

OTTIMIZZAZIONE DEL RAPPORTO GUADAGNO D' ANTENNA / TEMPERATURA DI SISTEMA PER LE PARABOLE DI MEDICINA E NOTO

Parte 2^a :
Tutte le frequenze, Cassegrain e Fuoco Primario

Sergio Mariotti

Rapporto Interno N° IRA 275/99

Abstract

Questo rapporto ha lo scopo di trovare il miglior livello di illuminazione al bordo per le Parabole di Medicina e Noto, in modo da individuare il miglior compromesso fra efficienza, spill-over e lobi laterali. Tale valore verrà usato come dato di input nel progetto dei feed-horn per fuoco Cassegrain e Primario e deve essere fornito dal committente ai progettisti.

This report show how to find the best value of illumination pattern for the 32 m parabolic antennas located in Medicina and Noto, in order to find the best compromise between efficiency, spill-over and sidelobes. This value, provided by Cnr IRA, will be the input data to feed-horn designer.

1. Introduzione

Nella Parte 1^a di questo lavoro ho esposto il **metodo** per studiare il η/T_{sys} , gli **strumenti** adottati, la **validazione** del software e li ho applicati al caso pratico della frequenza 5 GHz in fuoco secondario (Cassegrain).

Questa Parte 2^a del rapporto ha lo scopo di generalizzare lo studio a tutte le frequenze che interessano il radiotelescopio e per entrambe le illuminazioni possibili (Cassegrain e Fuoco Primario).

La Parte 1^a (R.I. N° 262/98) e questa Parte 2^a devono essere considerate complementari, pertanto valgono le simbologie, i metodi, gli strumenti, i procedimenti iterattivi, ed in generale la stessa filosofia di lavoro adottate nella Parte 1^a. Consiglio pertanto il lettore di rifarsi a tale rapporto di cui questo è l'integrazione e la continuazione.

L'obiettivo di questo rapporto, è di presentare i seguenti risultati:

- Grafici di η/T_{sys} , η , T_{sys} in funzione del Taper con parametro la frequenza per configurazioni Cassegrain

- Criterio di scelta del Taper in funzione di T_{sys} per configurazioni Cassegrain
- Grafici di η/T_{sys} , η , T_{sys} in funzione del Taper a frequenza fissa per configurazioni Fuoco Primario
- Criterio di scelta del Taper in funzione di T_{sys} per configurazioni Fuoco Primario.

2. Caso Cassegrain

2.1 Metodo

Il metodo di calcolo e collezionamento dei dati utilizzato nella Parte 1^a funziona solo a frequenza singola.

Il mio obiettivo è estendere le possibilità di tale metodo di calcolo per poter fare analisi a tutte le frequenze di nostro interesse.

Per fare ciò è necessario ricordare qui i fattori che ho preso in considerazione e che contribuiscono a formare il rapporto η/T_{sys} , e la loro eventuale dipendenza dalla frequenza.

- $\eta_{spCielo}$ Dipende dall'illuminazione ma non esplicitamente dalla frequenza
- $\eta_{spTerra}$ Dipende dall'illuminazione ma non dalla frequenza
- η_{ii} Dipende dall'illuminazione ma non esplicitamente dalla frequenza
- η_{RMS} **Dipende dalla frequenza** con la nota relazione

$$\eta_{rms} := e^{-\left(4 \cdot \pi \frac{\sigma_{rms}}{\lambda}\right)^2} \quad \eta_{rms} := e^{-\left(4.189 \cdot 10^{-2} \cdot \sigma_{rms,mm} \cdot f_{GHz}\right)^2}$$

che diventa:

In pratica, in linea con le semplificazioni adottate già nella Parte 1^a, possiamo assumere che l'efficienza η vari solo con la frequenza per l'effetto di η_{RMS} .

- **oK sp. cielo** Temperatura di spill-over dovuta al cielo (in °K), **dipende** dall'illuminazione e **dalla frequenza** solo nel senso che varia la temperatura di rumore dell'atmosfera.
- **oK sp. terra** Temperatura di spill-over dovuta al terreno (in °K), dipende dall'illuminazione ma non dipende dalla frequenza.

È bene ricordare inoltre che:

non vengono presi in considerazione: l'attenuazione dell'atmosfera, gli effetti dovuti disallineamento (fuori fuoco, tilt, offset), la deformazione per gravità, il rendimento di Cross-Pol (η_x), le perdite ohmiche;

e che si considera l'impiego di horns con **angolo di flare di 6° che dovrebbero fornire un'efficienza più alta** di quella fornita dagli horn con angolo di flare di circa 10° attualmente montati.

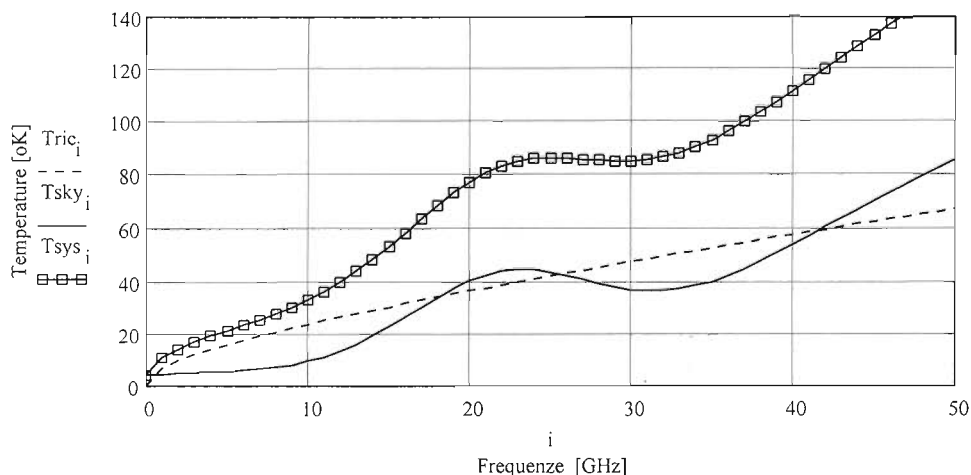
Ho modificato il metodo di collezionamento dei dati (MS Excel) utilizzato nella Parte 1^a, in modo da poter calcolare η/T_{sys} in funzione della frequenza; a questo scopo ho introdotto il calcolo di η_{rms} in funzione della frequenza (nella Parte 1^a viene impostata come variabile fissa).

A titolo di esempio riporto nella seguente pagina il foglio MS Excel usato nella Parte 1^a e modificato per l'analisi in frequenza.

Il foglio elettronico chiamato G_SU_T3.XLS raccoglie e riassume i dati calcolati dal programma Sletten REF.EXE e dagli altri programmi di calcolo dello spill-over, e permette con la semplice impostazione della frequenza centrale in GHz (nell'esempio 41.5), di T_{sys} (nell'esempio 114) e di T_{sky} (nell'esempio 54) il calcolo ed i grafici delle η , η/T_{sys} , T_{spill} per vari Taper al bordo e per tre frequenze (i due bordo - banda e frequenza centrale)

Allo scopo ridurre i dati presentati, calcolo anche una media pesata del valore η/T_{sys} con il peso = 1 per il centro banda e peso = 0.7 ai bordi della banda (vedi colonna "media").

Il foglio G_SU_T3.XLS contiene anche una sezione che simula la $T_{\text{sys}}=(T_{\text{ric}}+T_{\text{sky}})$ in funzione della frequenza adottando valori "state of the art" per T_{ric} e le temperature medie dell'atmosfera per T_{sky} come mostrato nel seguente grafico.



Nella pagina seguente viene mostrato un esempio del foglio G_SU_T3.XLS.

rms = 0.5	Fo = 5	
Tsys = 35	Tsky = 5	Tearth = 300
deg >	6	6

Tric = 19.4
Tsky = 5.6
Tsys = 24.9

	6	6	6	0.7 < Peso x media	
0.0	4.3	5.0	5.8	media	
EtaSpCielo	9	0.800	0.880	0.920	
EtaSpTerra	9	0.974	0.981	0.988	
Eta il	9	0.780	0.760	0.714	
EtaRMS	9	0.992	0.989	0.986	
EtaTot	9	0.603	0.649	0.640	
oK sp. tot	9	8.7	6.2	4.0	
1st SideLobe	9	-20.4	-21.0	-21.9	
Eta/Tsys	9	1.38	1.58	1.64	1.537
EtaSpCielo	10.5	0.840	0.900	0.940	
EtaSpTerra	10.5	0.978	0.985	0.991	
Eta il	10.5	0.768	0.740	0.684	
EtaRMS	10.5	0.992	0.989	0.986	
EtaTot	10.5	0.626	0.648	0.627	
oK sp. tot	10.5	7.5	5.1	3.1	
1st SideLobe	10.5	-20.5	-21.8	-23.2	
Eta/Tsys	10.5	1.47	1.62	1.64	1.584
EtaSpCielo	12	0.870	0.920	0.950	
EtaSpTerra	12	0.981	0.987	0.992	
Eta il	12	0.756	0.718	0.651	
EtaRMS	12	0.992	0.989	0.986	
EtaTot	12	0.640	0.645	0.605	
oK sp. tot	12	6.4	4.2	2.5	
1st SideLobe	12	-21.0	-22.5	-24.0	
Eta/Tsys	12	1.55	1.65	1.61	1.608
EtaSpCielo	13.5	0.900	0.930	0.950	
EtaSpTerra	13.5	0.984	0.990	0.993	
Eta il	13.5	0.739	0.691	0.620	
EtaRMS	13.5	0.992	0.989	0.986	
EtaTot	13.5	0.649	0.630	0.576	
oK sp. tot	13.5	5.4	3.4	2.2	
1st SideLobe	13.5	-21.7	-23.5	-25.2	
Eta/Tsys	13.5	1.61	1.64	1.55	1.604
EtaSpCielo	15	0.920	0.940	0.960	
EtaSpTerra	15	0.986	0.992	0.994	
Eta il	15	0.719	0.662	0.585	
EtaRMS	15	0.992	0.989	0.986	
EtaTot	15	0.647	0.611	0.550	
oK sp. tot	15	4.5	2.8	1.9	
1st SideLobe	15	-22.4	-24.7	-26.7	
Eta/Tsys	15	1.64	1.62	1.49	1.587
EtaSpCielo	16.5	0.930	0.950	0.960	
EtaSpTerra	16.5	0.990	0.994	0.995	
Eta il	16.5	0.688	0.620	0.548	
EtaRMS	16.5	0.992	0.989	0.986	
EtaTot	16.5	0.628	0.579	0.515	
oK sp. tot	16.5	3.5	2.2	1.8	
1st SideLobe	16.5	-23.6	-26.6	-29.3	
Eta/Tsys	16.5	1.63	1.56	1.40	1.534

2.2 Risultati

Nelle seguenti pagine verranno riportati, per ogni banda di frequenza quattro grafici che mostrano il rapporto η/T_{sys} , lo spillover e l'efficienza d'antenna.

Il rapporto η/T_{sys} viene presentato in due grafici con parametro la T_{sys} ; nel primo dei due, $T_{\text{sys}} = (T_{\text{ric}} + T_{\text{sky}})$ ha una stima realistico - ottimistica mostrata nel grafico di pag. 3,

Il secondo dei due grafici mostra invece il rapporto η/T_{sys} calcolato per una T_{sys} degradata arbitrariamente per simulare un caso pessimistico, di circa 15 – 25 °K. L'entità di tale degrado è dettata dall'esperienza e simula effetti indesiderati difficilmente prevedibili.

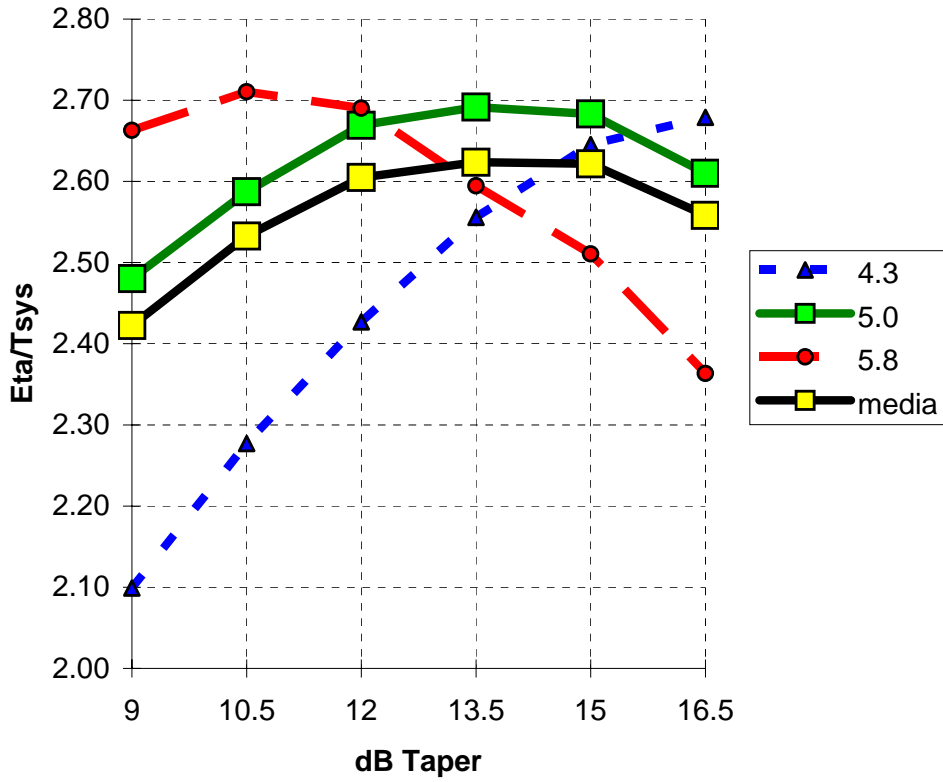
rapporto η/T_{sys}

Dati nominali:

5 Ghz

Cassegrain

$T_{sys} = 20^\circ K$



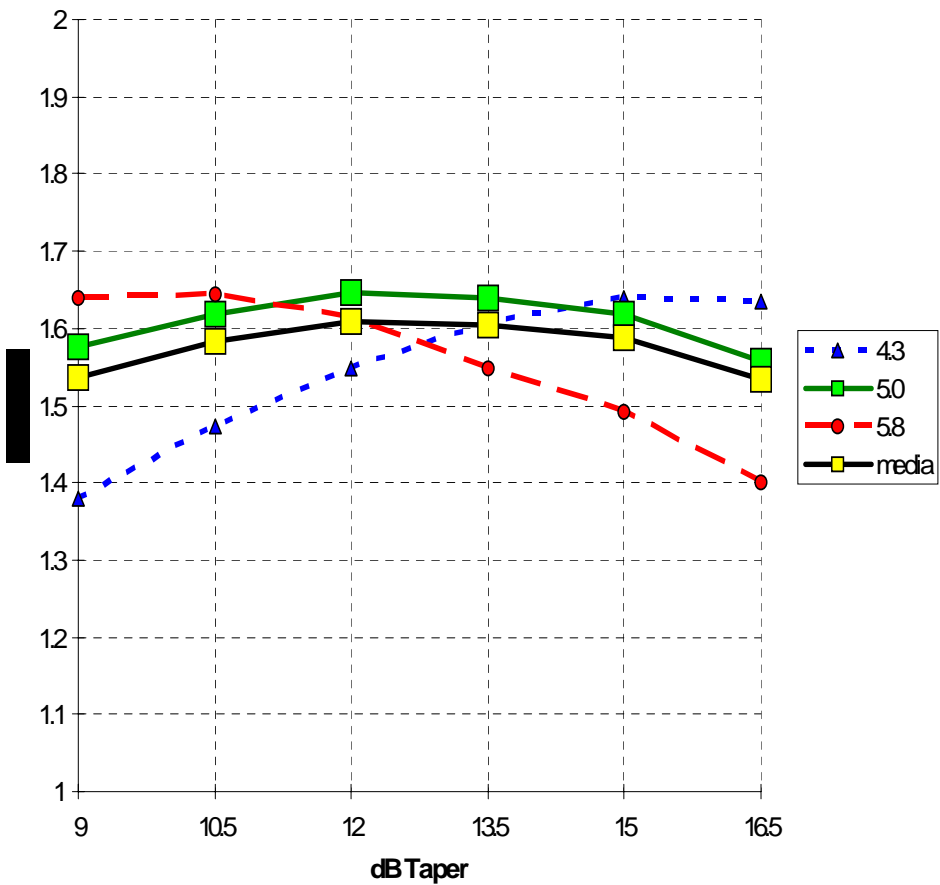
rapporto η/T_{sys}

Dati nominali:

5 Ghz

Cassegrain

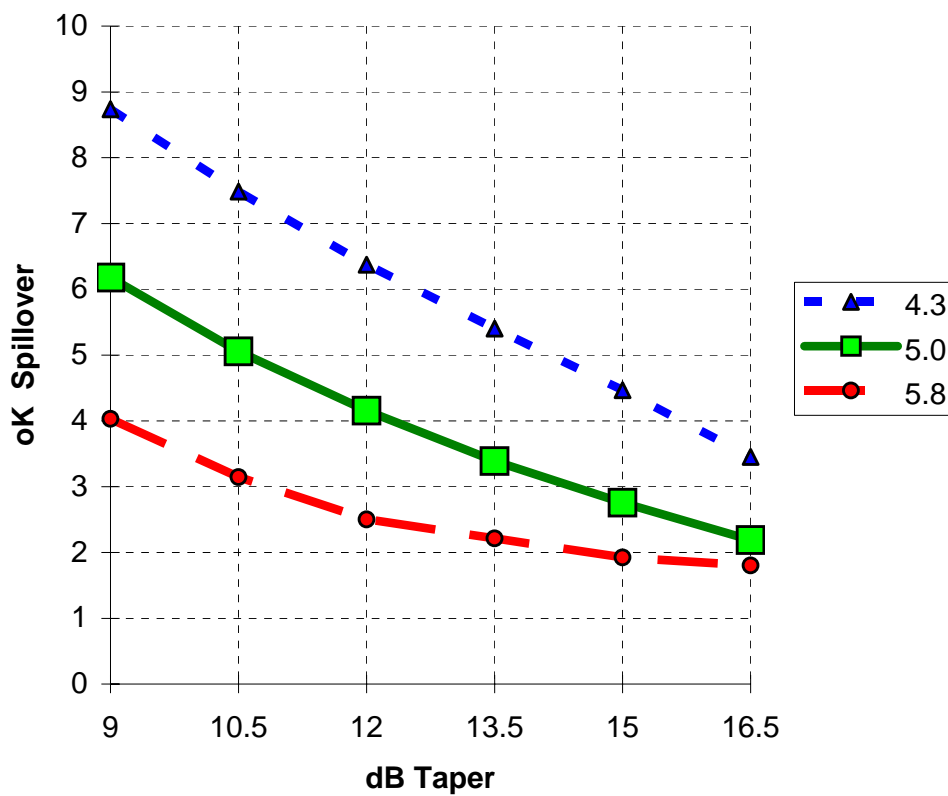
$T_{sys} = 35^\circ K$



Spill-Over

Dati nominali:

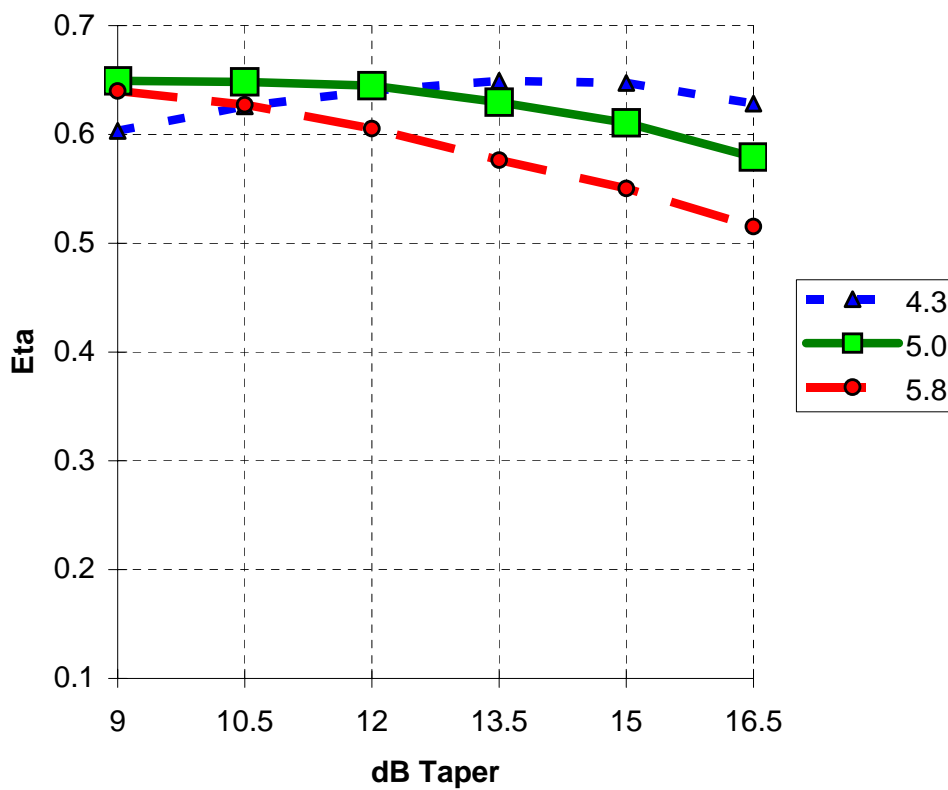
5 Ghz
Cassegrain



Efficienza η

Dati nominali:

5 Ghz
Cassegrain



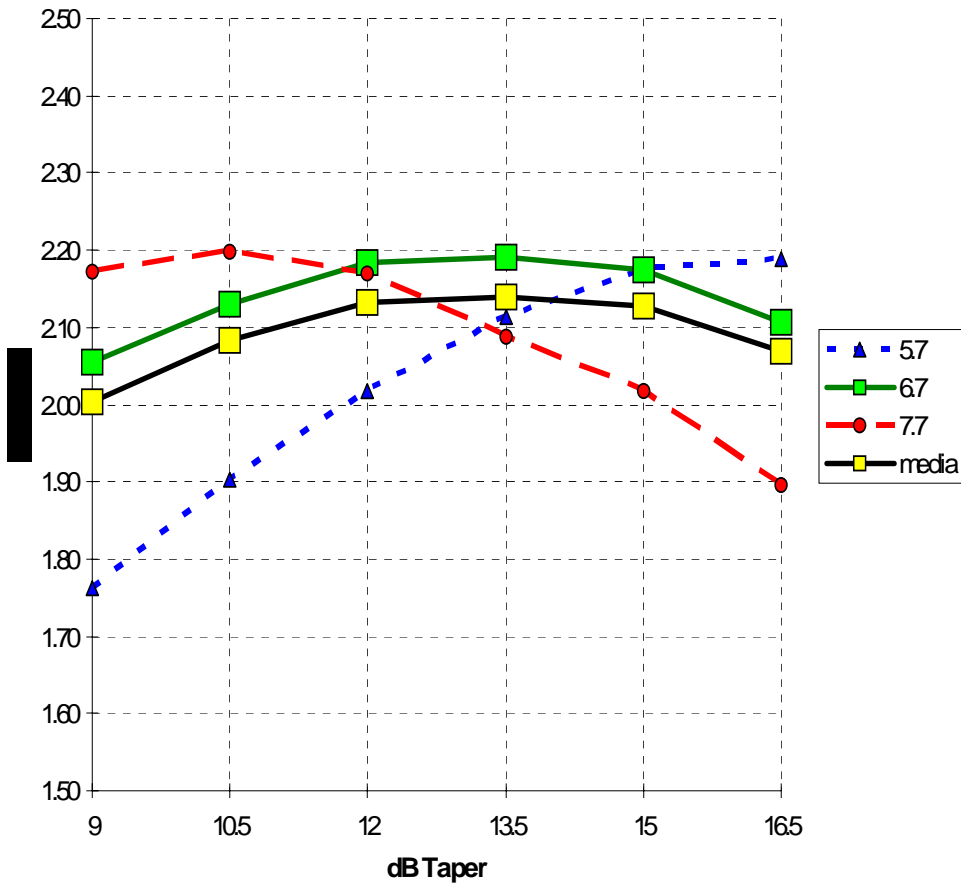
rapporto η/T_{sys}

Dati nominali:

6.7 Ghz

Cassegrain

$T_{sys} = 25^\circ K$



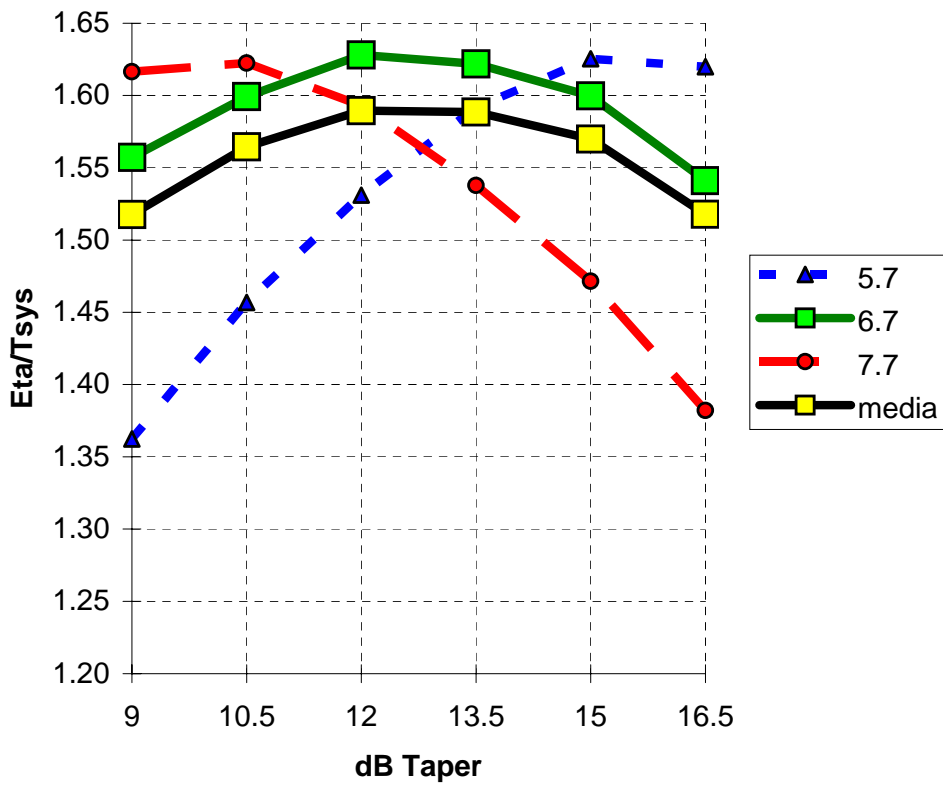
rapporto η/T_{sys}

Dati nominali:

6.7 Ghz

Cassegrain

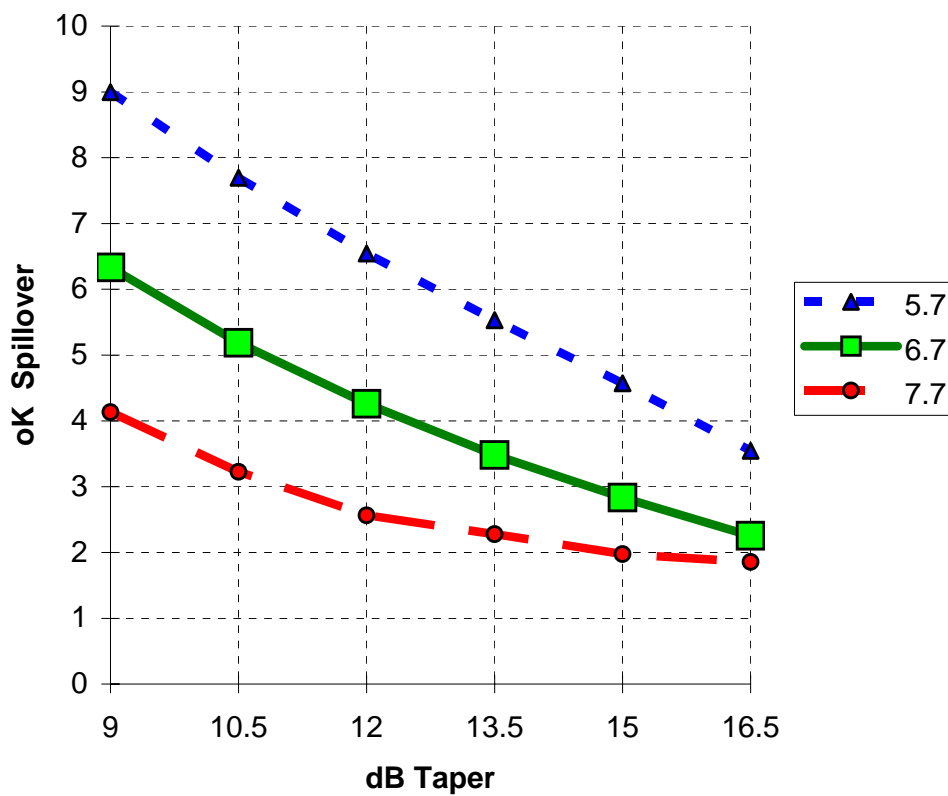
$T_{sys} = 35^\circ K$



Spill-Over

Dati nominali:

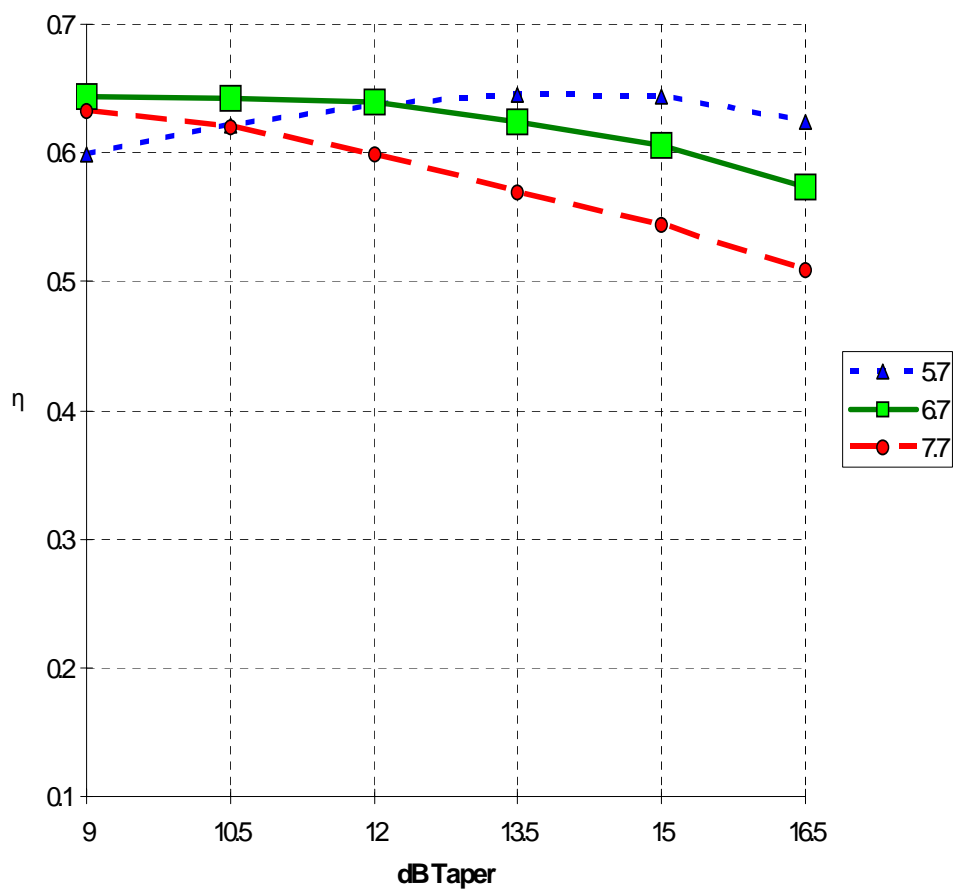
6.7 Ghz
Cassegrain



Efficienza η

Dati nominali:

6.7 Ghz
Cassegrain



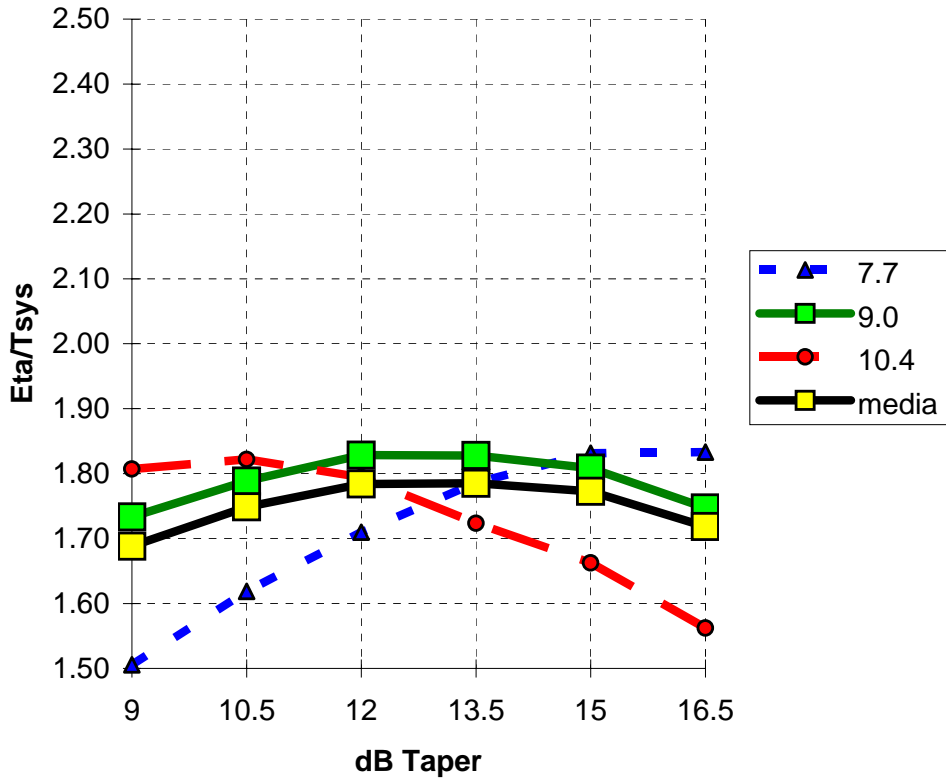
rapporto η/T_{sys}

Dati nominali:

9 Ghz

Cassegrain

$T_{sys} = 20^\circ K$



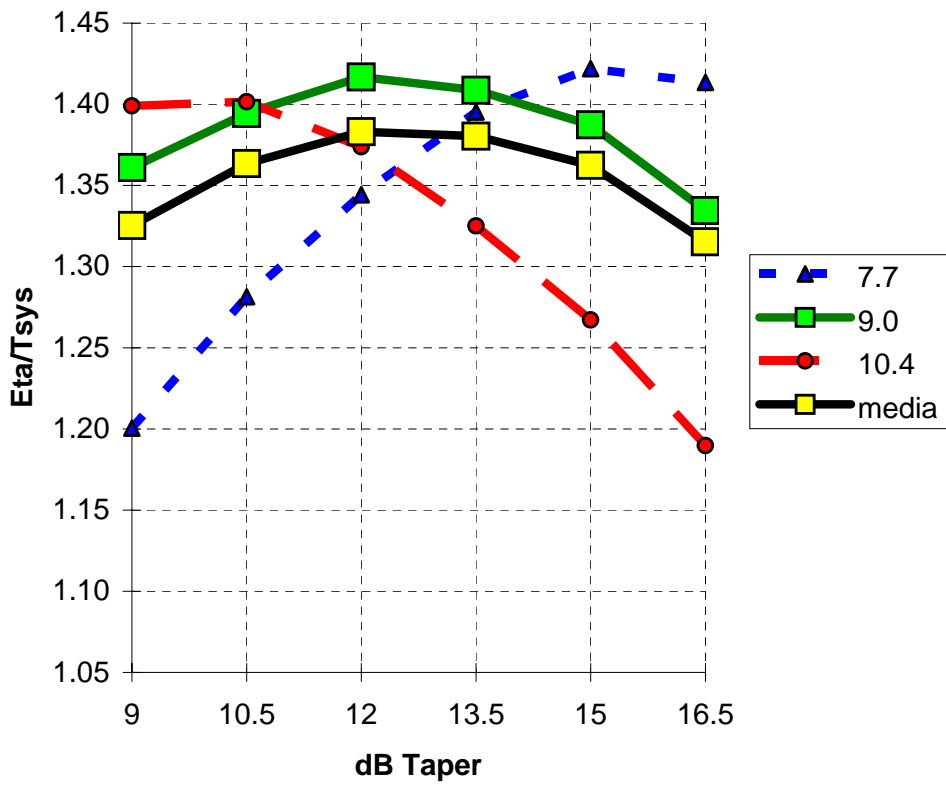
rapporto η/T_{sys}

Dati nominali:

9 Ghz

Cassegrain

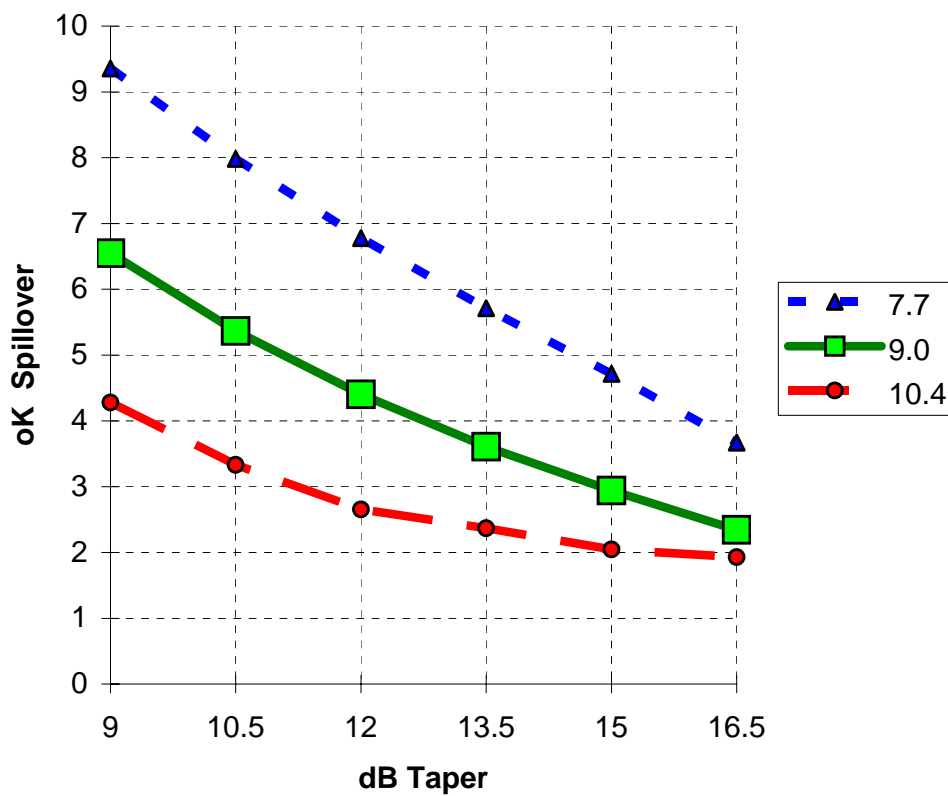
$T_{sys} = 40^\circ K$



Spill-Over

Dati nominali:

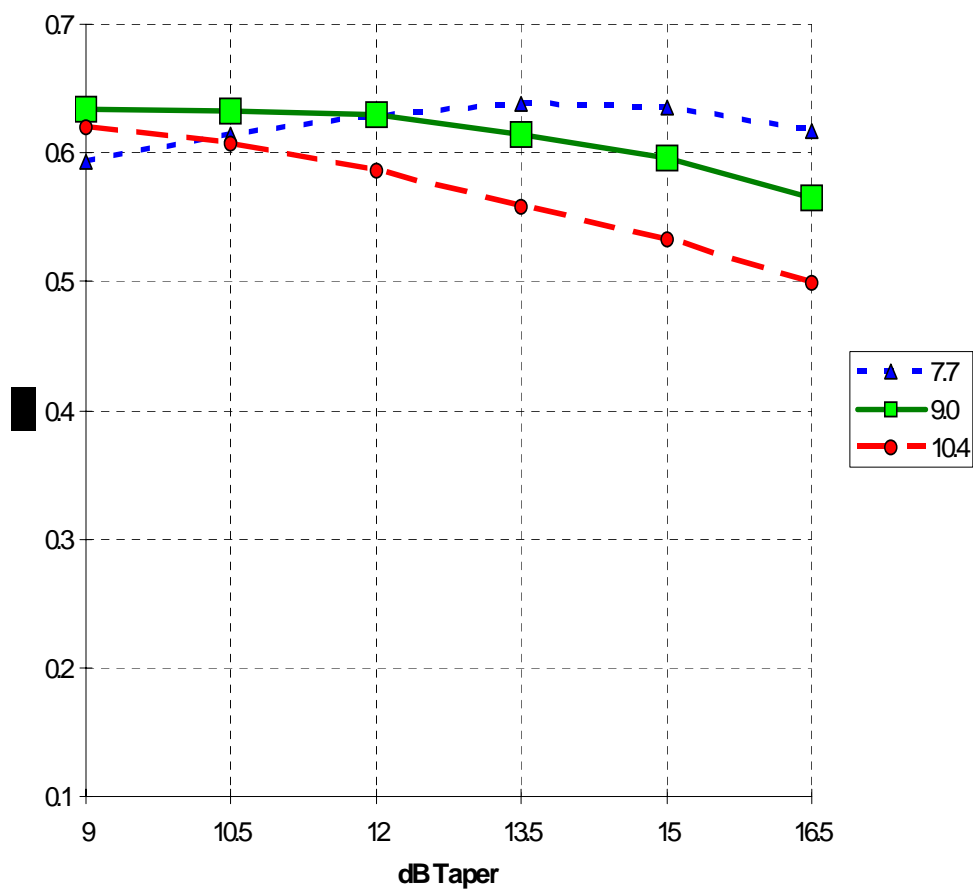
9 Ghz
Cassegrain

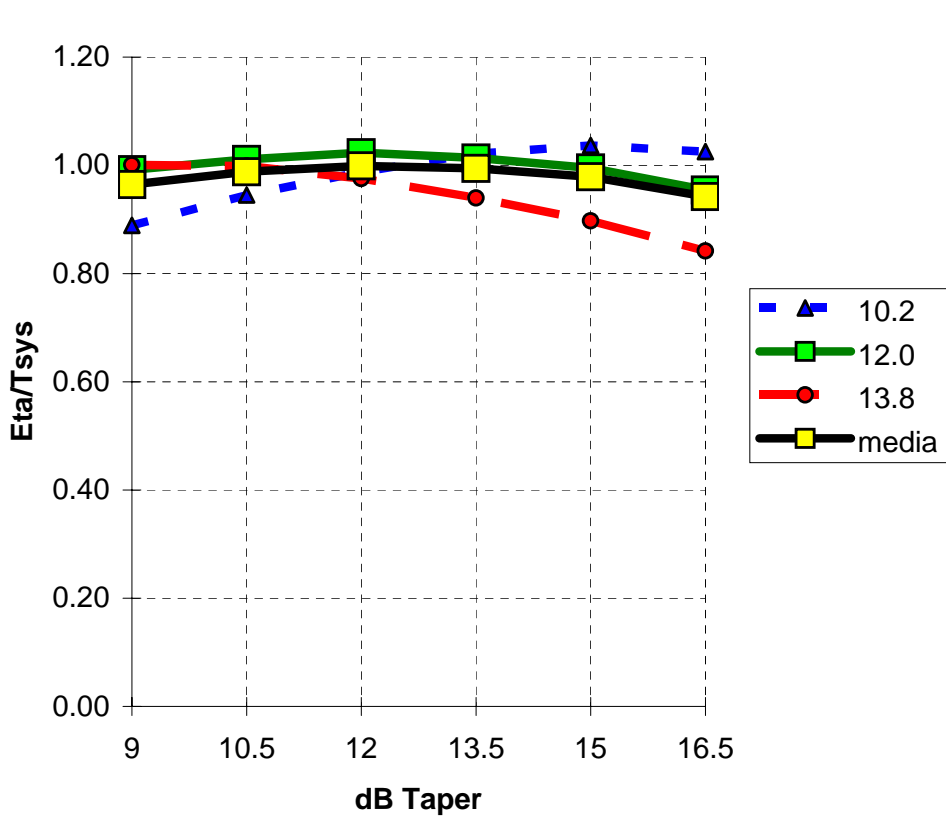
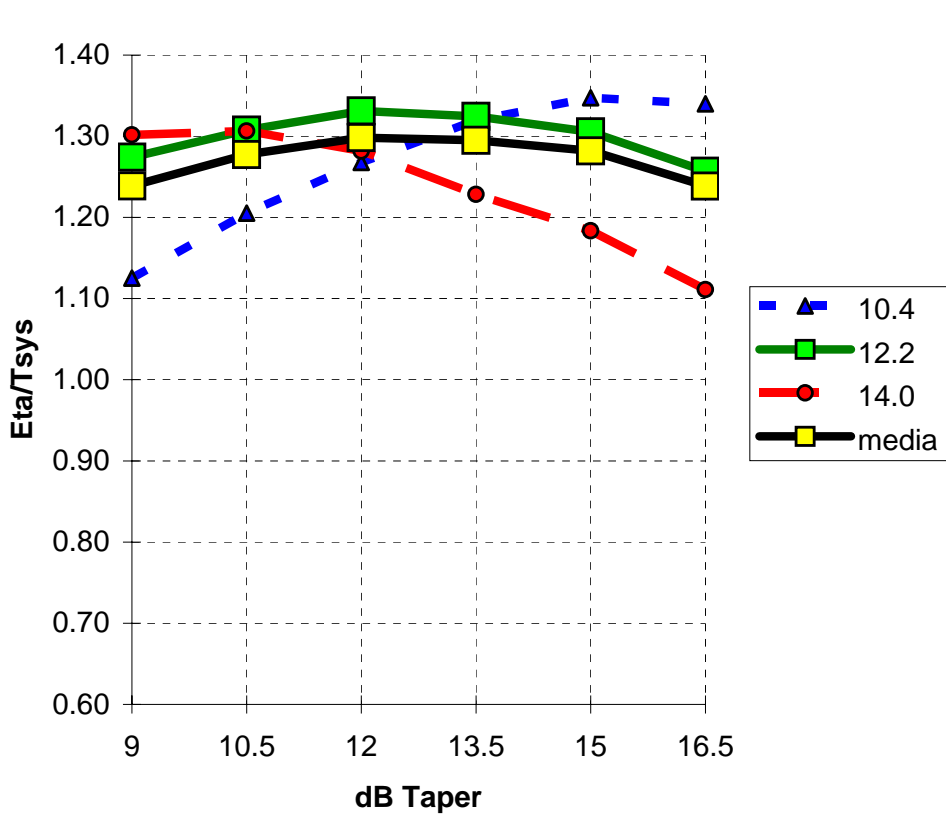


Efficienza η

Dati nominali:

9 Ghz
Cassegrain

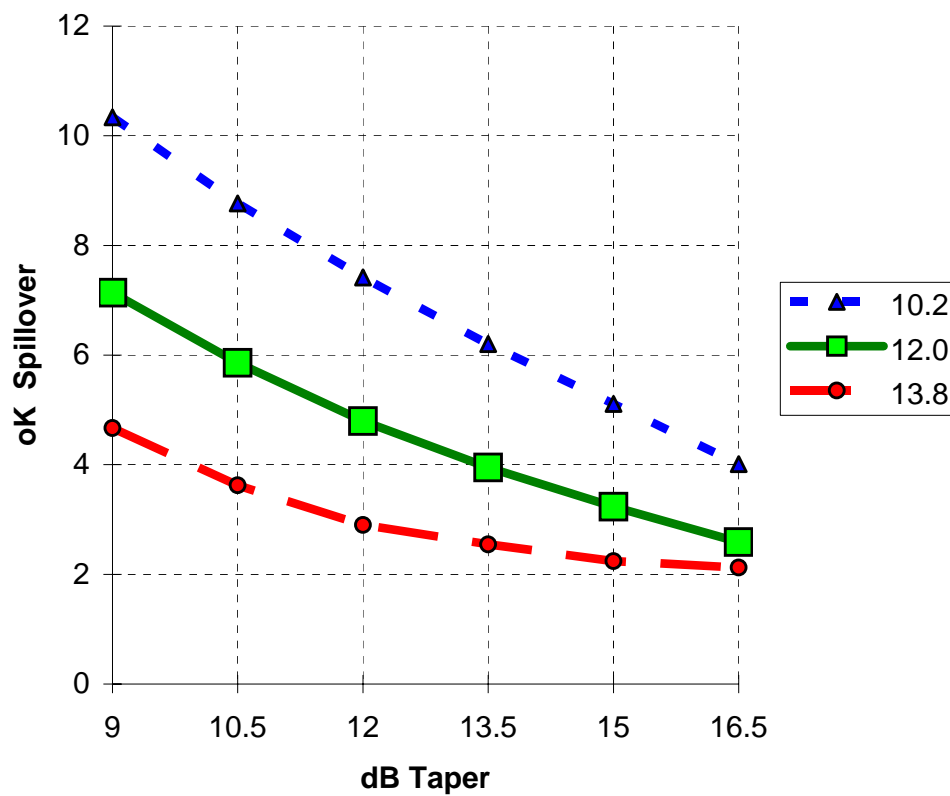




Spill-Over

Dati nominali:

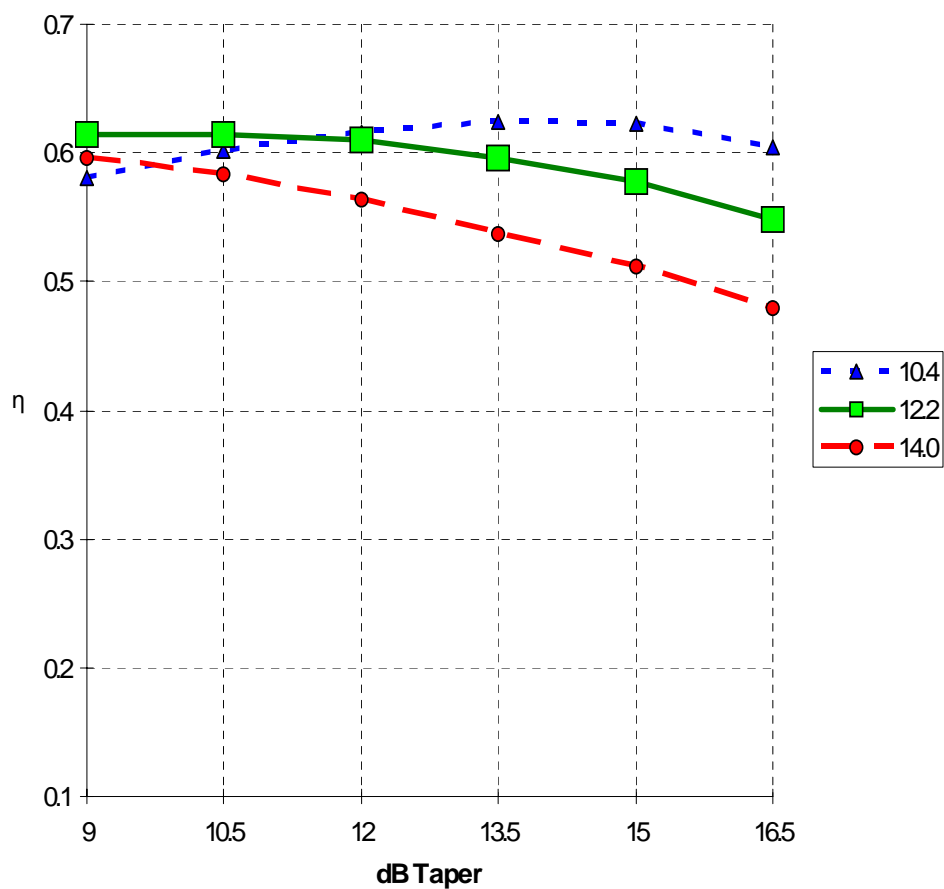
12.2 Ghz
Cassegrain



Efficienza η

Dati nominali:

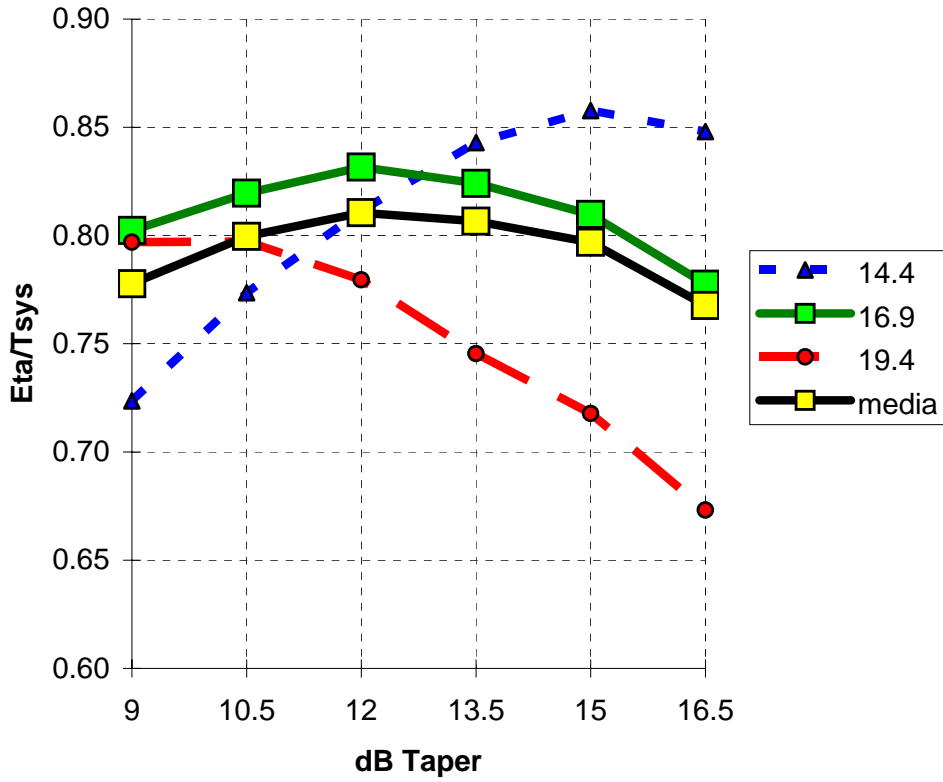
12.2 Ghz
Cassegrain



rapporto η/T_{sys}

Dati nominali:

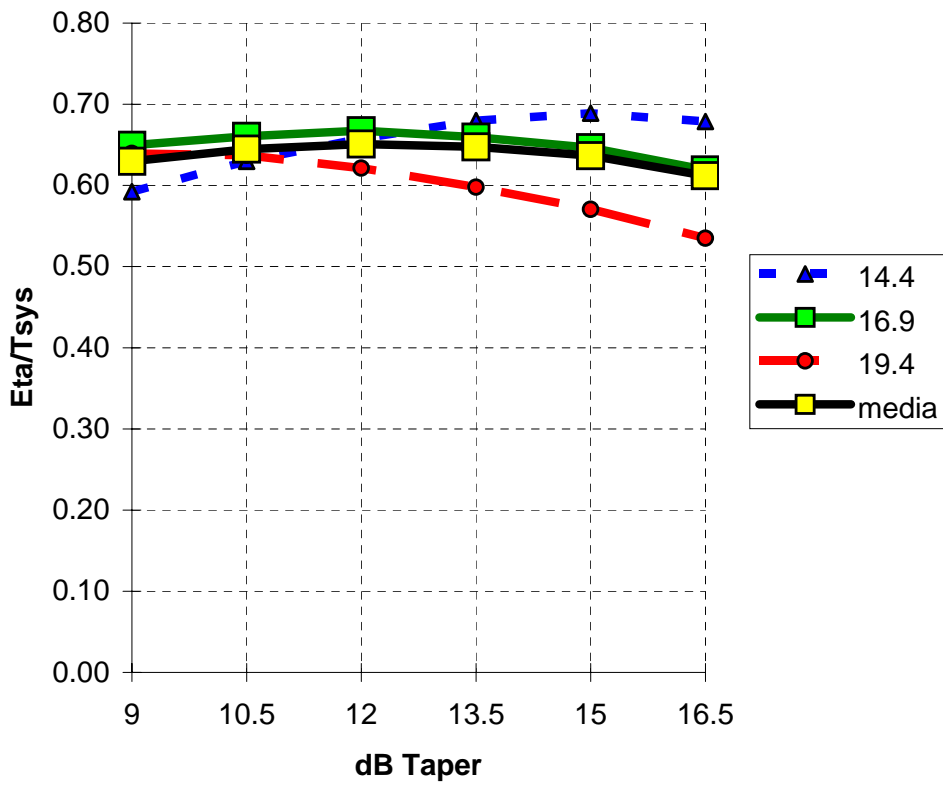
16.9 Ghz
Cassegrain
 $T_{sys} = 63^\circ K$



rapporto η/T_{sys}

Dati nominali:

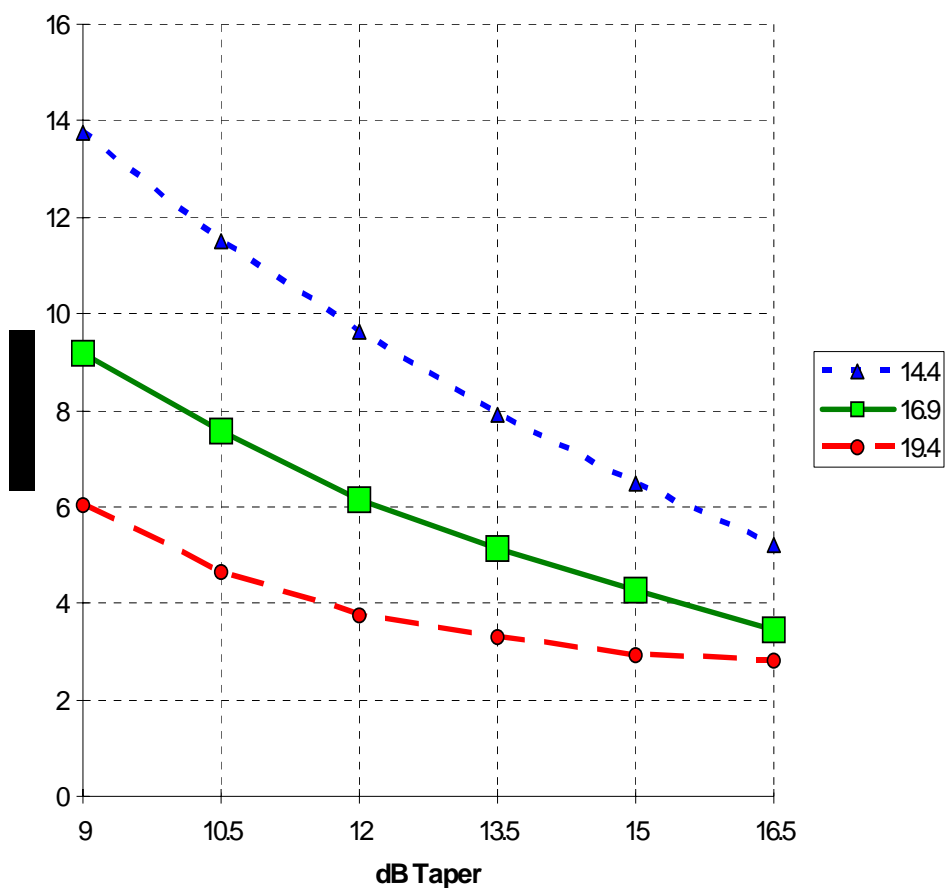
16.9 Ghz
Cassegrain
 $T_{sys} = 80^\circ K$



Spill-Over

Dati nominali:

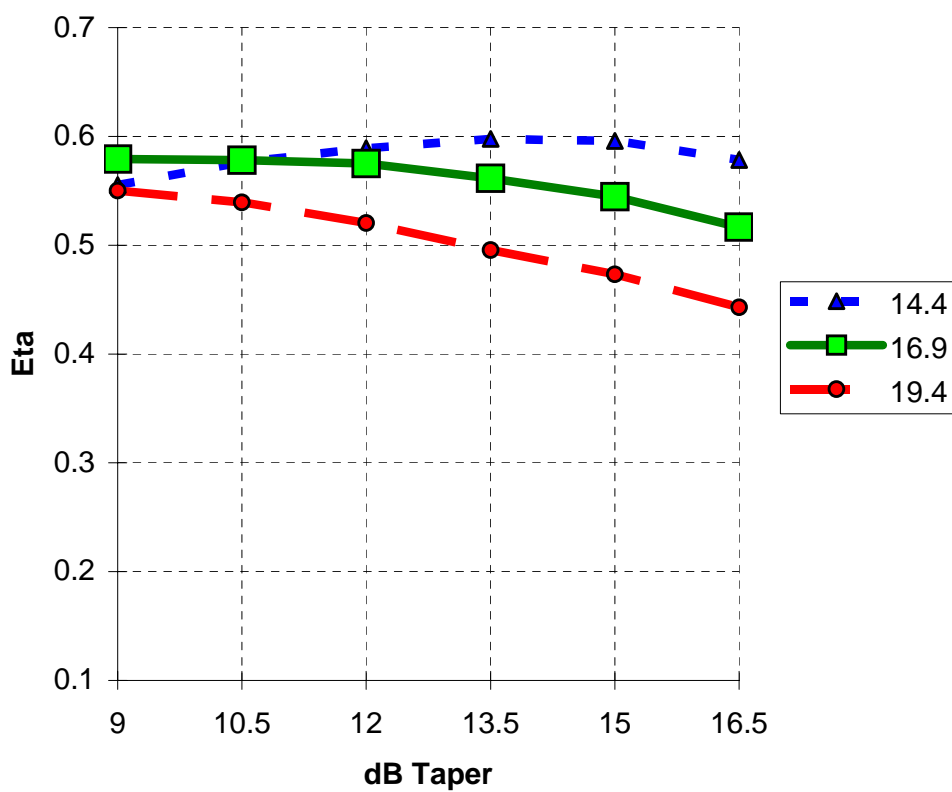
16.9 Ghz
Cassegrain



Efficienza η

Dati nominali:

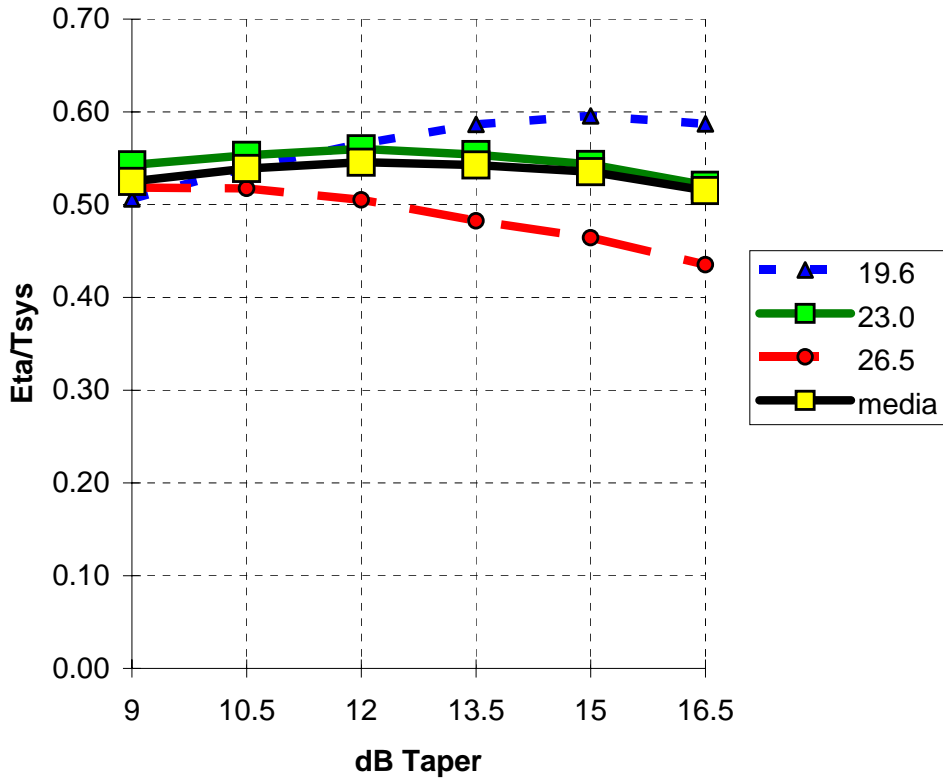
16.9 Ghz
Cassegrain



rapporto η/T_{sys}

Dati nominali:

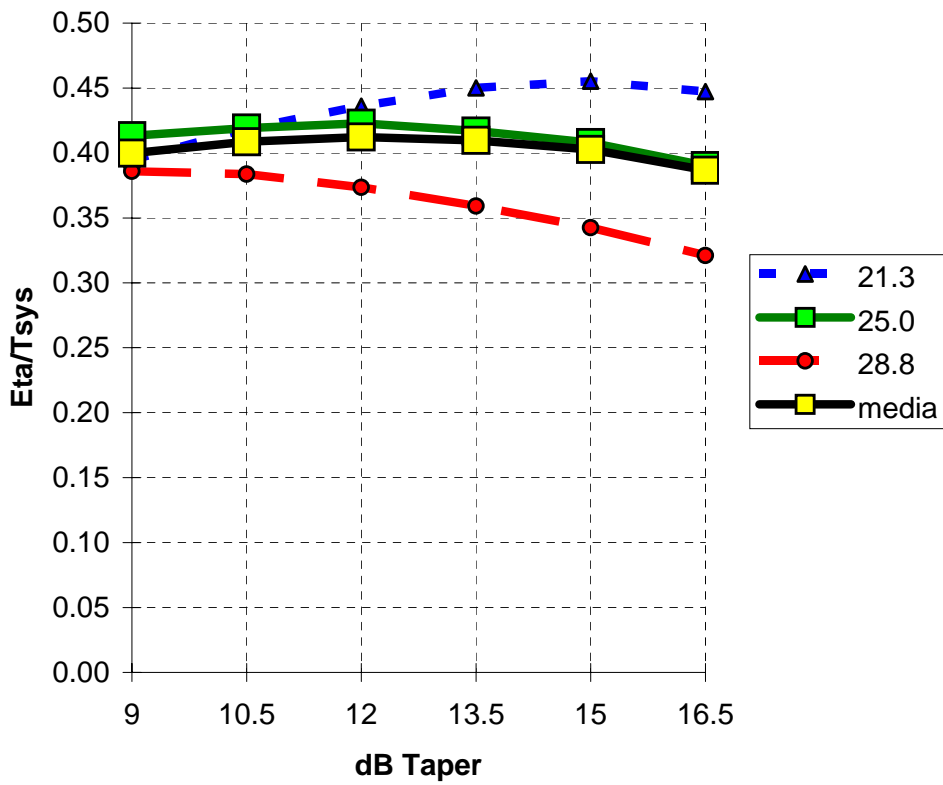
23 Ghz
Cassegrain
 $T_{sys} = 20^\circ K$



rapporto η/T_{sys}

Dati nominali:

23 Ghz
Cassegrain
 $T_{sys} = 110^\circ K$

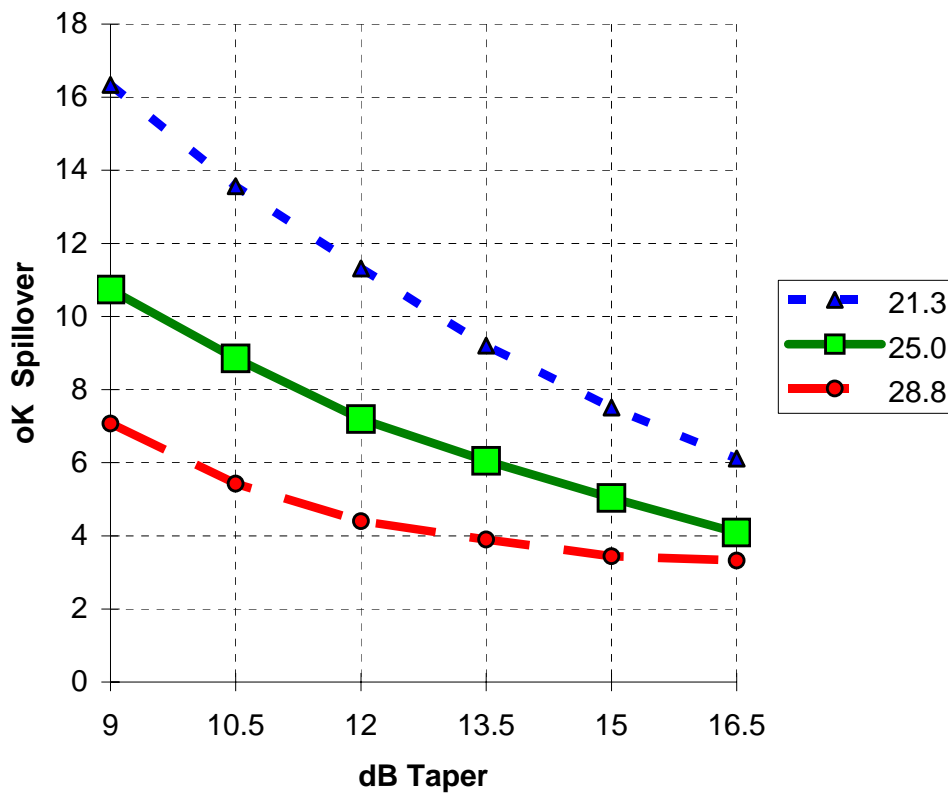


Spill-Over

Dati nominali:

23 Ghz

Cassegrain

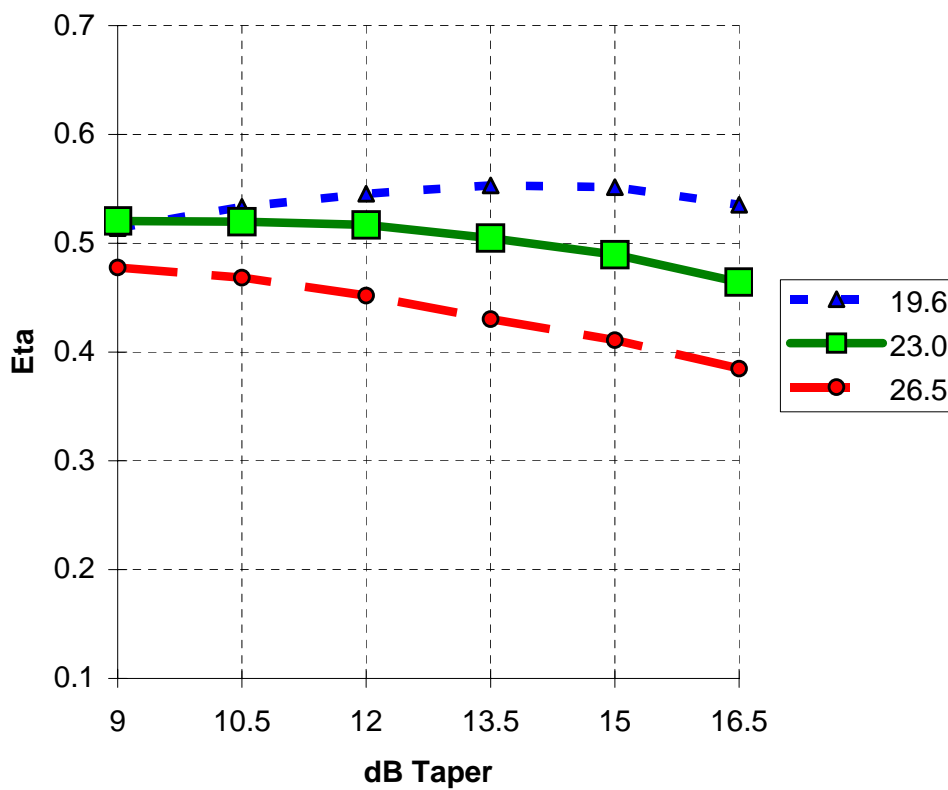


Efficienza η

Dati nominali:

23 Ghz

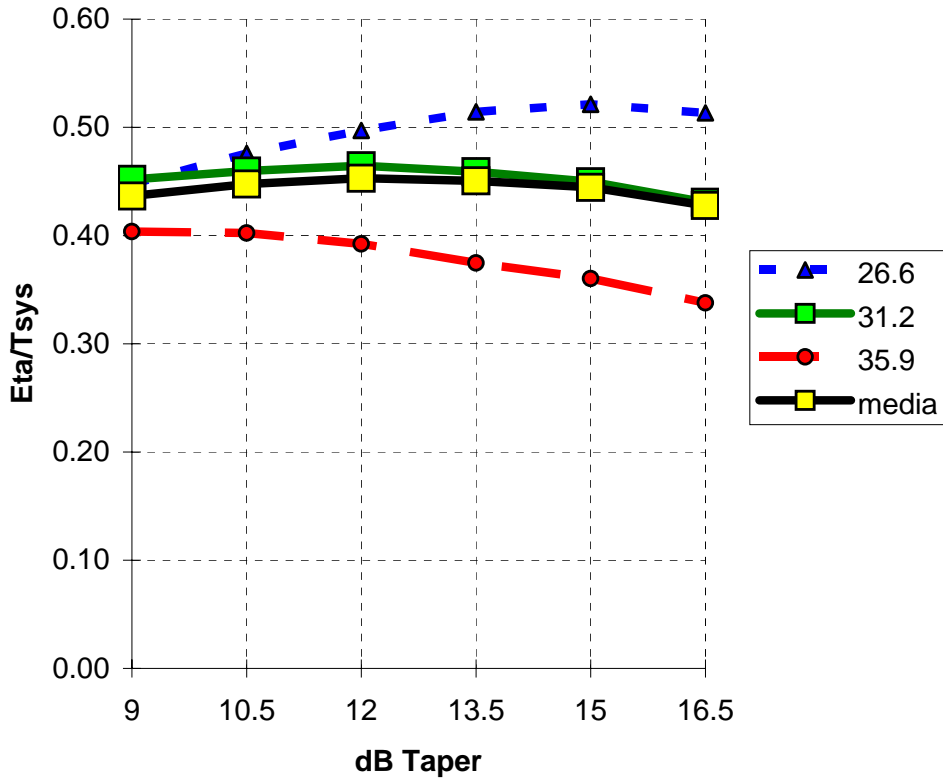
Cassegrain



rapporto η/T_{sys}

Dati nominali:

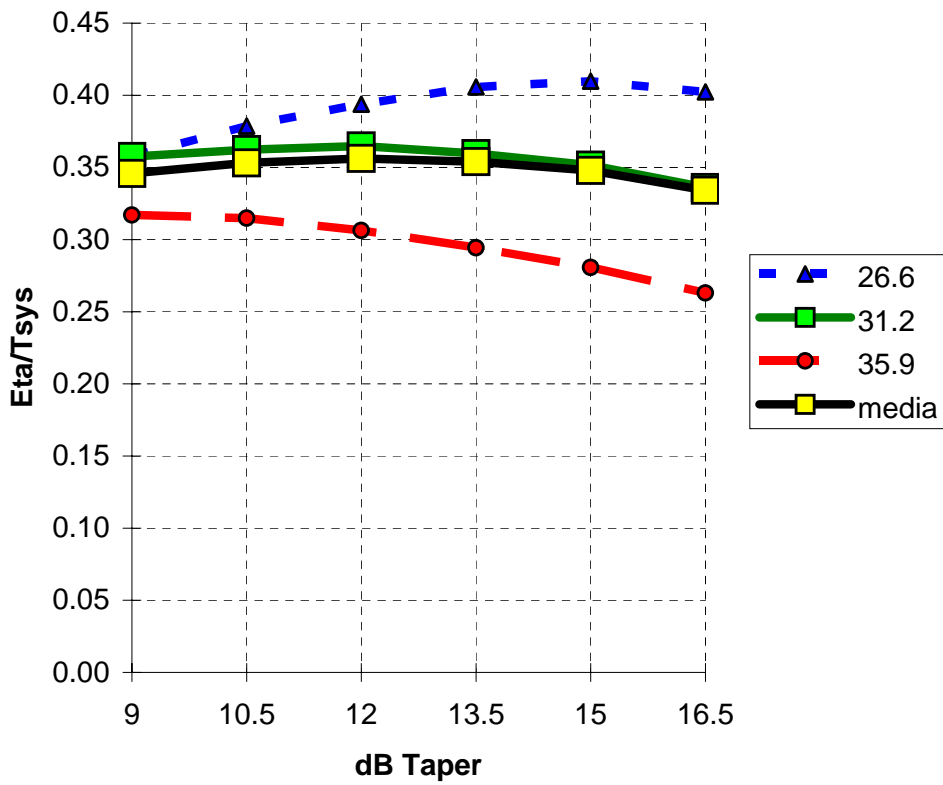
31.2 Ghz
Cassegrain
 $T_{sys} = 80^\circ K$



rapporto η/T_{sys}

Dati nominali:

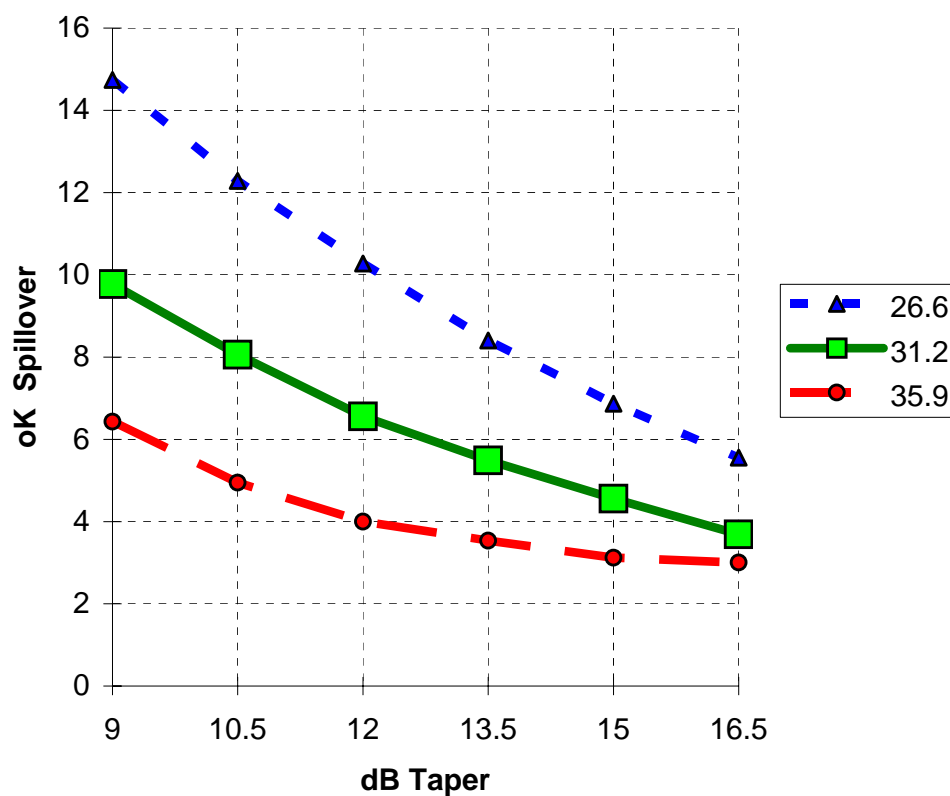
31.2 Ghz
Cassegrain
 $T_{sys} = 110^\circ K$



Spill-Over

Dati nominali:

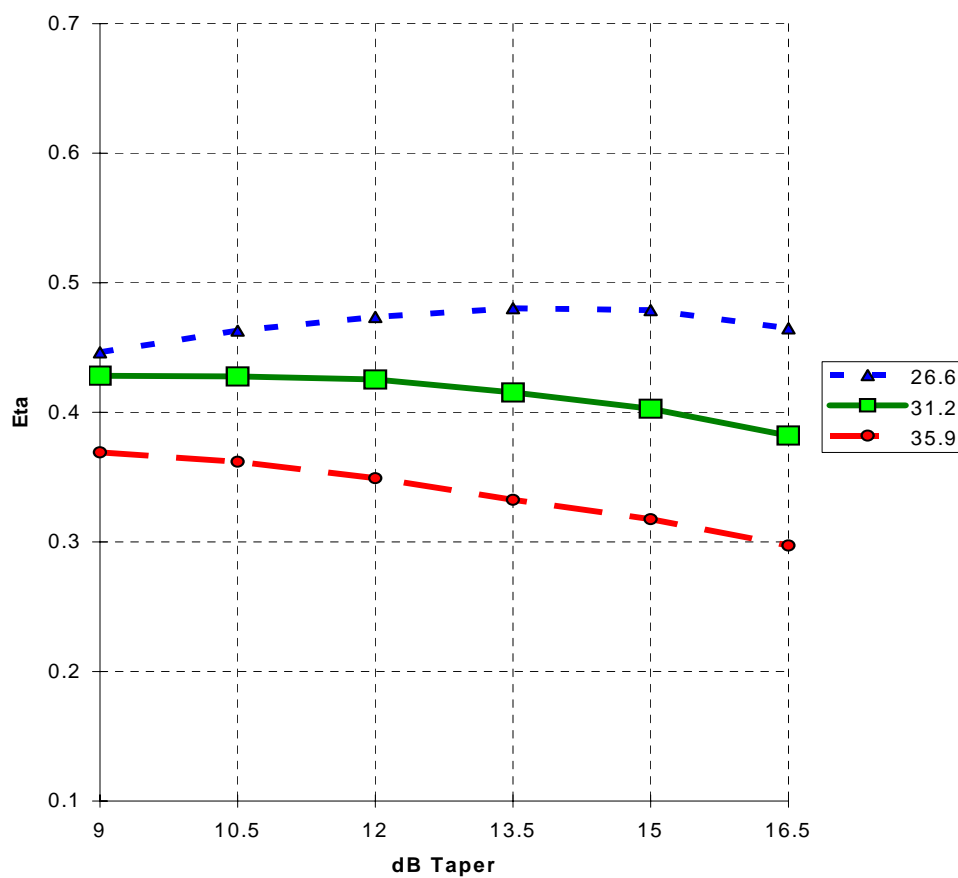
31.2 Ghz
Cassegrain



Efficienza η

Dati nominali:

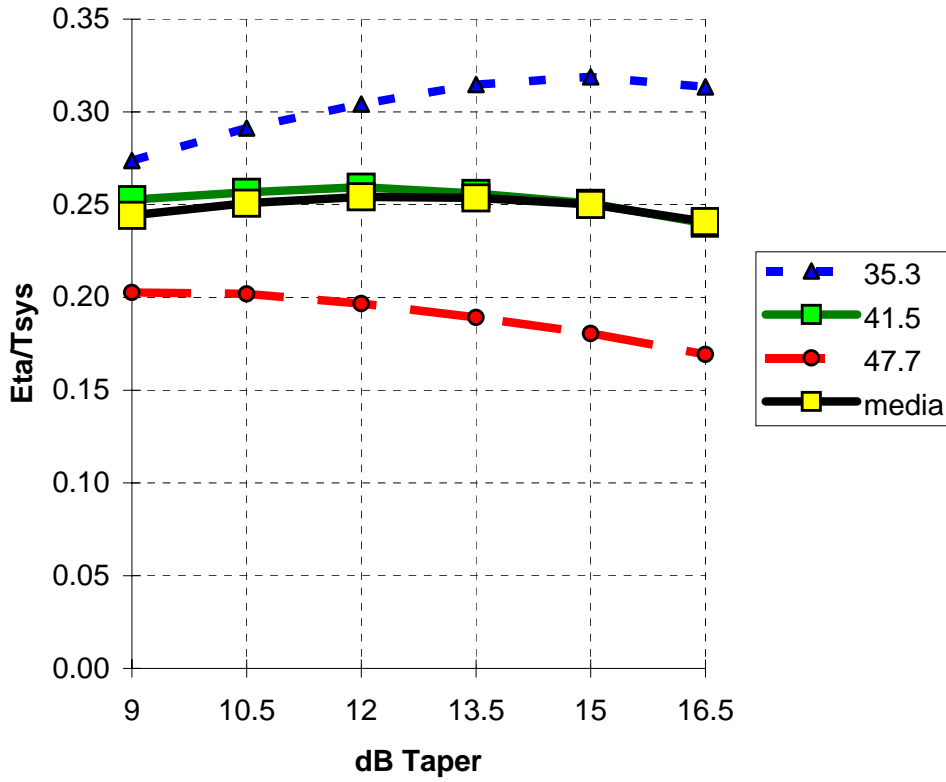
31.2 Ghz
Cassegrain



rapporto η/T_{sys}

Dati nominali:

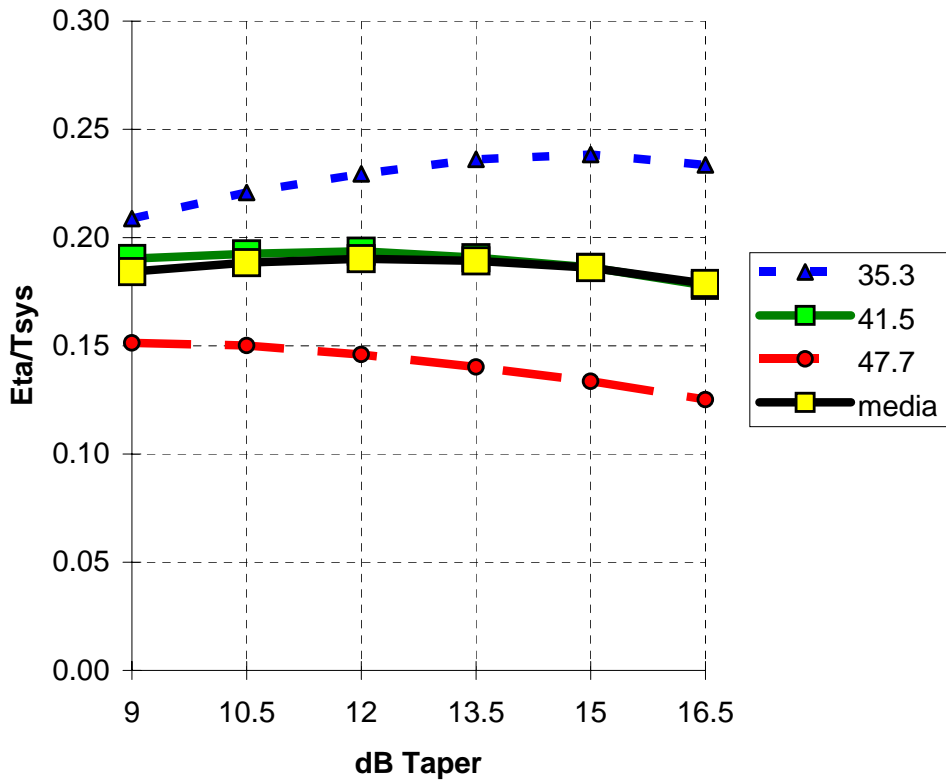
41.5 Ghz
Cassegrain
 $T_{sys} = 110^\circ K$



rapporto η/T_{sys}

Dati nominali:

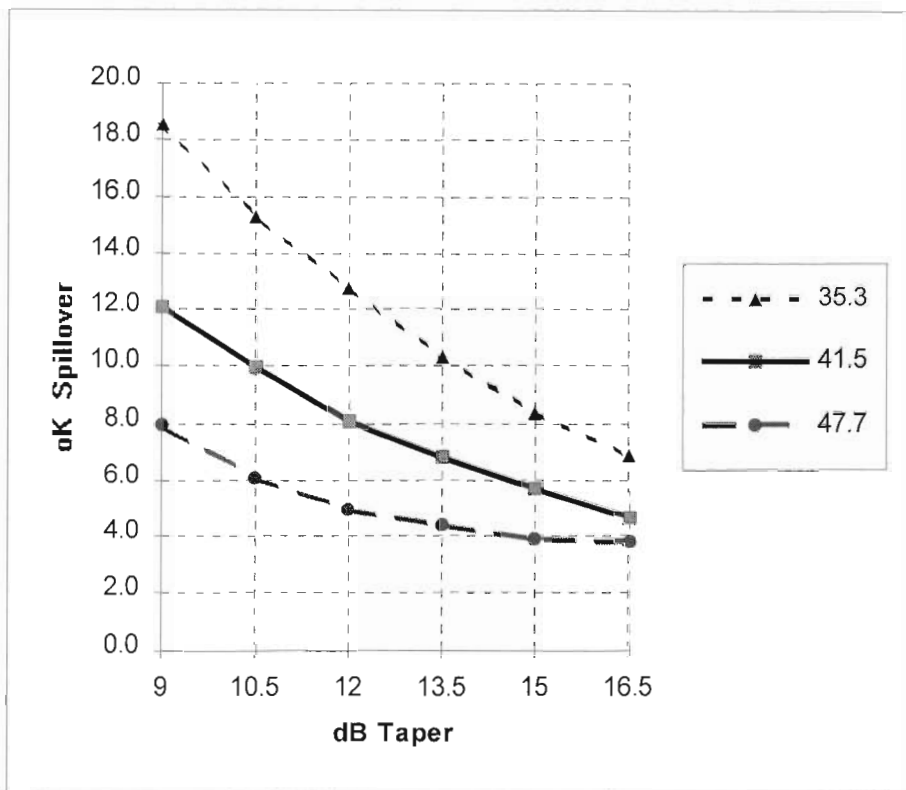
41.5 Ghz
Cassegrain
 $T_{sys} = 150^\circ K$



Spill-Over

Dati nominali:

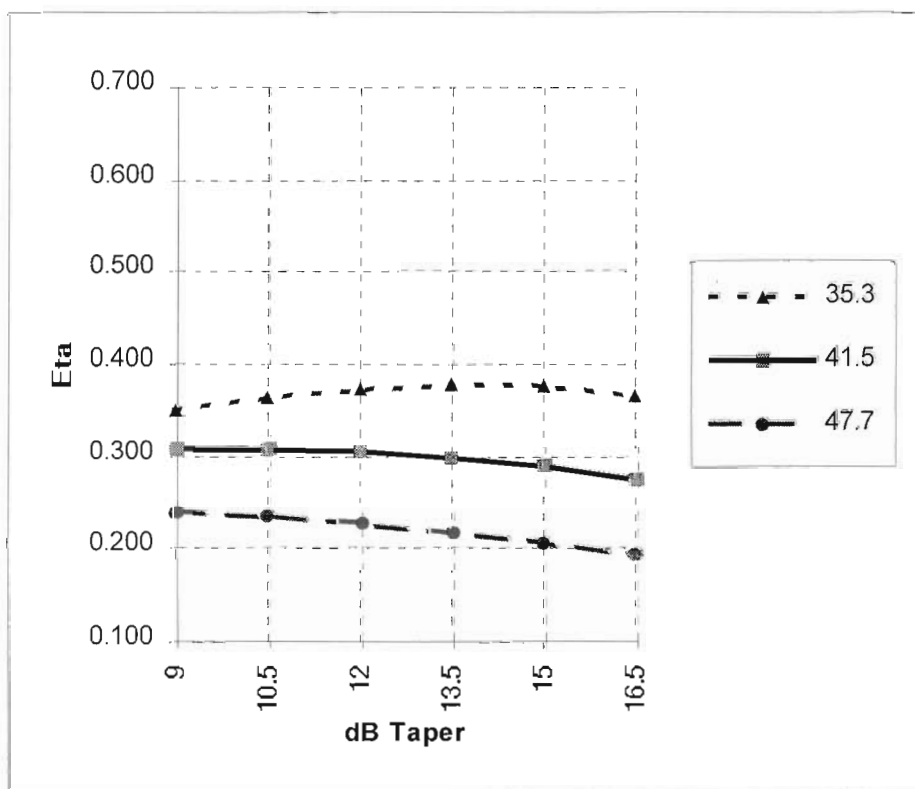
- 41.5 GHz
- Cassegrain



Efficienza η

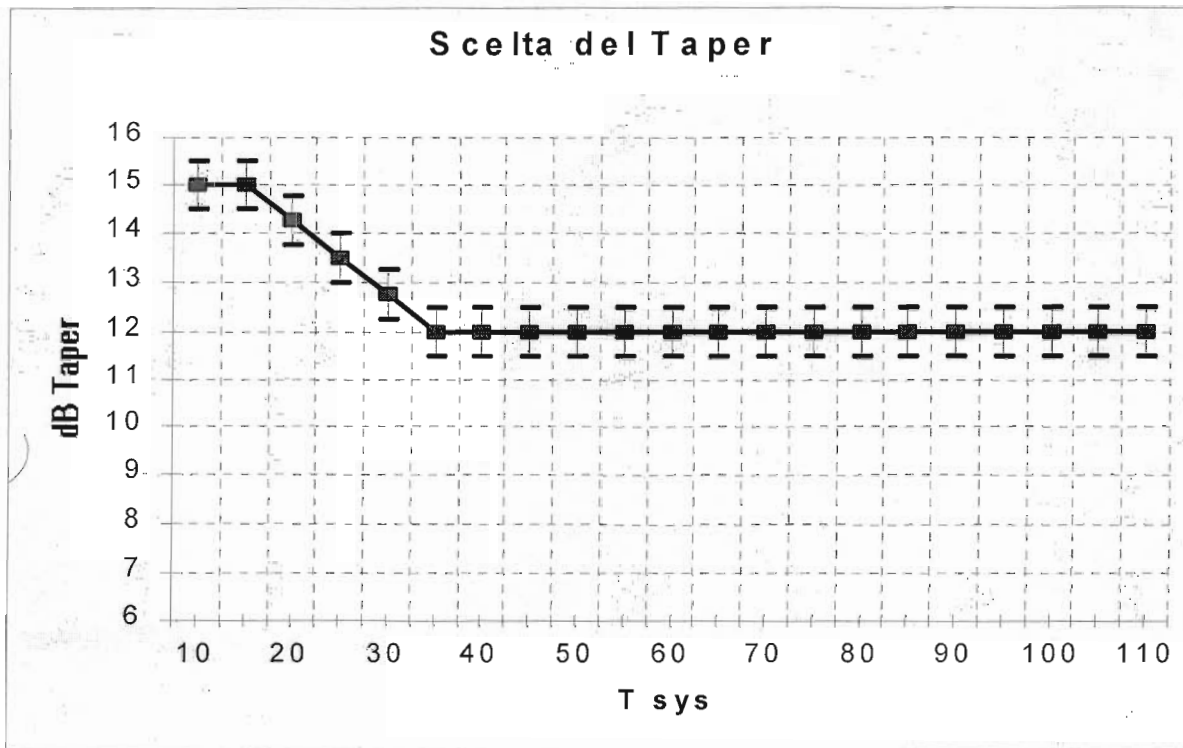
Dati nominali:

- 41.5 GHz
- Cassegrain



2.3 Criterio di Scelta del Taper (Cassegrain)

Dalla lettura dei precedenti grafici, per il fine di scegliere il valore del Taper al bordo tale da massimizzare η/T_{sys} , si può concludere che il Taper stesso può essere scelto in base alla T_{sys} stimata secondo quanto riportato nel seguente grafico all'interno della fascia d'errore mostrata.



In pratica ci si può riferire alla seguente tabella:

Fo GHz	Taper al Bordo dB	FL sky GHz	FH sky GHz
5	14	4.30	5.80
7	14	5.60	7.80
9	14	7.60	10.40
12	12	10.20	14.20
17	12	14.10	19.70
23	12	19.50	27.00
31	12	26.00	36.00
42	12	35.00	48.00

3.0 Fuoco Primario:

3.1 Metodo

Benchè la ricerca del migliore η/T_{sys} per illuminatori da fuoco primario sia più semplice per il fatto che c'è una sola riflessione e solo lo spill-over verso terra, risulterà meno accurata di quella condotta per il fuoco secondario a causa della mancanza di strumenti software di simulazione del fascio e della loro validazione.

Le uniche fonti d'informazione relative ai beam di horn da fuoco primario che ho trovato sono le curve normalizzate in [1] e [2], i beam misurati degli horn montati nel ricevitore SXLK di Medicina ed SX di Noto [3], l'approssimazione analitica della funzione d'illuminazione ($\cos(\theta)^N$).

Tutte e tre le fonti sono da considerarsi a bassa affidabilità in particolare i beams in [3] se inseriti nel software REF.EXE restituiscono efficienze inaccettabilmente alte.

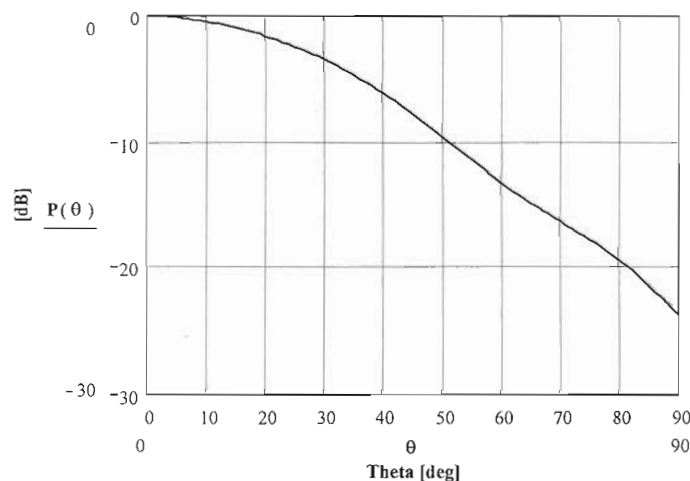
Per aumentare l'affidabilità nella simulazione della funzione d'illuminazione, utilizzando i pochi strumenti software a disposizione, ho agito cercando una espressione analitica ad-hoc che mediasse le curve in [1] e [2] e la curva analitica del tipo consigliata dal software SPILL.BAS [4].

La curva $\cos(\theta)^N$ è simile alle curve normalizzate e a quelle misurate ed attendibili solo per angoli θ inferiori a $60 \sim 70^\circ$. E' inaccettabile invece nel range $60^\circ - 90^\circ$; in pratica può essere utilizzata nel calcolo dell'efficienza ma fallirebbe per calcolare lo spill-over.

La funzione, trovata empiricamente, che media la curva $\cos(\theta)^N$, le curve normalizzate, e le curve misurate ed attendibili è la seguente:

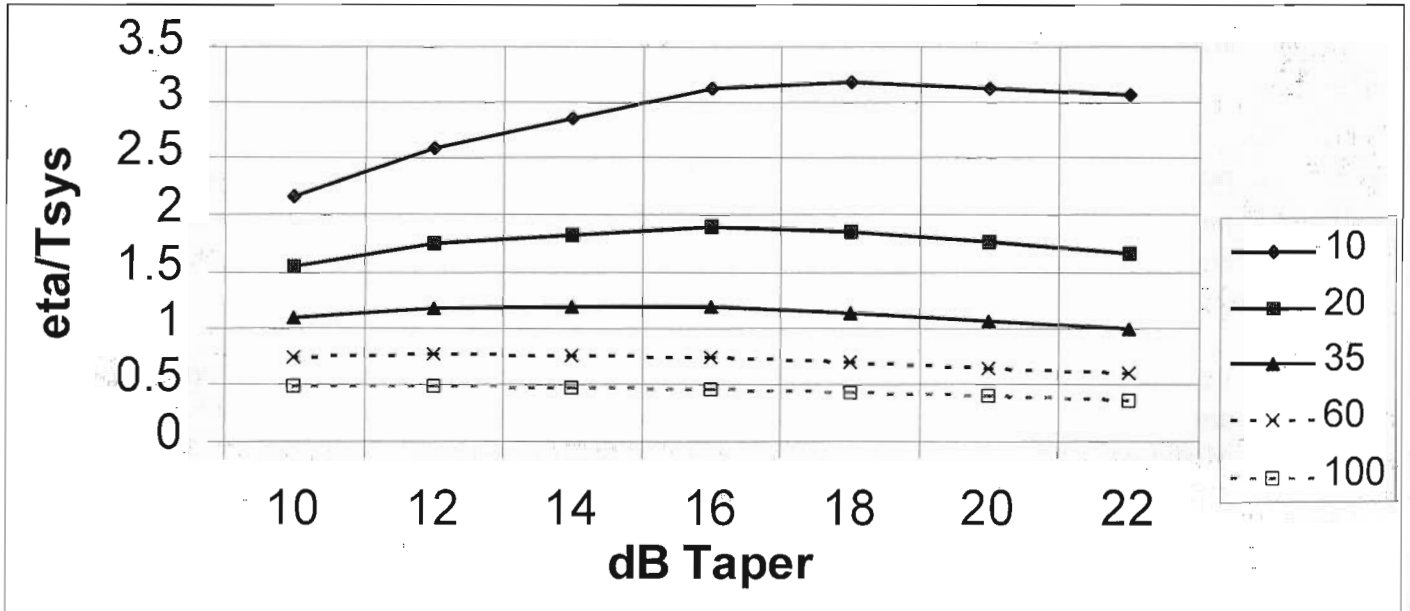
$$P(\theta) := 10 \cdot \log \left[e^{-\left(\frac{\theta}{35}\right)^{1.8}} - .04 \cdot \sin(r(\theta) \cdot 2)^4 \right]$$

dove $r =$ trasformazione deg. > radianti. La funzione fornisce un tipo di risposta del tipo:

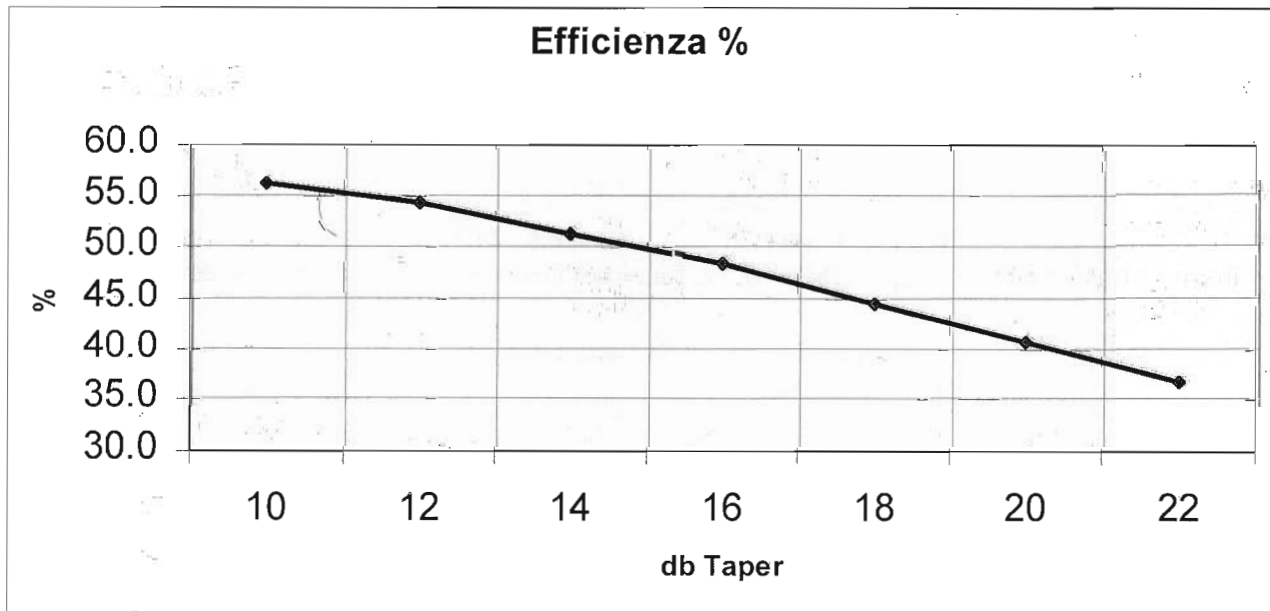


3.2 Risultati

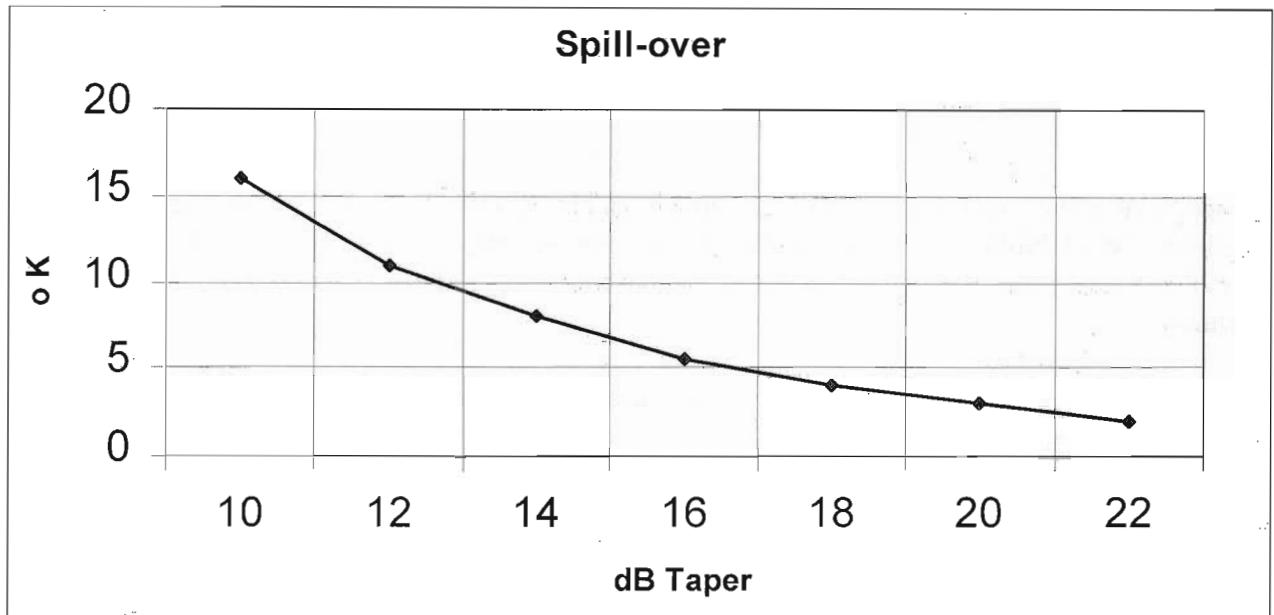
I risultati ottenuti sono i seguenti:



Andamento di η/T_{sys} per illuminazione da fuoco primario, parametro T_{sys} .



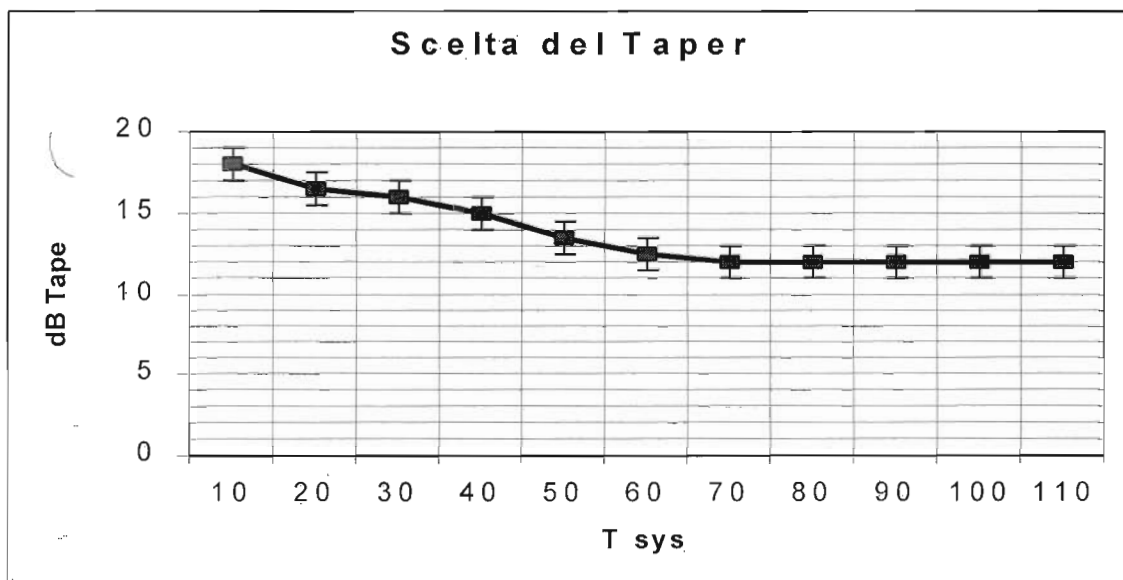
Efficienza % d'antenna, (comprende η_{il} , $\eta_{spTerra}$, η_{BI} , η_{RMS}) con illuminazione da fuoco primario



Spill-over verso terra con illuminazione da fuoco primario.

3.3 Criteri di scelta del Taper (Fuoco Primario)

Dalla lettura dei precedenti grafici, per il fine di scegliere il valore del Taper al bordo tale da massimizzare η/T_{sys} , si può concludere che il valore di Taper può essere scelto in base alla T_{sys} stimata secondo quanto riportato nel seguente grafico all'interno della fascia d'errore mostrata.



4. Conclusioni:

Lo scopo di questo rapporto é quella di cercare quale illuminazione dell'antenna parabolica di Medicina e di Noto porti al massimo il rapporto fra efficienza e Temperatura di sistema (η / T_{sys}) alle varie frequenze operative sia da fuoco secondario (Cassegrain) sia da Fuoco Primario.

Tali valori sono mostrati nel **paragrafo 2.2** per la configurazione Cassegrain e nel **paragrafo 3.2** per la configurazione Fuoco Primario.

5. Riferimenti Bibliografici

[1] Olver, Clarricoats, Kishk and Shafai - Microwave horns and feed - IEE Electromagnetic waves series 39 pagg 181 - 226

[2] G. L. James –Primary feeds with wide beamwidths – Electronics Letters 6th july 1978

[3] G.Maccaferri, F.Magaroli, S.Mariotti, M.Morsiani, G.Tomassetti, P.Zacchiroli, M.Catarzi - Il ricevitore delle bande S/X per osservazioni di geodinamica - IRA 202/95

[4] C. Sletten. – Reflector and lens antennas. pag 23 - 24

[5] S. Mariotti – Ottimizzazione del rapporto Guadagno d'antenna / Temperatura di sistema per le antenne di Medicina e Noto Parte 1^a : 5 GHz. R. I. IRA 262/98