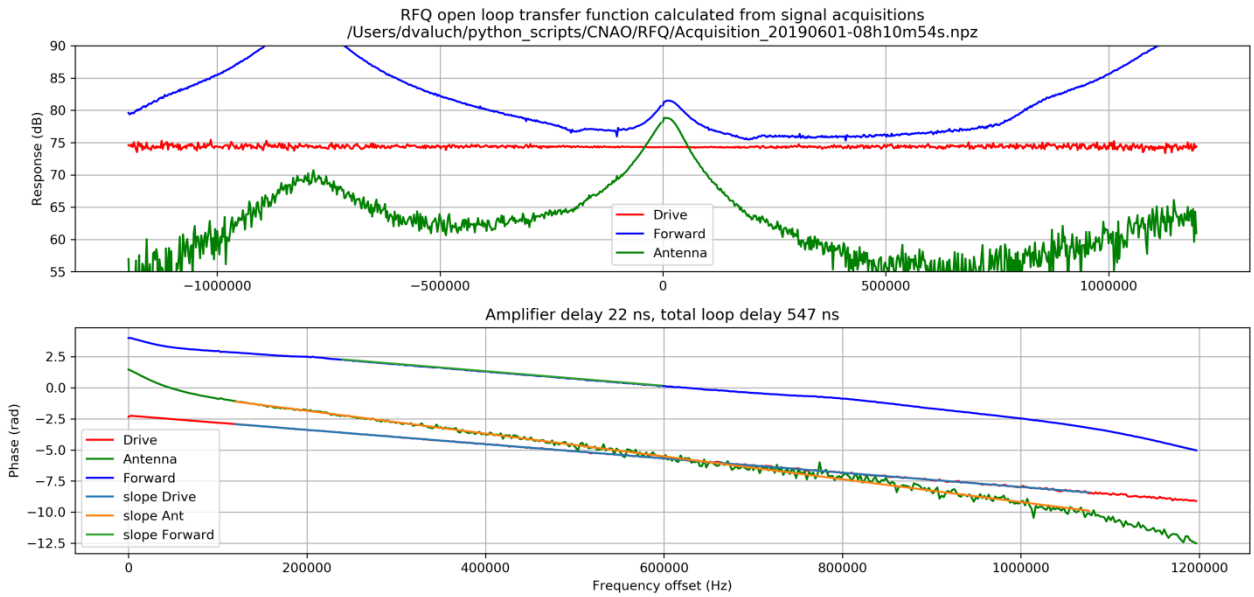


Figura 5

## 3.9.3 DEB

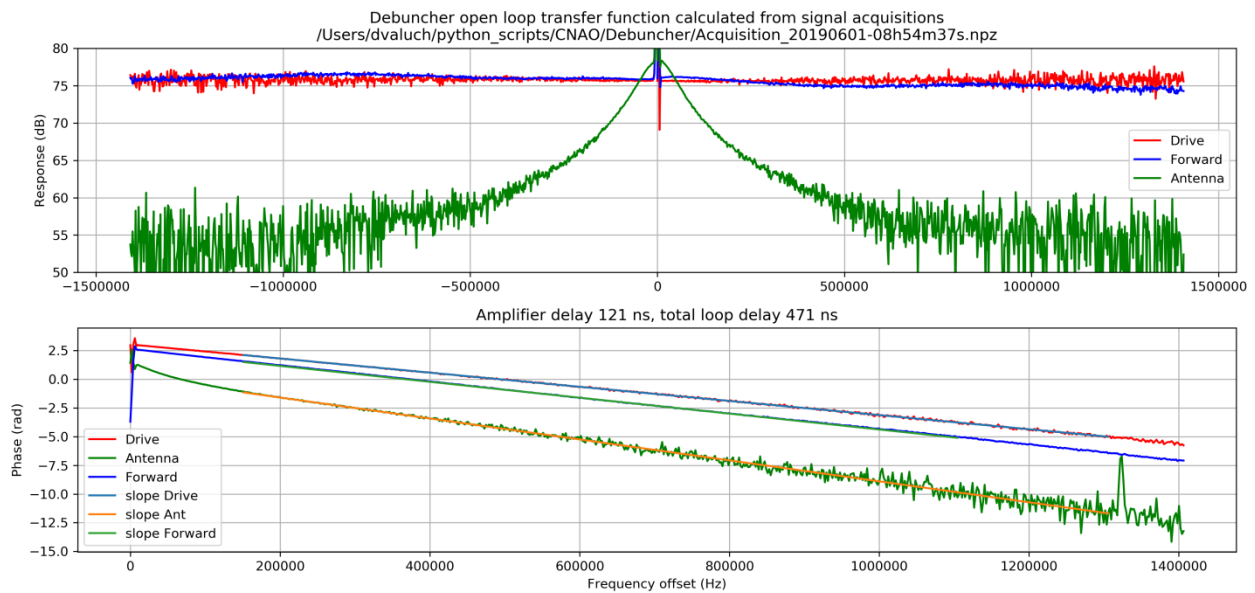


Figura 6

### 4 ASSISTENZA E GARANZIA

Dopo l'approvazione dei documenti progettuali (rif. par. 5 Timeplan) nel periodo dal T1 al collaudo delle schede, Fondazione CNAO procederà con l'implementazione dell'interfaccia di controllo.

Durante questo periodo la ditta aggiudicataria dovrà fornire, senza ulteriori costi per la Fondazione CNAO:

- supporto telefonico e/o in teleassistenza disponibile tutti i giorni lavorativi del periodo contrattuale, esclusi sabati domeniche e festivi, dalle ore 8:00 alle ore 17:00 e dovrà garantire la risposta entro 48 ore dalla richiesta telefonica e/o teleassistenza e/o mail.
- assistenza in situ sia per le attività di test che per quelle di messa a punto e collaudo, così come indicato nel paragrafo 5 Time Plan e consegne.

E' richiesta la garanzia minima di n. 12 mesi a decorrere dalla data di collaudo con test di accettazione positivo della fornitura. Gli operatori economici che parteciperanno alla procedura di gara relativa all'appalto in oggetto potranno offrire un'estensione di garanzia oltre il predetto termine, che verrà valutata dalla Stazione Appaltante così come indicato al **punto 6.1 del Disciplinare di Gara**.

In ogni caso la garanzia dovrà coprire, senza ulteriori costi per la Fondazione CNAO, qualsiasi tipo di non conformità legata alle caratteristiche e alle funzionalità dei prodotti forniti in relazione alla presente Specifica Tecnica, ai documenti progettuali elaborati dal costruttore e accettati da CNAO e ai manuali forniti dall'Aggiudicatario.

Durante il periodo di garanzia l'Aggiudicatario si impegna ad effettuare, senza alcun costo aggiuntivo per la Fondazione CNAO, qualsiasi attività e fornitura dovessero essere necessarie a ripristinare il corretto funzionamento degli apparati forniti.

Si richiede inoltre il supporto telefonico e/o in teleassistenza disponibile tutti i giorni lavorativi del periodo contrattuale, esclusi sabati domeniche e festivi, dalle ore 8:00 alle ore 17:00 e dovrà garantire la risposta entro 48 ore dalla richiesta telefonica e/o teleassistenza e/o mail.

Assistenza in situ per eventuali problematiche dovessero insorgere legate alla normale operatività delle schede.

I componenti malfunzionanti e/o guasti dovranno essere riparati e/o sostituiti assicurando il ripristino del corretto funzionamento degli apparati entro 15 giorni dalla segnalazione di intervento da parte della Fondazione CNAO. Le modalità di riparazione e di sostituzione verranno scelte dall'Aggiudicatario.

I requisiti sopra indicati sono da intendersi come requisiti minimi tassativi che devono essere contenuti nella garanzia.

L'Aggiudicatario assicura l'impiego di personale tecnico adeguatamente formato, qualificato e dotato della strumentazione e delle conoscenze necessarie alla corretta esecuzione di tutte le attività oggetto del presente appalto.

### 5 TIME PLAN E CONSEGNE

Dalla data di decorrenza del contratto (tempo T) si prevede il raggiungimento delle seguenti milestone:

- T+1 mese:



Entro 1 mese dalla data di decorrenza dell'appalto il fornitore dovrà sottoporre a CNAO i documenti progettuali, elaborati sulla base di quanto indicato nella presente Specifica Tecnica, degli oggetti che andrà a realizzare. Tali documenti dovranno essere in ogni caso discussi, concordati con i tecnici di CNAO e approvati formalmente dalla Stazione Appaltante prima che il fornitore possa avviare la produzione delle schede

- T > T+1

Assistenza tecnica, supporto telefonico e/o in teleassistenza disponibile tutti i giorni lavorativi del periodo contrattuale, esclusi sabati domeniche e festivi, dalle ore 8:00 alle ore 17:00 e dovrà garantire la risposta entro 48 ore dalla richiesta telefonica e/o teleassistenza e/o mail.

- T+ 8 mesi:

L'Aggiudicatario dovrà fornire entro 8 mesi dalla data di decorrenza dell'appalto una scheda per l'effettuazione dei test.

I tecnici della Fondazione CNAO effettueranno la verifica dei loop di controllo di ampiezza e fase.

Come proposto in figura 7 viene creata una linea di ritardo pari a quelle reale e con un attenuatore si ricreerà la corrispondenza tra uscita della LLRF e valore della *amp-tank-probe*.

La scheda dovrà ricevere il trigger (stability pulse) tramite strumento esterno (fornito da CNAO), contestualmente verranno misurate le performance RF e la corrispondenza dei segnali digitali generati dalla LLRF.

Verranno verificati il controllo locale e remoto della scheda.

Si verificheranno le generazioni dei digital. Il costruttore dovrà fornire assistenza

in situ  
per tali test.

Il sistema verrà lasciato in free running un mese per testarne la stabilità.

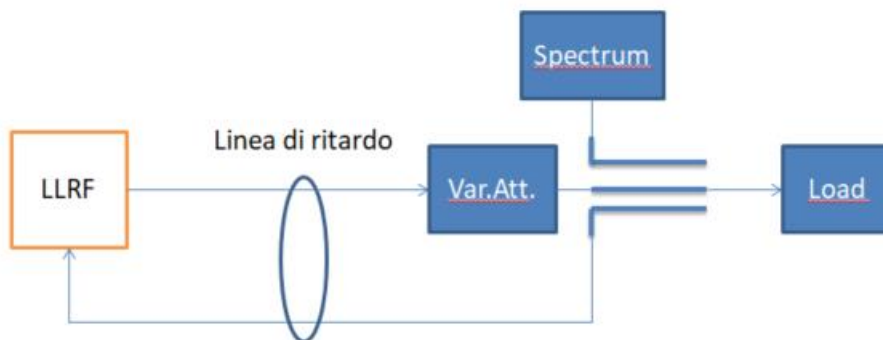


Figura 7

- T+12 mesi:

La restante parte della fornitura dovrà essere consegnata entro il 12° mese dalla data di decorrenza dell'appalto, con modalità Franco Destinazione presso la sede della Fondazione CNAO situata in Strada Campeggi 53 a Pavia. L'accettazione alla consegna non costituisce conferma di conformità della fornitura a quanto indicato all'interno della presente Specifica Tecnica e nei documenti progettuali elaborati dal fornitore e approvati formalmente da CNAO. La conformità della fornitura sarà verificata solo a seguito del collaudo.

A fornitura ultimata, verranno programmate delle sessioni di lavoro con intervento diretto dell'Aggiudicatario presso la sede CNAO per effettuare l'installazione, la messa

a punto e il collaudo del sistema su ognuno dei 3 amplificatori. La durata dei test non dovrà in ogni caso essere superiore a 16 ore per amplificatore. I test saranno schedulati durante i weekend.

## **6 VARIAZIONI RISPETTO ALLE SPECIFICHE**

Ogni variazione a quanto descritto nel presente documento tecnico, deve essere sottoposta, discussa e approvata formalmente da CNAO, senza comportare modifiche al prezzo offerto.