

DISTANZE DI COORDINAMENTO: LIMITI POSSIBILI
TRA SERVIZI ATTIVI ED OSSERVATORI
RADIOASTRONOMICI

Lucia Padrielli e Goliardo Tomassetti

Relazione per il Ministero PP.TT.
Rapporto Interno IRA 230/96

RELAZIONE TECNICA
CALCOLO DELLA DISTANZA DI COORDINAMENTO TRA
IL SERVIZIO DI RADIOASTRONOMIA ED EMITTENTI
AUTORIZZABILI IN BANDA 18 CM

1. Premessa

Nel caso in cui il Servizio di Radioastronomia (SRA), che é un Servizio di solo ascolto passivo, debba condividere la stessa banda di frequenze con emittenti come i ponti radio di trasferimento per radiodiffusione, recentemente autorizzati dal Ministero PP.TT., é necessaria la definizione di una **distanza di coordinamento**, relativa ad un prefissato azimut e di un' **area di coordinamento**, non necessariamente circolare, al cui esterno la emittente che condivide la stessa banda non provoca, sull'antenna del radiotelescopio, livelli di segnale interferente superiori ad un valore di riferimento prefissato. La definizione di tali distanze ed aree é citata nelle RR-ITU (Radio-Regulations, International Telecommunications Union).

Il livello di riferimento dipende essenzialmente dai parametri specifici dell'impianto passivo da proteggere: frequenza di operazione, banda passante, costante di integrazione e, genericamente, sensibilità del ricevitore. Le modalità operative di un impianto di Radioastronomia sono note con accuratezza e questo ha permesso di definire e di pubblicare in Rapporti Tecnici Ufficiali i livelli di riferimento in funzione dei parametri citati (vedi per esempio il CCIR 224 e/o ITU-R RA769).

La potenza Effective Isotropic Radiated Power (EIRP) trasmessa dal Servizio attivo e la sua distanza da quello passivo dovranno essere tali per cui il livello di riferimento di cui sopra non venga mai superato.

In accordo con la normativa internazionale, nei calcoli che seguono il guadagno dell'antenna ricevente viene convenzionalmente posto uguale ad uno.

Vengono riportate le Tabelle dei livelli piú significative, tratte dal Rapporto CCIR 224 e viene trattato il caso di osservazioni nelle righe di emissione del radicale OH, presenti nella banda 1660-1670 MHz. Si farà pertanto uso della Tabella II. Nel caso di osservazioni nel continuo o in VLBI, si dovrà utilizzare la Tabella I, sensibilmente piú severa nei confronti di segnali interferenti.

2. Calcolo della distanza di coordinamento

Lo scopo dei calcoli qui presentati é quello di determinare una relazione di uso semplice ed immediato fra la potenza EIRP, che una emittente puó irradiare senza interferire il SRA e la sua distanza dall'impianto radioastronomico. Si ritiene che una soluzione grafica costituisce il mezzo piú adeguato allo scopo.

Riferendoci alla posizione geografica dell'Osservatorio di Medicina, si individuano tre distinte zone orografiche nelle quali sono state ascoltate molte emittenti interferenti tra quelle finora autorizzate dal Ministero PP.TT. tramite i suoi Uffici Circostrizionali Regionali:

- a) - emittenti a portata ottica (sono a portata ottica anche quelle poste sulle Alpi, anche a quote modeste, oltre a quelle installate sull'Appennino Tosco-Umbro-Marchigiano);
- b) - emittenti non a portata ottica ma operanti in Pianura Padana per cui valgono condizioni di propagazione dominate dalla troposfera;
- c) - emittenti apparentemente protette da ostacoli naturali ma con radiazione diffusa da processi diffrattivi in unione probabilmente a riflessioni anche multiple.

Mentre per il caso a) il calcolo della distanza di coordinamento risulta facile e accurato, alcuni problemi insorgono per gli altri due, specie il caso c) come verrà detto.

I risultati dei calcoli sono da considerarsi pertanto indicativi nondimeno sufficientemente accurati per il caso in esame. Una rappresentazione grafica dei meccanismi di propagazione accennati è quella di Fig. 1.

a) portata ottica

Il calcolo che interessa le emittenti a portata ottica con Medicina è riportato come allegato 1 di questa relazione. Si osserva che la potenza EIRP che sarà possibile trasmettere, anche a distanze molto superiori ai 500/600 Km dall'Osservatorio, risulta di frazioni di mW, un valore troppo basso per essere preso in considerazione nella pratica, pertanto si può affermare che:

nessuna emittente a portata ottica con l'osservatorio radioastronomico potrà essere operativa nella banda in esame.

b) troposcatter

Si tratta di un meccanismo attraverso il quale le onde E.M. riescono a propagarsi ben oltre l'orizzonte ottico, ancorché fortemente attenuate. La diffusione della energia trasmessa è causata dalle disomogeneità della troposfera. Il calcolo dei livelli ricevuti in funzione della distanza risulta un po' più complesso rispetto al precedente e meno accurato ed è riportato, unitamente ad grafico applicativo, nell'allegato 2. La potenza trasmessa in un caso reale non potrà presumibilmente essere inferiore a +10 o +20 dBW, per cui, osservando il grafico si evidenzia che: **la distanza di tali installazioni dal radiotelescopio dovrà essere dell'ordine dei 500 km**

c) diffrazione

Segnali interferenti diffratti sono del tutto plausibili nel caso di Medicina, specie verso Sud e Ovest, perché il paraboloide "vede", anche a declinazioni non troppo

basse, un gran numero di cime di montagne appenniniche che potrebbero facilmente, a loro volta, risultare a portata ottica per installazioni toscane o liguri. In Fig. 5 é riportata una situazione classica da libro di testo che prevede le due postazioni in una tratta interrotta da una cima di montagna. Dal calcolo dell'allegato 3 risulta che la efficienza di questo meccanismo di diffusione é abbastanza elevata e che molteplici sono le tratte trans-appenniniche possibili. Si aggiunge anche che risulta praticamente impossibile prevedere e calcolarle a priori anche perché ad esse potrebbero sommarsi altri effetti come una o piú riflessioni di altre montagne. Ciò premesso ci sembra di poter affermare che l'Appennino non costituisce necessariamente una protezione naturale avversa alle interferenze verso Sud od Ovest ma che, anzi, potrà succedere esattamente il contrario. All'Osservatorio di Medicina alcune emittenti autorizzate ed operanti nella bassa Toscana ed in Umbria sono state ascoltate senza difficoltà anche con un comune ricevitore per telecomunicazioni. Come distanza di coordinamento potrà pertanto essere assunta, con approssimazione per difetto, e con molta cautela:
quella ottenta nel caso della propagazione troposcatter precedente

CONCLUSIONE

Malgrado tutte le approssimazioni e semplificazioni fatte nei calcoli precedenti come l'aver considerato solo il caso di osservazioni in riga, l'aver previsto la ricezione di una sola emittente per volta, quando in pratica molte decine risulteranno ricevibili simultaneamente, avendo considerato l'antenna di Medicina come un antenna isotropica:

le distanze di coordinamento necessarie, anche per impianti a modesto EIRP, sono comunque superiori a 400 km

Il risultato é conforme a ciò che é pubblicato in sede internazionale ed é dimostrato dal punto di vista osservativo, in quanto segnali provenienti dal Centro-Italia (Marche ed Umbria) e dal Piemonte sono state ascoltate con facilitá a Medicina. In allegato 4 viene riportata la mappatura degli attuali centri di Radioastronomia, intorno ai quali vanno definite le aree di protezione.

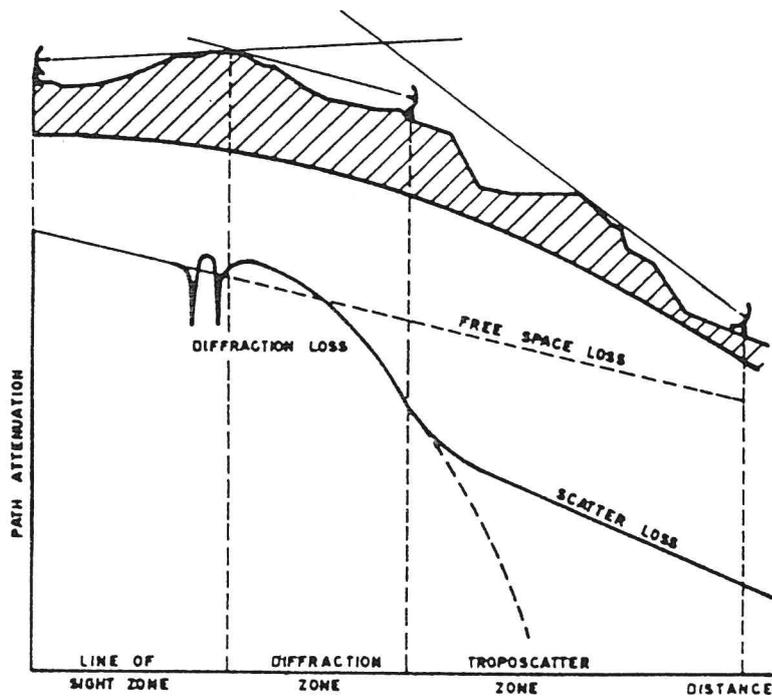
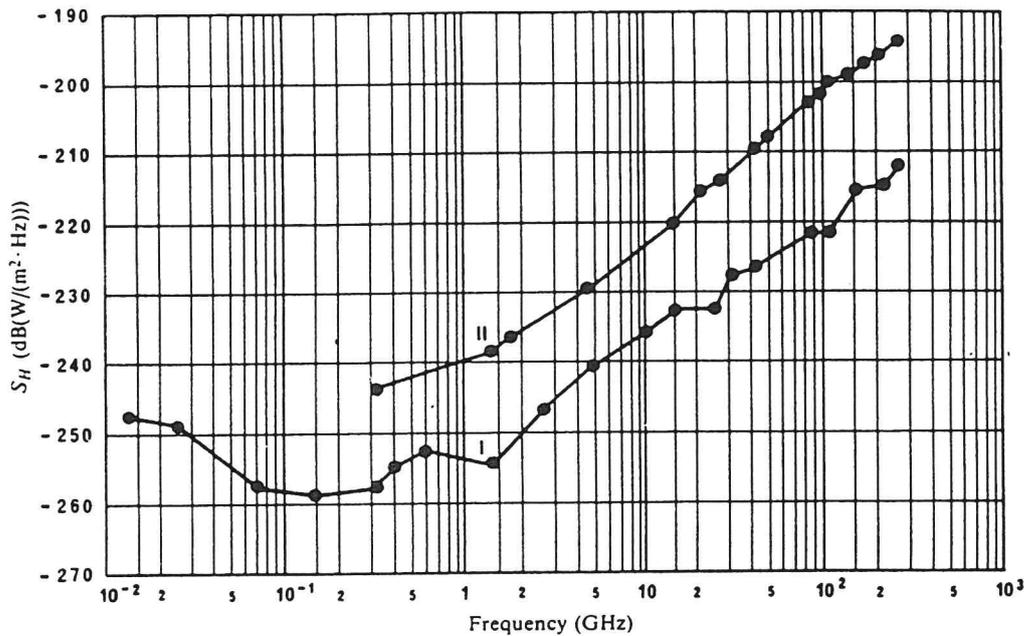


FIG. 1



— Harmful interference limits versus frequency as expressed in Tables I and II for $t = 2000$ s

I: Continuum
 II: Line

The calculated sensitivities and harmful interference levels presented in Tables I and II are based on assumed integration times of 2000 s. Integration times actually used in astronomical observations cover a wide range of values. Continuum observations made with telescopes operating singly (rather than in interferometric arrays) are reasonably well represented by the integration time of 2000 s. It is representative of good quality observations although there are many occasions when this time is exceeded by an order of magnitude. On the other hand 2000 s is less representative of spectral line observations. Improvements in receiver stability and the increased use of correlation spectrometers have resulted in the more frequent use of longer integration times. Spectral line observations lasting several hours are now quite common. A more representative value would be 10 hours with a consequent improvement in sensitivity of 6 dB over that now shown in Table II.

FIG.2

TABLE I – Sensitivities and harmful interference levels for radioastronomy continuum observations with 2000 s integration time

Centre frequency (1) f_c (MHz)	Assumed bandwidth Δf (MHz)	Minimum antenna noise temperature T_A (K)	Receiver noise temperature T_R (K)	System sensitivity (noise fluctuations)		Harmful interference levels		
				Temperature ΔT (mK)	Power spectral density ΔP (dB(W/Hz))	Input power ΔP_H (dBW)	Power flux-density S_H (dB(W/m ²))	Spectral power flux-density S_H (dB(W/cm ² ·Hz))
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
13.385	0.05	60000	100	4250	-222	-185	-201	-248
25.610	0.120	20000	100	917	-229	-188	-199	-249
73.8	1.6	1000	100	14	-247	-195	-196	-258
151.525	2.95	200	100	2.76	-254	-199	-194	-259
325.3	6.6	40	100	0.86	-259	-201	-189	-258
408.05	3.9	25	100	1.00	-259	-203	-189	-255
611	6.0	15	100	0.74	-260	-202	-185	-253
1413.5	27	10	20	0.091	-269	-205	-180	-255
2695	10	10	20	0.15	-267	-207	-177	-247
4995	10	10	20	0.15	-267	-207	-171	-241
10650	100	12	20	0.05	-272	-202	-160	-240
15375	50	15	30	0.10	-269	-202	-156	-233
23800	400	15	50	0.051	-271	-195	-147	-233
31550	500	18	100	0.083	-269	-192	-141	-228
43000	1000	25	100	0.063	-271	-191	-137	-227
89000	6000	30	150	0.037	-273	-185	-125	-222
110500	11000	40	150	0.029	-274	-184	-121	-222
166000	40000	40	150	0.048	-272	-186	-120	-216
224000	140000	40	200	0.032	-274	-182	-114	-215
270000	100000	40	200	0.038	-273	-183	-113	-213

FIG. 3

(1) Calculation of harmful interference levels is based on the centre frequency shown in this column although not all regions have the same allocations.

Note. – If an integration time of 15 minutes, one hour, two hours, five hours or ten hours is used, the relevant values in the Table should be varied by +1.7, -1.3, -2.8, -4.8 or -6.3 dB respectively.

TABLE II — Sensitivities and harmful interference levels for radioastronomy spectral line observations * with 2000 s integration

Frequency f (MHz)	Assumed spectral line channel bandwidth Δf (kHz)	Minimum antenna noise temperature T_A (K)	Receiver noise temperature T_R (K)	System sensitivity (noise fluctuations)		Harmful interference levels		
				Temperature ΔT (mK)	Power spectral density ΔP (dB(W/Hz))	Input power ΔP_H (dBW)	Power flux-density $S_H \Delta f$ (dB(W/m ²))	Spectral power flux-density S_H (dB(W/(m ² ·Hz)))
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
327	10	40	100	22.1	- 245	- 215	- 204	- 244
1420	20	10	20	3.35	- 253	- 220	- 196	- 239
1665	20	10	20	3.35	- 253	- 220	- 194	- 237
4830	50	10	20	2.12	- 255	- 218	- 183	- 230
14500	150	15	30	1.84	- 256	- 214	- 169	- 221
22200	250	40	50	2.85	- 254	- 210	- 162	- 216
23700	250	40	50	2.85	- 254	- 210	- 161	- 215
43000	500	25	100	2.80	- 254	- 207	- 153	- 210
48000	500	30	100	2.91	- 254	- 207	- 152	- 209
88600	1000	30	150	2.85	- 254	- 204	- 144	- 204
98000	1000	40	150	3.00	- 254	- 204	- 143	- 203
115000	1000	50	150	3.16	- 254	- 204	- 141	- 201
140000	1500	40	150	2.45	- 255	- 203	- 139	- 200
178000	1500	40	150	2.45	- 255	- 203	- 136	- 198
220000	2500	40	200	2.40	- 255	- 201	- 133	- 197
265000	2500	40	200	2.40	- 255	- 201	- 131	- 195

* This Table is not intended to give a complete list of spectral-line bands, but only representative examples throughout the spectrum.

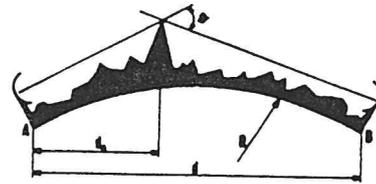
Note. — If an integration time of 15 minutes, one hour, two hours, five hours or ten hours is used, the relevant values in the Table should be changed by + 1.7, - 1.3, - 2.8, - 4.8 or - 6.3 dB, respectively.

FIG. 4

TABLE 4.6 - CALCULATION OF PATH ATTENUATION BY KNIFE EDGE DIFFRACTION

(Method CCIR, Rep. 244-2 par.2.1 and Rep. 427 par 4.1)

Path frequency	f	MHz	450
Path length	d	Km	61
Free space attenuation			
+20 log f		dB	53.1
+20 log d		dB	35.7
+constant		dB	32.4
= L _{bf}	L _{bf}	dB	121.2
Height of antenna A (nearest to obstacle)	h _A	m	20
Height of antenna B	h _B	m	20
Height of obstacle	h _M	m	190
Minimum distance of obstacle (from antenna A)	d _A	Km	5
Earth radius correction factor	K		4/3
Diffraction angle			
· milliradians	θ	mR	41.2
· degrees	θ	()°	2.4
Diffraction attenuation D = 20 log (2.0 θ √d _A /λ)		dB	28.8
Free space attenuation	L _{bf}	dB	121.2
Path median attenuation	L _{bf} +D	dB	150.0
Allowance for bad knife edge		dB	18.0
Fading allowance for 99.9% of time		dB	25.0
Maximum path attenuation		dB	193.0



$$R = (4/3) 6,400 = 8,500 \text{ Km}$$

$$\theta = \frac{d}{R} + \frac{h_M - h_A}{d_A} + \frac{h_M - h_B}{d - d_A}$$

FIG. 5

ALLEGATO 1 PORTATA OTTICA

Calcolo della relazione tra potenza trasmessa e distanza a cui si realizza la condizione di interferenza tollerabile

La finalità del calcolo che segue è quella di permettere di costruire un grafico che metta in relazione diretta la potenza EIRP massima che una emittente può irradiare, con la sua distanza, in chilometri, dal Radiotelescopio.

Il livello massimo di potenza di un segnale interferente tollerabile è noto ed è indicato nella colonna 7 della Tabella II di Fig.4.

Il suo flusso equivalente che, per semplicità, verrà utilizzato in questo calcolo, è indicato nella colonna 8 successiva ed è pari a:

$$-194 \text{ dB } (W/m^2) = 3.98 \cdot 10^{-20} (W/m^2)$$

Essendo il flusso F , per definizione, dato da:

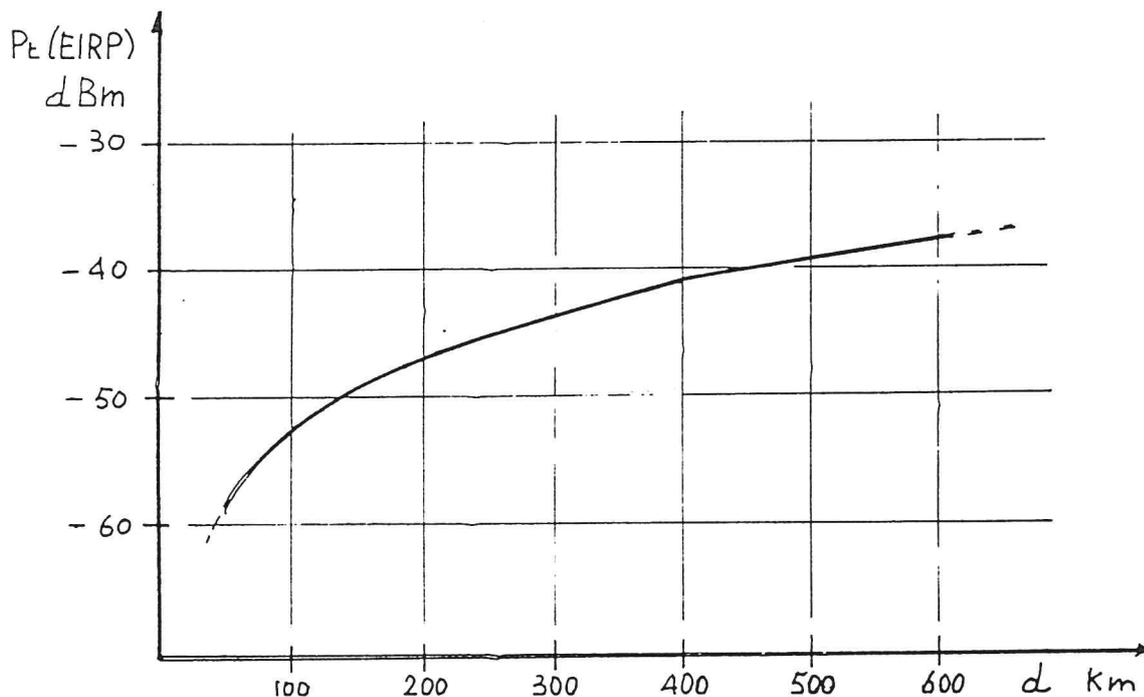
$$F = P_t / (4\pi d^2)$$

ove: P_t = potenza EIRP trasmessa; e d = distanza in metri dall'emettitore.

Si può scrivere che:

$$3.98 \cdot 10^{-20} = P_t / (4\pi d^2)$$

da cui si ricavano P_t o d , l'una grandezza funzione dell'altra come era richiesto. Il grafico relativo è quello indicato qui di seguito. Si osserva che la potenza EIRP che sarà possibile trasmettere, anche a distanze molto superiori ai 300/400 Km dall'Osservatorio, risulta di frazioni di mW EIRP.



ALLEGATO 2 PROPAGAZIONE VIA TROPOSCATTER

Riguarda le emittenti in Pianura Padana ma NON a portata ottica con il Radiotelescopio di Medicina (distanze superiori ai 100 Km)

Nel caso di emittenti poste in Pianura Padana ma non a portata ottica con il Radiotelescopio di Medicina, si configura una relazione complessa tra flusso ricevuto-potenza trasmessa e quindi distanza di coordinamento.

Come accennato, i dati ricavati tramite formule che in questa circostanza sono in parte empiriche e fortemente dipendenti da una troposfera molto variabile, non potranno prevedere con accuratezza la situazione misurabile. Ne consegue che dovranno essere consentiti ampi margini di sicurezza in modo che, in ogni caso, non vengano superati, se non per brevissimi periodi, i flussi "harmfull" della Tabella II.

Una relazione matematica che approssima abbastanza bene la soluzione del problema e quella di Yeh usata nel testo di G. Roda *Tropospheric Scatter Radio Relay Links*, adottata in questa circostanza.

La relazione di Yeh calcola la *attenuazione della tratta radio* considerando la somma di tre termini:

- L1 - attenuazione tipo spazio libero
- L2 - attenuazione per troposcatter
- L3 - correzione per la refrattività al suolo

In termini concreti si ha:

$$L1 = 20(\log d) + 20(\log f) + 32.5 \quad \text{ma essendo } f \text{ nota si ha:}$$

$$L1 = 20(\log d) + 96.9 \text{ (dB)}$$

$$L2 = 10(\theta^\circ - 1) + 10(\log f/400) + 57 \quad \text{ma essendo } f \text{ nota si ha:}$$

$$L2 = 10(\theta^\circ - 1) + 63.2 \text{ (dB)}$$

$$L3 = -0.2(N_s - 310) = -2 \text{ dB}$$

Ove:

f = frequenza in MHz

d = distanza in Km

θ° = angolo di scatter (d/R) 57.3 (gradi)

R = raggio *radio* della Terra = 8500 Km

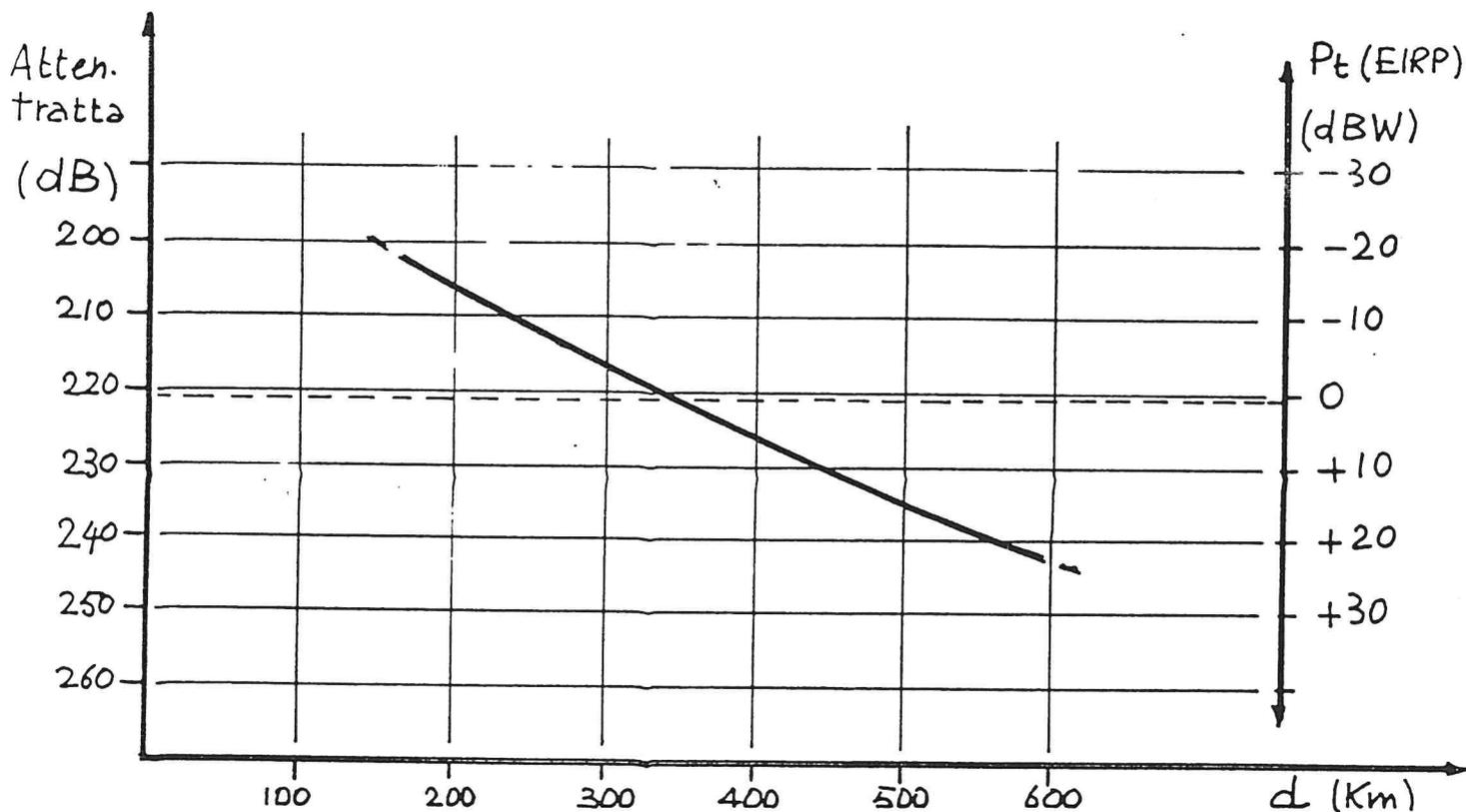
N_s = valore medio della refrattività al suolo = 320

Applicando le formule precedenti su distanze prefissate, é possibile costruire per punti il grafico sottostante che mette in relazione la lunghezza della tratta radio con la sua attenuazione mentre su una scala laterale é possibile leggere la potenza EIRP massima consentita all'emittente.

Per chiarirne l'uso si fanno alcuni esempi:

- 1) a 200 Km di distanza l'attenuazione calcolata vale 207 dB. La potenza del segnale interferente, letta nella Tabella II, colonna 7, vale -220 dBW. La differenza tra i due valori é letta sulla destra del grafico e vale:
 $-220 \text{ (dBW)} + 207 \text{ (dB)} = -13 \text{ (dBW)} = \text{potenza massima usabile};$
- 2) a 400 Km di distanza si hanno 230 dB da detrarre a -220 dBW per cui:
 $-220 \text{ (dBW)} + 230 \text{ (dB)} = +10 \text{ (dBW)} = \text{potenza massima usabile};$

Un comune impianto trasmettente che usi una potenza di 1 Watt ed una antenna di 20 dB di guadagno (EIRP = 20 (dBW)), non potrà operare a meno di 550 Km di distanza dal Radiotelescopio.



ALLEGATO 3 PROPAGAZIONE PER DIFFRAZIONE

Riguarda le emittenti trans-appenniniche o comunque poste in siti ritenuti protetti da ostacoli naturali.

Alla attenuazione di spazio libero viene sommata quella dipendente da diffrazione di spigolo di una cima di una montagna o di un profilo montagnoso calcolabile con la relazione suggerita nel Rapporto CCIR 244-2.

La situazione orografica assunta come possibile nel caso in esame é schematizzata nello schizzo sottostante.

Alla estremitá A é posta la stazione radioastronomica di Medicina con il vertice del paraboloide posto a 25 metri dal suolo ($h_A = 25\text{m}$). Alla estremitá B opera una emittente trans-appenninica posta a quota 200 metri ($h_B = 200\text{m}$). La distanza A-B (d) sia 200 Km. E' interposta la montagna M, a quota 1500 metri ($h_M = 1500\text{m}$), che dista 50 Km da Medicina ($d_1 = 50\text{ Km}$).

Per calcolare l'attenuazione D di diffrazione applichiamo la formula citata sopra:

$$D = 20 \log(2\pi\theta(d_1/\lambda)^{1/2})$$

dove:

$$\theta = d/R + ((h_M - h_A)/d_1) + ((h_M - h_B)/(d - d_1)) \text{ radianti}$$

$$d = \text{Km}$$

$$h_A, h_B, h_M, d_1 = \text{metri}$$

$$f = \text{MHz}$$

$$\lambda = \text{metri}$$

Si calcola prima la attenuazione di tratta come se le postazioni fossero a portata ottica; a questo valore va aggiunta la perdita D per diffrazione ed un coefficiente empirico che tenga conto della *bontá* dello spigolo riflettente (mediamente dai 15 ai 20 dB).

Attenuazione spazio libero:

$$20(\log f) + 20(\log d) + 32.4 = 64.4 + 46.0 + 32.4 = 121.2 \text{ dB}$$

Calcolo di θ

$$\theta = 200/8500 + 1475/50000 + 1300/150000 = 0.0617 \text{ radianti}$$

Calcolo di D

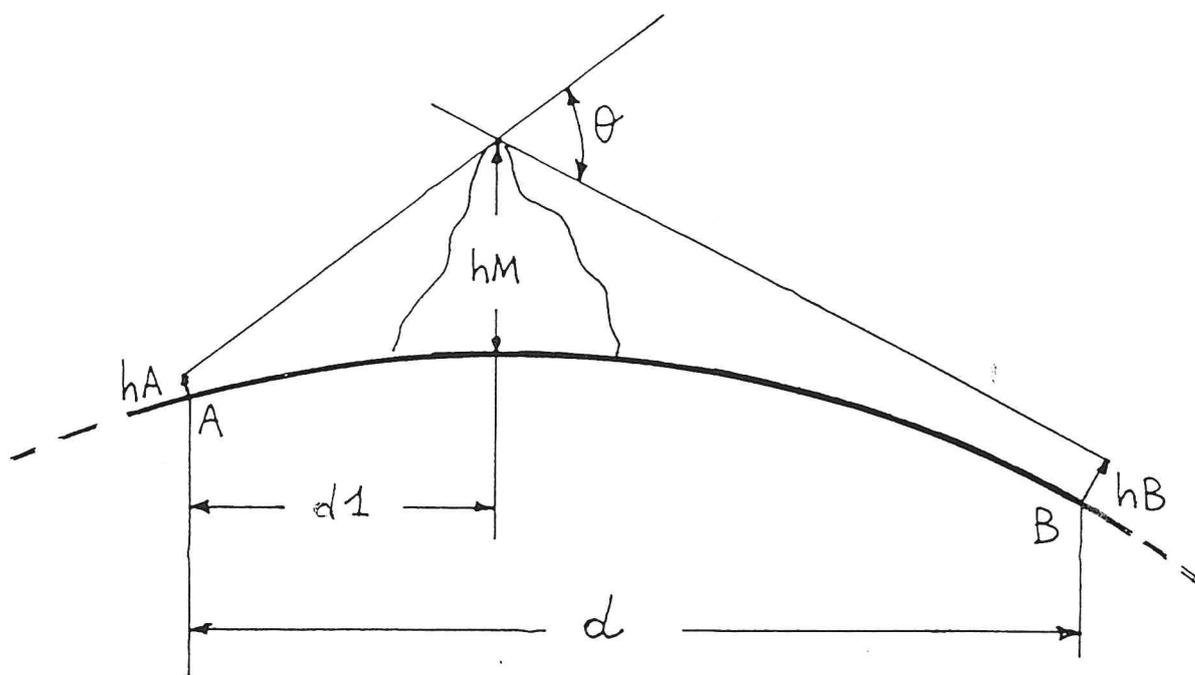
$$D = 20(\log(0.387 * 527.05)) = 46.2 \text{ dB}$$

$$\text{Attenuazione complessiva} = 121.1 + 46.2 = 167.3 \text{ dB}$$

$$\text{Qualitá dello spigolo riflettente} = 20.0 \text{ dB}$$

$$\text{Attenuazione totale} = 187.3 \text{ dB}$$

Questa attenuazione, relativamente modesta se confrontata a parità di distanza con quella dovuta al troposcatter, dimostra che gli Appennini NON costituiscono una schermatura naturale efficace in tutti i casi. Al contrario, non é escluso che spesso possano peggiorare la situazione dal punto di vista della protezione da segnali interferenti.



ALLEGATO 4

MAPPATURA DEGLI OSSERVATORI ITALIANI

Osservatorio di Medicina

L'Osservatorio di Medicina é posto a circa 25 Km a Est di Bologna. Le sue coordinate geografiche sono:

LAT. : 44° 31' 14" *N* *LONG.* : 11° 38' 43" *E*

La quota media dell'impianto é circa 10 m *slm*. Le colline del preappennino Tosco-Emiliano si estendono da Sud-Est fino ad Ovest-Nord-Ovest e distano circa 10 Km nel punto piú vicino. Il restante orizzonte é costituito dalla Pianura Padana. Il Mare Adriatico dista circa 60 Km. E' fondamentale la constatazione che l'impianto é a portata ottica con la catena delle Alpi (il Pasubio ed il M. Grappa distano circa 150 Km) e con le cime dell'Appennino centro-settentrionale.

Osservatorio di Noto

L'Osservatorio di Noto posto 30Km a Sud di Siracusa, ha le seguenti coordinate geografiche:

LAT : 36° 31' 48" *N* *LONG.* : 15° 03' 00" *E*

La quota dell'impianto é di circa 85 m *slm*. L'impianto é posto in una conca che lo radio-protegge in qualche modo da Nord-Ovest. Nelle restanti direzioni il Radiotelescopio risulta essenzialmente esposto verso il Mare Jonio ed il Canale di Sicilia.

Osservatorio di Matera

L'impianto di Matera é posto ad una decina di Km dalla città su un altopiano con quota 500 m *slm* circa, in posizione molto aperta ad ampio orizzonte. Le coordinate geografiche sono le seguenti:

LAT : 40° 38' 54" *N* *LONG.* : 16° 42' 16" *E*

A Sud-Est e Nord-Est sono visibili il mare Jonio e Adriatico rispettivamente. Esiste portata ottica con la zona del M. Pollino fino alla Sila; ad Ovest l'orizzonte é limitato dall'Appennino Lucano.

Osservatorio di Basovizza

Il Radio-Osservatorio di Trieste é localizzato a Basovizza sull'altopiano carsico a quota 403 m *slm*. Le sue coordinate geografiche sono:

LAT : 45° 38' 37" *N* *LONG.* : 13° 52' 34" *E*

L'orizzonte ottico é limitato a Nord e Nord-Est dalle Alpi e dal Carso. Non si hanno ostacoli verso l'Adriatico e la pianura Padana da Sud-Est ad Ovest.

Osservatorio in Sardegna

E' allo studio la costruzione di un grande Radiotelescopio con antenna di diametro superiore ai 60 m da installare in Sardegna. Non sono ancora disponibili dati tecnici per una sua esatta collocazione sul territorio.