

**Probabilità cumulative e serie temporali
di opacità con radiometro WVR
da Cagliari per l'anno 1999**

M. Sandri, R. Ambrosini

IRA 296/00

Introduzione

Nell'ambito del progetto SRT (Sardinia Radio Telescope) è in corso un'attività scientifica preliminare all'installazione del radiotelescopio, volta allo studio dei livelli di assorbimento ed emissione atmosferica nonché alla determinazione del ritardo troposferico indotto dalla presenza del vapore acqueo.

Il vapore acqueo, il più variabile tra i costituenti dell'atmosfera, gioca un ruolo fondamentale nei processi atmosferici e presenta anche un effetto sulla propagazione delle onde radio. Pertanto, in questo contesto, assume un'importanza rilevante una quantificazione il più possibile accurata e frequente di questo componente. Una sua misura può essere ottenuta da radiometri (WVR), da radiosonde (RAOB) e, recentemente, sfruttando la tecnica GPS.

Attualmente, nelle vicinanze del sito in cui è prevista l'installazione del radiotelescopio, si stanno effettuando misure da terra dei livelli di emissione atmosferica per mezzo di un radiometro a microonde. Tale radiometro, installato presso l'osservatorio astronomico di Cagliari, misura i livelli di brillantezza atmosferica $T_b(\nu_i)$ a due frequenze di lavoro (ν_i), 23.8 GHz e 31.4 GHz, con un intervallo di campionamento di circa un minuto. Il canale a 23.8 GHz, posizionato sulla spalla destra del debole picco di risonanza del vapore acqueo a 22.2 GHz, risulta sensibile principalmente al vapore acqueo; quello a 31.4 GHz, collocato in corrispondenza del minimo compreso fra il picco dovuto al vapore d'acqua e quello dell'ossigeno (60 GHz), risulta sensibile principalmente all'acqua liquida trasportata dalle nubi.

In questo rapporto viene presentata una prima riduzione dei dati acquisiti da tale radiometro, nell'anno 1999. La grandezza stimata è l'**assorbimento atmosferico** o *opacità* (τ , in neper), ottenuta dalle misure dirette di temperatura di brillantezza osservata allo zenit. Da questa grandezza sarà possibile risalire, in un secondo momento, alla misura del ritardo troposferico attraverso i coefficienti di inversione, ed eventualmente effettuare uno studio statistico sui ritardi trovati (*Varianza di Allan*).

Un primo risultato che vorremmo ottenere è quello di conoscere per quante ore (percentuale dei campioni osservati) l'opacità è rimasta inferiore ad un valore piccolo, tipicamente minore del 10 %. Una stima di questo valore permetterà di valutare tra l'altro la percentuale di tempo che si potrà dedicare ad osservazioni radioastronomiche ad altissima frequenza (maggiore o uguale a 30 GHz).

Calcolo dell'assorbimento atmosferico

Le temperature di brillanza (allo zenit) misurate dal radiometro ad entrambe le frequenze, sono state convertite in termini di opacità atmosferica $\tau(\nu)$ mediante l'equazione

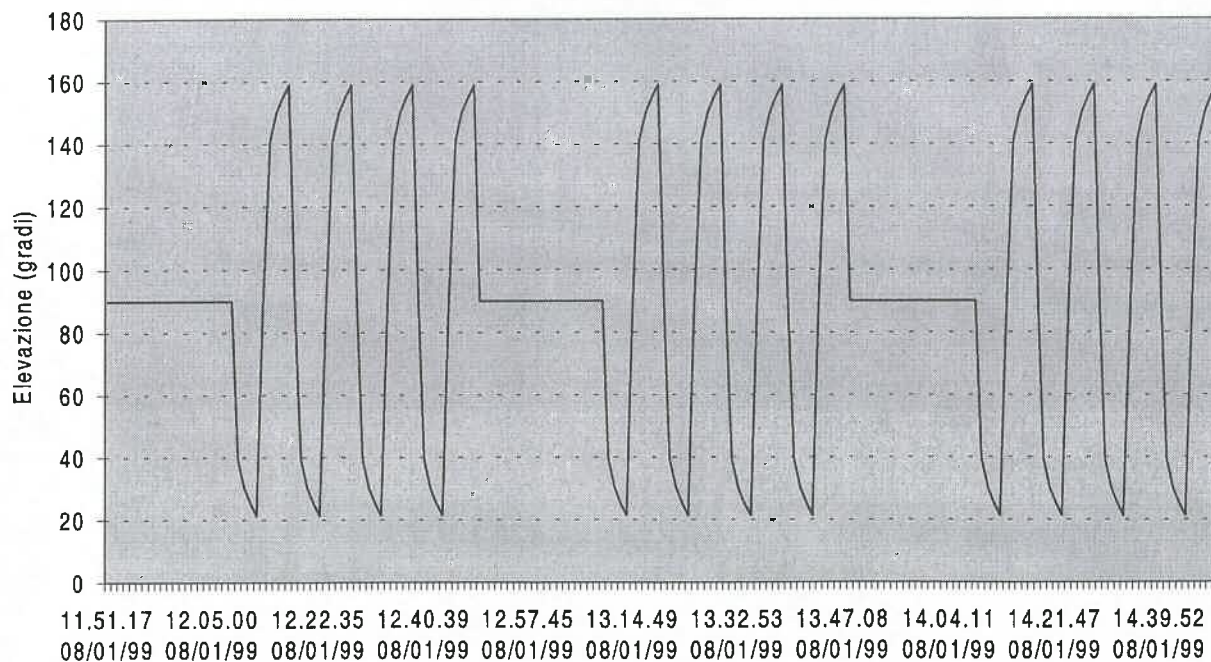
$$\tau(\nu) = \ln [(T_m(\nu) - T_c) / (T_m(\nu) - T_b(\nu))]$$

in cui T_c è il contributo extraterrestre pari a 2.73 K, $T_m(\nu)$ è la temperatura media radiativa, rappresentativa delle condizioni fisiche dell'atmosfera (il cui valore è stato tabulato in un lavoro di E. Fionda e riportato in appendice) e $T_b(\nu)$ sono le temperature di brillanza misurate.

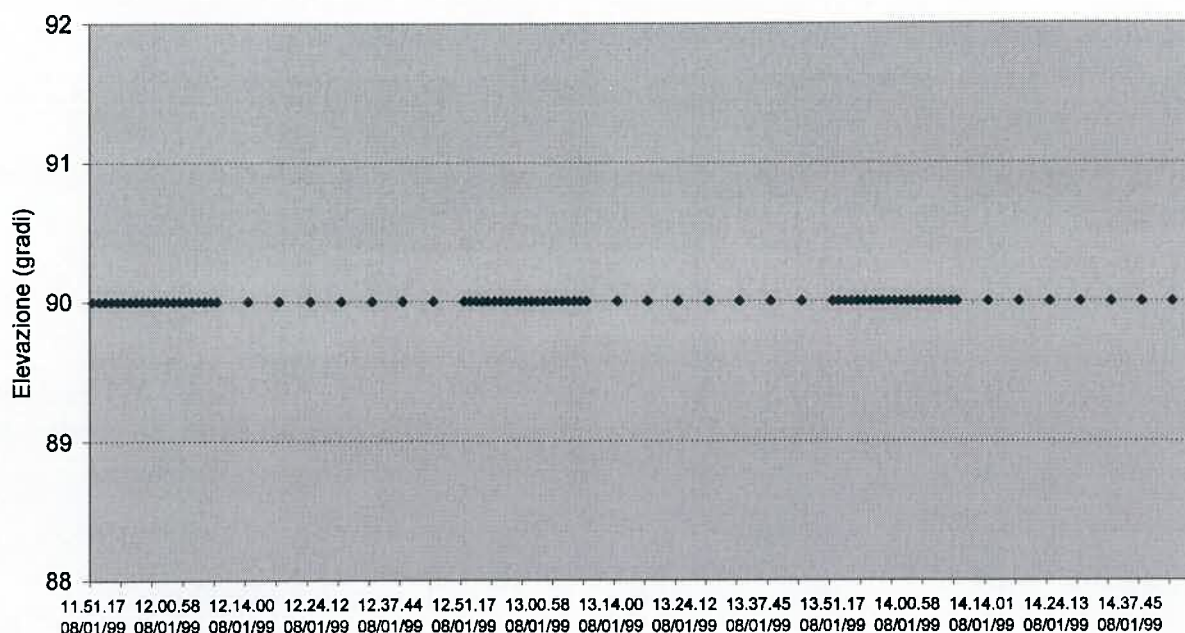
La conversione da temperatura di brillanza ad assorbimento atmosferico è stata operata da un programma appositamente creato in Fortran.

I seguenti due grafici rappresentano la schedula della osservazioni e sono indicativi, rispettivamente, del cambiamento in elevazione dell'antenna e della frequenza con cui è stata campionata la temperatura di brillanza alle due frequenze. Entrambi si riferiscono ad un periodo limitato del mese di Gennaio ma lo stesso andamento è riscontrabile in quasi tutta la campagna di misure. Nel secondo grafico si nota come, ad un periodo di campionamento allo zenit di circa venti minuti, seguano singole campionature distanziate temporalmente di circa quattro minuti e mezzo. Il periodo complessivo è di circa un'ora e si ripete per tutto il giorno, a parte alcuni punti mancanti.

Cagliari, WVR: Gennaio 1999



Cagliari, WVR: Gennaio 1999



Affinché la probabilità cumulativa mensile, risultante dall'elaborazione, sia significativa, il programma sviluppato, dopo aver selezionato i dati acquisiti allo zenit, scarta quelli ridondanti operando una decimazione dei pacchetti da venti minuti in modo da ottenere una serie di misure pressossocché uniforme, caratterizzata dal fatto di avere *nominalmente* un campione ogni quattro minuti e 33 secondi. Il campionamento non è in realtà continuo perché sono presenti dei "buchi" nella serie temporale: il loro contributo è comunque marginale essendo pochi e distribuiti in maniera quasi uniforme.

Successivamente, i dati validi vengono convertiti in opacità tramite la formula precedente e dei τ così calcolati viene determinata la probabilità cumulativa, con un passo di 0.005. Il programma genera due file: il primo contenente tutti i τ calcolati con accanto il giorno e l'ora in cui sono state acquisite le corrispondenti temperature di brillanza, il secondo contenente il numero totale di τ calcolati e la percentuale cumulativa di ogni τ , per ciascuna frequenza.

Nella Tabella 1 compare, nella prima colonna, il rapporto tra i campioni di opacità previsti nel mese considerato (calcolato in base al numero di misure di temperatura di brillanza che si effettuerebbero se il campionamento allo zenit fosse uniforme e pari a 4' 33'') ed il numero di valori di opacità effettivamente disponibili all'interno del mese in questione. Nella determinazione di questo rapporto, è stato tenuto conto solo delle giornate in cui effettivamente si è osservato.

In questa tabella sono anche riportate il numero di ore mensili in cui l'assorbimento atmosferico si è effettivamente mantenuto inferiore allo 0.1, nel periodo di questa campagna di misure. Tale valore risulta ovviamente approssimato per difetto poiché i dati mancanti, causati dai buchi nel campionamento, potrebbero solo aumentare il numero di ore. Infatti, se assumiamo che le statistiche cumulative da noi osservate possano applicarsi a tutto il mese, il numero di ore previste vale il prodotto della colonna % per il numero di ore totali del mese.

Seguono, per ogni mese e rispettivamente per entrambe le bande a 23.8 e 31.4 GHz:

1. Un grafico rappresentativo della probabilità cumulativa (percentuale dei campioni con τ inferiore al valore riportato in ascissa).
2. Un grafico in cui è evidente la dispersione dei valori di opacità calcolati in ogni giorno del mese.
3. La serie temporale dei valori di opacità calcolati in corrispondenza dei campioni effettivamente acquisiti.

Referenze

E. Fionda "Calcolo dei coefficienti d'inversione di parametri climatici e propagativi dalle misure d'emissione atmosferica al suolo da parte di un radiometro a 23.8 e 31.4 GHz nell'ambito del progetto SRT".

Ringraziamenti

Si ringraziano il Dr. Ermanno Fionda della Fondazione Bordoni per aver concesso l'uso del radiometro ed il personale dell'Osservatorio di Cagliari ed in particolare il Dr. Leonardo Mureddu per aver raccolto e reso disponibili i dati.

**Statistiche cumulative di opacità atmosferica a 23 e 31GHZ
(radiometro WVR di FUB, sito SAC, ore effettive anno 1999)**

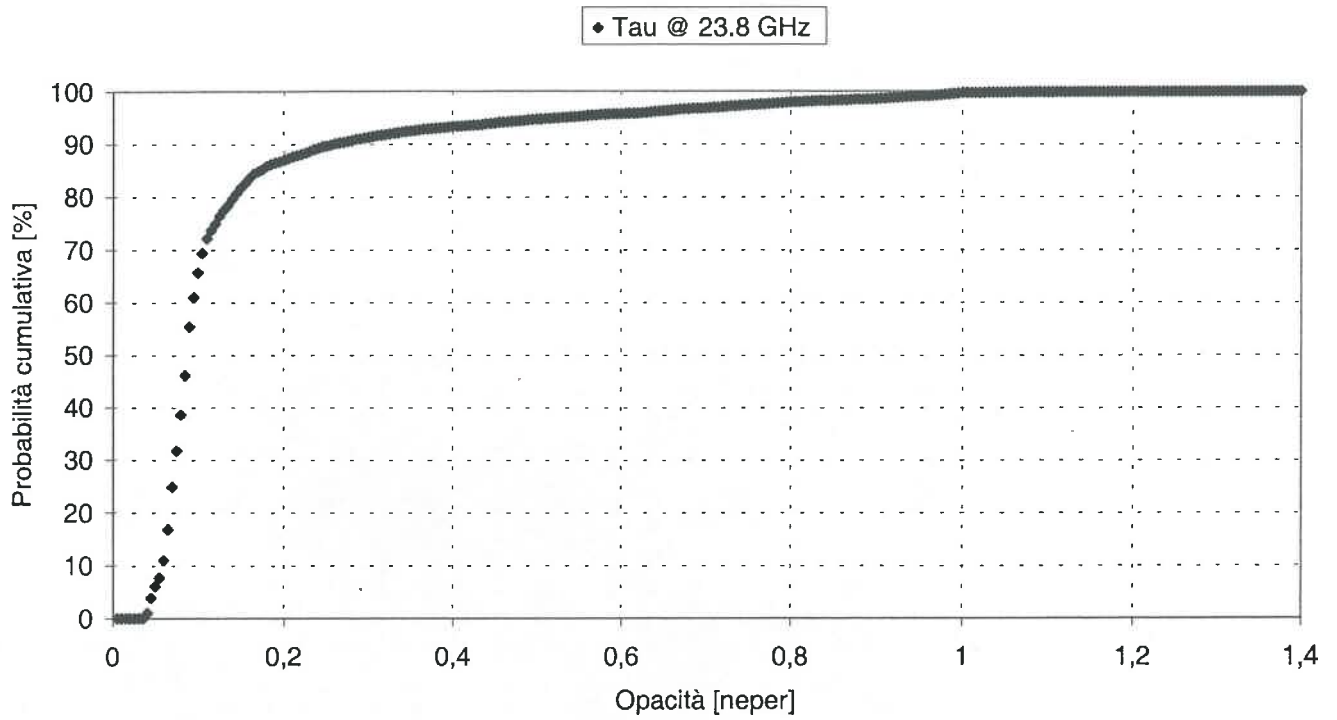
MESE	# τ_{calc} / # τ_{prev}	23.8 GHZ			31.4 GHZ		
		% ($\tau < 0.1$)	ore ($\tau < 0.1$)	% ($\tau < 0.05$)	ore ($\tau < 0.05$)	% ($\tau < 0.1$)	ore ($\tau < 0.1$)
Gennaio	0.8825	65.769	328	45.793	228	79.948	399
Febbraio	0.9002	73.323	444	57.377	347	89.808	543
Marzo	0.9007	69.568	466	57.187	383	85.333	572
Aprile	0.9035	60.982	397	57.449	374	92.213	600
Maggio	0.8462	9.800	53	8.556	46	93.782	507
Giugno	0.9039	15.416	100	13.493	88	98.089	638
Luglio	0.9070	1.742	12	0.124	1	92.235	622
Agosto	0.8854	0.541	4	0	0	91.228	601
Settembre	0.8891	1.374	9	0	0	76.140	487
Ottobre	0.8273	7.117	44	0	0	89.178	549
Novembre	0.8870	23.648	108	1.132	5	71.726	327
Dicembre	0.8819	57.062	374	11.697	77	81.969	538

(M. Sandri, R. Ambrosini – Febbraio 2000)

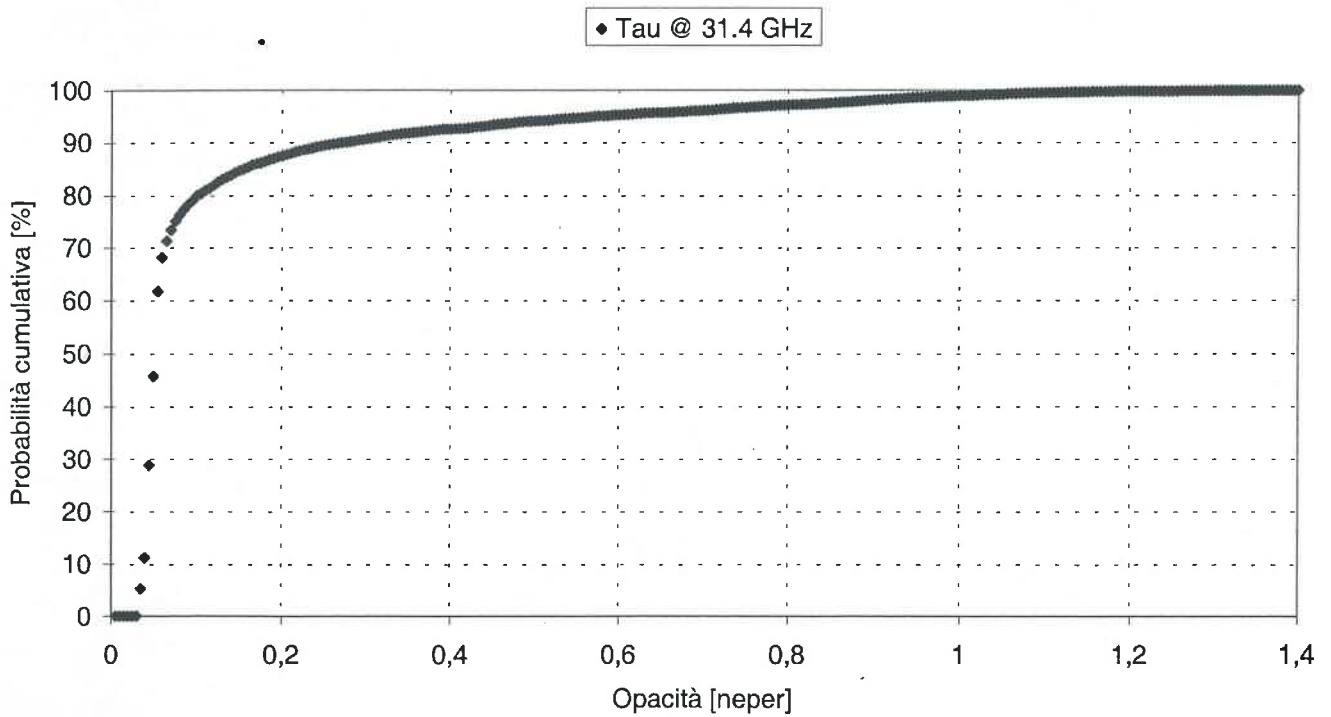
Appendice 1: Temperatura media radiativa allo zenit a 23.8 e 31.4 GHz

Mese	T_m[K] 23.8 GHz	T_m[K] 31.4 GHz
Gennaio	266.4574	263.3094
Febbraio	266.2776	263.0002
Marzo	267.8669	264.3369
Aprile	271.3297	267.8014
Maggio	274.8795	271.3918
Giugno	278.7771	275.4192
Luglio	281.6439	278.3916
Agosto	281.8923	278.7275
Settembre	279.3724	276.2015
Ottobre	275.4005	272.3104
Novembre	271.7365	268.6500
Dicembre	268.4005	265.4127

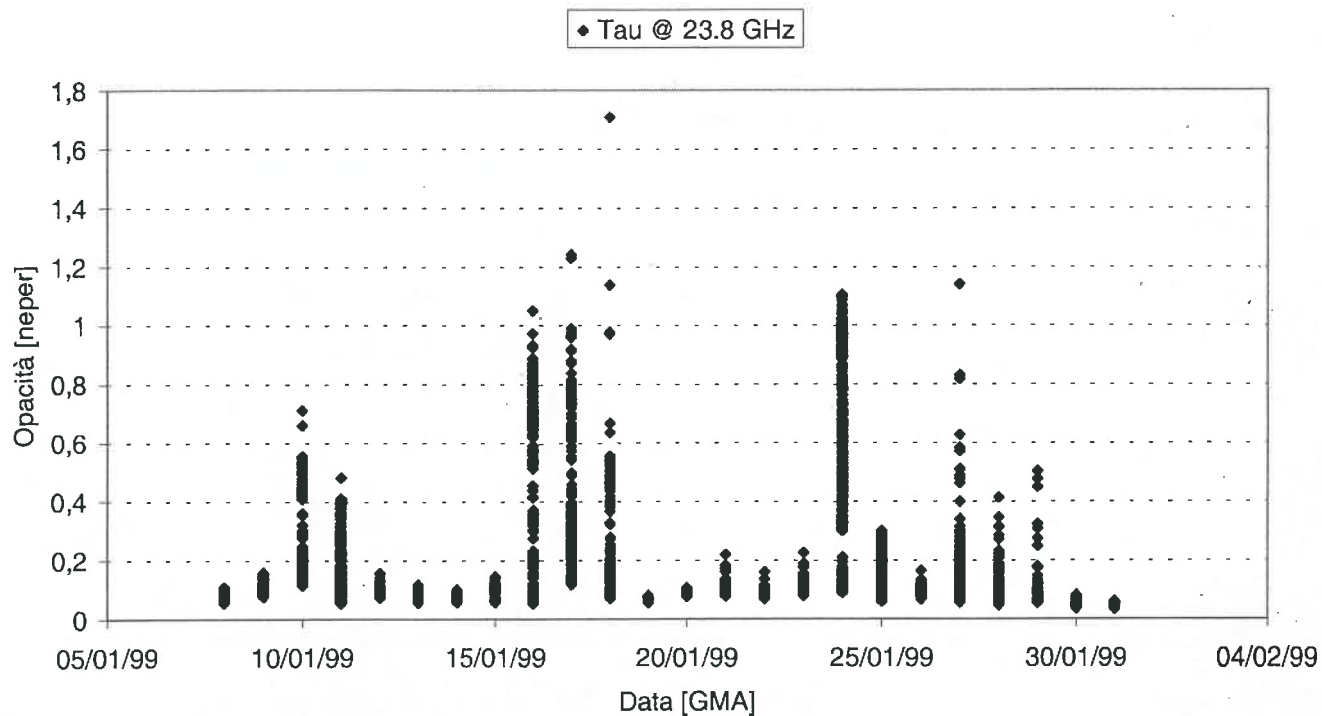
Cagliari, WVR: Gennaio 1999



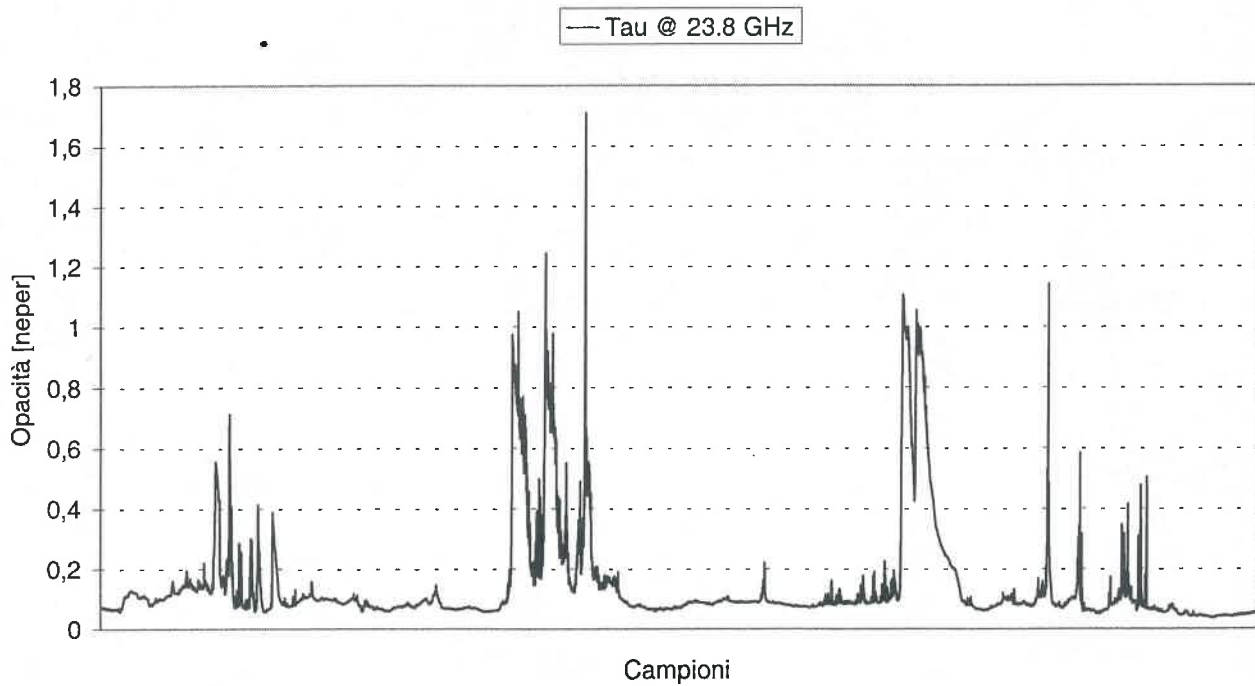
Cagliari, WVR: Gennaio 1999



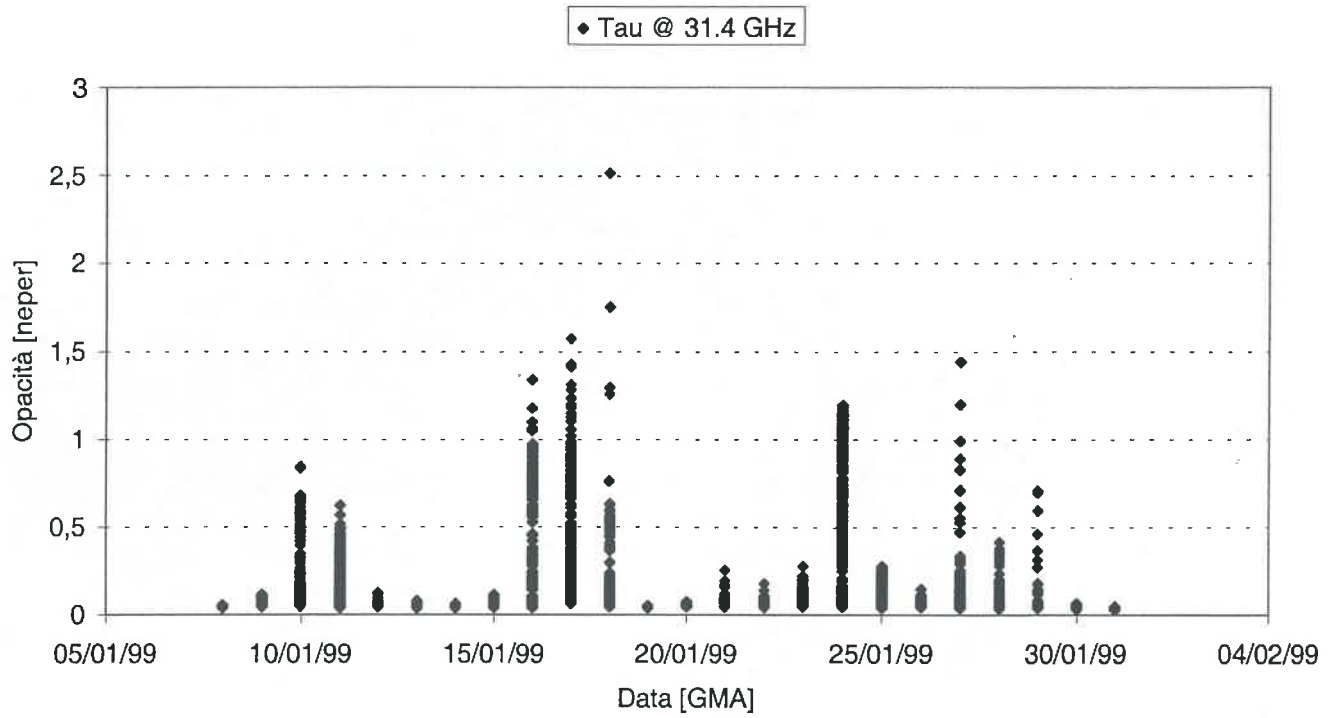
Cagliari, WVR: Gennaio 1999



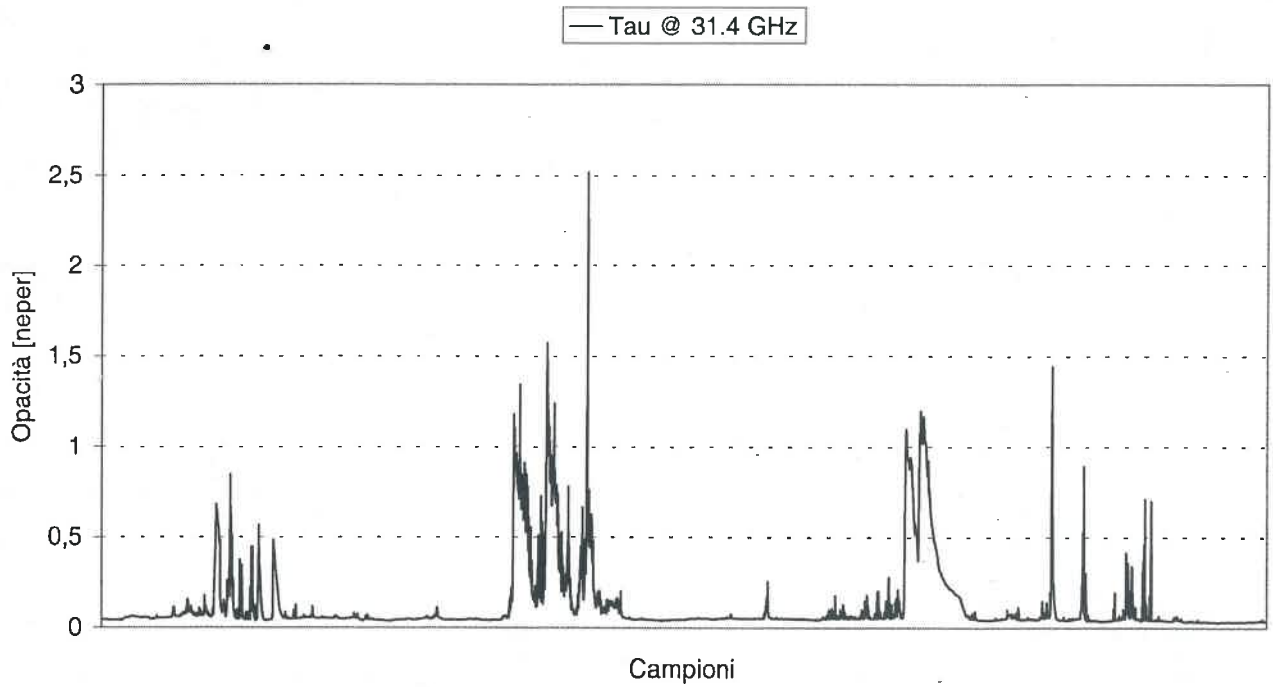
Cagliari, WVR: Gennaio 1999



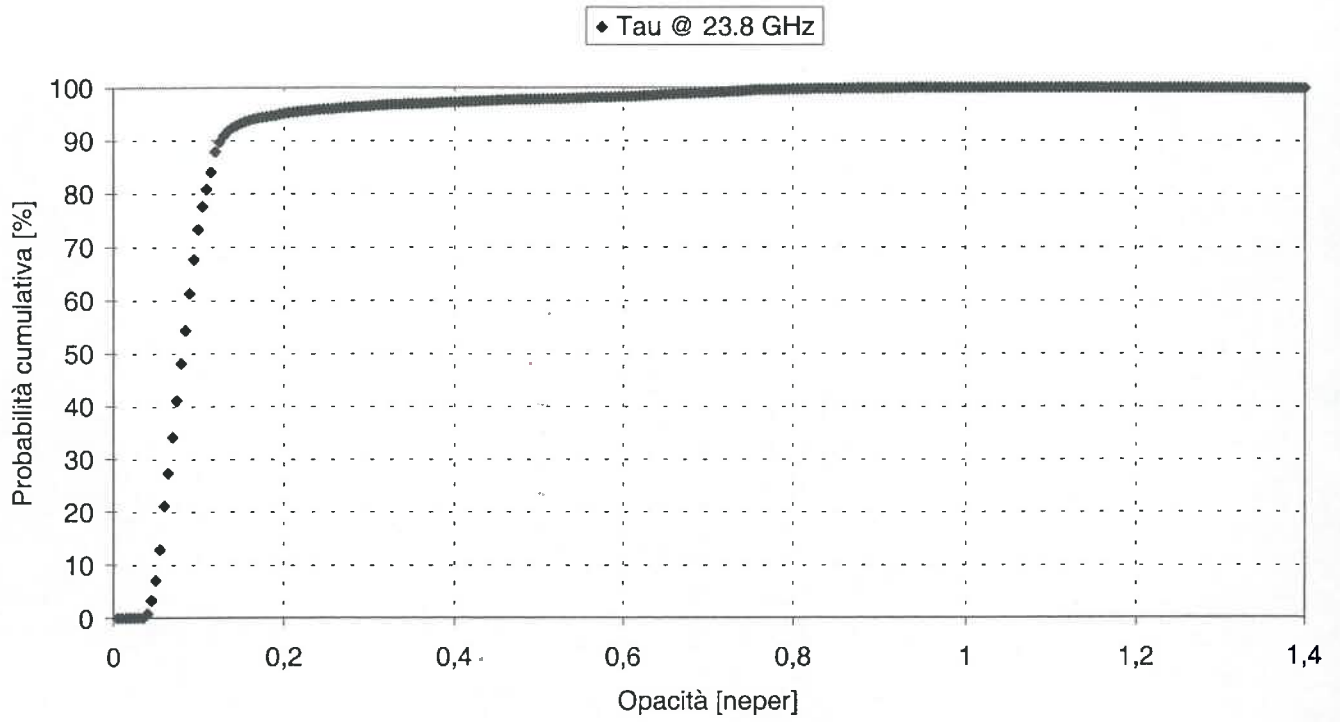
Cagliari, WVR: Gennaio 1999



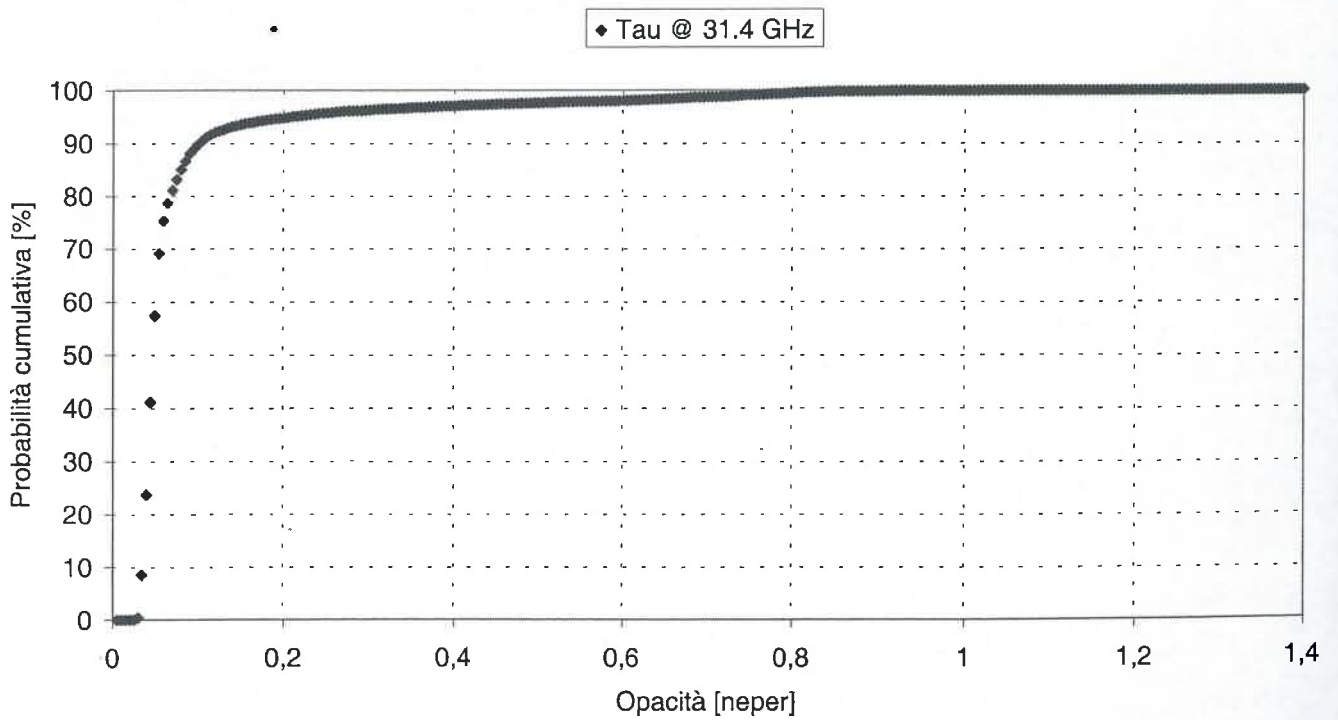
Cagliari, WVR: Gennaio 1999



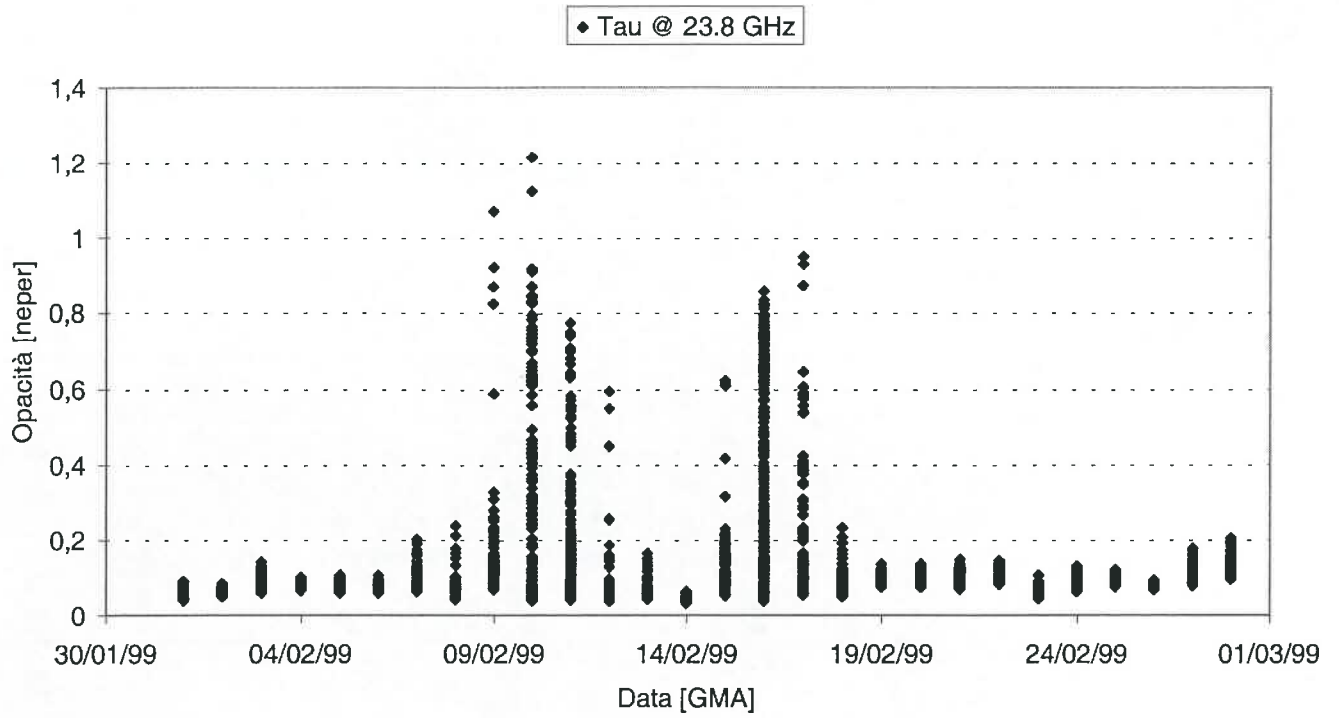
Cagliari, WVR: Febbraio 1999



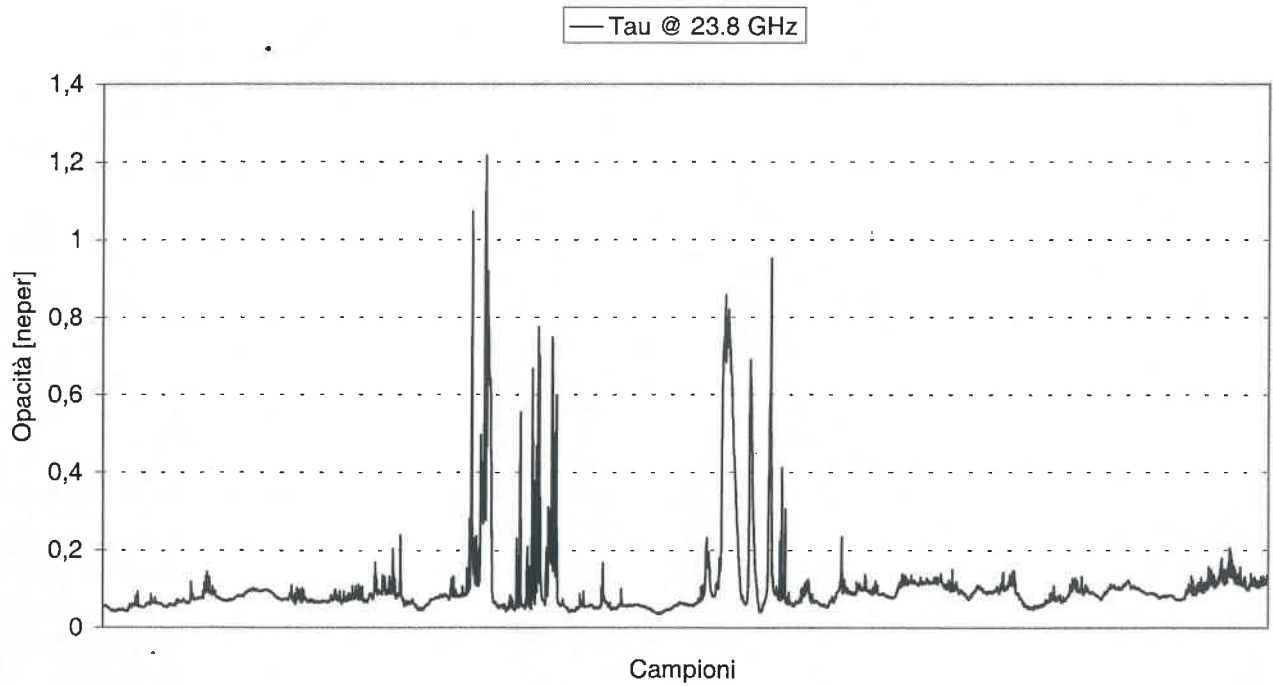
Cagliari, WVR: Febbraio 1999



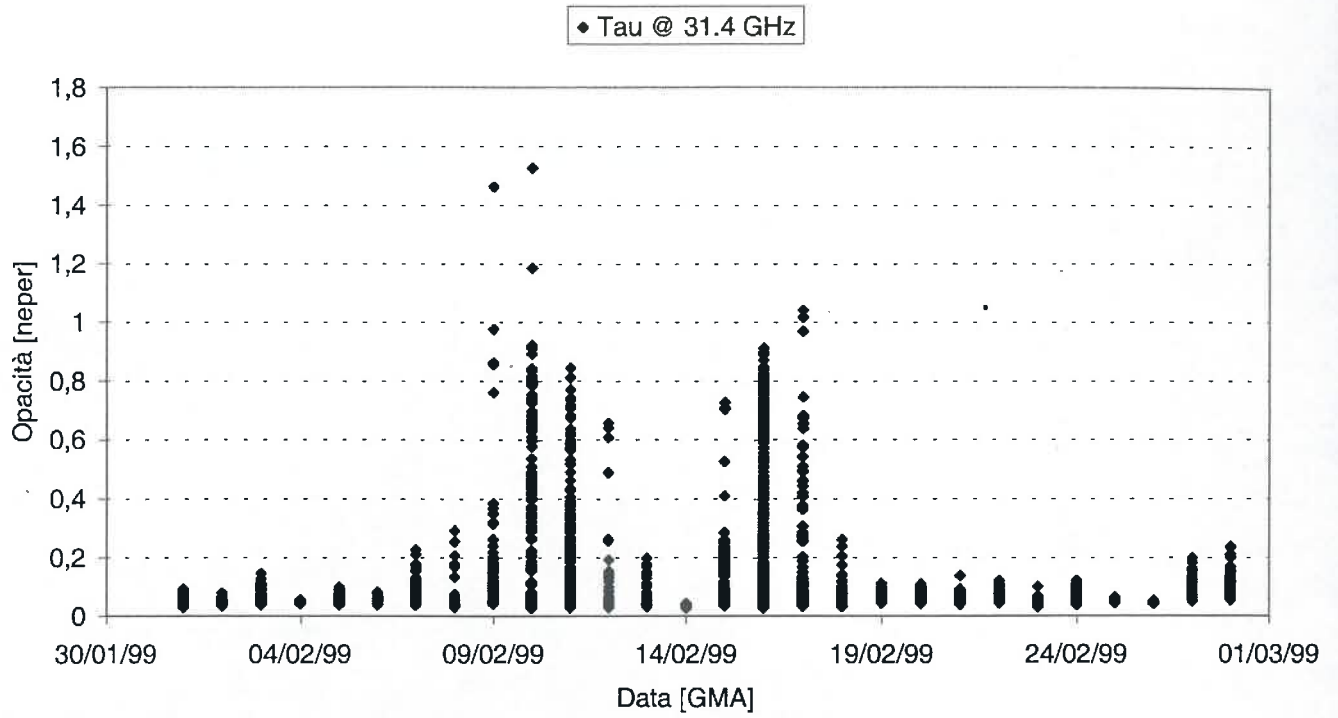
Cagliari, WVR: Febbraio 1999



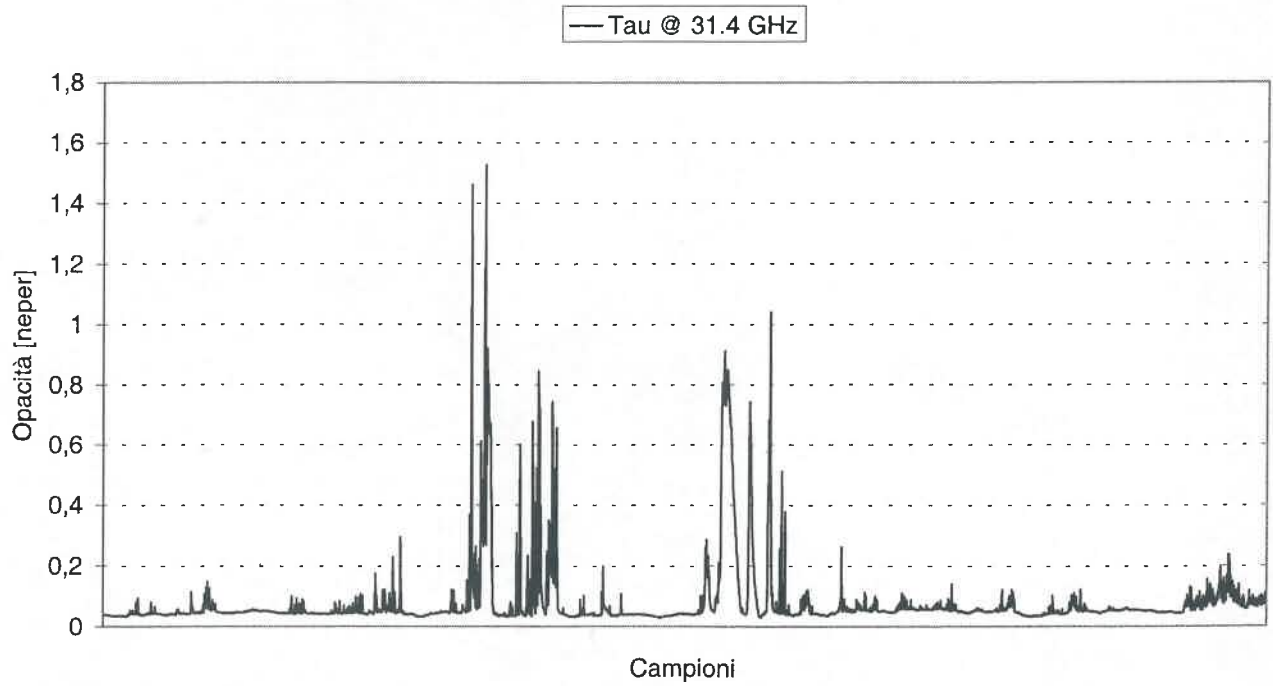
Cagliari, WVR: Febbraio 1999



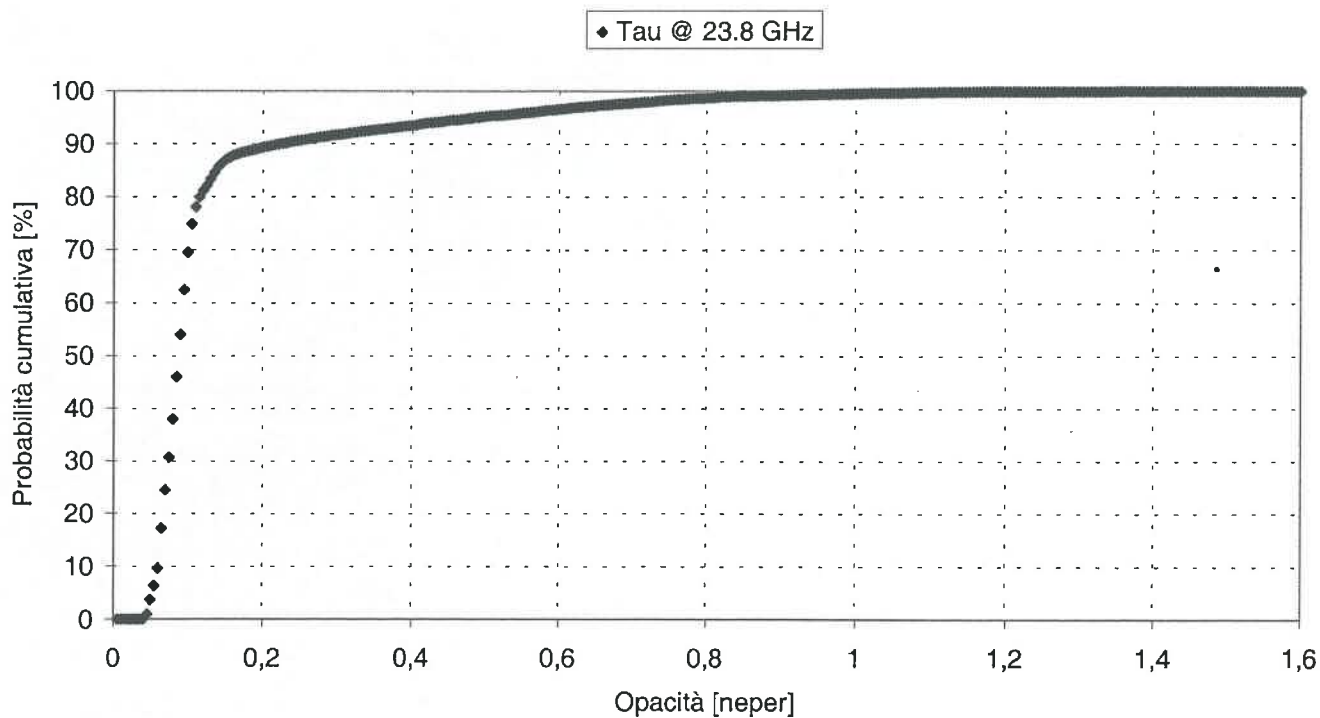
Cagliari, WVR: Febbraio 1999



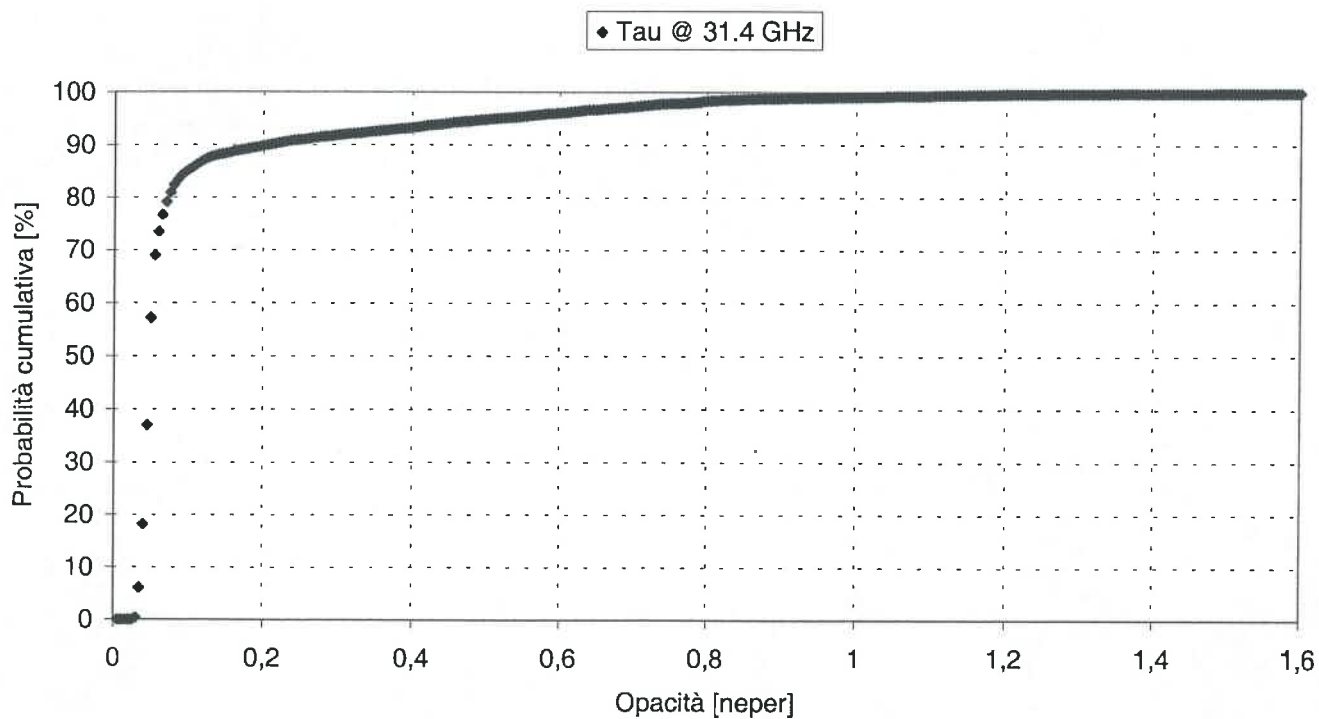
Cagliari, WVR: Febbraio 1999



Cagliari, WVR: Marzo 1999

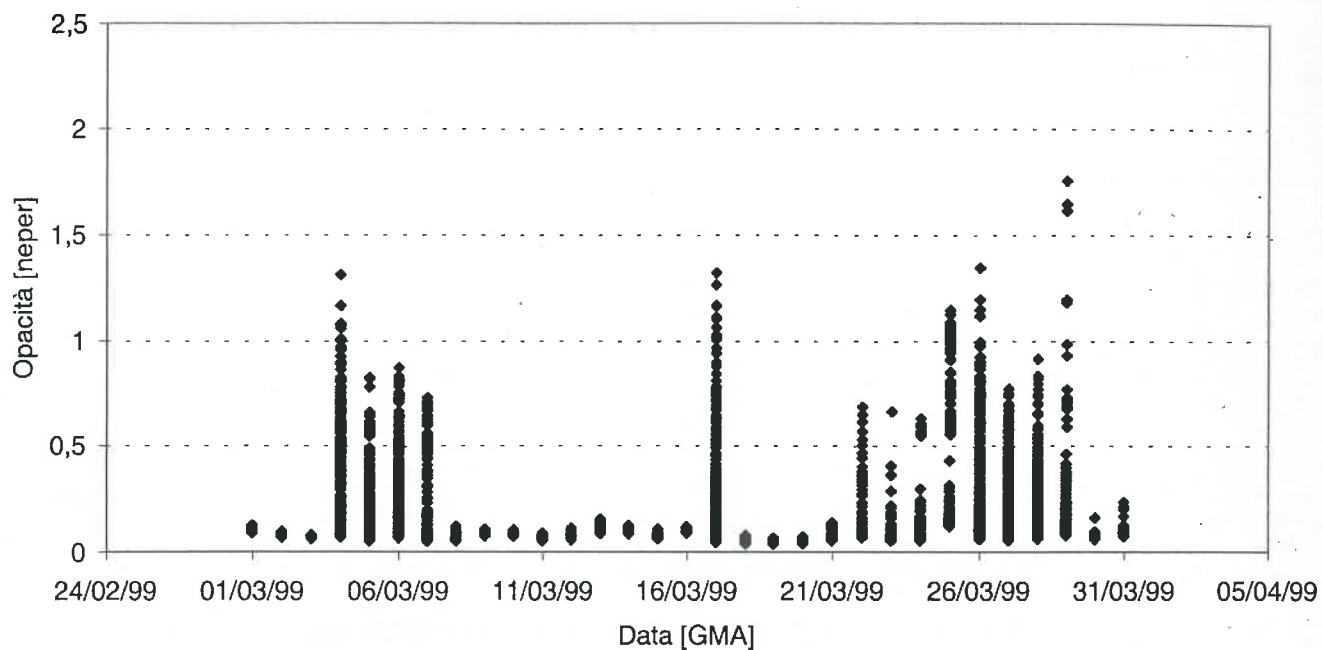


Cagliari, WVR: Marzo 1999



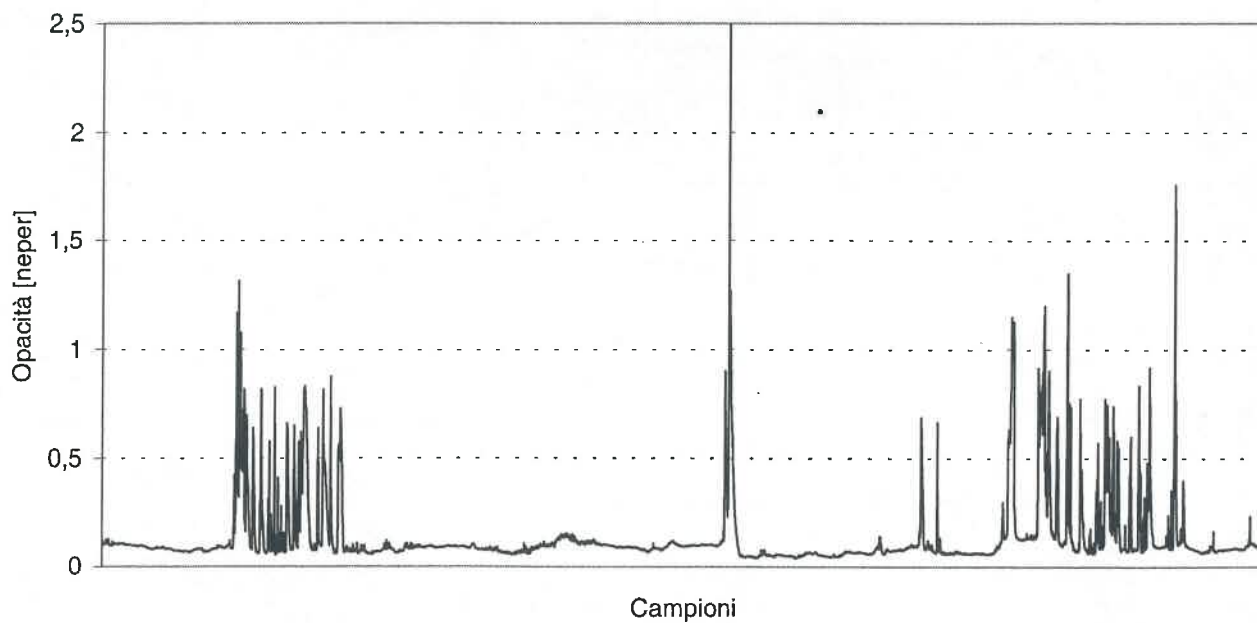
Cagliari, WVR: Marzo 1999

◆ Tau @ 23.8 GHz

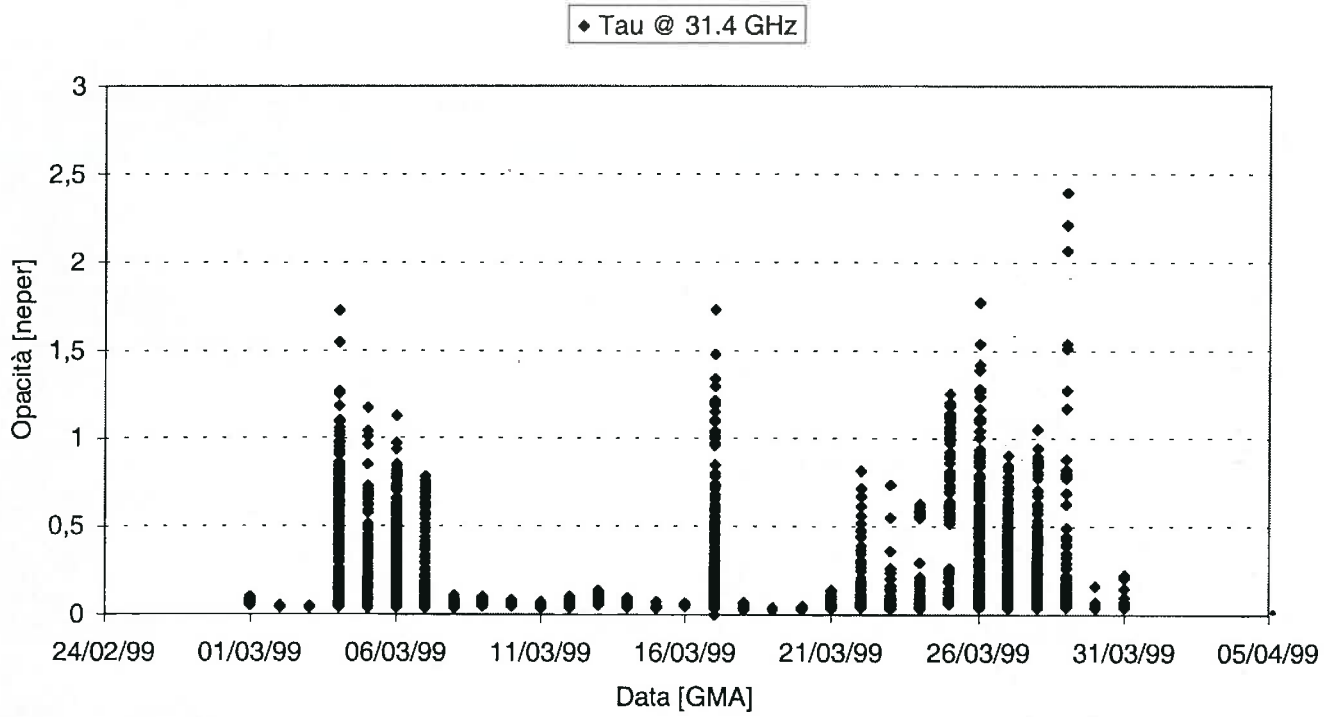


Cagliari, WVR: Marzo 1999

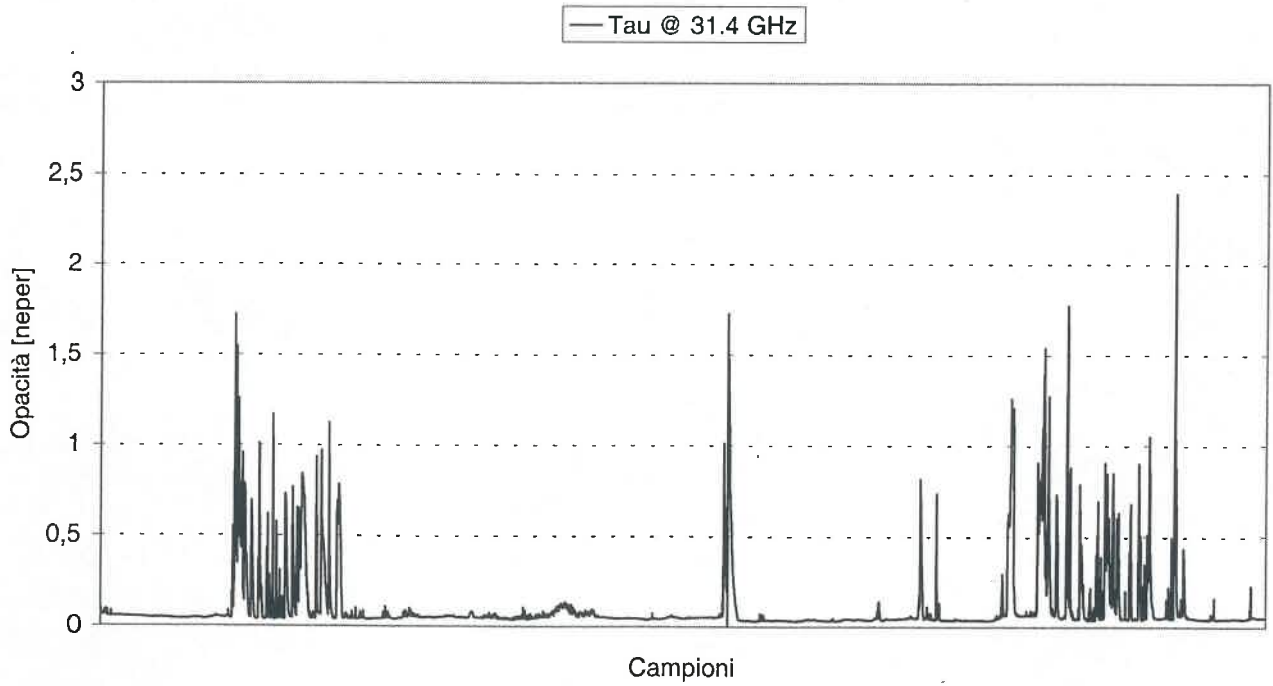
— Tau @ 23.8 GHz



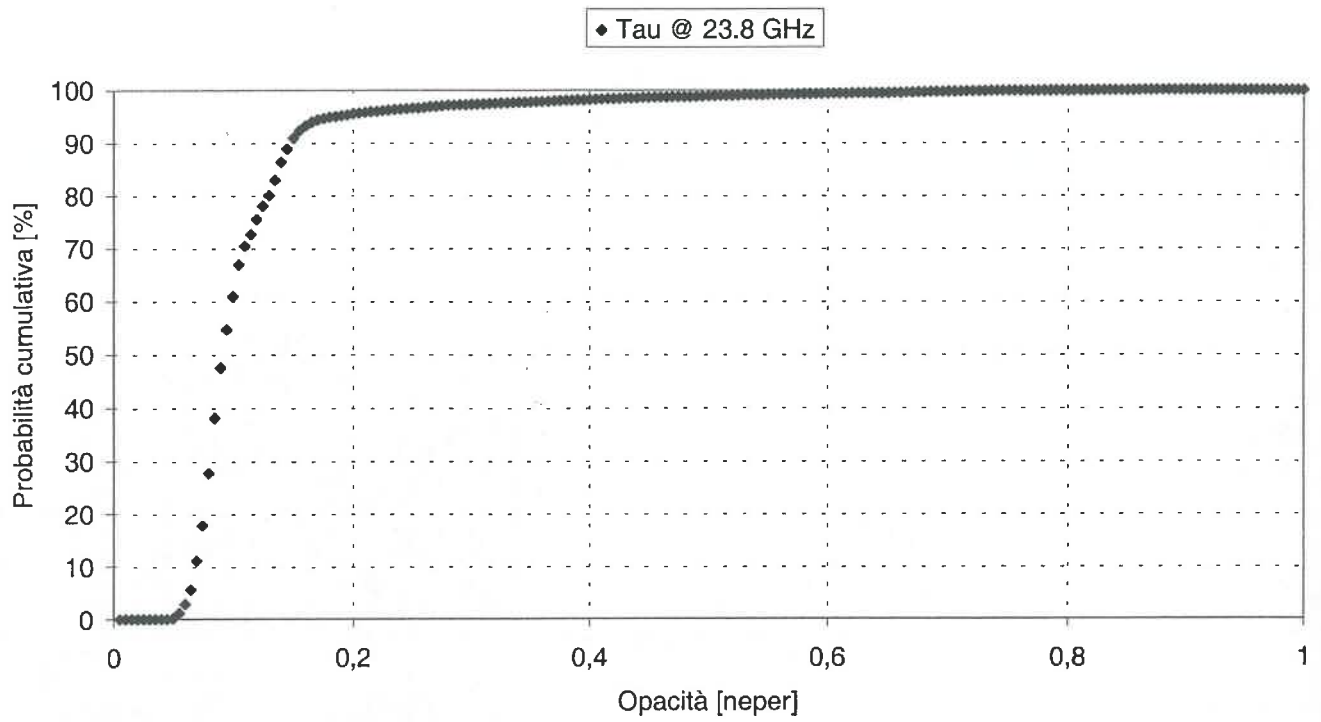
Cagliari, WVR: Marzo 1999



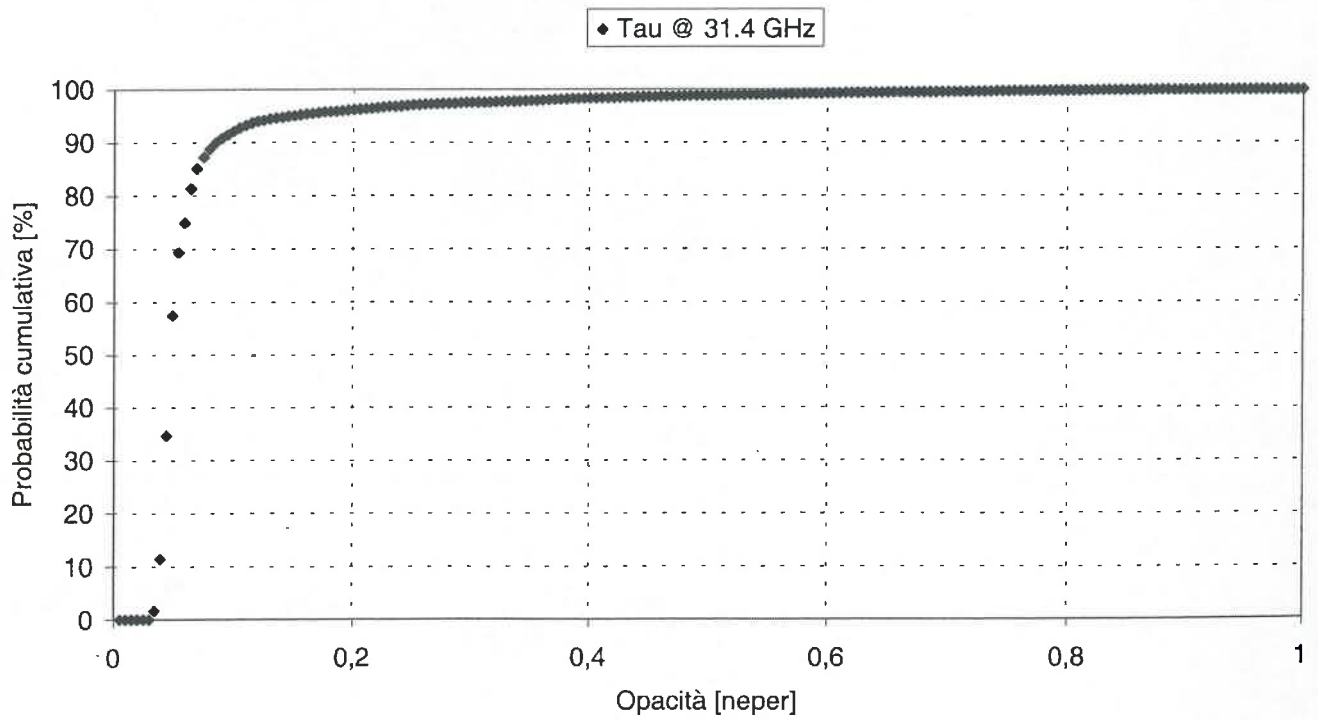
Cagliari, WVR: Marzo 1999



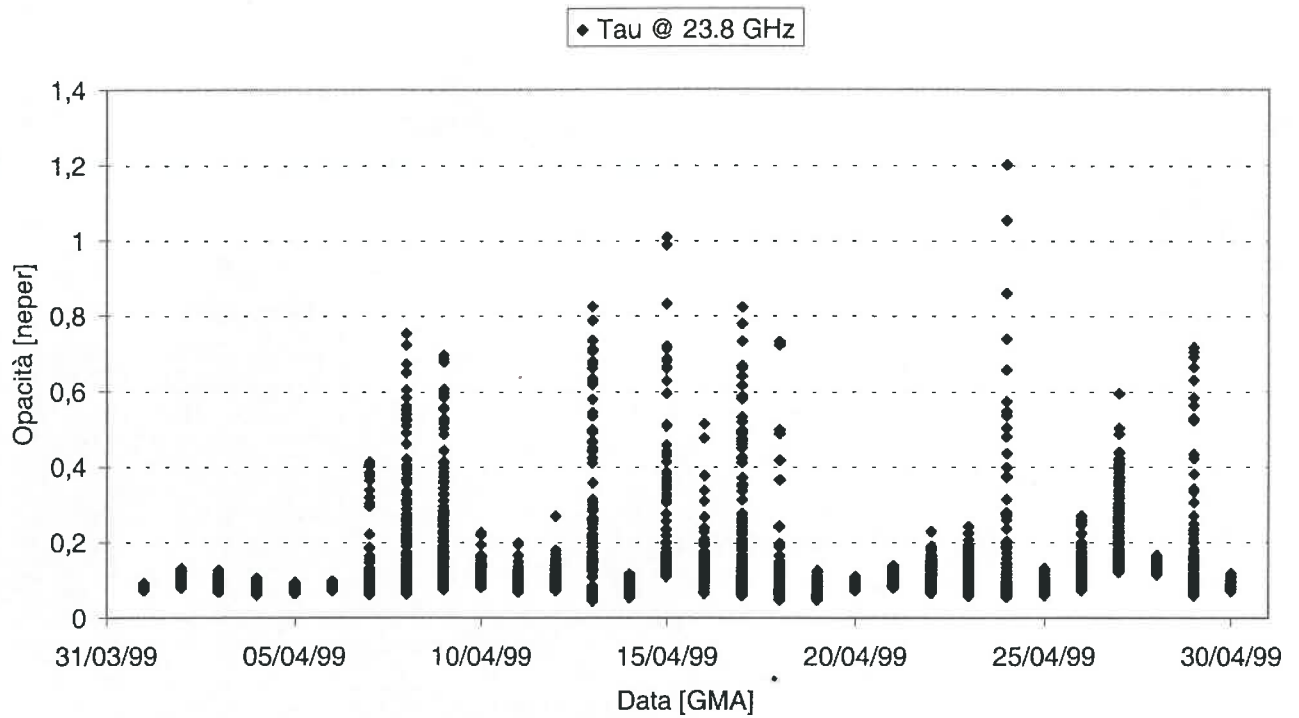
Cagliari, WVR: Aprile 1999



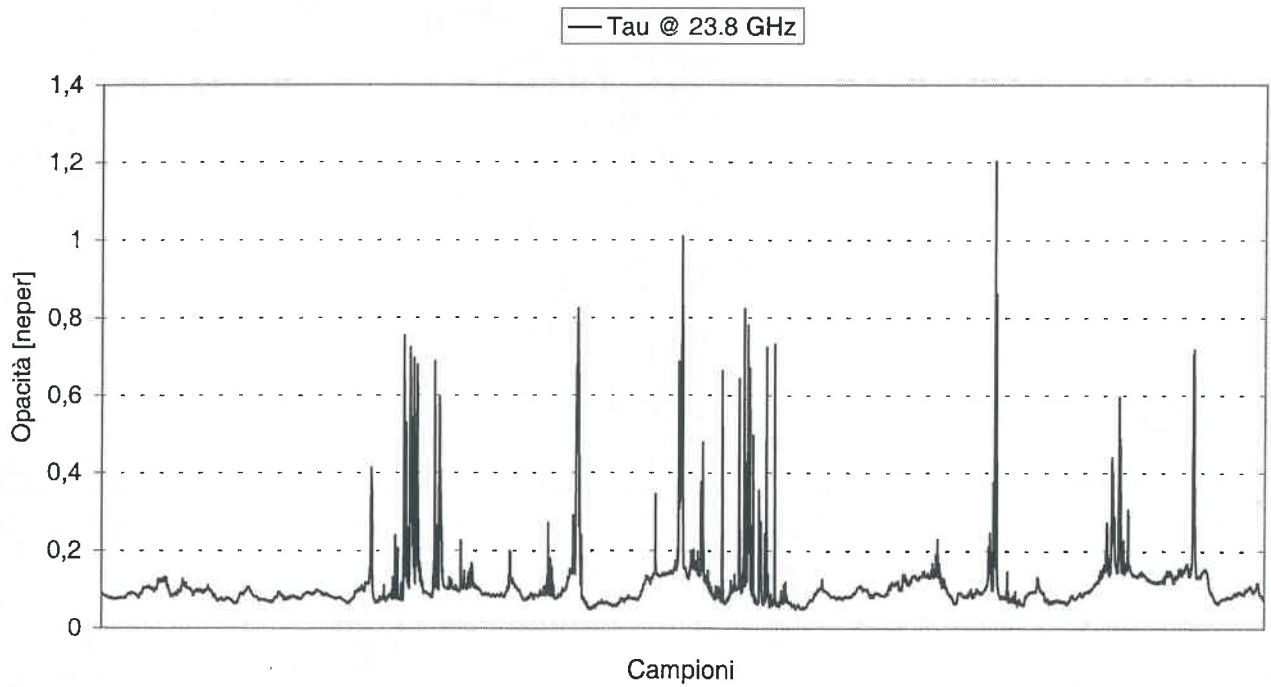
Cagliari, WVR: Aprile 1999



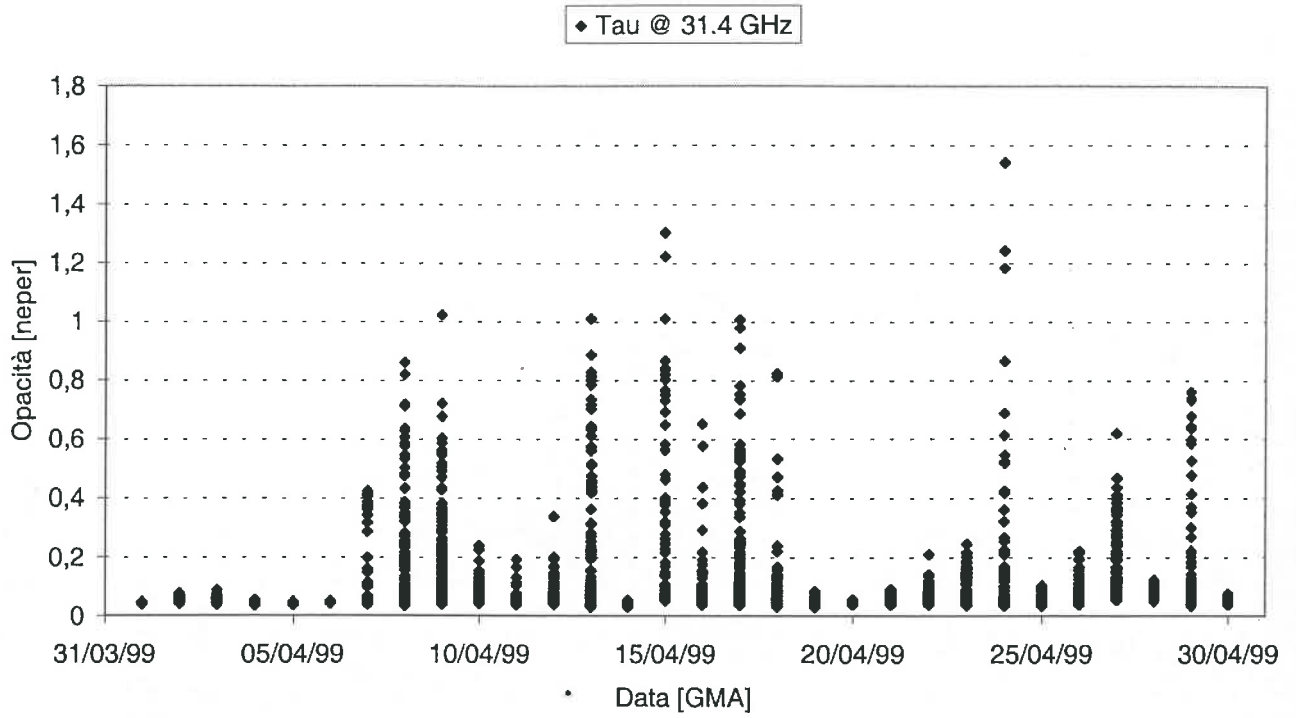
Cagliari, WVR: Aprile 1999



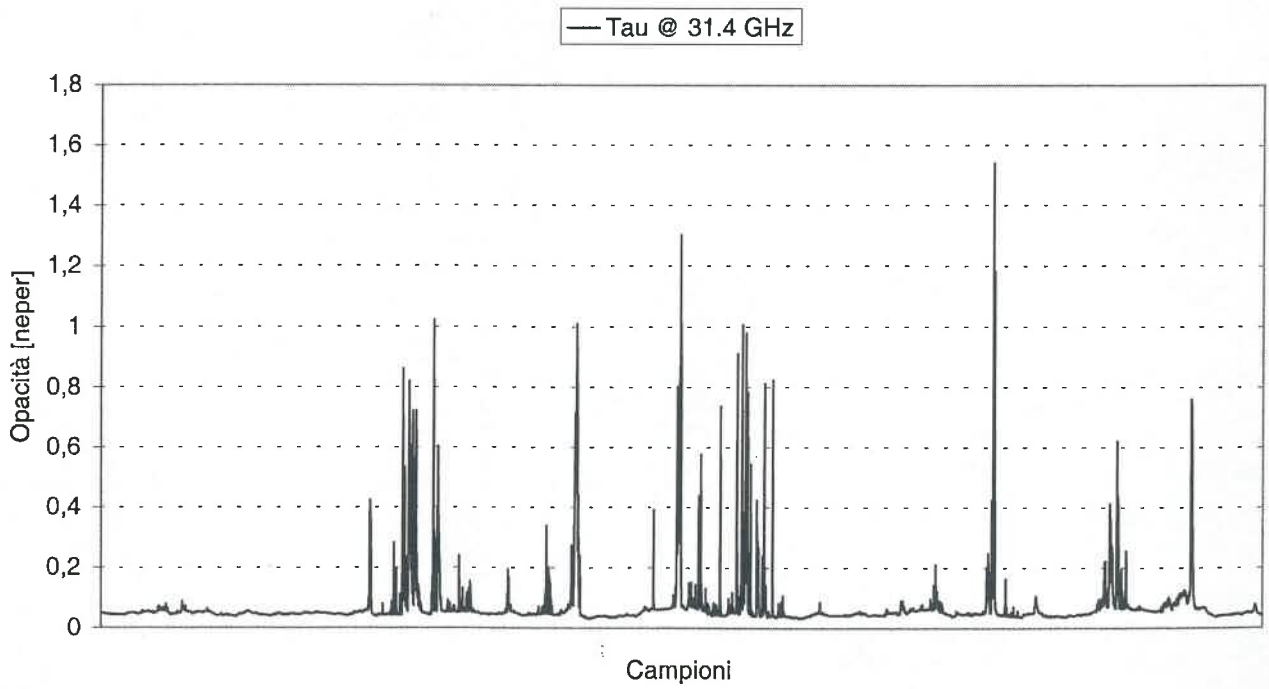
Cagliari, WVR: Aprile 1999



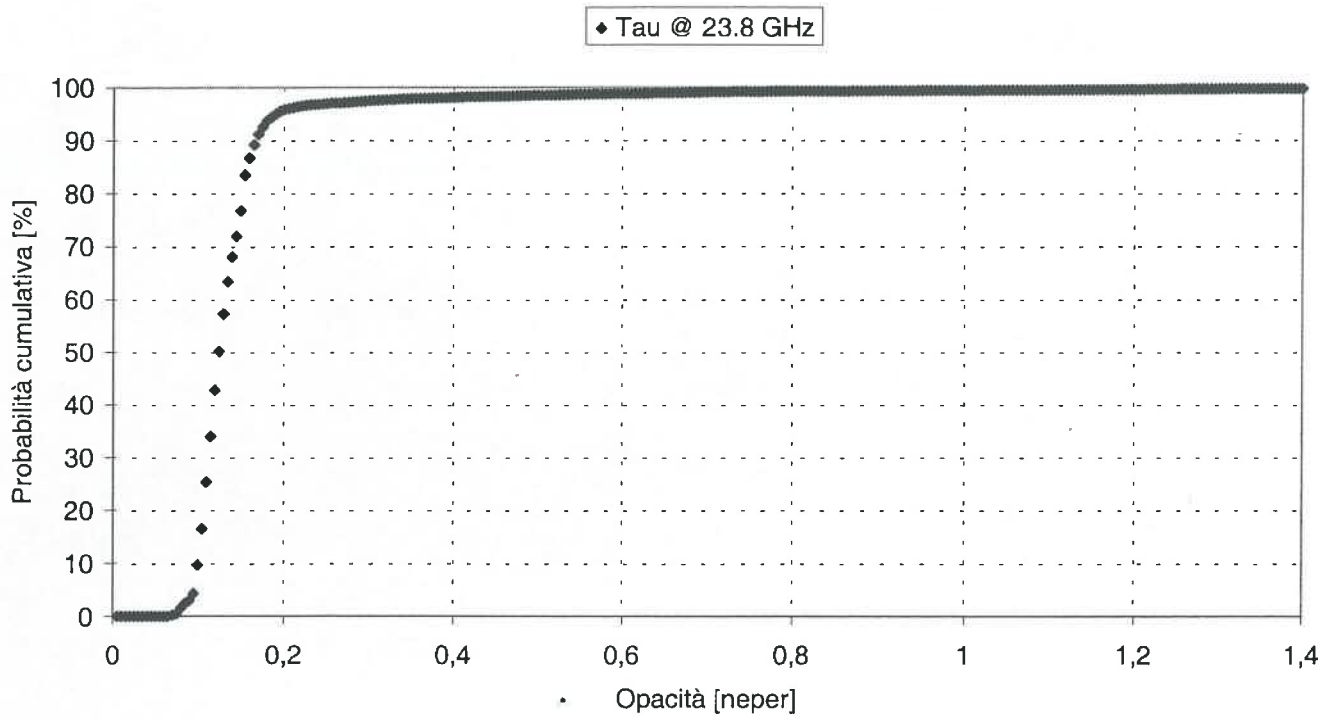
Cagliari, WVR: Aprile 1999



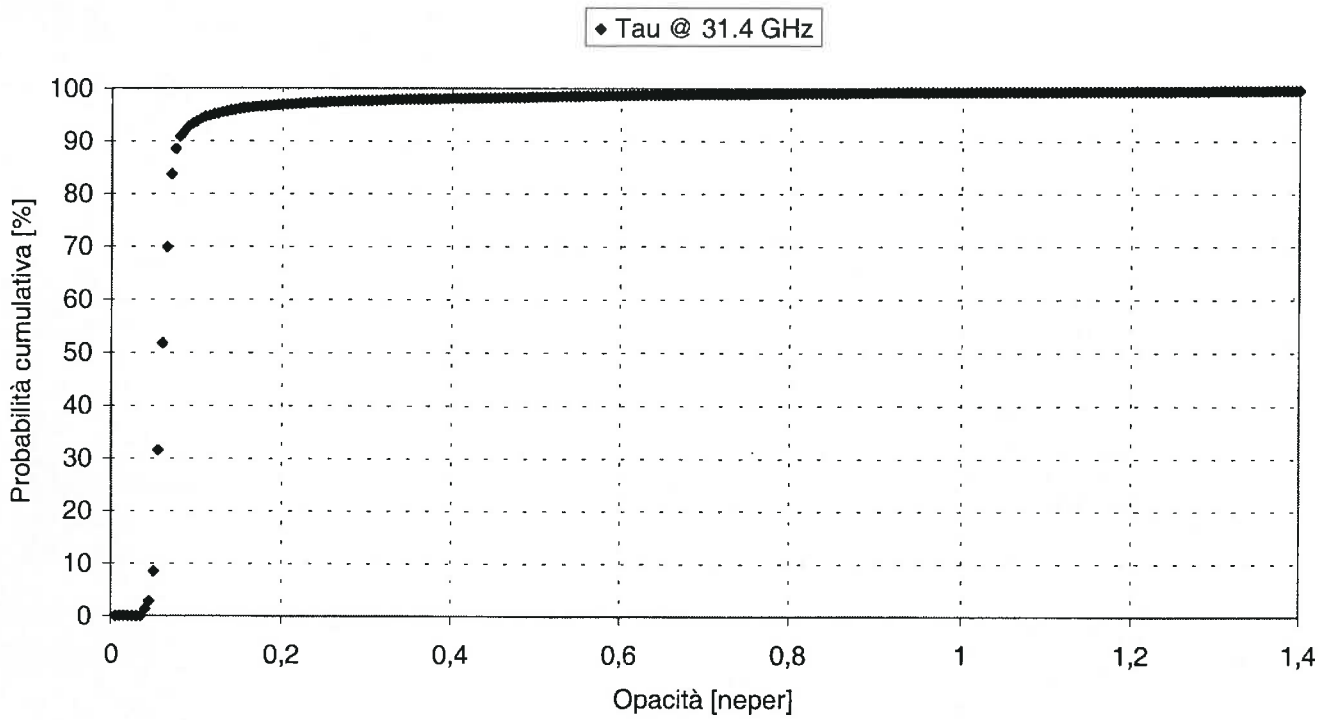
Cagliari, WVR: Aprile 1999



Cagliari, WVR: Maggio 1999

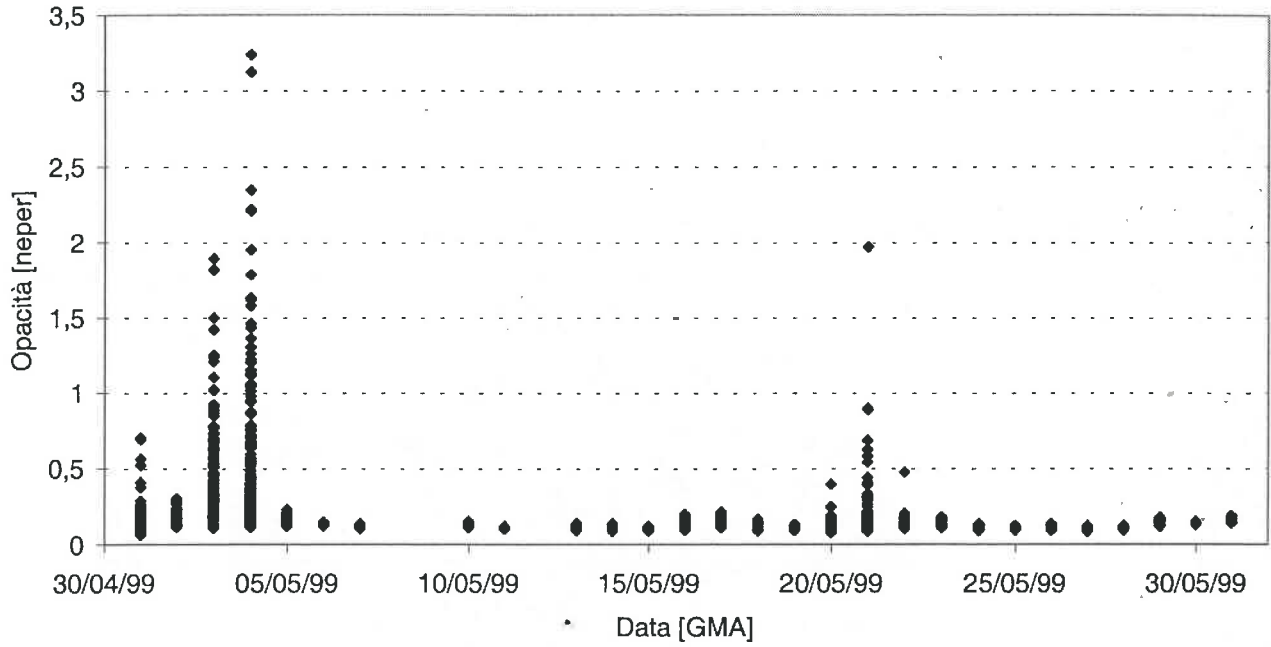


Cagliari, WVR: Maggio 1999



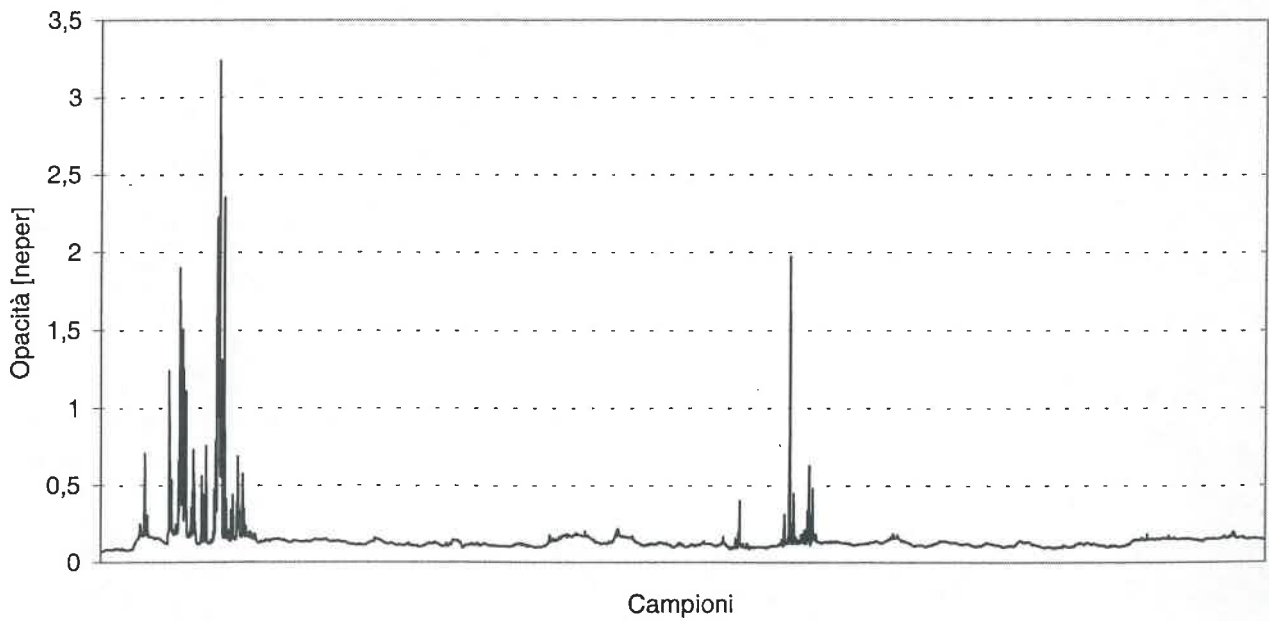
Cagliari, WVR: Maggio 1999

◆ Tau @ 23.8 GHz

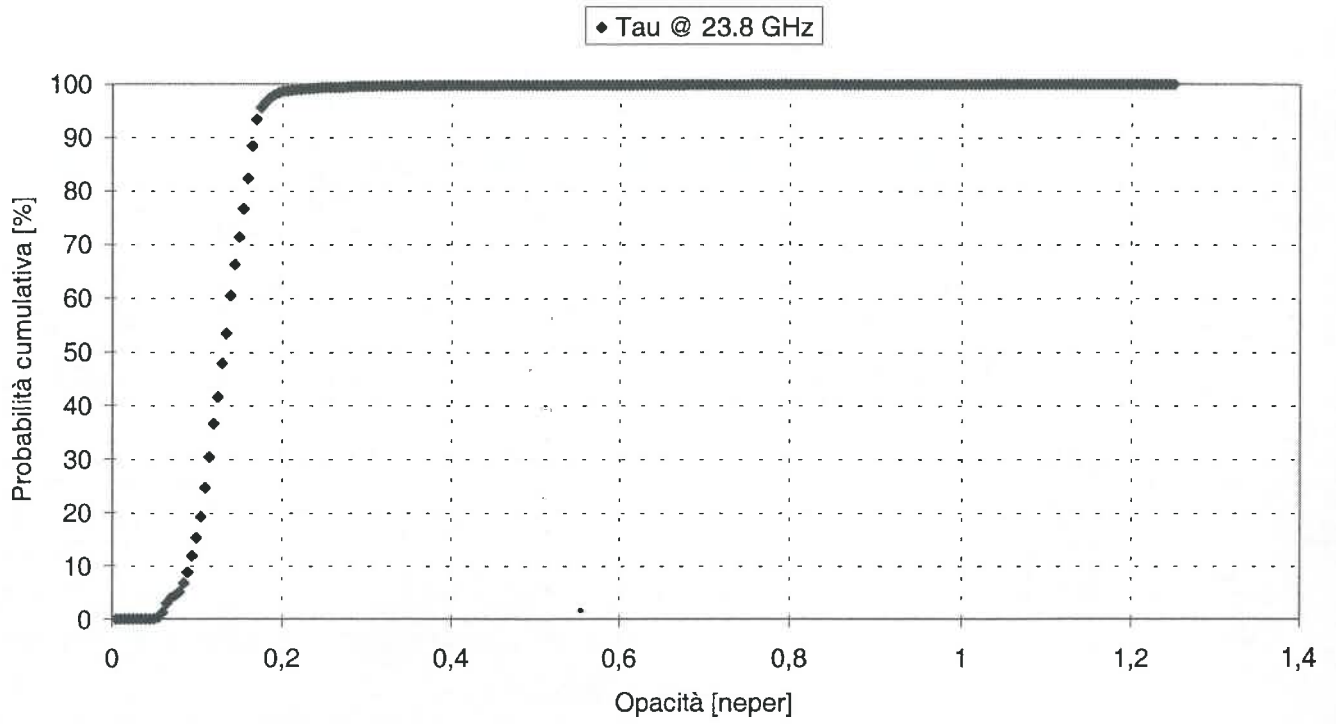


Cagliari, WVR: Maggio 1999

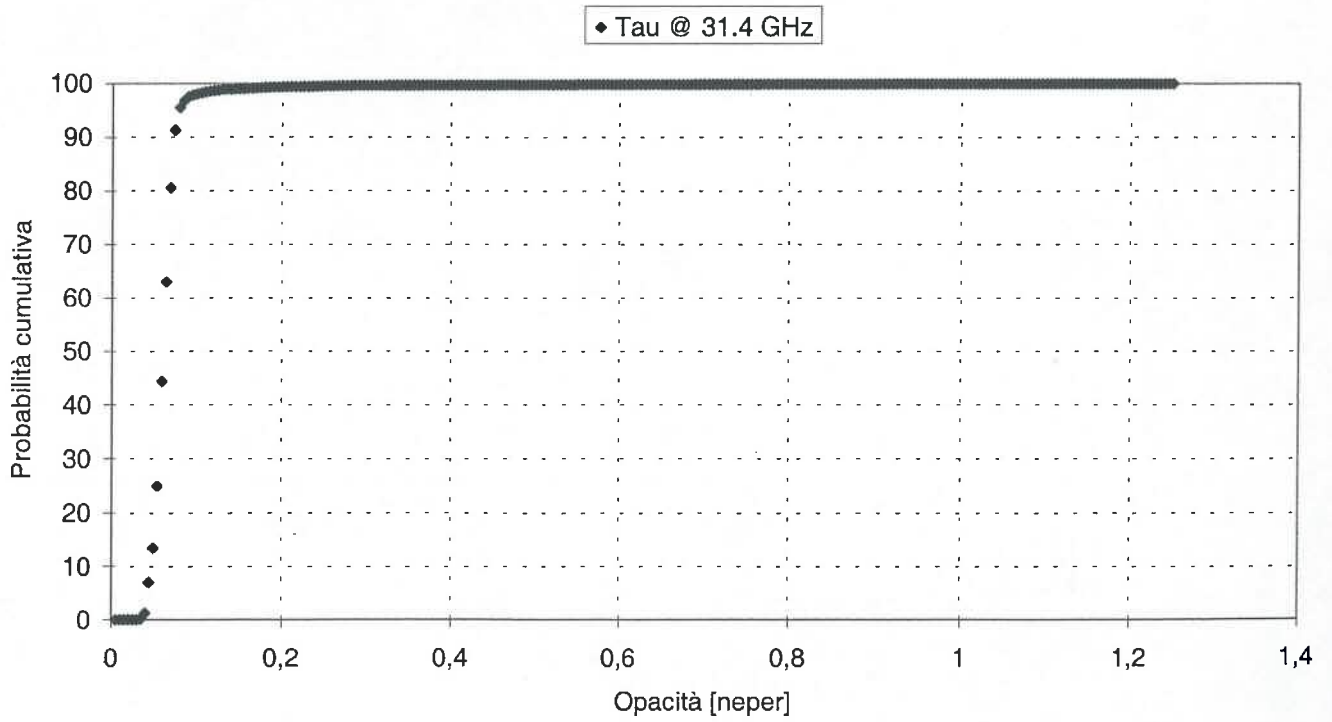
— Tau @ 23.8 GHz



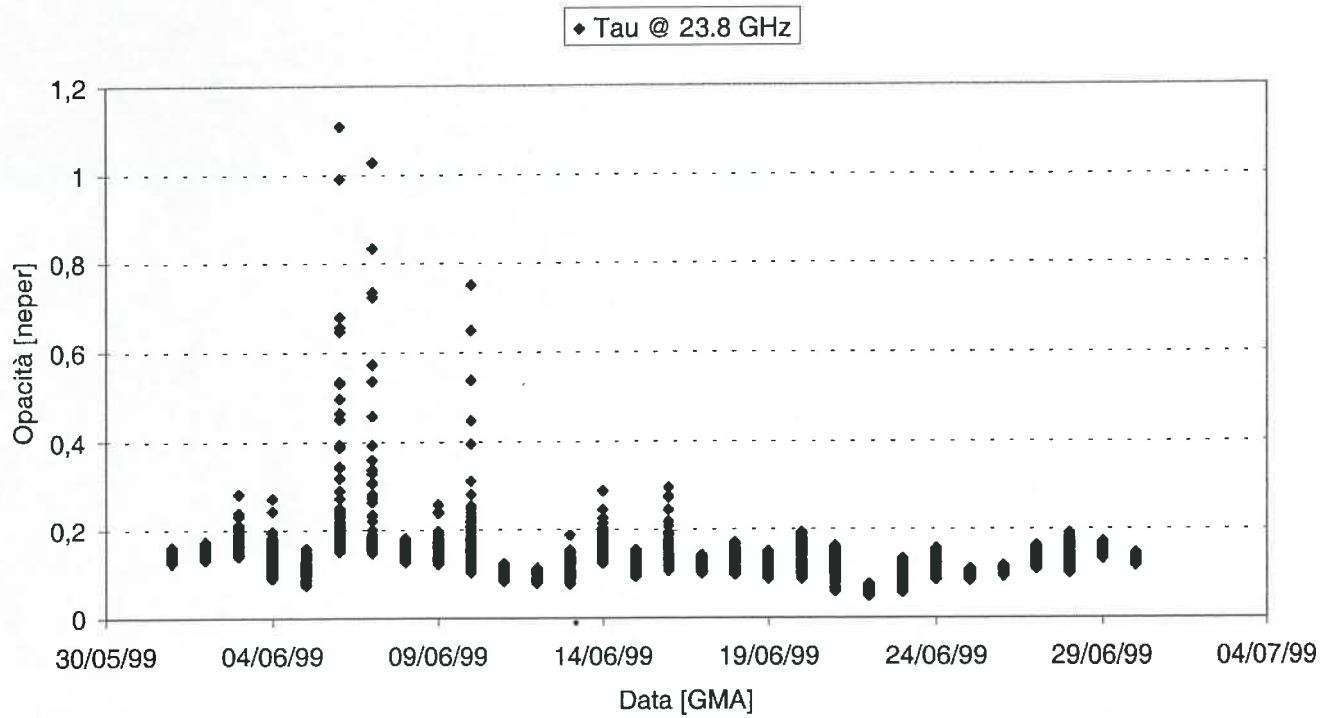
Cagliari, WVR: Giugno 1999



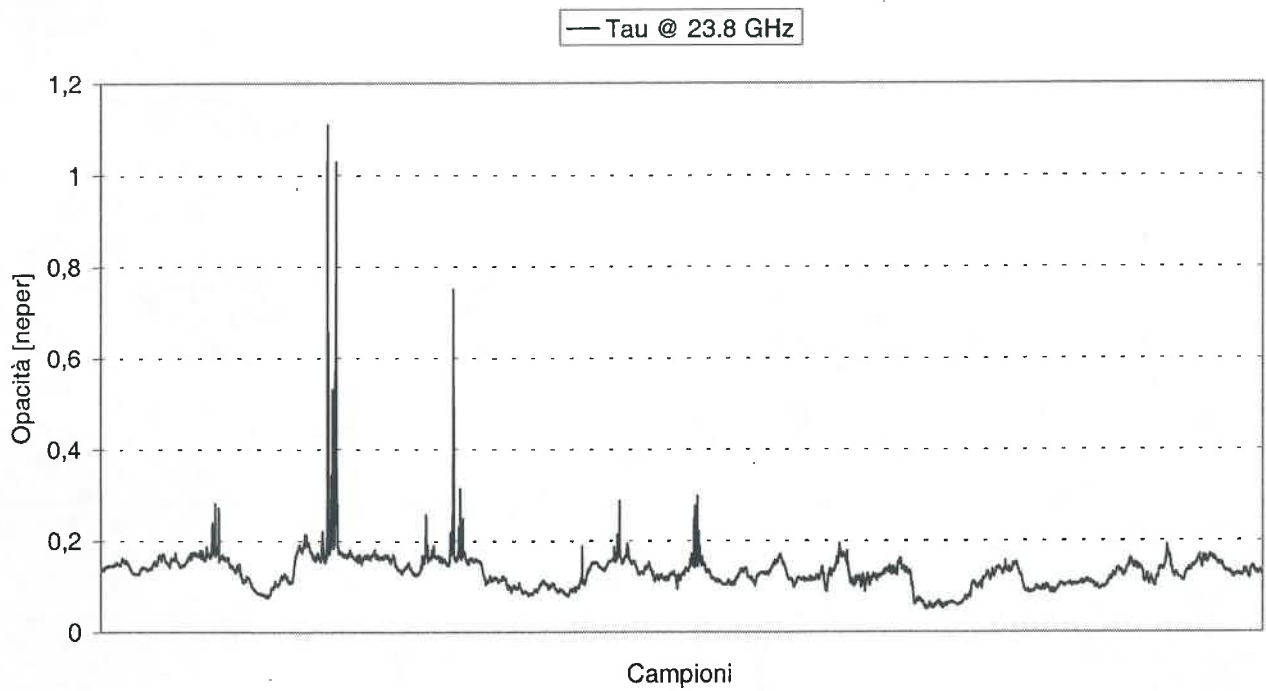
Cagliari, WVR: Giugno 1999



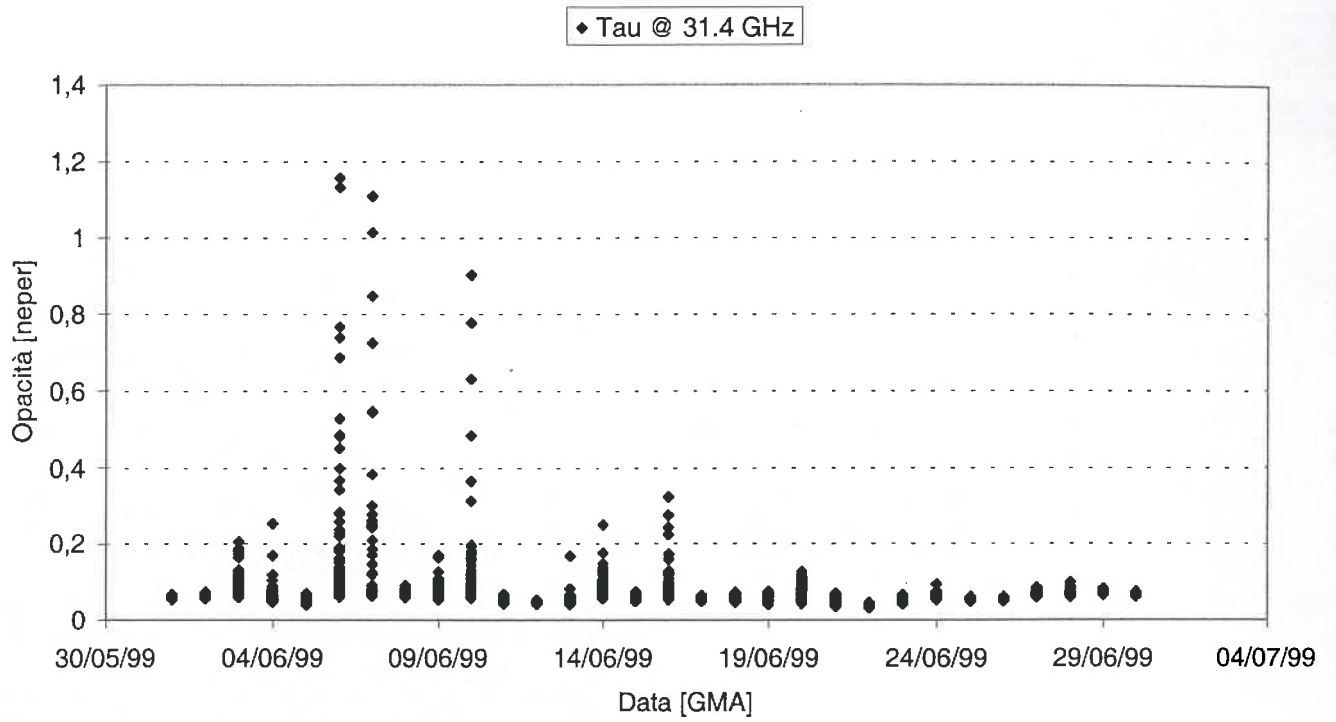
Cagliari, WVR: Giugno 1999



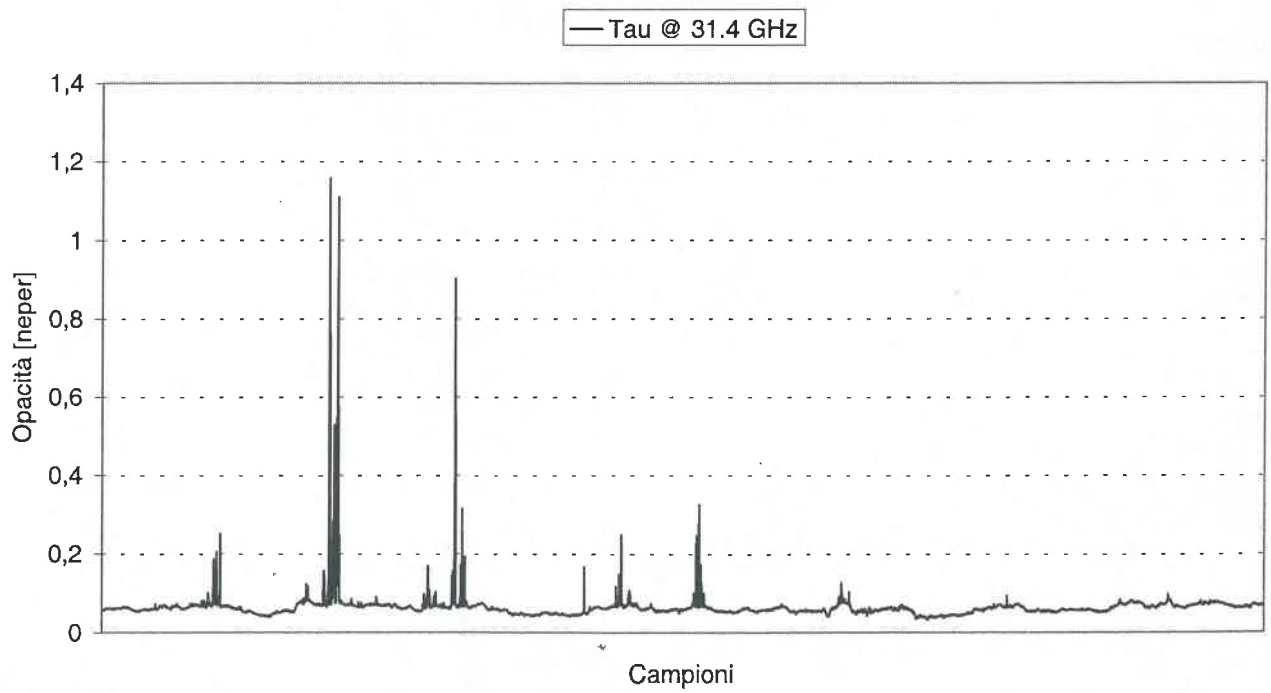
Cagliari, WVR: Giugno 1999



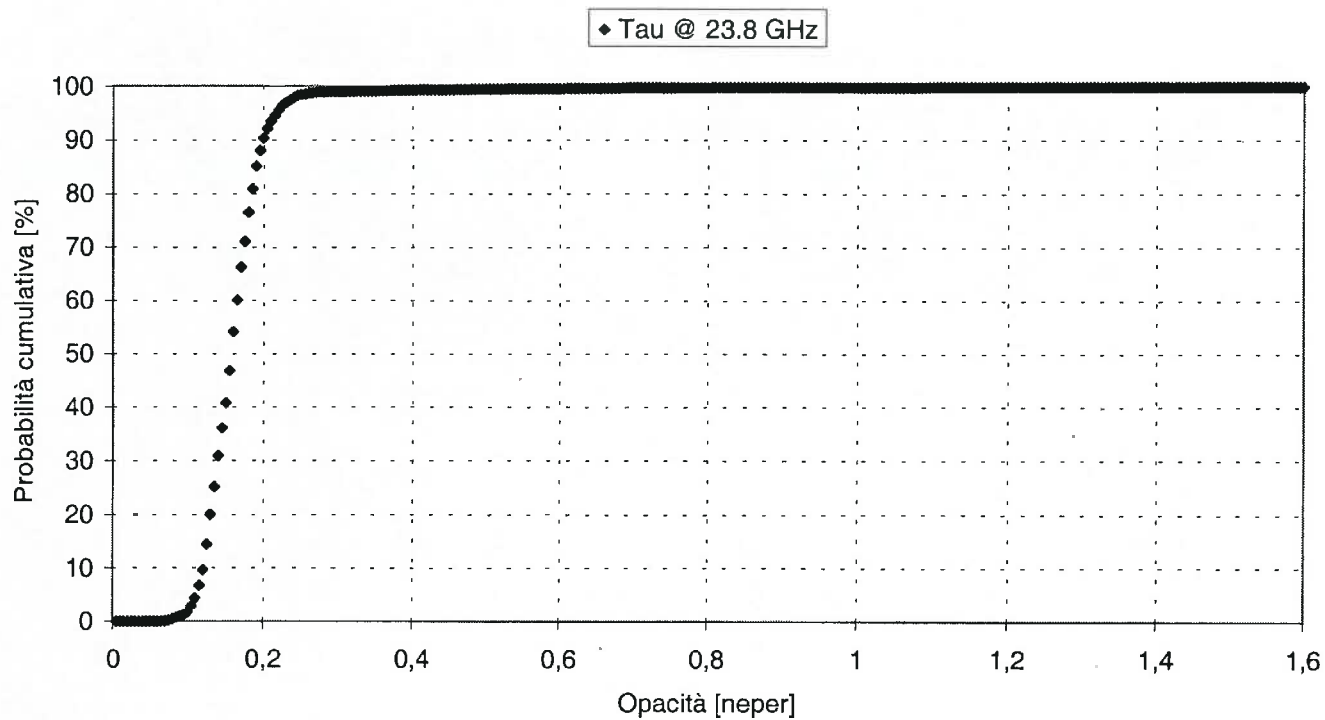
Cagliari, WVR: Giugno 1999



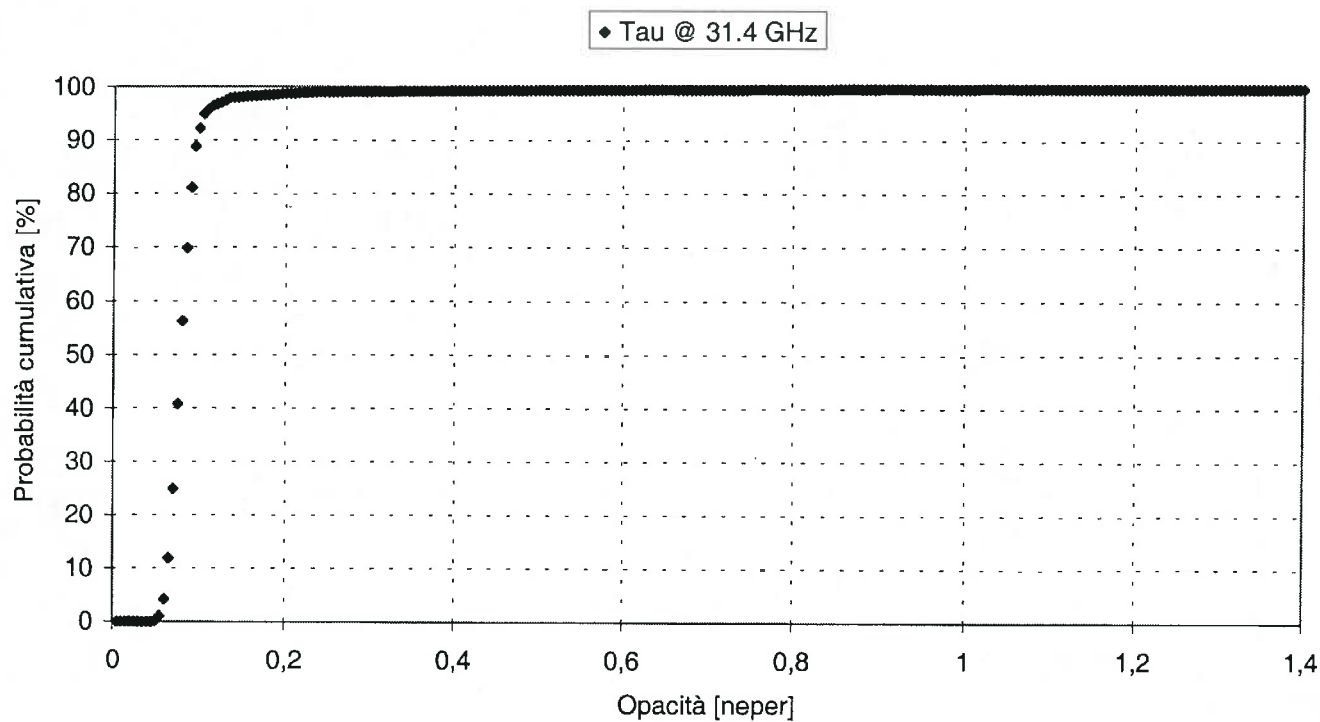
Cagliari, WVR: Giugno 1999



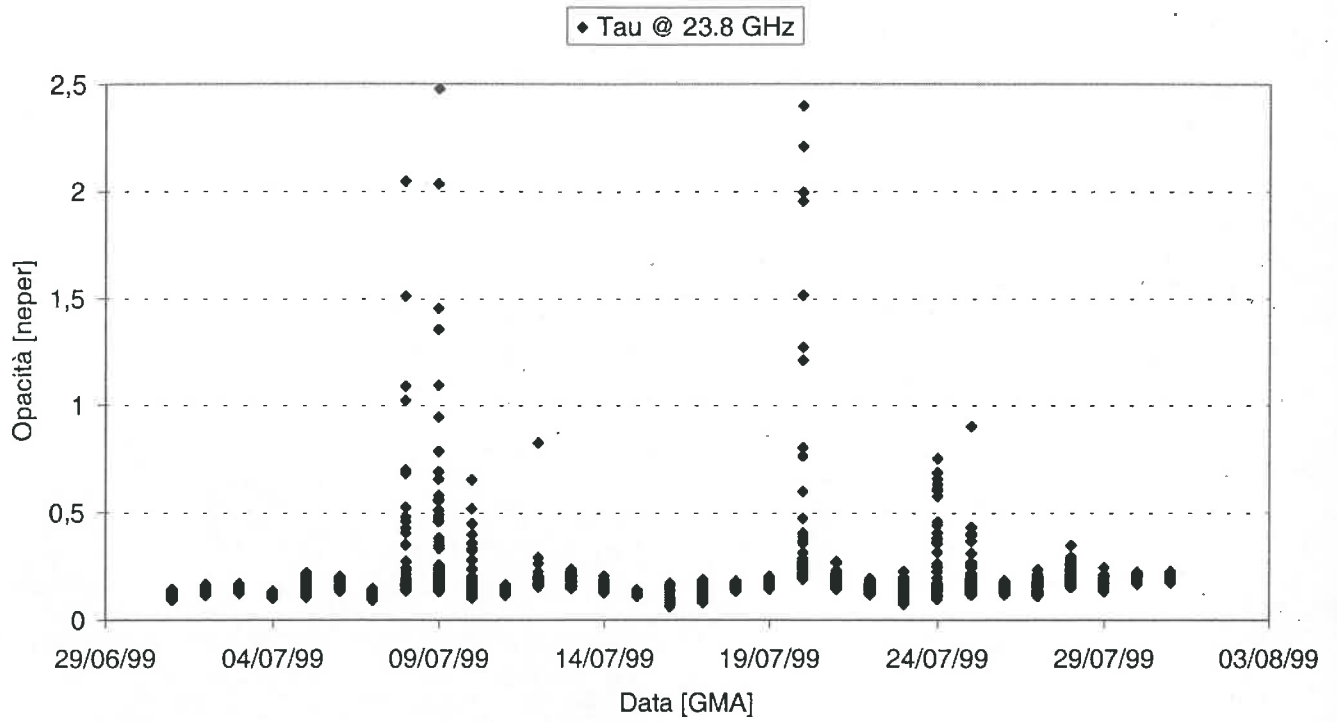
Cagliari, WVR: Luglio 1999



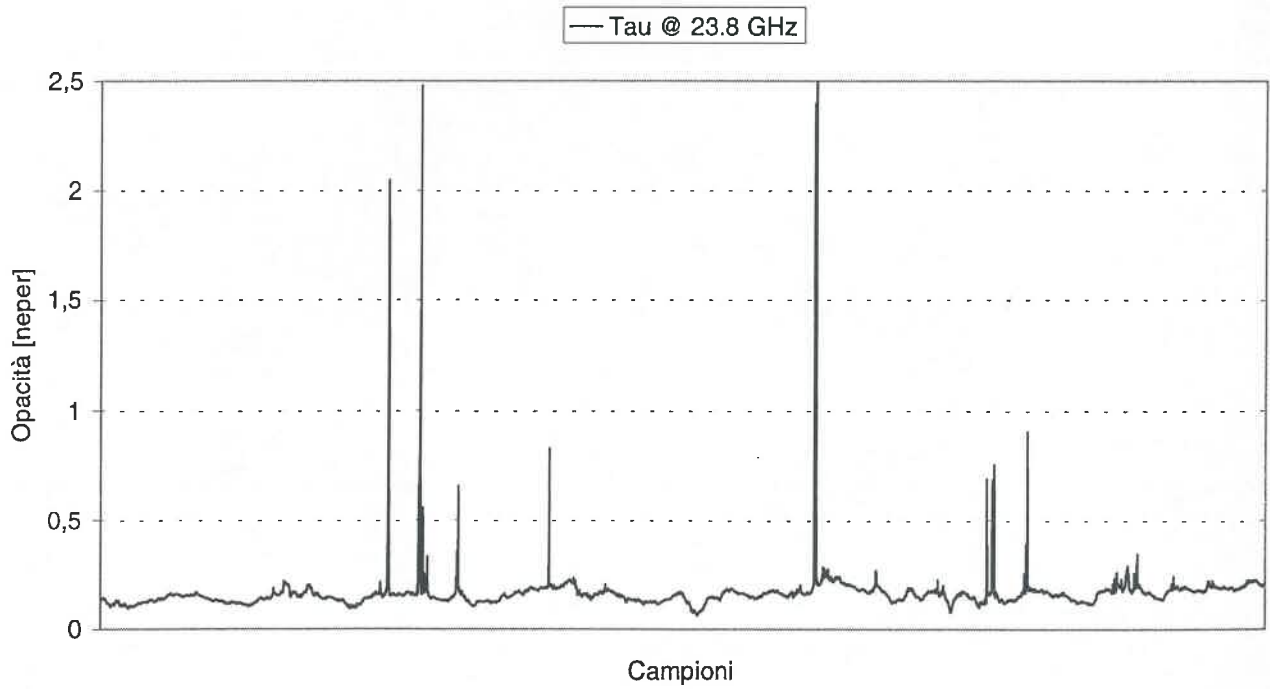
Cagliari, WVR: Luglio 1999



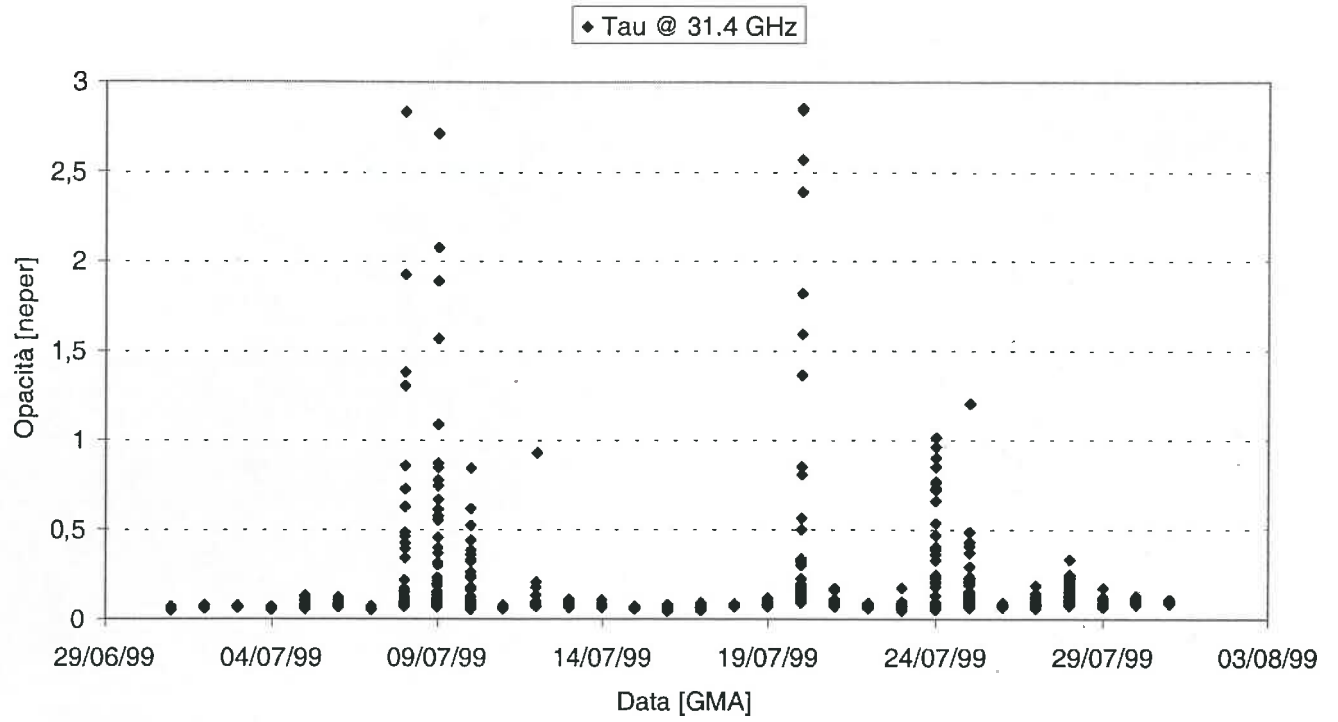
Cagliari, WVR: Luglio 1999



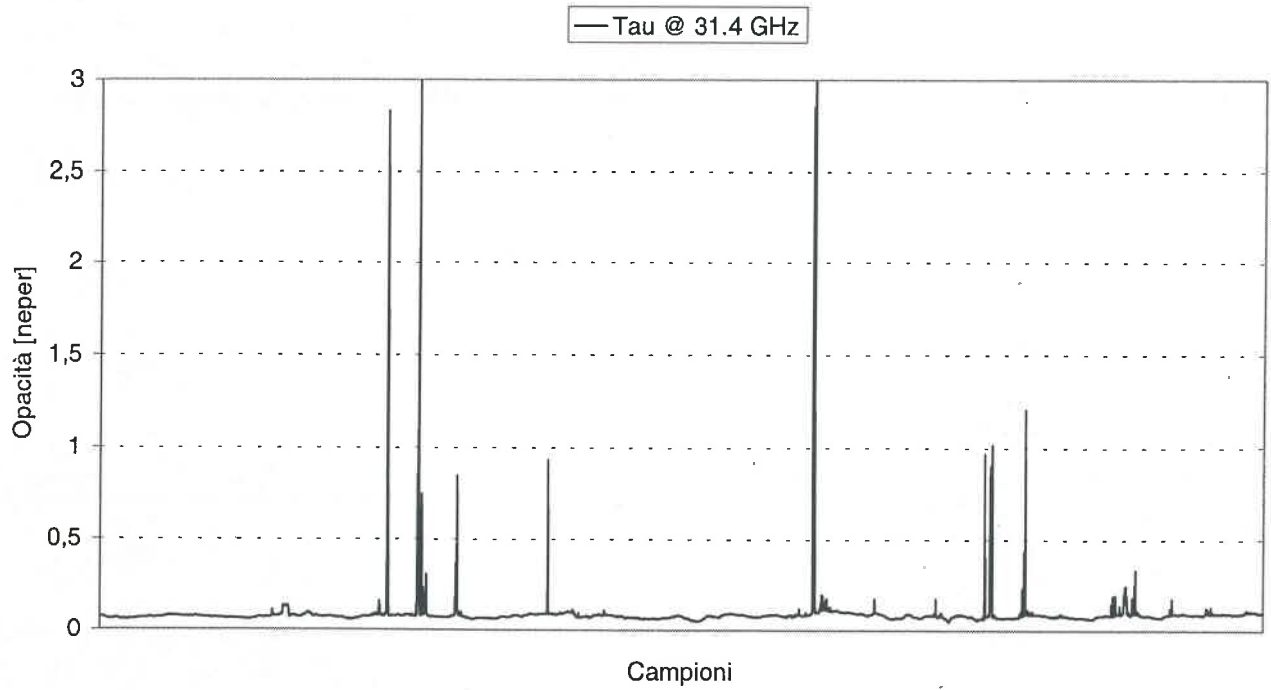
Cagliari, WCR: Luglio 1999



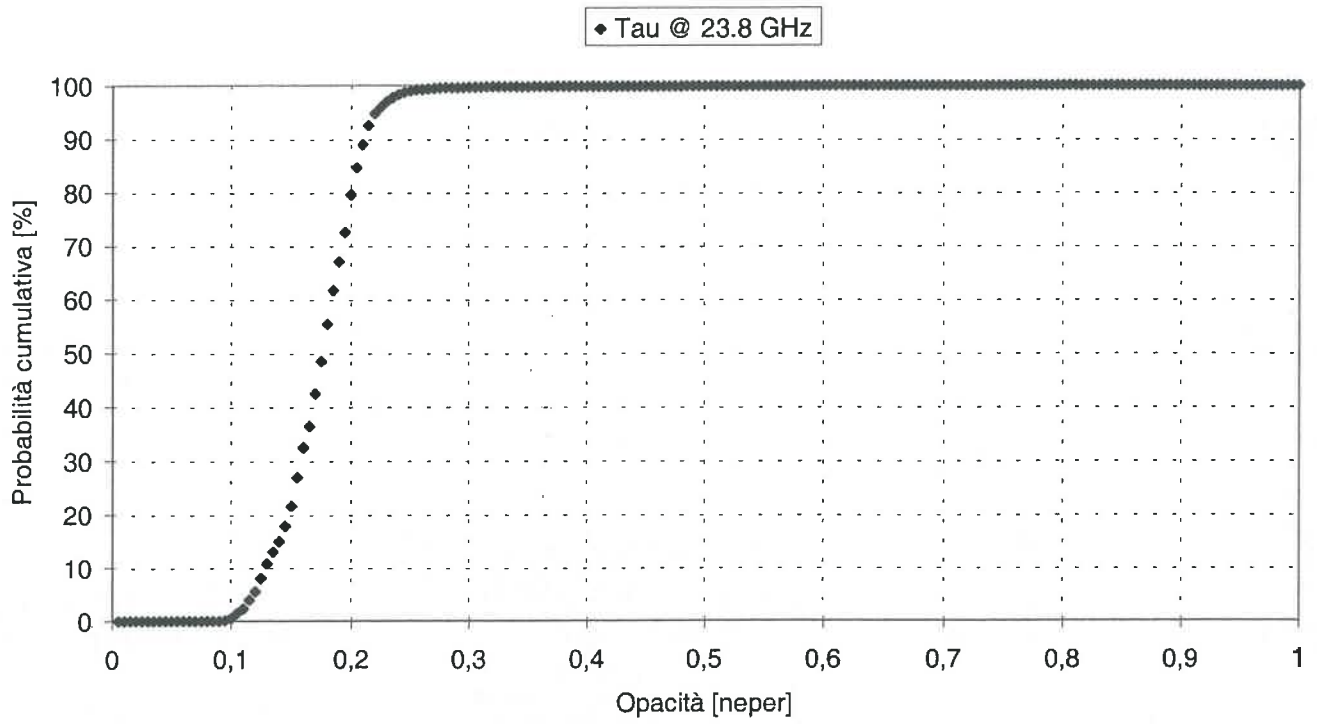
Cagliari, WVR: Luglio 1999



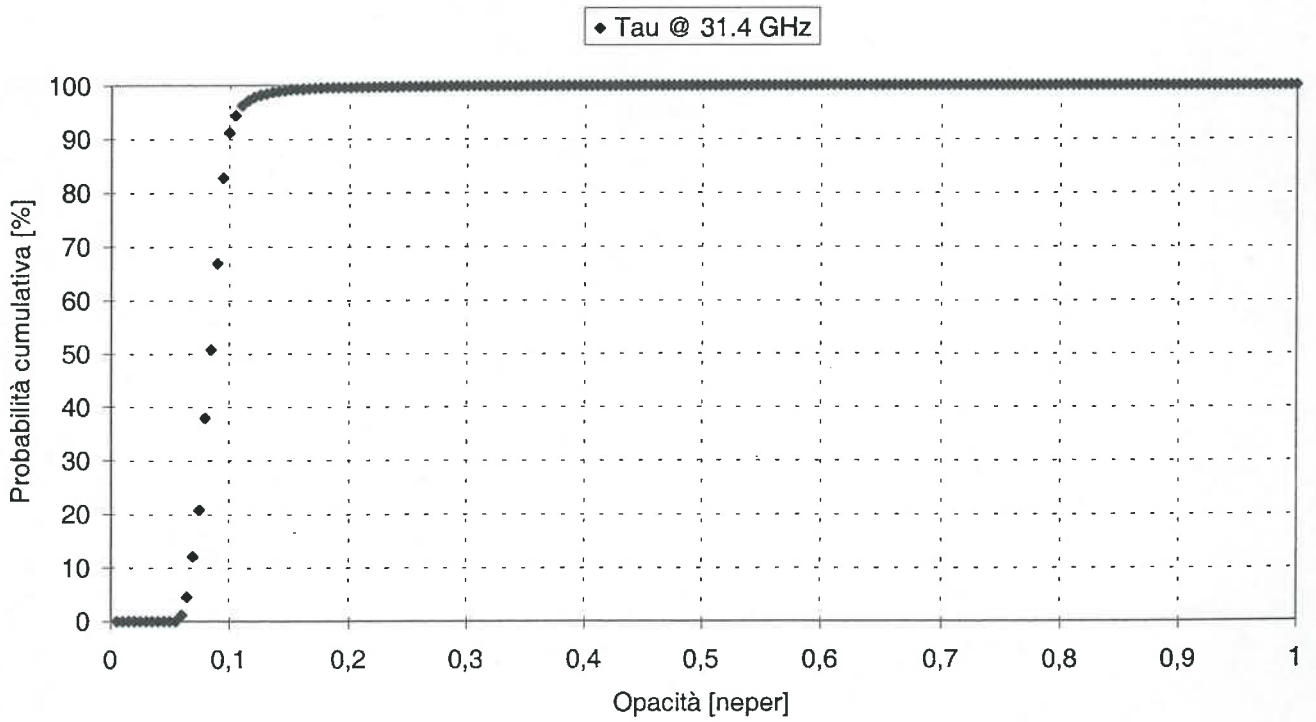
Cagliari, WVR: Luglio 1999



Cagliari, WVR: Agosto 1999

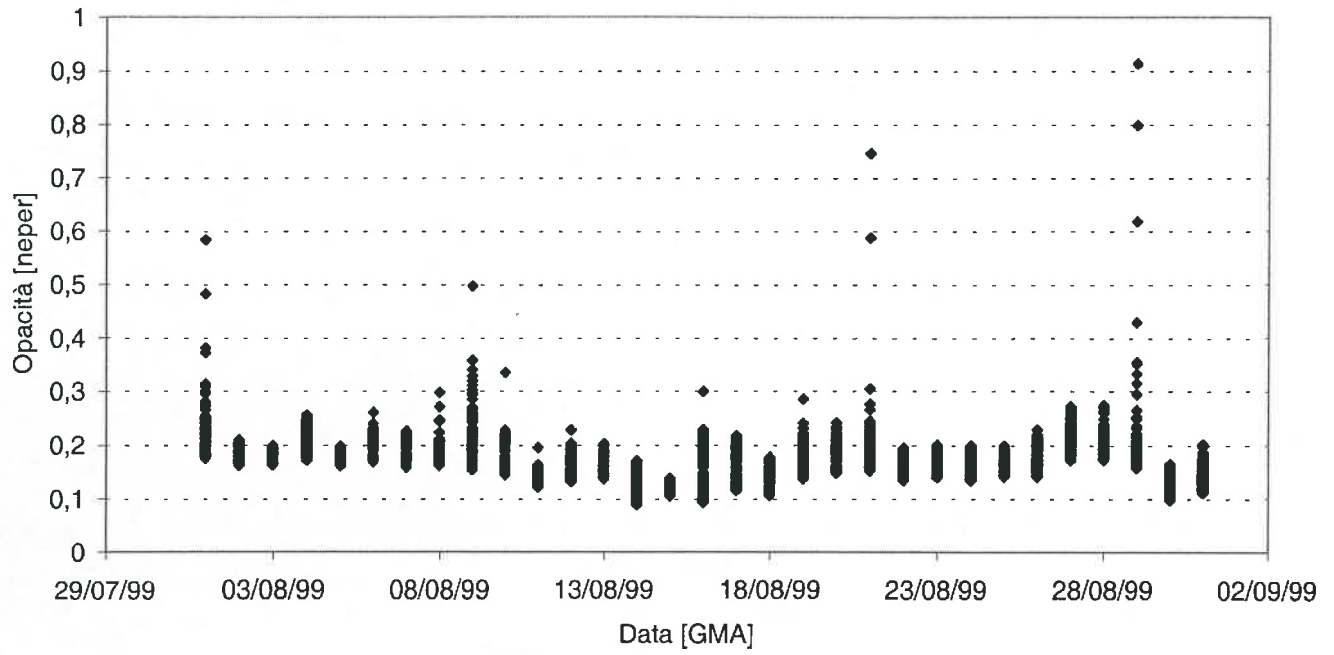


Cagliari, WVR: Agosto 1999



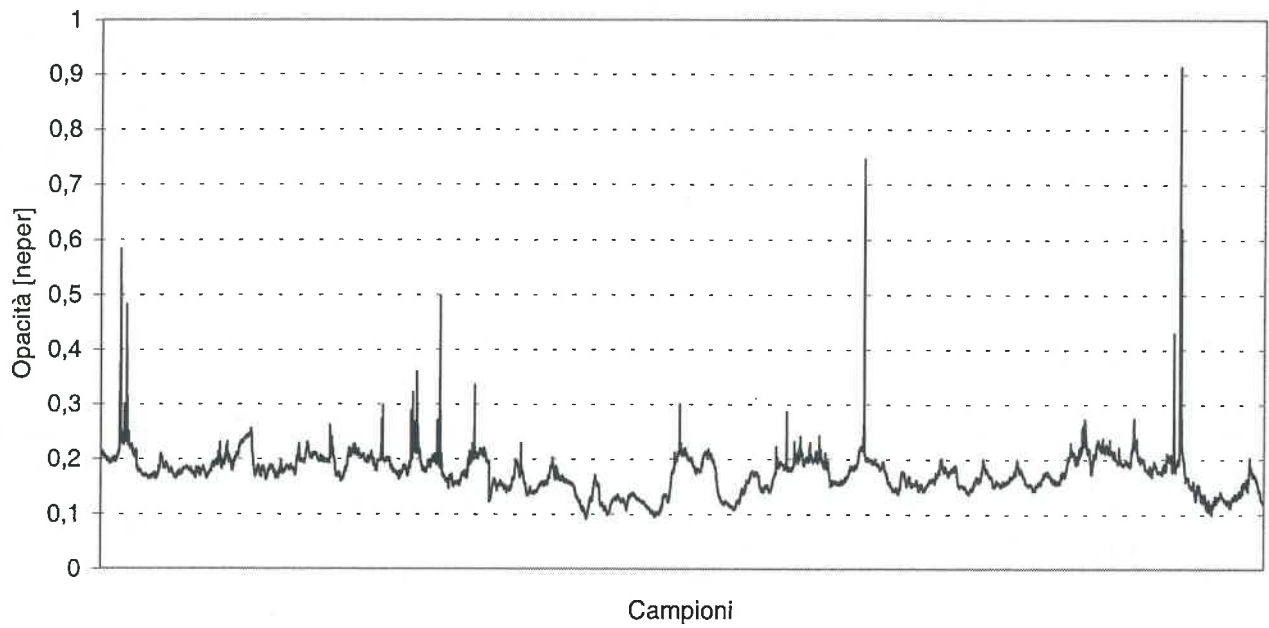
Cagliari, WVR: Agosto 1999

◆ Tau @ 23.8 GHz

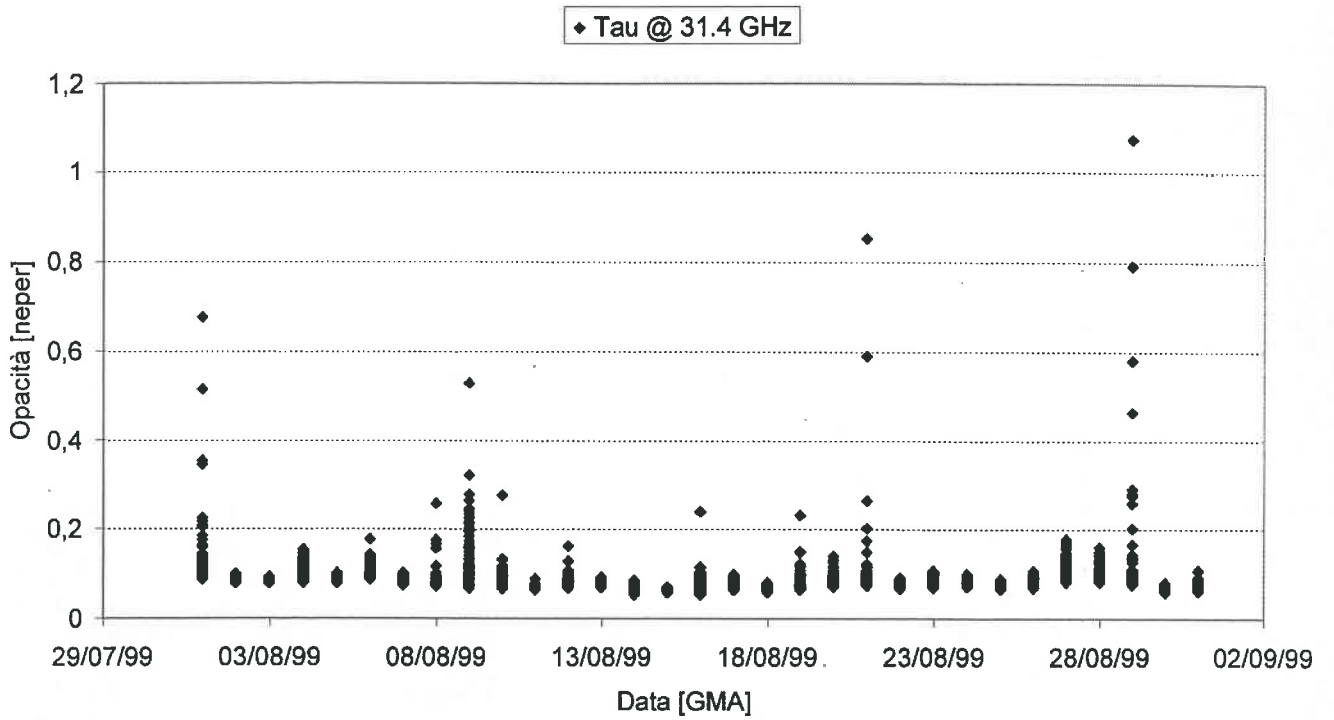


Cagliari, WVR: Agosto 1999

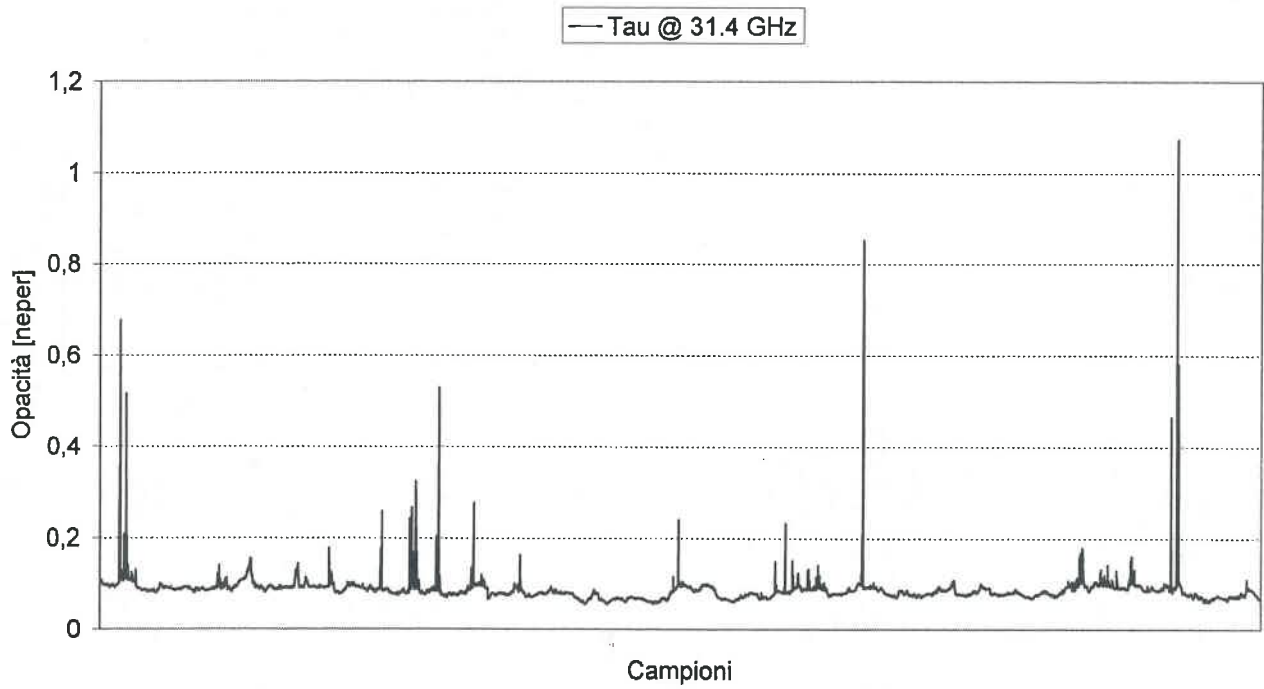
— Tau @ 23.8 GHz



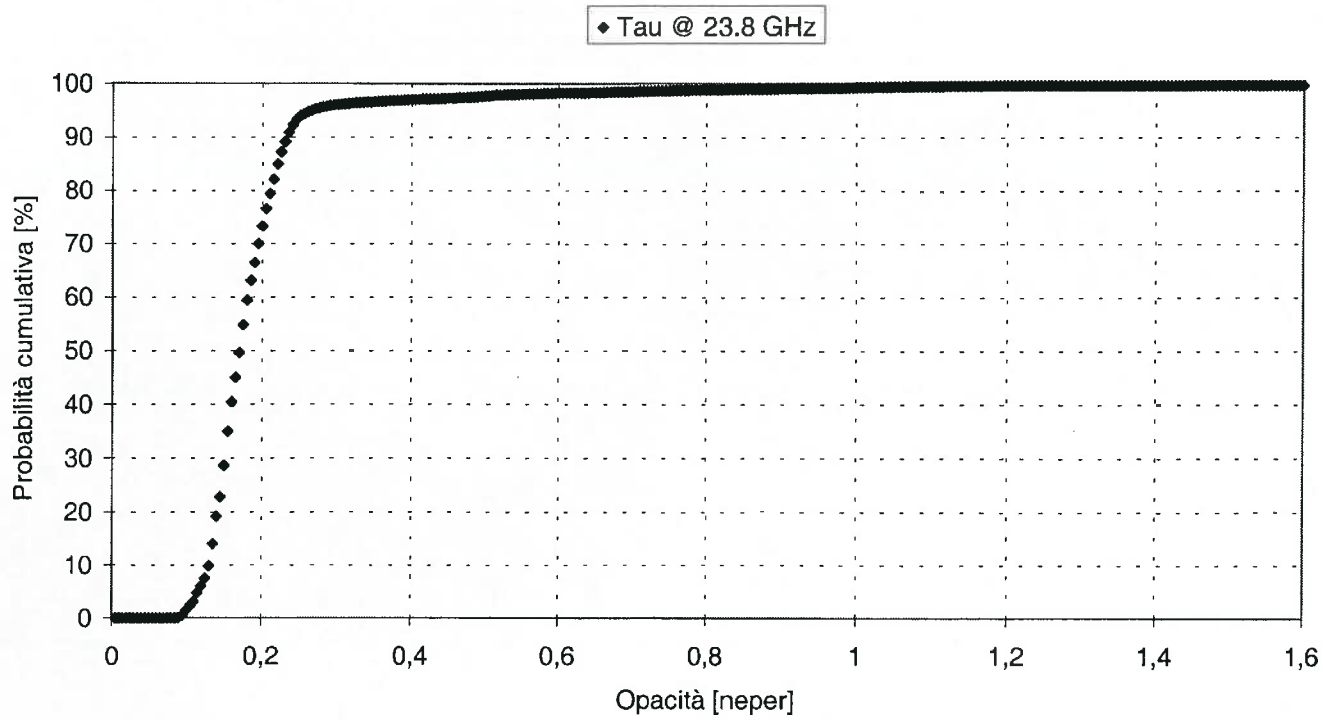
Cagliari, WVR: Agosto 1999



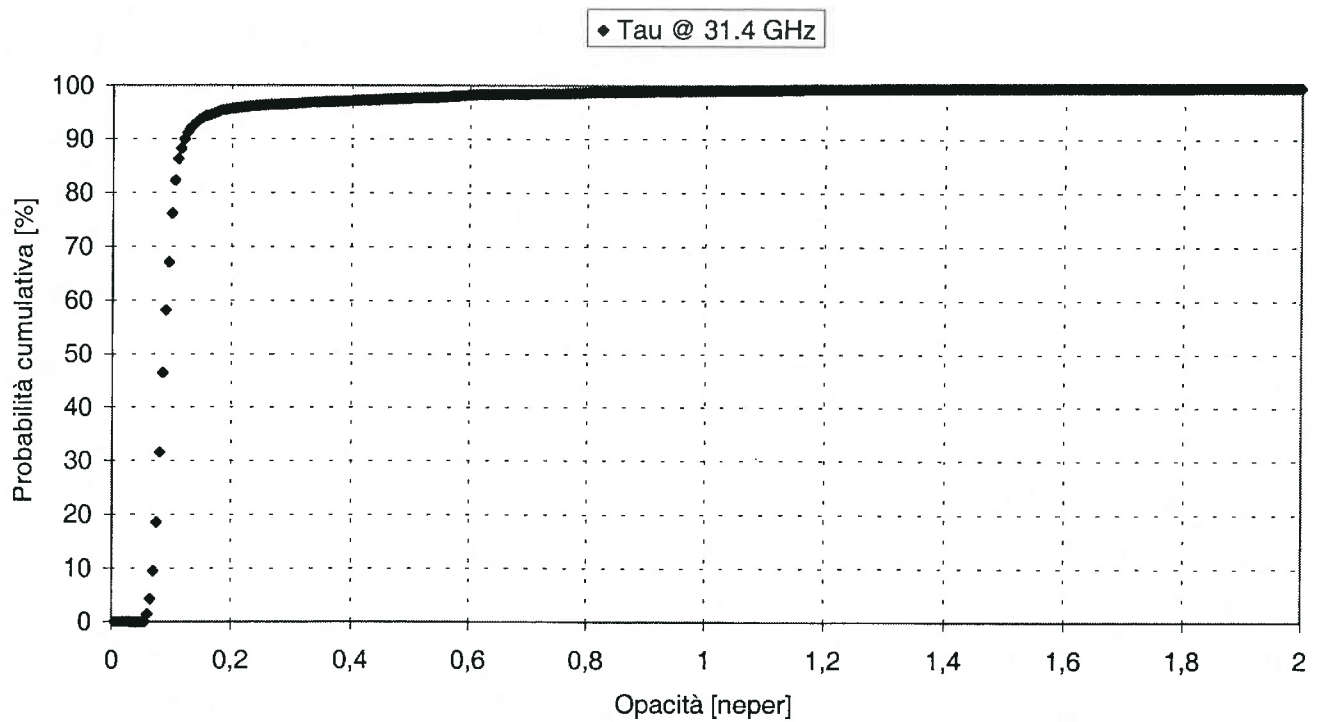
Cagliari, WVR: Agosto 1999



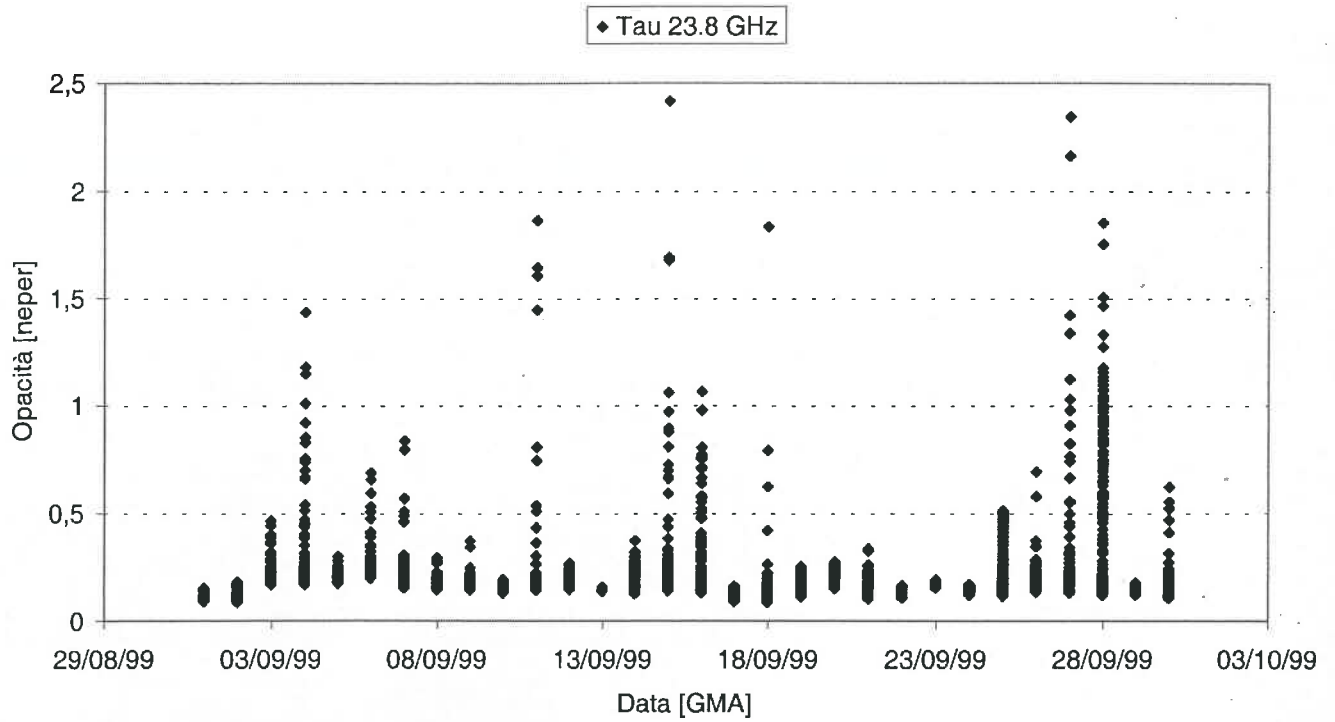
Cagliari, WVR: Settembre 1999



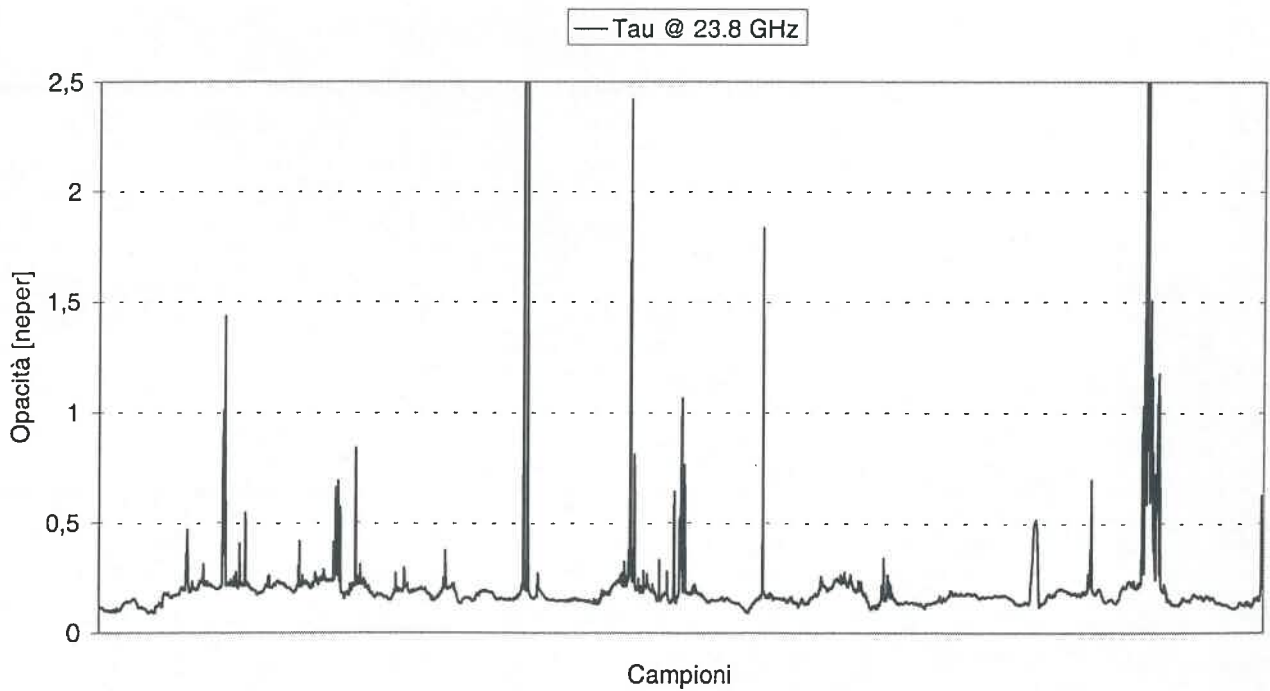
Cagliari, WVR: Settembre 1999



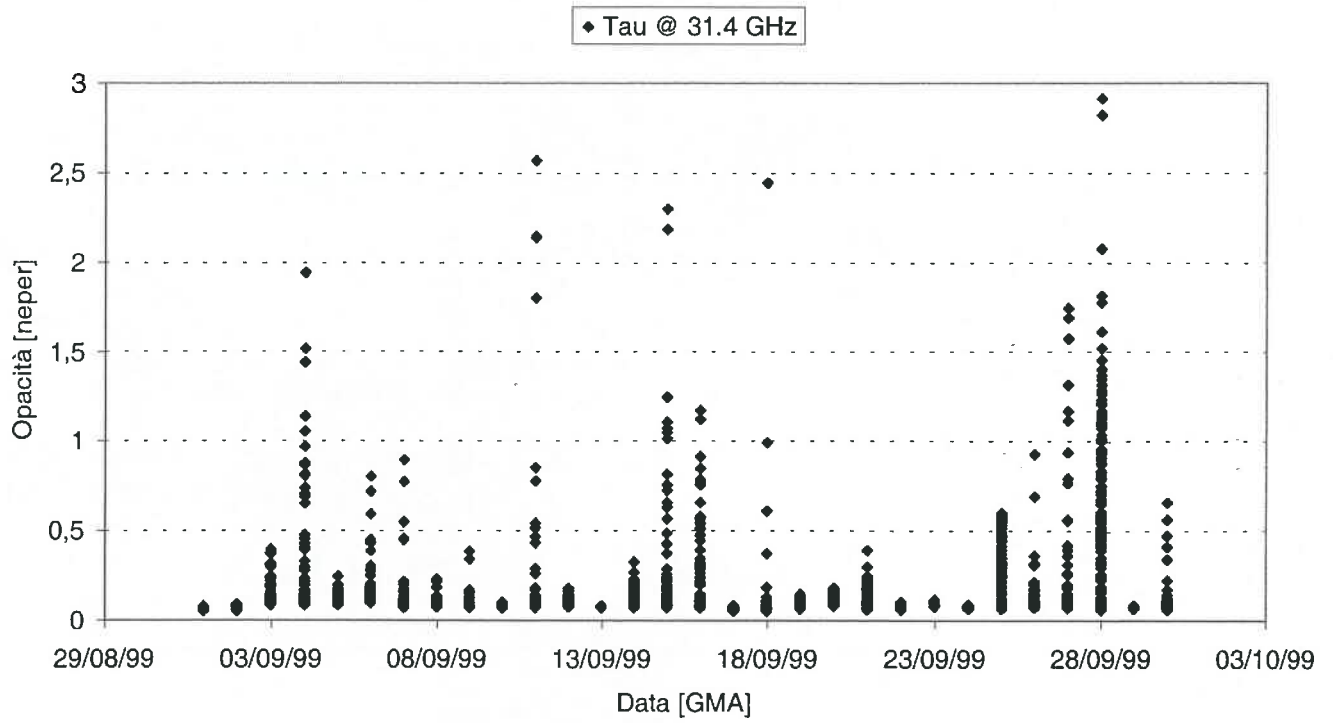
Cagliari, WVR: Settembre 1999



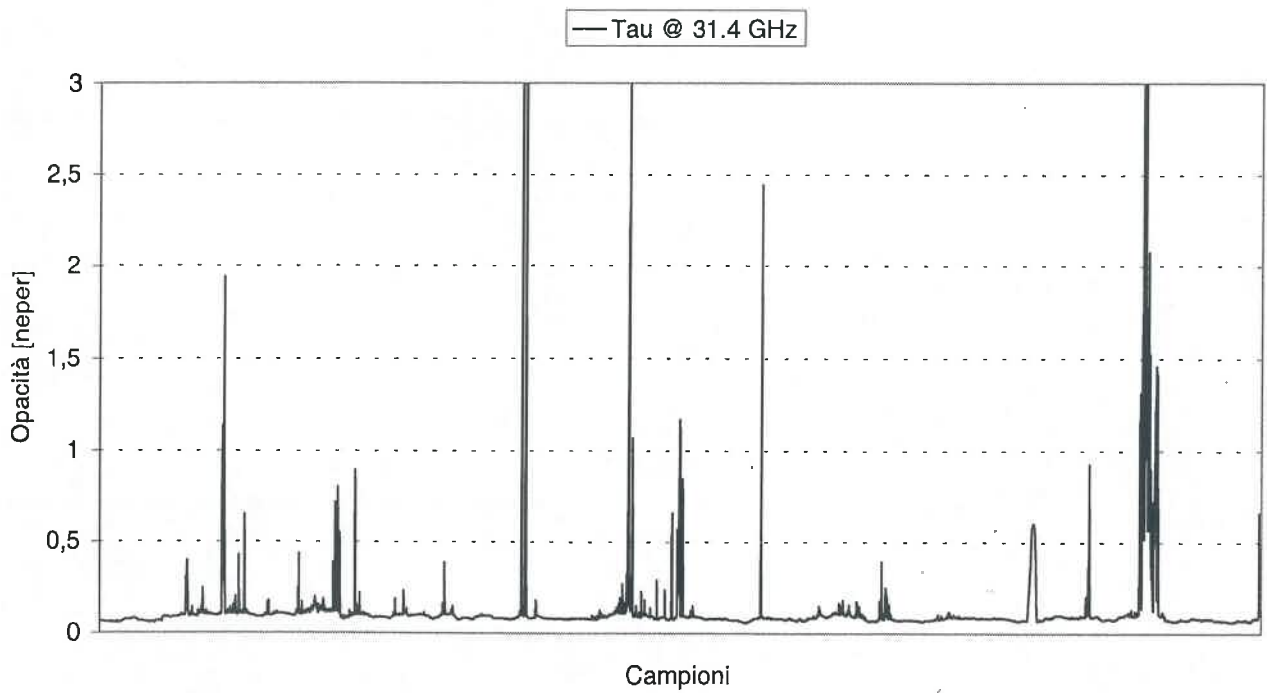
Cagliari, WVR: Settembre 1999



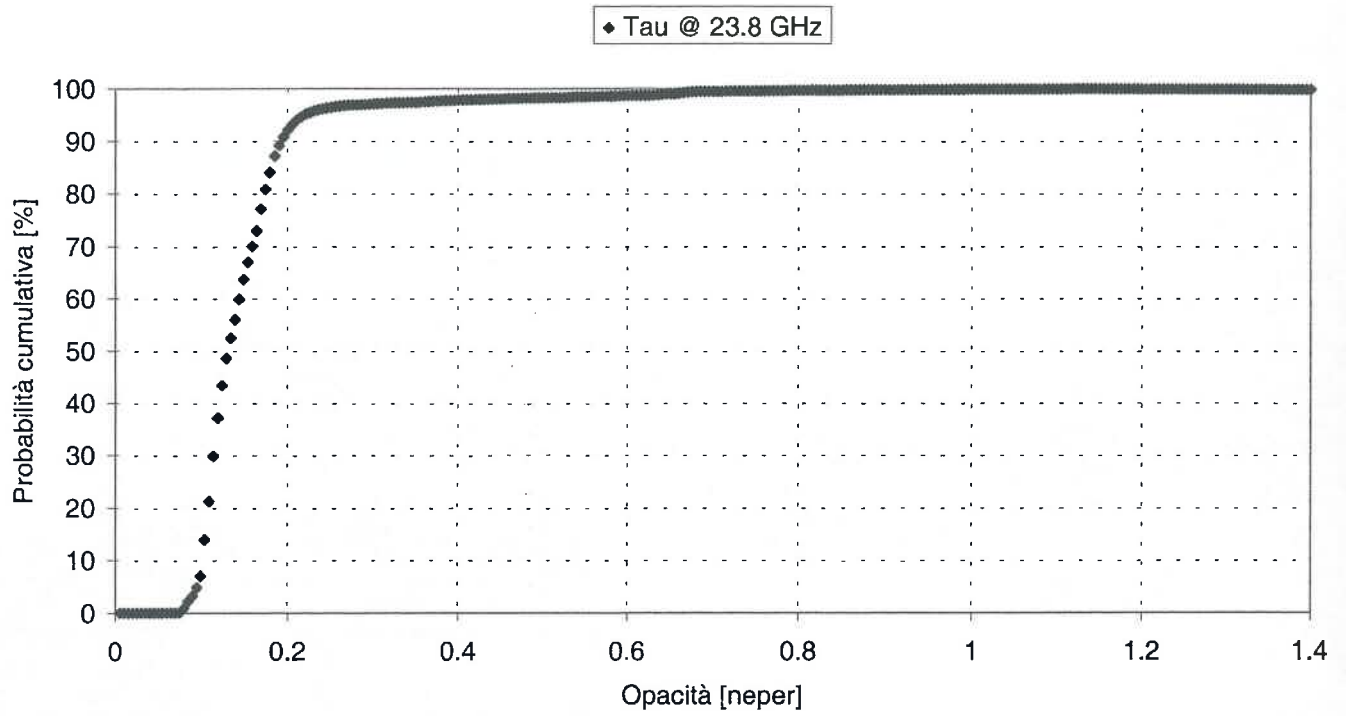
Cagliari, WVR: Settembre 1999



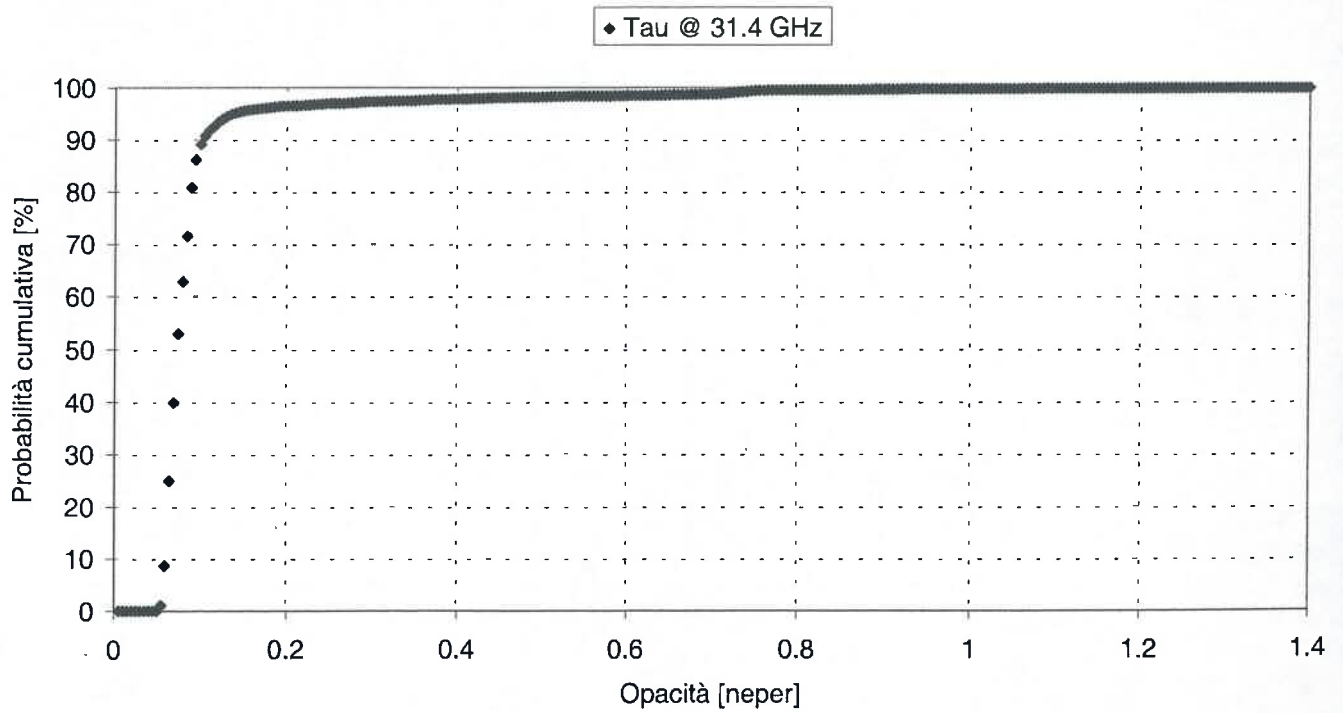
Cagliari, WVR: Settembre 1999



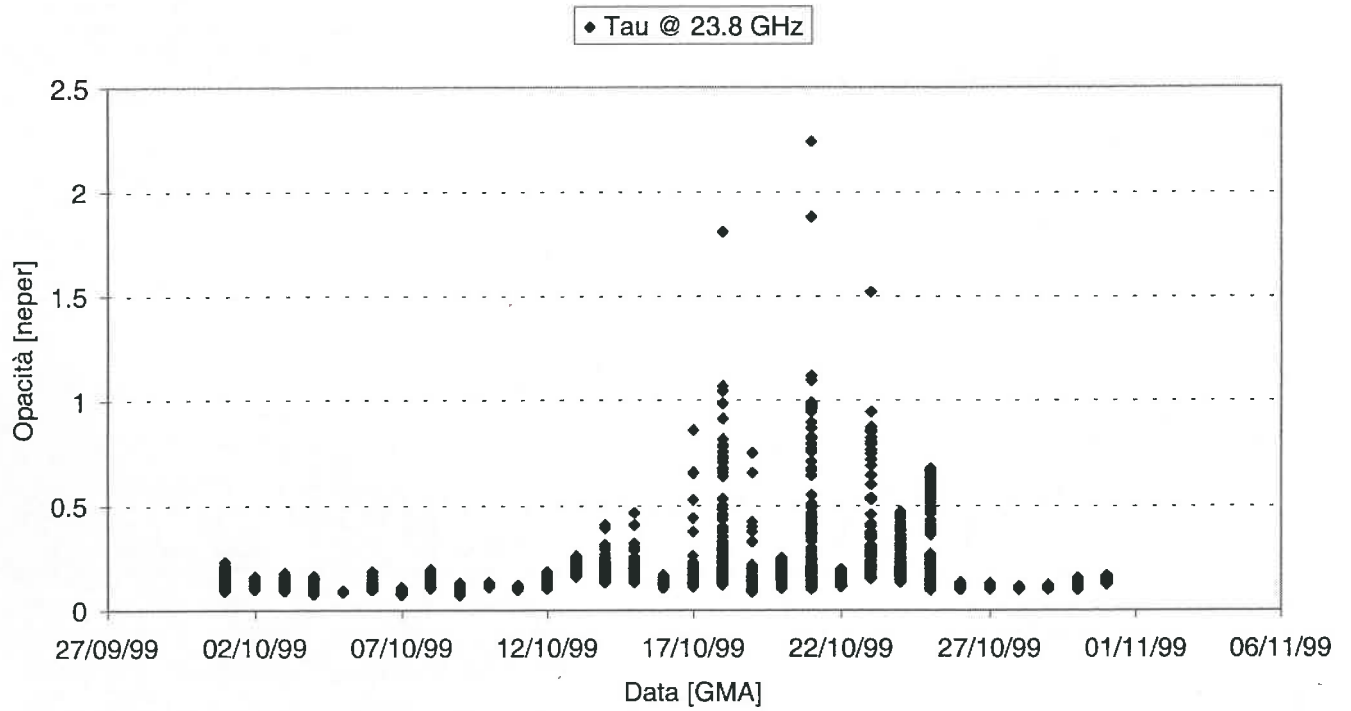
Cagliari, WVR: Ottobre 1999



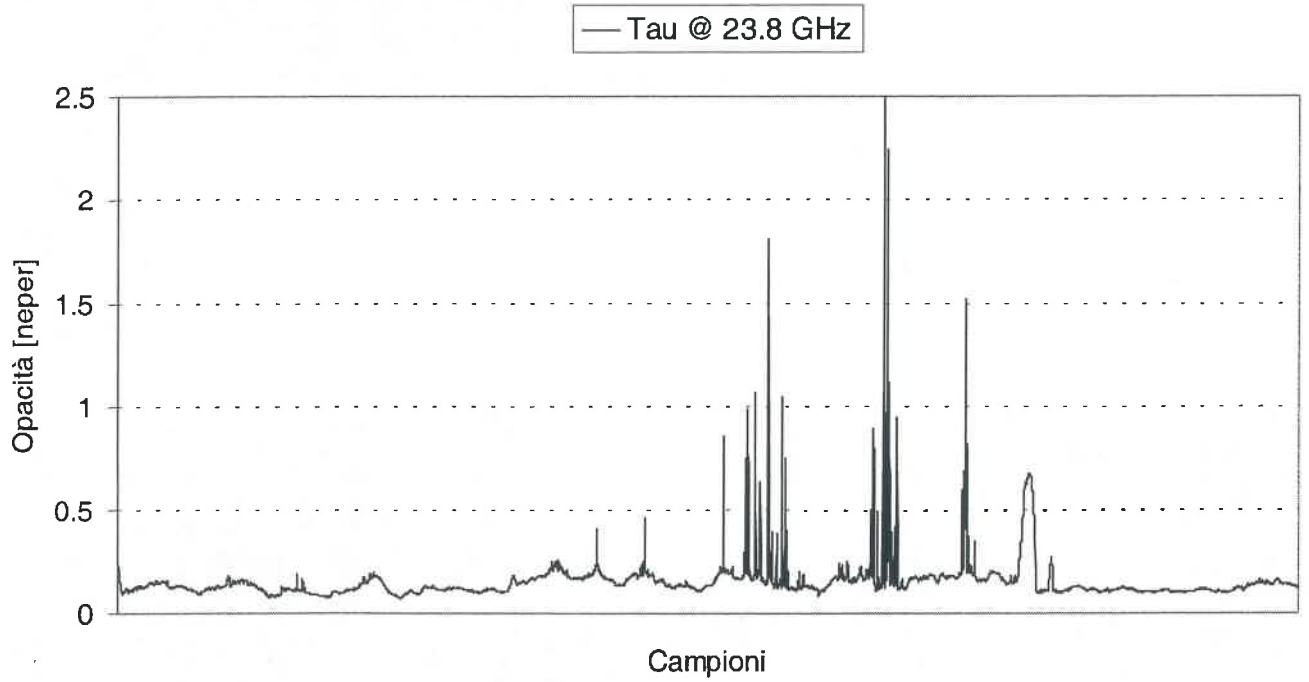
Cagliari, WVR: Ottobre 1999



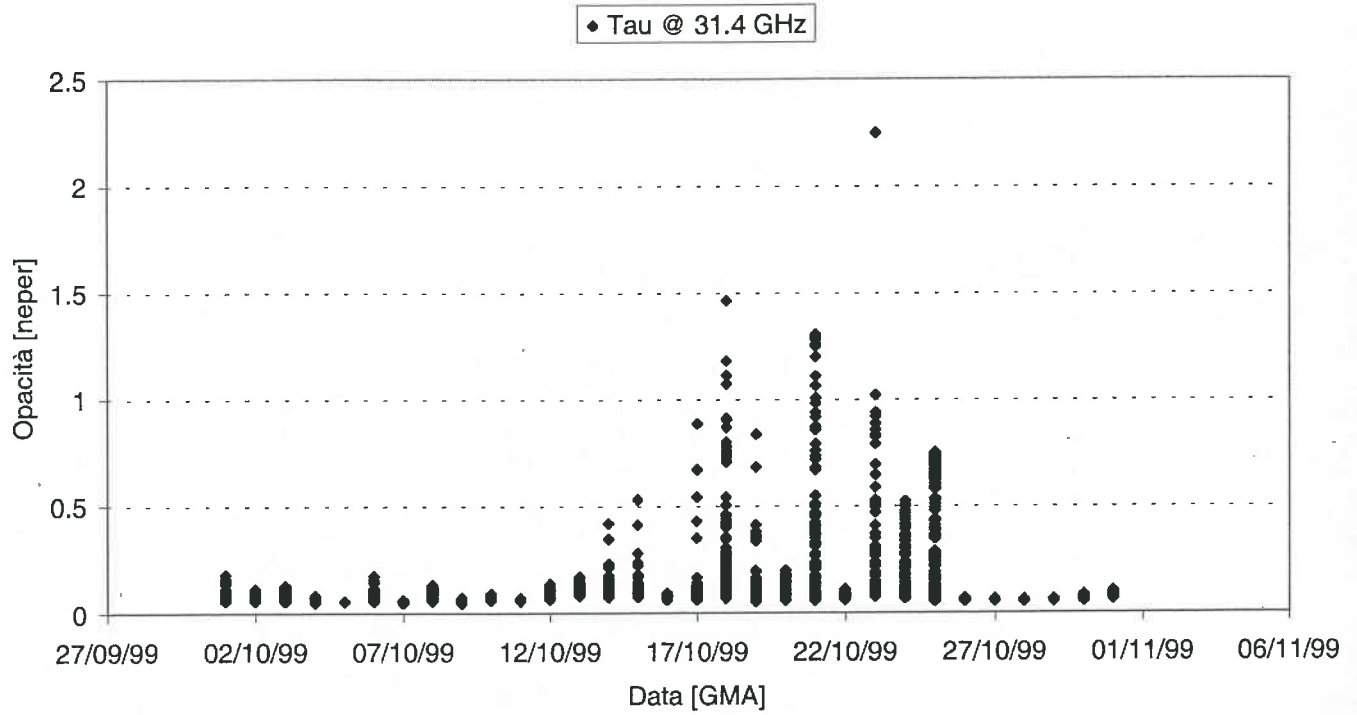
Cagliari, WVR: Ottobre 1999



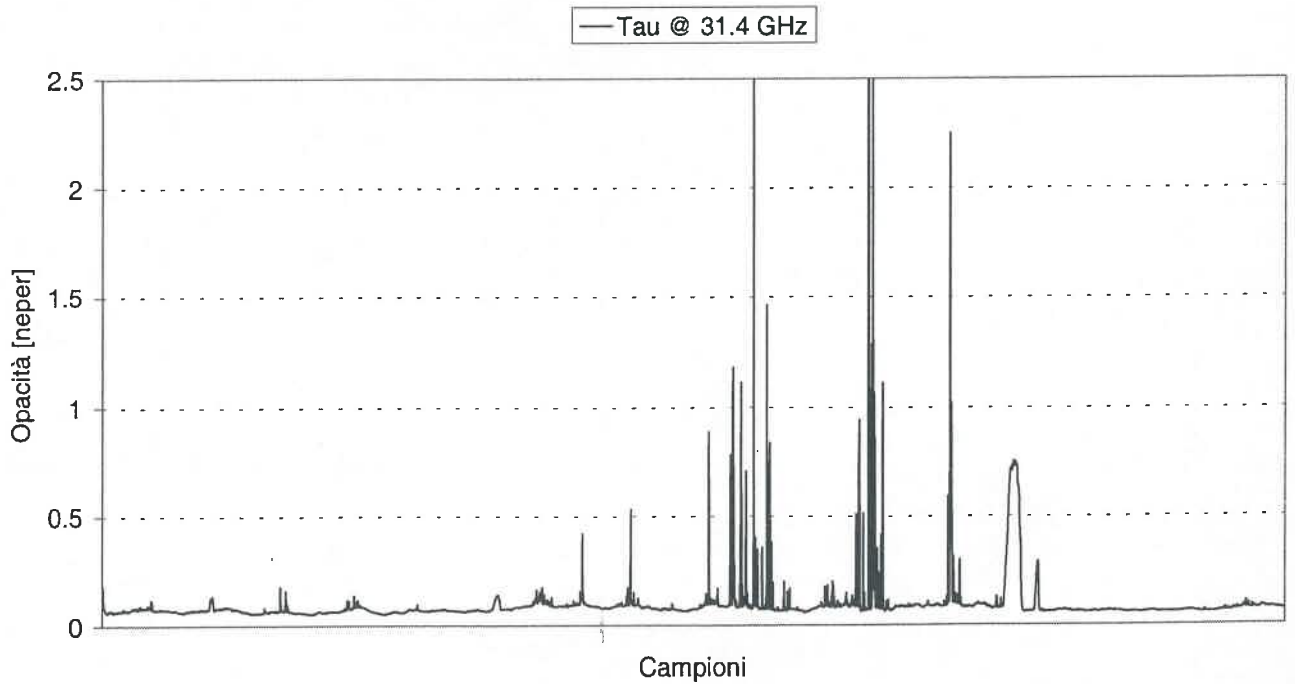
Cagliari, WVR: Ottobre 1999



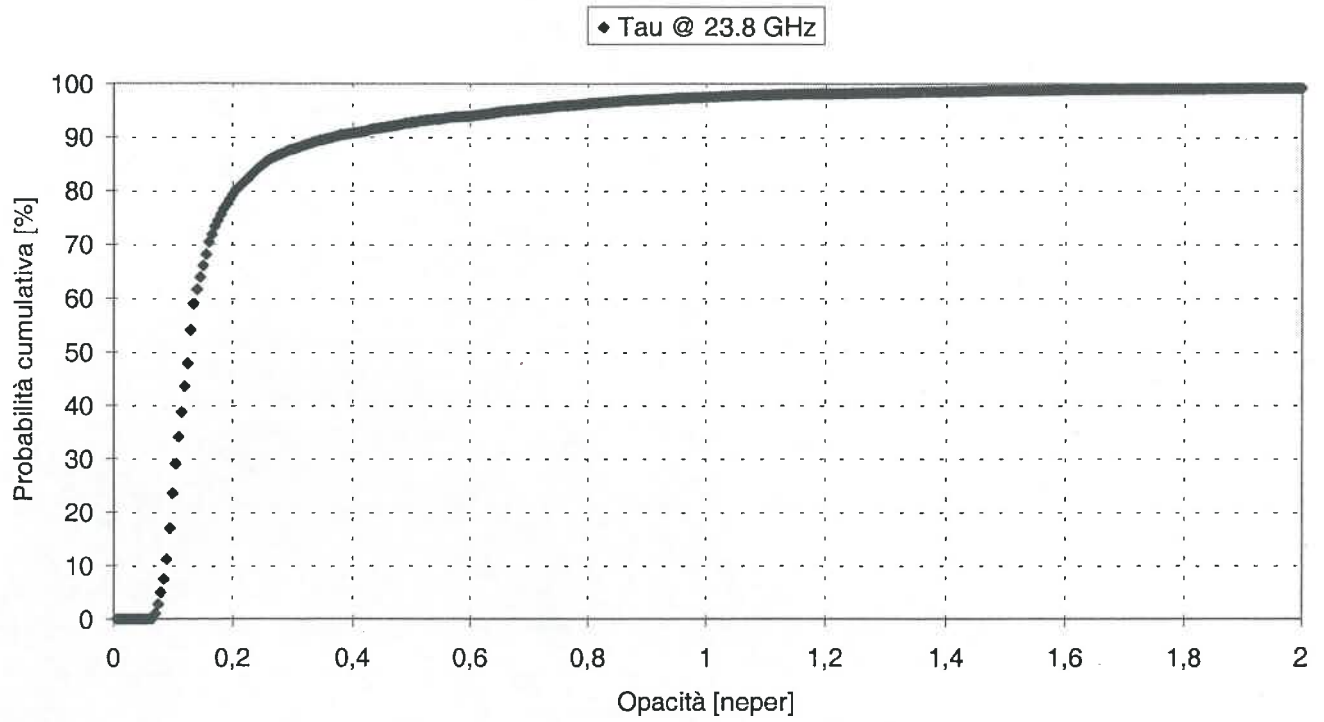
Cagliari, WVR: Ottobre 1999



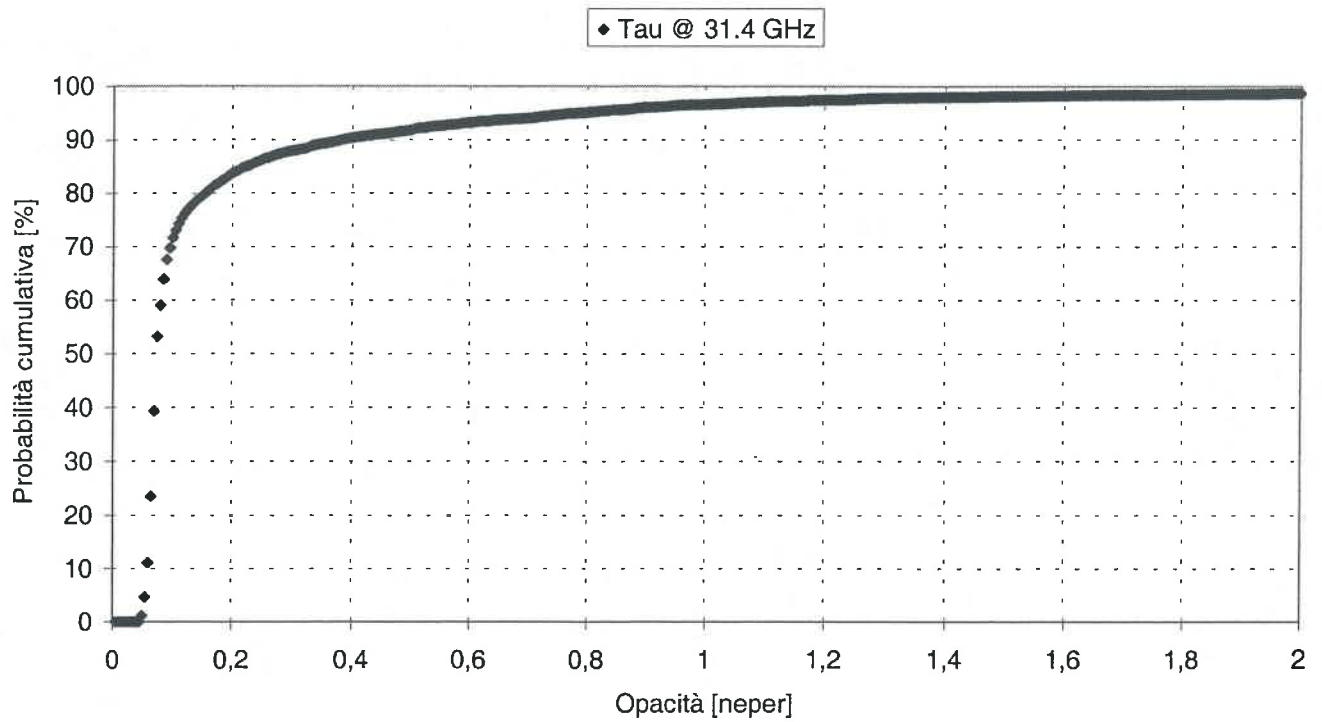
Cagliari, WVR: Ottobre 1999



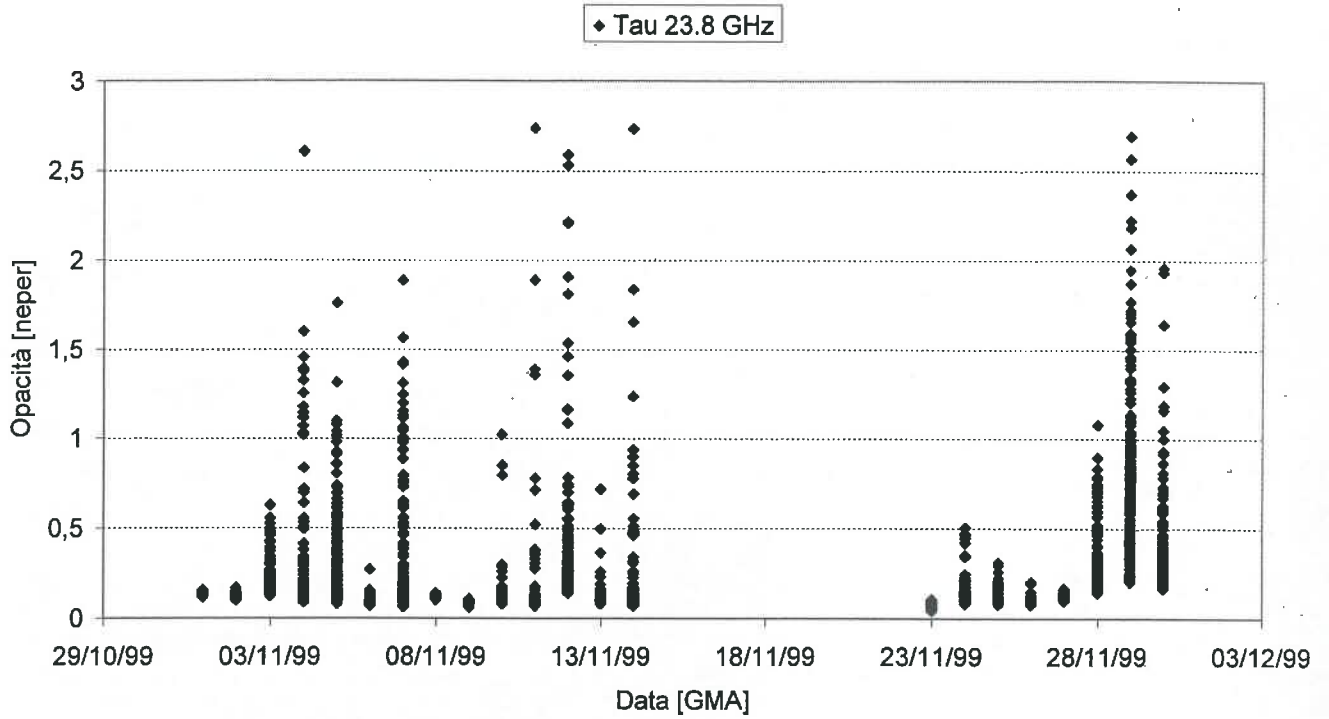
Cagliari, WVR: Novembre 1999



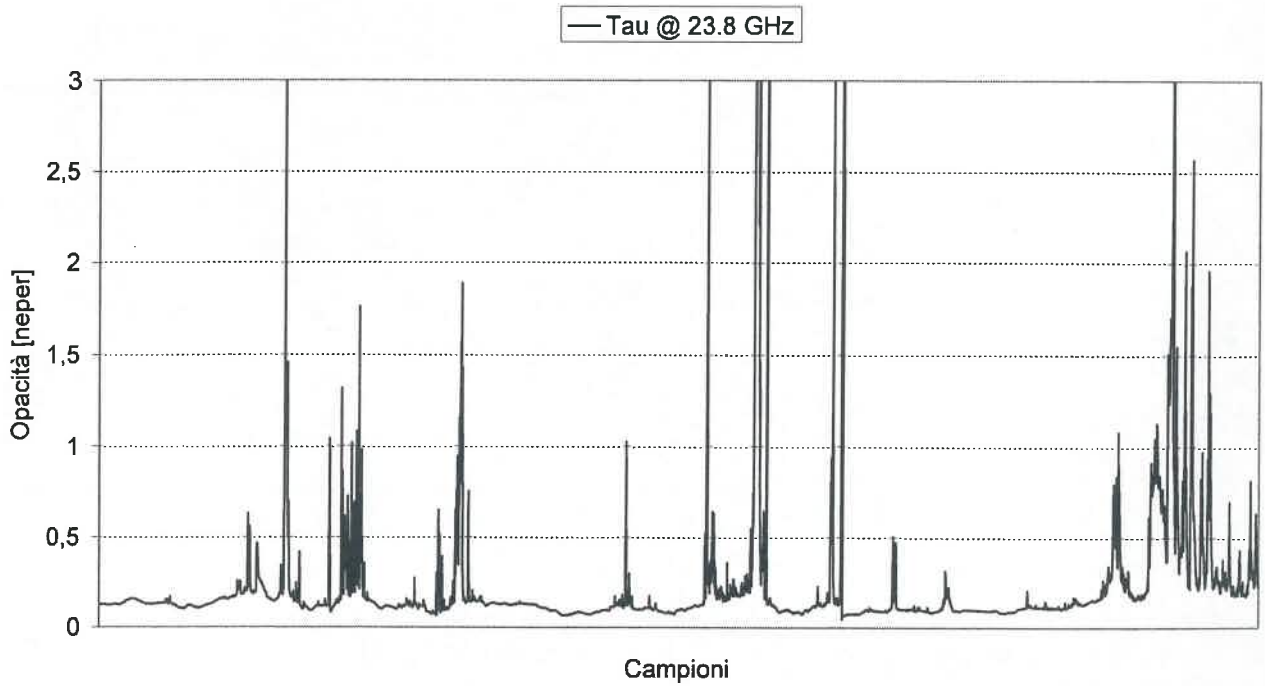
Cagliari, WVR: Novembre 1999



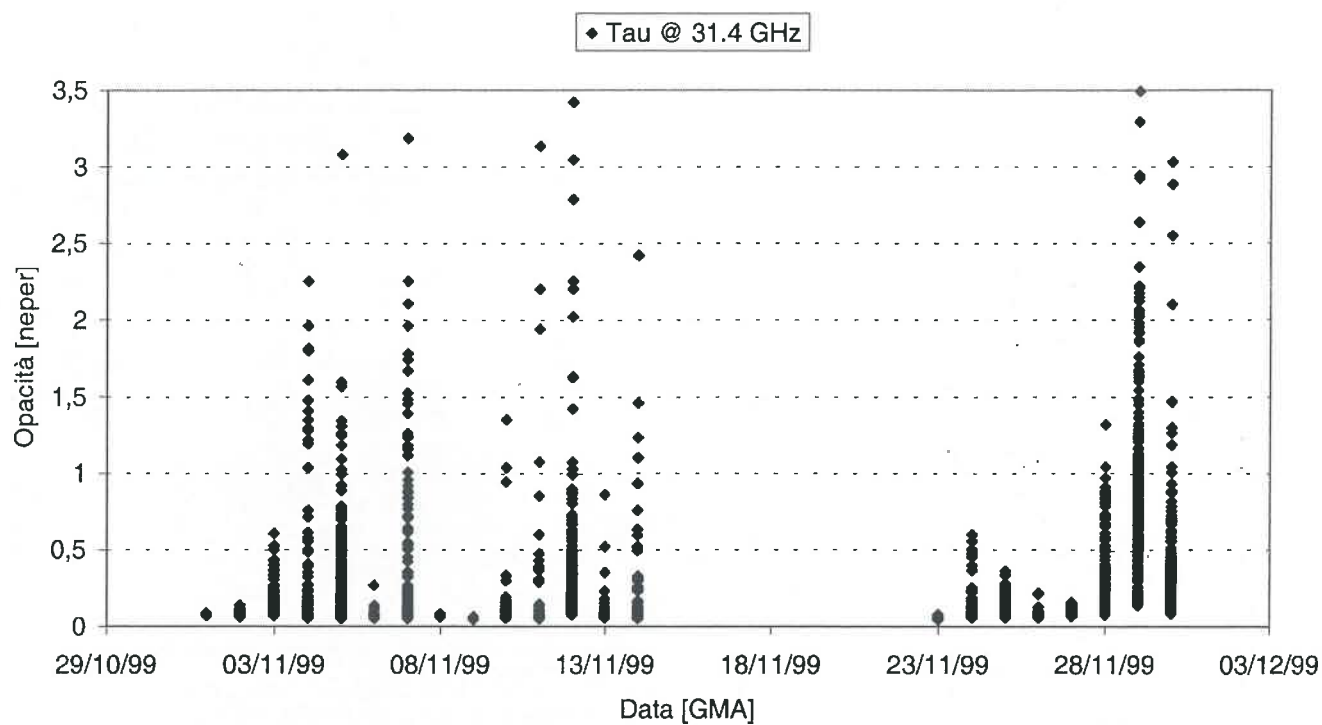
Cagliari, WVR: Novembre 1999



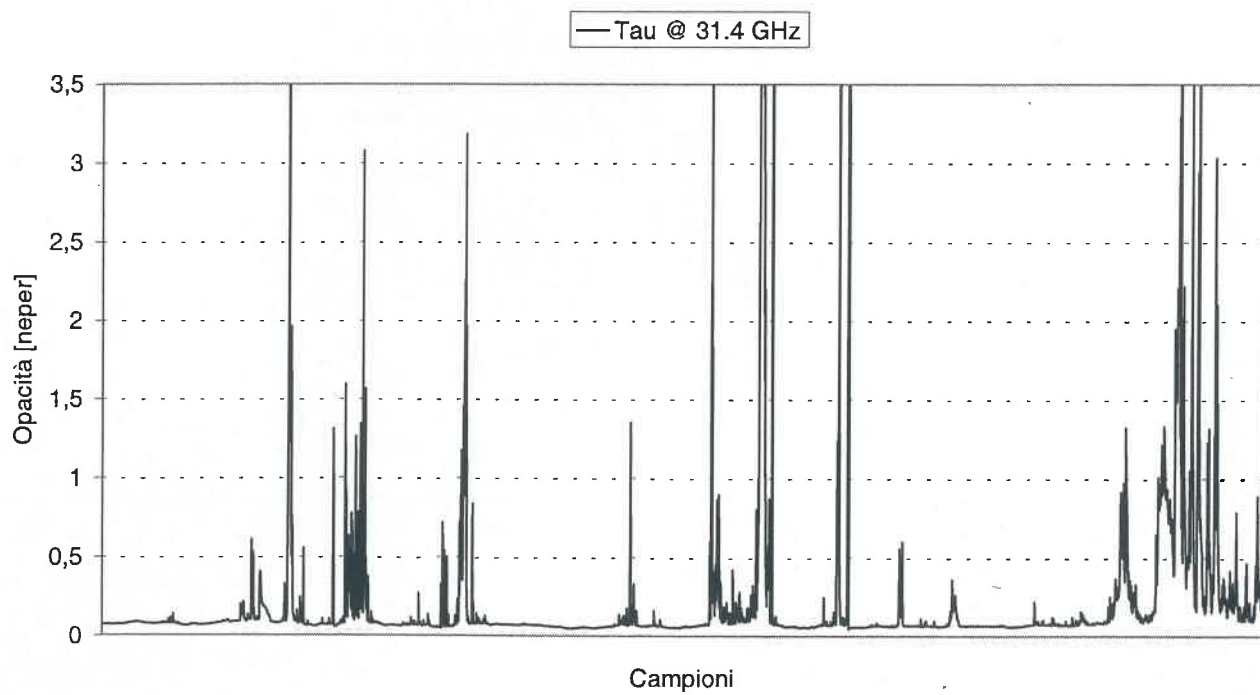
Cagliari, WVR: Novembre 1999



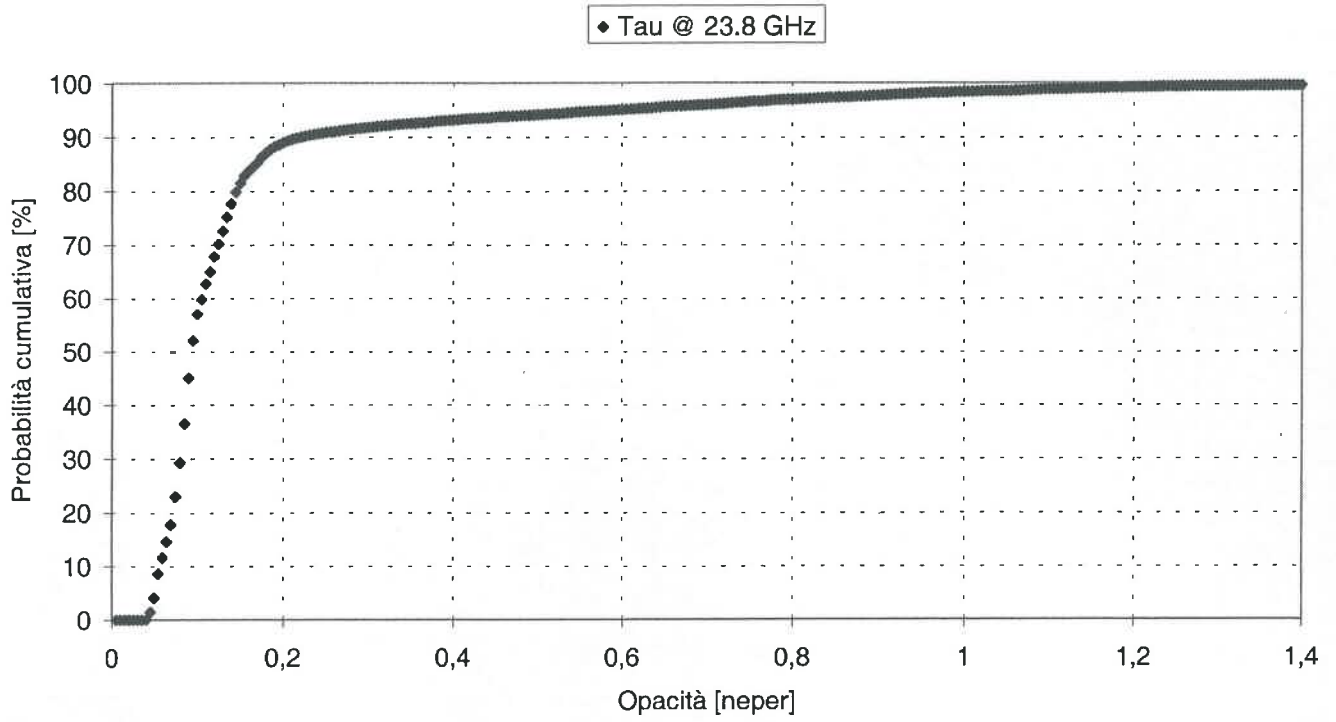
Cagliari, WVR: Novembre 1999



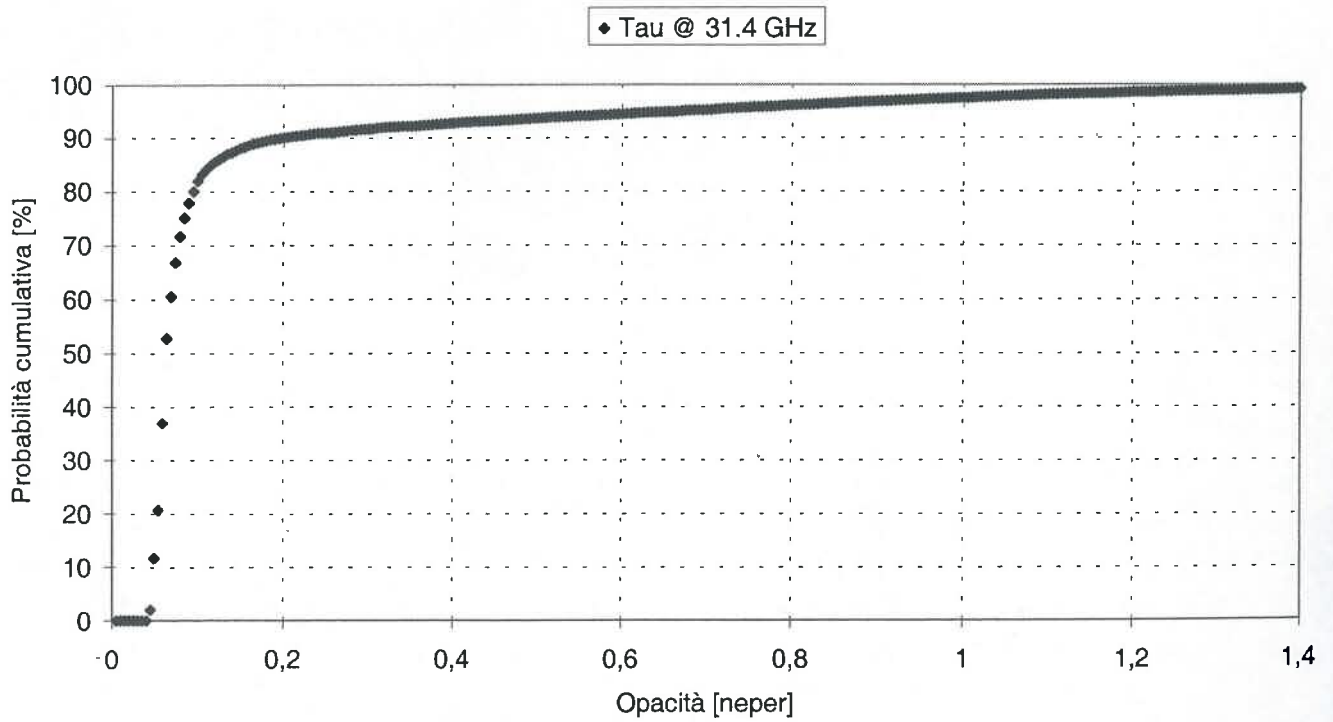
Cagliari, WVR: Novembre 1999



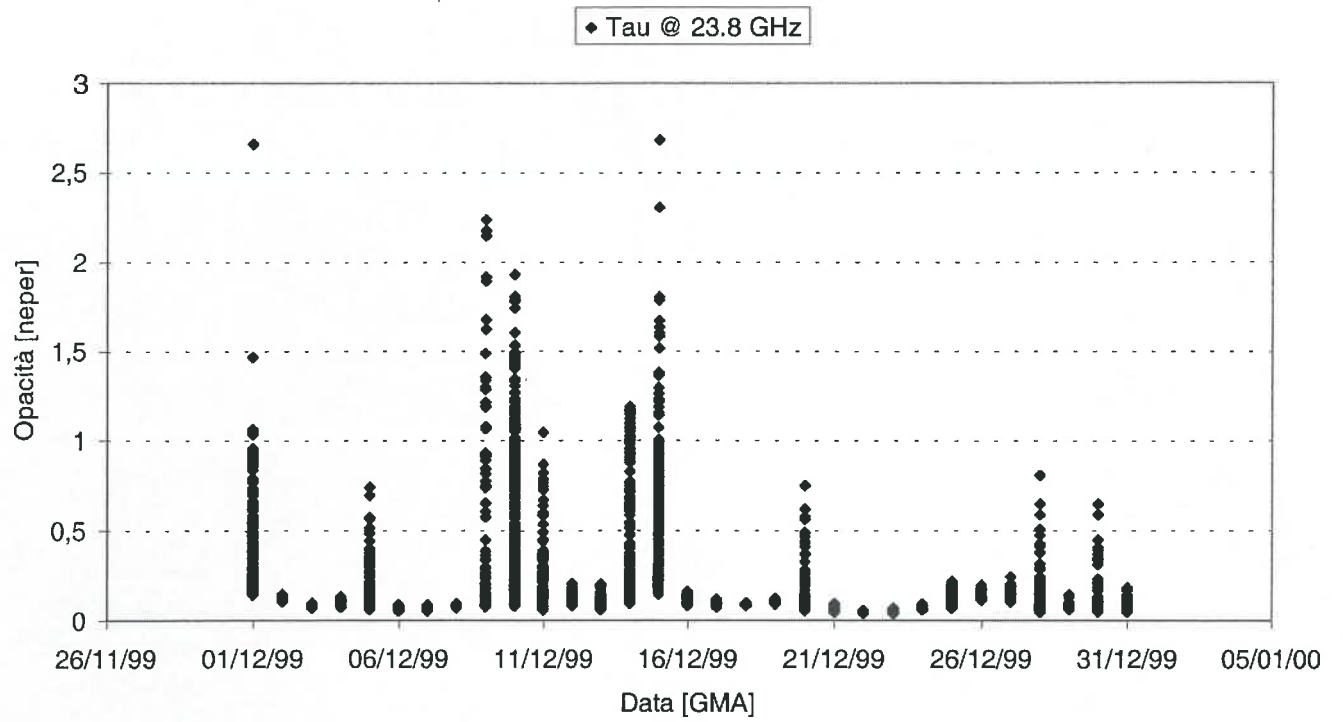
Cagliari, WVR: Dicembre 1999



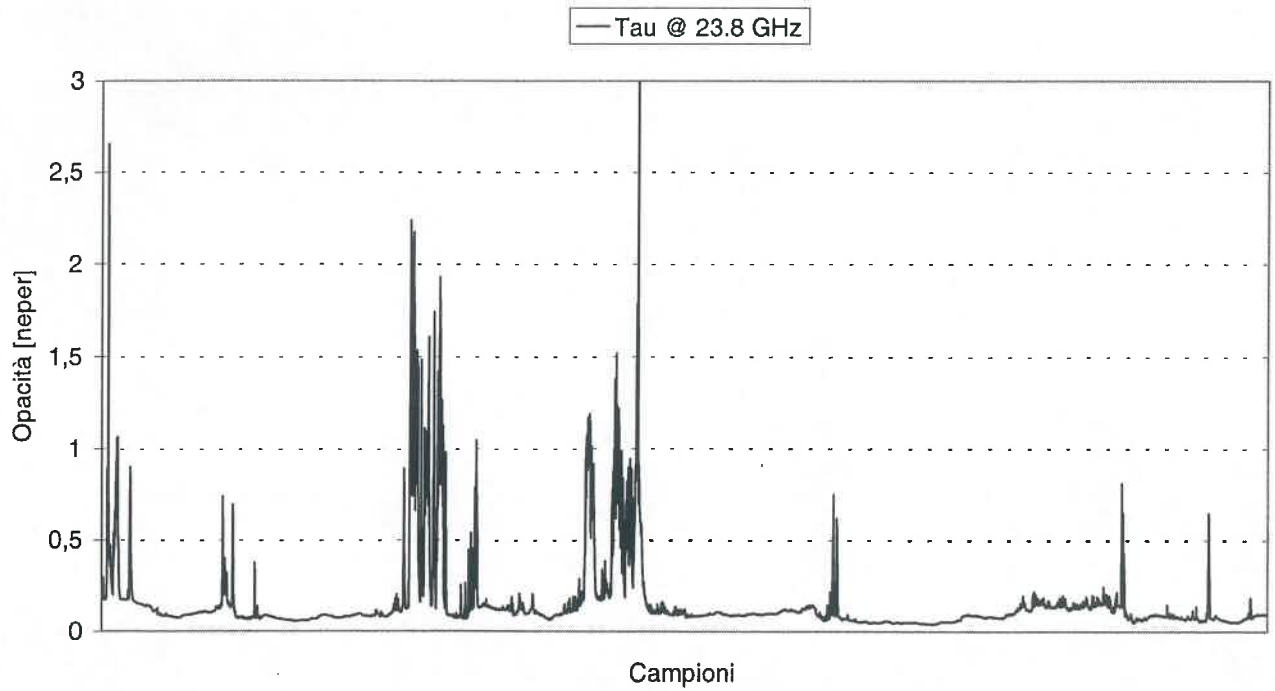
Cagliari, WVR: Dicembre 1999



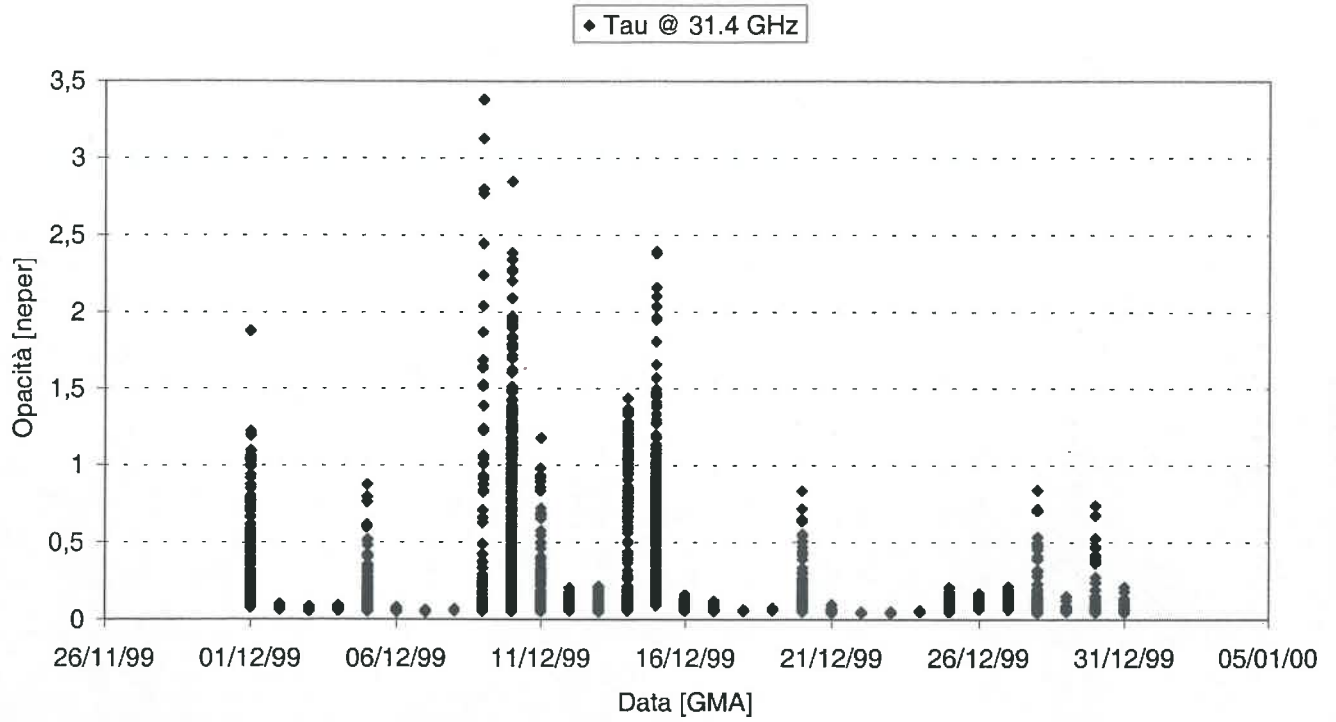
Cagliari, WVR: Dicembre 1999



Cagliari, WVR: Dicembre 1999



Cagliari, WVR: Dicembre 1999



Cagliari, WVR: Dicembre 1999

