

Aspetti radioelettrici del collegamento troposferico VHF e UHF

calcolo semplificato della portata

p.i. Luigi Felizzi

INTRODUZIONE ALL'ARGOMENTO

Le comunicazioni radioelettriche avvengono fondamentalmente con onde che si propagano e raggiungono il ricevitore secondo tre maniere diverse: radendo la superficie terrestre e sfruttandola in una certa maniera come supporto; spaziando liberamente per via diretta (eventualmente con fenomeni vari di deviazione) nei bassi strati dell'atmosfera noti come troposfera; sfruttando la rifrazione e la riflessione da parte degli alti strati dell'atmosfera noti come ionosfera.

Dunque onde di superficie, onde troposferiche e onde ionosferiche.

Si noti inoltre, per inciso, che il collegamento può avvenire anche con il concorso di più di una componente del tipo indicato.

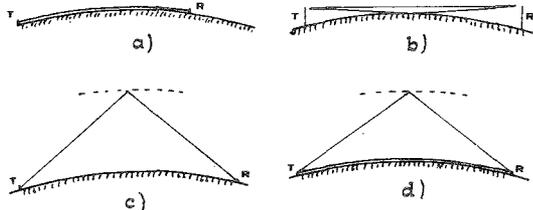


figura 1

Collegamento tra trasmettitore « T » e ricevitore « R » per:

- onda di superficie;
- onda troposferica, diretta e riflessa dal terreno;
- onda ionosferica, riflessa a 80÷400 km circa di quota;
- onda di superficie e onda ionosferica concorrenti nello stesso collegamento.

Per ciò che riguarda il progetto di un radiocollegamento, o per la valutazione di un sistema già esistente, è possibile oggi operare in termini di buona attendibilità. E' bene tuttavia dire subito che le implicazioni qualitative dei vari fenomeni e le relative determinazioni quantitative, legate queste al calcolo matematico, sono non facili e non poco laboriose; richiedono disponibilità di mezzi, di infrastrutture, di notizie e di esperienze non indifferenti. Inoltre i tre diversi modi sopra indicati comportano diverse procedure di calcolo. Noi, in questa sede, ci occuperemo solamente delle onde troposferiche che sono quelle prevalentemente sfruttate per le VHF e UHF.

Nel settore professionale il campo è decisamente da specialisti, i quali — per giunta — operano con notevole spiegamento di mezzi.

In termini amatoriali e semiprofessionali, quali l'attività radiantistica e l'attività delle radio-TV libere, e ancora a livelli professionali intermedi, quali il collegamento tra punti fissi e la piccola rete in ponte radio, la questione viene solitamente affrontata dal tecnico generico piuttosto che da un'équipe di specialisti. Si badi bene che « tecnico generico » non è assolutamente un termine dispregiativo. Semmai il contrario. Si tratta evidentemente di una persona pluriversata; in grado di compiere, anche da solo, un lavoro radio dall'« A » alla « Z »; spesso con scarsità di mezzi; talvolta con risvolti interdisciplinari notevoli: radiofrequenza, bassa frequenza, telecomando, sistemistica varia, ecc. E ciò non è certamente poco. Realisticamente, però, tale persona, appunto nella propagazione radioelettrica, può non avere la stessa disinvoltura e la stessa esperienza di chi — per professione — studia e tratta particolarmente la materia, da anni, magari con l'accesso a strumentazioni da favola.

Questa specialità infatti comporta, necessariamente, la manipolazione accorta di profondi fattori concettuali e l'agile manovra di delicate formule matematiche dove talvolta la semplice scelta delle unità di misura induce spietatamente in inganno.

Accade quindi che, in definitiva, nella pratica ordinaria ci si basa sul ricordo di esperienze proprie o altrui; su analogie varie; sul « sentito dire » o, peggio, si va a « lume di naso ». Evidentemente il rischio di delusioni, di tentativi irragionevoli, di spese sproporzionate o, contemporaneamente, di più o meno tutto questo messo insieme, è elevato e fin troppo reale.

Che cosa occorre per ridurre questi rischi? Tre cose:

- 1) individuazione a priori di un ragionevole margine di possibilità radioelettrica del collegamento su tratta fisicamente e topograficamente nota e definita;
- 2) individuazione dei mezzi e dei parametri necessari per il sistema quali potenza TX, sensibilità RX per il desiderato rapporto segnale/disturbo, guadagno delle antenne, attenuazione dei cavi e dei filtri, ecc.;
- 3) valutazione tecnico-economica, ragionevolmente attendibile, della sicurezza operativa e dei relativi margini di affidabilità, anche in rapporto agli affievolimenti (fading) e ad altri fattori di turbativa.

Questo lavoro, come premesso, riguarda solamente quella propagazione troposferica che ora è andata tanto di moda con le patenti radiantistiche minori, con le radio e TV libere, con i ponti radio. Riguarda solamente radiocollegamenti che, per questo lavoro, solo eccezionalmente possono giungere a 360 km ma che, nella pratica ordinaria, sono più generalmente dell'ordine dei $40 \div 120$ km. Prende in considerazione solo le bande VHF e UHF che, legalmente, insieme, coprono da 30 a 3.000 MHz. Come si vede, i limiti al lavoro ci sono anche se sono piuttosto ampi.

Quanto seguirà comunque dovrebbe essere significativo e utile perché si prefigge, entro appunto i suddetti limiti, di fornire « quantitativamente » grandezze e metodi di progetto e di verifica del radiocollegamento, applicabili con relativa facilità, in termini di ragionevole attendibilità, notevolmente rapidi, efficacemente comparativi, senza alcuna difficoltà matematica.

Come già accennato, offre la possibilità di calcolare la tensione utile all'ingresso del ricevitore partendo dalla potenza del trasmettitore e dai rimanenti parametri radioelettrici e topografici. Fornisce, tra l'altro, la possibilità di individuare i punti deboli del sistema, suggerendo e quantizzando i rimedi (se ve ne sono).

Il procedimento ha carattere praticamente piuttosto generale e completo. Viene impostato in maniera standard, marcatamente razionalizzata e sintetizzata. Non permette dimenticanze. Se, inoltre, si desidera trascurare qualcosa, si ha l'idea dell'ordine di grandezza dell'imprecisione introdotta.

In particolare viene eliminata l'esecuzione di tutti i calcoli (!) fatta eccezione solamente per qualcuna delle quattro operazioni elementari. Questo si ottiene mediante l'uso di numerosi grafici originali, operativi e di ampie dimensioni, appositamente elaborati, che forniscono i dati da inserire in un apposito MODULO DI TABULAZIONE (figura 7), panoramico, idoneo a fornire risultati conclusivi, a far risaltare i correttivi da applicare, i margini di sicurezza disponibili e, eventualmente, a fornire rapidi paragoni tra più soluzioni diverse, in rapporto alle prestazioni ed alla valutazione orientativa dei costi. Detto modulo costituisce una delle peculiarità di questa trattazione.

Prima di passare a « vie di fatto » è necessario dire che il lavoro è leggermente forzato inferiormente per servire anche alla banda « CB ». Per queste frequenze, fino a una cinquantina di megahertz, bisogna però sempre verificare con attenzione che le antenne siano possibilmente a un paio di lunghezze d'onda (minimo una) da piani riflettenti onde non deformare eccessivamente il diagramma di radiazione del-

l'antenna. L'accorgimento è molto meno condizionante per la ground-plane. Si noti che è un piano riflettente anche una terrazza di cemento armato. Al di sopra delle frequenze indicate la condizione, ovviamente sempre necessaria, è in pratica più facilmente realizzabile.

E' bene precisare inoltre che la procedura riguarda principalmente i collegamenti tra punti fissi ma può essere facilmente estesa anche ai collegamenti mobili esaminando in più volte le varie aree di servizio. E' adatta per ponti radio anche con ripetitori intermedi; per la valutazione delle aree di servizio dei ponti radio anatoriali; per la valutazione delle aree di servizio delle radio e TV libere; per i collegamenti a lunga tratta di ragionevoli condizioni di visibilità radioelettrica.

ELEMENTI FONDAMENTALI DEL RADIocolLEGAMENTO

- **Quadripolo radioelettrico fittizio**
- **Relazione tra potenza trasmessa e tensione ricevuta**

Il primo ragionamento istintivo verso cui tende chi pensa a un radiocollegamento è vecchio quanto la radio: trasmettitore potente (P_T elevata); ricevitore sensibile ai ridotti valori della tensione di ingresso « V_i » (magari dimenticando il rapporto « segnale/disturbo »).

In realtà vi è da considerare che:

- P_T = potenza a radiofrequenza trasmessa; trova i suoi limiti nei costi di apparato, nei consumi, negli ingombri, nelle interferenze prodotte, nelle complicazioni circuitali, nella normativa (più o meno presente, sicuramente futura);
- V_i = tensione a radiofrequenza ricevuta; trova i suoi limiti pratici intorno a qualche microvolt o centinaio di microvolt a seconda del tipo di segnale ricevuto (CW, fonìa, TV); maggiori sensibilità (eventualmente espresse in termini di « cifra di rumore ») sono appannaggio di apparecchiature piuttosto spinte tali quindi da uscire alquanto da questo contesto; inoltre elevate sensibilità facilmente dichiarate (senza precisazioni accessorie) devono essere guardate con circospezione! Se veritiere hanno sempre costi relativamente elevati.

A questo punto vediamo realisticamente tutto quanto occorre per un radiocollegamento e descriviamone sinteticamente le singole componenti. Conviene perciò riferirsi senza indugio alla figura 2.

La rivista per l'ingegnere, per il tecnico, per l'universitario, che anche il principiante legge senza timore perché vi trova spunti e temi facili, oltre a motivi per diventare un esperto.

cq elettronica

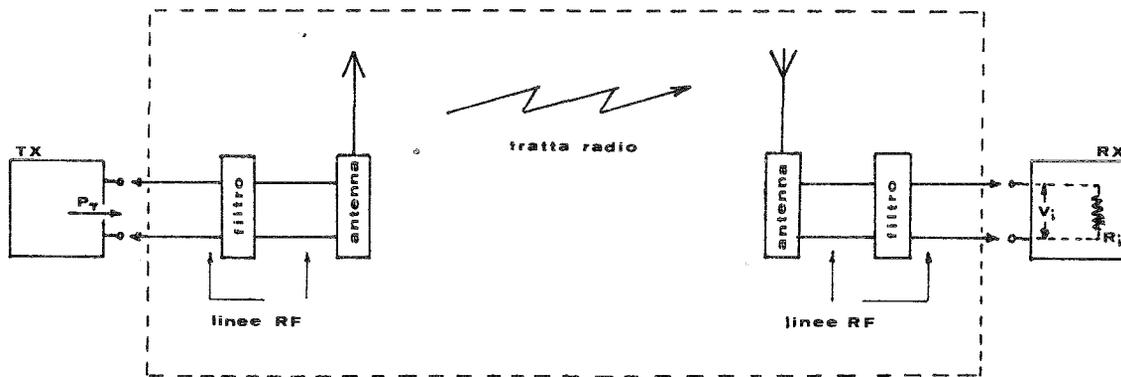


figura 2

Elementi fondamentali di un collegamento radioelettrico.

- TX - trasmettitore radio;
- Filtro - passa banda / arresta banda / separatore RX-TX su stessa antenna / passa-basso / passa-alto;
- Linee RF - collegamenti apparato-antenna (cavo coax, piattina bifilare, guida d'onda, ecc.);
- Antenna - struttura irradiante o di captazione;
- RX - ricevitore radio;
- Tratta radio - spazio che separa l'antenna TX da quella RX; sede della quasi totalità dell'attenuazione, principale argomento di questo lavoro;
- P_T - potenza RF al connettore di uscita del TX;
- V_i - tensione segnale utile al connettore RX;
- R_i - impedenza ingresso RX.

Ebbene, siccome a noi interessa partire dal valore della potenza P_T consegnata dal connettore di uscita del TX alla relativa linea RF (solitamente cavo coax) per giungere a determinare il valore della tensione utile ricevuta V_i , che si manifesta al connettore di ingresso dell'RX, attraverso le varie vicende della propagazione, è conveniente semplificare subito la figura 2 nella più sintetica figura 3.

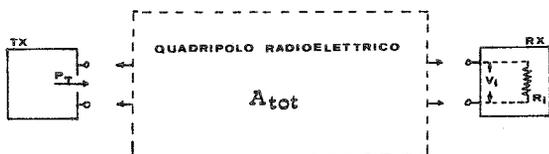


figura 3

La parte tratteggiata sostituisce quella tratteggiata della figura 2. Rappresentazione fittizia molto utile per localizzare, circoscrivere e affrontare i vari problemi del collegamento radio.

Questa semplificazione ci consente di mettere subito in relazione tra di loro

$$P_T \quad V_i \quad A_{tot}$$

Con la notazione A_{tot} si esprime, in definitiva, « l'attenuazione totale » che subisce il segnale di uscita del TX dopo tutte le vicende attraversate per trasferirsi dalla detta uscita all'ingresso del RX (com-

presi i transiti in linea, filtri, antenna, tratta radio, antenna, filtri, linea).

Questo concetto, così formulato, è particolarmente importante. Prima di imparare a calcolare (cosa che faremo) l'attenuazione totale A_{tot} da attribuire al quadripolo fittizio, vediamo « graficamente » i legami che sussistono tra le tre grandezze usando unità di misura pratiche e secondo le grandezze che nella pratica consueta ricorrono.

Intanto diciamo, in termini orientativi, che gli ordini di grandezza di A_{tot} sono $70 \div 150$ dB. E subito dopo facciamo una raccomandazione: nessuno deve bloccarsi di fronte a questi decibel. Sono del tutto innocui! Diciamo che possono essere serenamente maneggiati malgrado eventuali precedenti dissapori con i signori Briggs e Napier e con i loro logaritmi. E poi, sinceramente, sapremmo dire a tamburo battente cosa significano « volt », « ampere », « watt », « ohm », « henry » e « farad » per non parlare di « joule », « coulomb », « weber », « siemens » che pure troviamo e pronunciamo spesso?! Prendiamo quindi questi decibel con fiducia e un pizzico di affetto come prendiamo i consueti, cari e vecchi volt, microhenry e picofarad.

I grafici di cui alle figure 4, 5, 6, estremamente importanti, mostrano con immediatezza come, nota A_{tot} in dB e la potenza P_T (potenza TX in watt), si possa risalire alla V_i (tensione ingresso ricevitore in μV o mV).

Inversamente si potrebbe vedere come, con una data potenza P_T , volendo avere una certa tensione V_i , non si debba superare la tale attenuazione A_{tot} nelle varie vicende della propagazione nel suo complesso (deve intendersi propagazione anche il trasferimento che avviene nei cavi coax, ecc.).

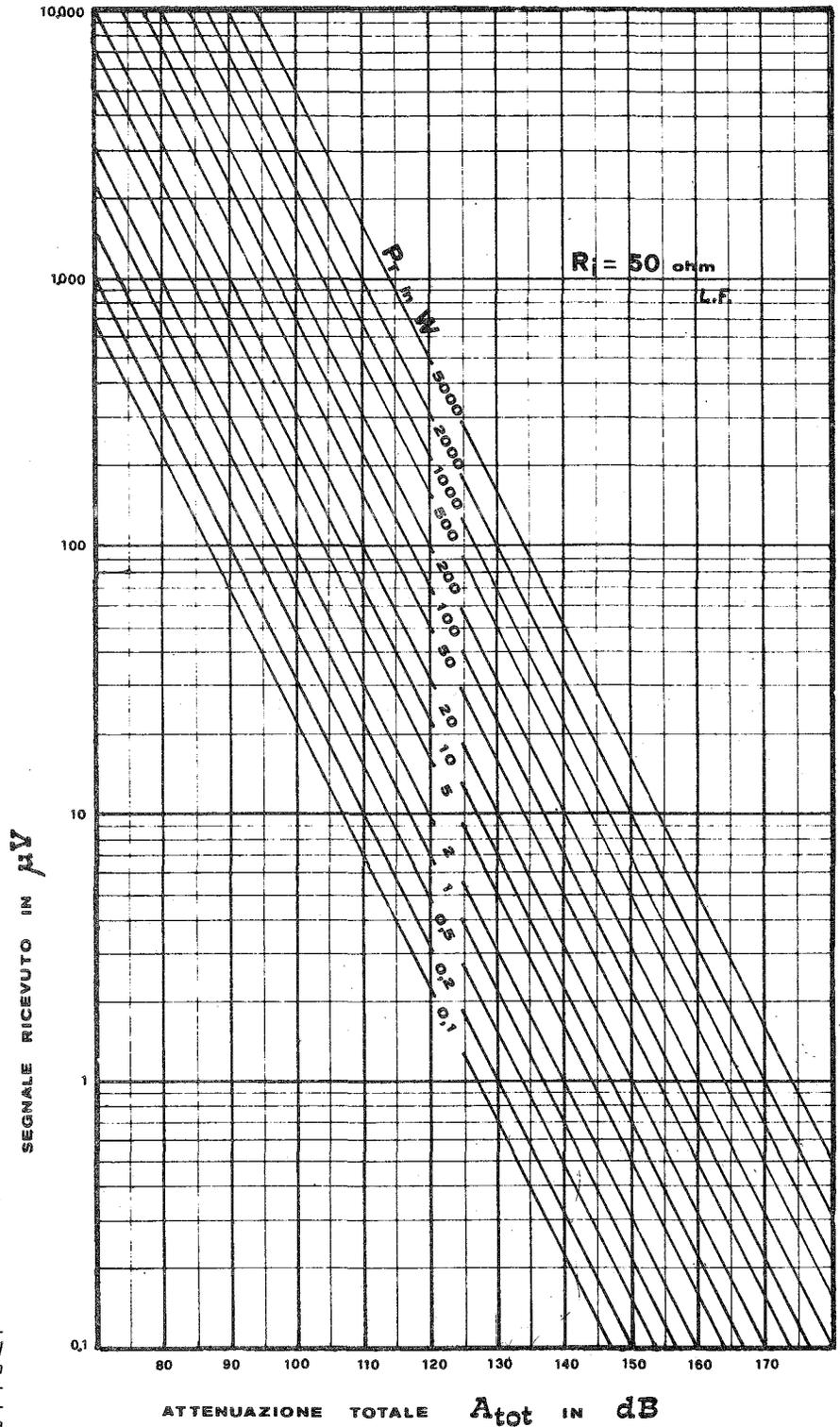


figura 4

Valore della tensione del segnale in μV all'ingresso del ricevitore ($R_i = 50 \Omega$) in funzione dell'attenuazione totale per un determinato valore della potenza di uscita del trasmettitore.

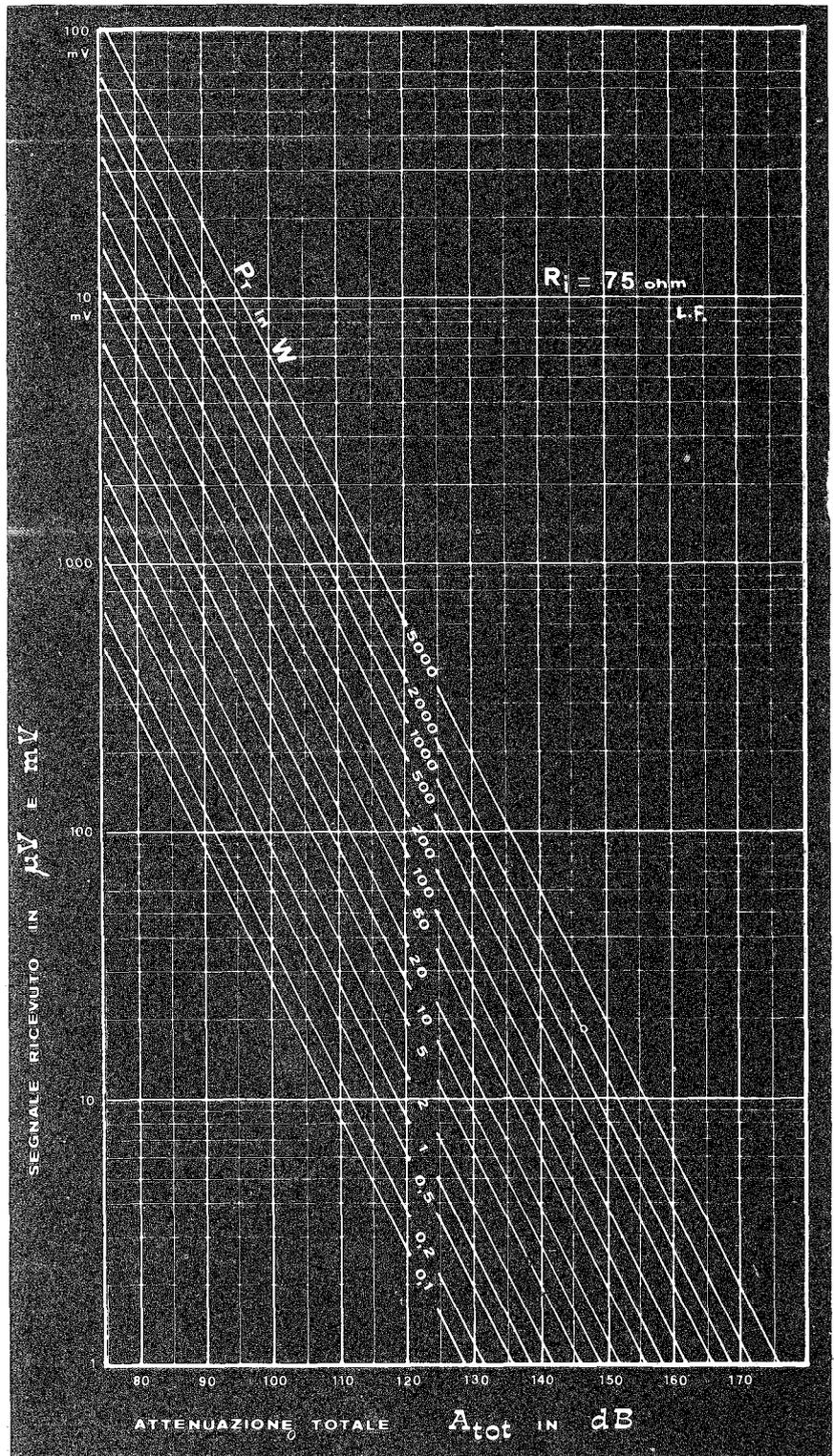


figura 5

Valore della tensione del segnale in μV all'ingresso del ricevitore ($R_i = 75 \Omega$) in funzione dell'attenuazione totale per un determinato valore della potenza di uscita del trasmettitore.

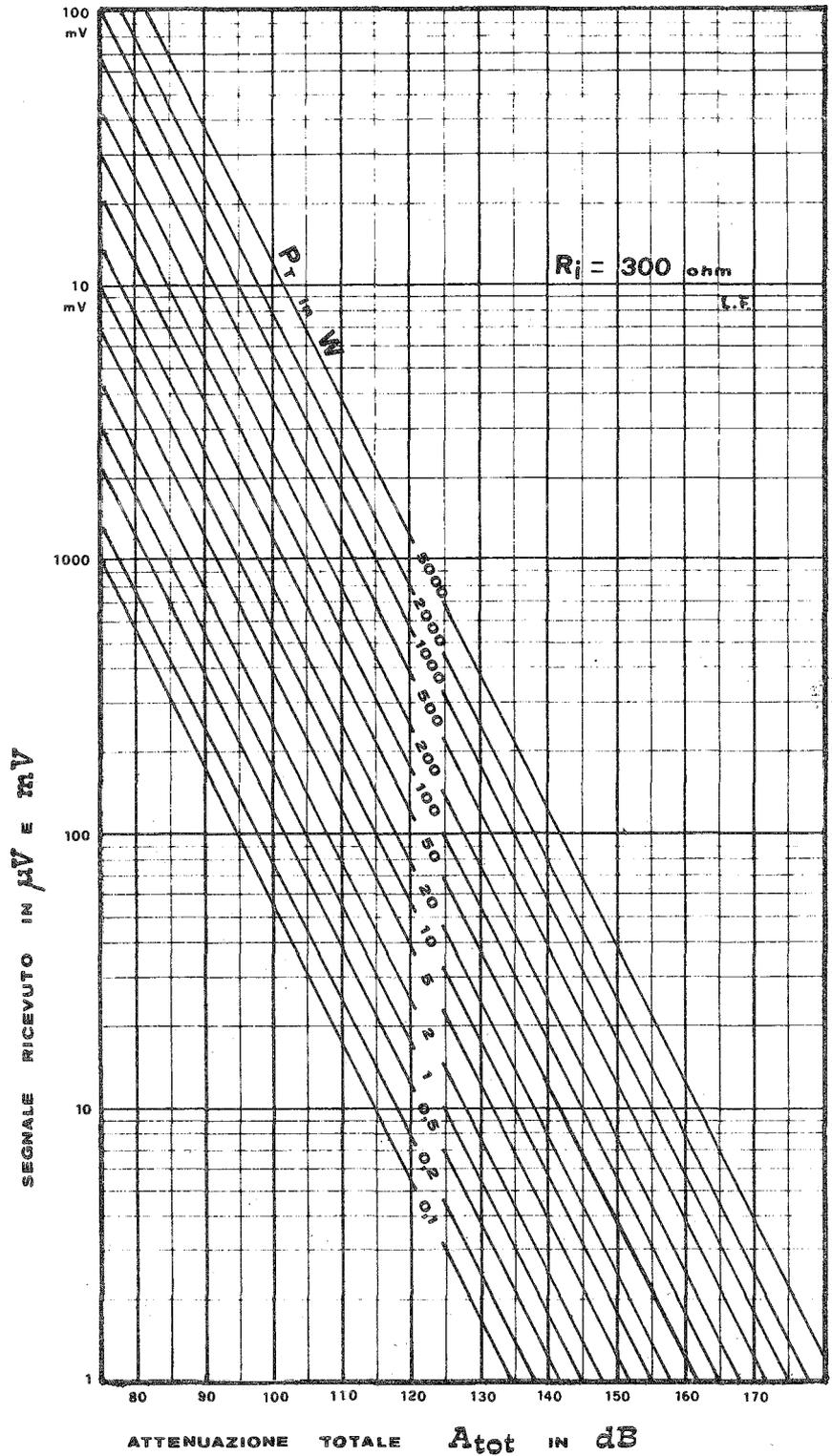


figura 6

Valore della tensione del segnale in μ V all'ingresso del ricevitore ($R_i = 300 \Omega$) in funzione dell'attenuazione totale per un determinato valore della potenza di uscita del trasmettitore.

Si focalizzi così, subito, l'attenzione sull'attenuazione totale A_{tot} e, in definitiva, sul comportamento di tutto il quadripolo radioelettrico fittizio che risponde del trasferimento dell'informazione radio. Nel prosieguo impareremo a calcolarla, come già detto. Prendiamo intanto visione dei grafici di cui alle figure 4, 5, 6 che mostrano il reciproco legame fondamentale tra A_{tot} , P_T , V_i ; questi grafici costituiscono un'altra delle parti più significative di questo lavoro. Bisogna ora spendere altre due parole preliminari su questa A_{tot} , volte a formare una certa necessaria coscienza. Essa rappresenta la somma delle singole attenuazioni che si verificano nel quadripolo radioelettrico fittizio cui però sono stati sottratti i guadagni che ancora in esso risiedono. Nel nostro caso i guadagni sono dati generalmente dalle antenne (TX e RX).

Si tratta insomma di una sorta di conto « profitti e perdite ». Prevalgono, si badi bene, sempre le attenuazioni (cioè le perdite).

Viene ora con sé che, nel caso di una generica tratta radio particolarmente sfavorevole, ad esempio per elevata attenuazione da spazio libero (A_{sl} che vedremo) o per la presenza di ostacoli di cui impareremo a valutare l'effetto, gli elementi di sfavore possono non di rado essere compensati adottando ad esempio antenne a maggiore guadagno, cavi coassiali con minore attenuazione, filtri di migliori qualità, sopraelevando le antenne per meglio sfuggire agli ostacoli, ecc. Inoltre se una migliore antenna guadagna in più (poniamo 15 dB), essa può essere posta sia in trasmissione che in ricezione, per il « conto profitti e perdite » il risultato complessivo in questo caso il miglioramento, non cambia; a parte altre considerazioni di opportunità. Si badi che il risultato non cambierebbe egualmente se 15 dB venissero recuperati ad esempio sfuggendo gli ostacoli mediante sopraelevazione delle antenne.

In tutto quanto sopra subentrano e condizionano grandemente il ragionamento tecnico-economico-operativo e l'esperienza che indirizzano scelte e compromessi. Al termine di questo lavoro vedremo una certa esposizione esemplificativa.

Ritorniamo ora ai nostri grafici delle figure 4, 5, 6. Nel caso di un ricevitore con impedenza di ingresso di 50Ω , a titolo esemplificativo, rileviamo e proponiamo le seguenti condizioni (figura 4):

per $A_{tot} = 140$ dB e $P_T = 1$ W
in ricezione si ha $V_i = 0,7 \mu V$

per $A_{tot} = 140$ dB e $P_T = 10$ W
in ricezione si ha $V_i = 2,2 \mu V$

per $A_{tot} = 140$ dB e $P_T = 100$ W
in ricezione si ha $V_i = 7,1 \mu V$
riducendo A_{tot} di 20 dB avremo:

per $A_{tot} = 120$ dB e $P_T = 1$ W
in ricezione si ha $V_i = 7,1 \mu V$

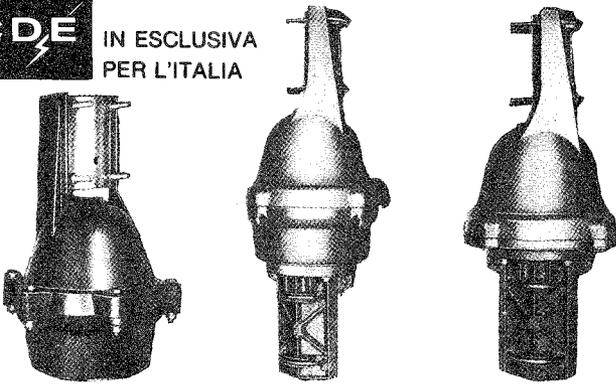
per $A_{tot} = 120$ dB e $P_T = 10$ W
in ricezione si ha $V_i = 22,4 \mu V$

per $A_{tot} = 120$ dB e $P_T = 100$ W
in ricezione si ha $V_i = 70,7 \mu V$

infatti con la potenza trasmessa di 1 W ($P_T = 1$ W) e con $A_{tot} = 140$ dB si ha $V_i = 0,7 \mu V$, approssimativamente al limite della possibilità di ricezione. Diminuendo l'attenuazione di 20 dB (ad esempio migliorando le antenne), fermo restando $P_T = 1$ W, si passa a un segnale ricevuto di $7,1 \mu V$. Si ha evidentemente una buona condizione operativa e una certa « scorta di dB » su cui contare per compensare gli affievolimenti e/o superare le interferenze. Lo stesso risultato si sarebbe potuto conseguire lasciando inalterato $A_{tot} = 140$ dB ma aumentando la potenza di emissione di ben **cento** volte (!): da 1 a 100 W; vedere figura 4.

Attenzione che questi apparenti giochetti sono di capitale importanza e fanno parte della buona metodologia di progettazione. E' poi all'atto pratico che si deve guardare quale sia la soluzione più conveniente da adottare.

(segue il prossimo mese)



CDE IN ESCLUSIVA
PER L'ITALIA

Caratteristiche tecniche

| | T2X | HAM III | CD44 |
|---|----------------|----------------|----------------|
| Portata Kg. | 1280 | 620 | 330 |
| Momento flettente Kgm | 208 | 115 | 76 |
| Massimo momento torcente Kgm | 21,6 | 15 | 9,2 |
| Massimo momento frenante Kgm | 131,7 | 74 | 24 |
| Tensione di esercizio al rotore V | 24 | 28 | 28 |
| Numero dei poli del cavo di alimentazione | 8 | 8 | 8 |
| Angolo di rotazione | 365° | 365° | 365° |
| Tempo impiegato per 1 giro completo sec. | 60 | 60 | 60 |
| Tensione di alimentazione | 220 V 50 Hz | 220 V 50 Hz | 220 V 50 Hz |

T2X TAIL TWISTER
Portata Kg 1280

HAM III
Portata Kg 620

CD-44
Portata Kg 330

**L'UNICO ROTORE CON COMPLETA GARANZIA IN ITALIA
E TUTTI I RICAMBI DISPONIBILI A STOCK**

Giovanni Lanzoni i2VD
i2LAG
20135 MILANO - Via Comelico 10 - Tel. 589075-544744

Aspetti radioelettrici del collegamento troposferico VHF e UHF

calcolo semplificato della portata

p.i. Luigi Felizzi

(segue dal mese scorso)

ATTENUAZIONI E GUADAGNI

Modulo di tabulazione per il calcolo razionalizzato

Mentre quanto sopra, oltre ad aprire il discorso, pone anche le basi concettuali del problema, secondo l'impostazione tipica di questo sviluppo, quanto segue ne costituisce il cuore esecutivo.

Osservando il contenuto del quadripolo radioelettrico (figura 2) abbiamo già notato che, per passare dalla potenza di uscita del trasmettitore (TX) alla tensione di entrata del ricevitore (RX), il segnale subisce tutta una serie di vicende. Detto quadripolo, comunque, in sostanza, si comporta da attenuatore. Esso introduce infatti una certa attenuazione totale A_{tot} che, è bene ripeterlo, è la somma delle varie attenuazioni che concorrono nel contesto (linee, filtri, tratta radio) da cui però sono stati « defalcati » i guadagni introdotti dalle antenne trasmittente e ricevente.

Il già detto « conto profitti e perdite ».

Il progetto del collegamento consiste appunto nel corretto calcolo di tutte queste entità, una per una; nella sana gestione (scelta) dei guadagni che hanno un costo; nella accorta limitazione delle perdite che pure ha un costo.

Chi avesse avuto l'età dello sviluppo afflitta dalla ragioneria e dalla tecnica commerciale, non se ne dolga molto; malgrado i termini presi a prestito e l'uso delle domestiche quattro operazioni, altre comunicazioni con esse non vi sono.

Ritengo sia subito il caso di parlare dell'attenuazione della « tratta radio » perché è la più articolata e la meno nota. Essa comprende infatti varie componenti di cui alcune possono anche « non esserci », ovvero concorrere in maniera più o meno signifi-

cativa, a seconda dei casi. Successivamente tratteremo delle attenuazioni dei cavi e dei filtri nonché dei guadagni introdotti dalle antenne.

Si osservi ora attentamente la seguente addizione che riguarda appunto solo le attenuazioni di tratta radio:

| | |
|----------------------------------|---|
| ATTENUAZIONE DA SPAZIO LIBERO | + |
| ATTENUAZIONE DA OSTACOLI | + |
| ATTENUAZIONE DA CAMMINI MULTIPLI | = |

ATTENUAZIONE DI TRATTA RADIO

Queste sono le principali attenuazioni che ci interessano.

Teoricamente il discorso avrebbe una estensione piuttosto ampia ma noi ci limiteremo alle espressioni praticamente più significative.

Prendiamo inoltre confidenza con il « Modulo di tabulazione » di cui alla figura 7, null'altro che la razionale schematizzazione del « conto profitti e perdite ».

Esso sarà l'elemento sintetizzatore e panoramico dei nostri calcoli che ci consentirà di condurre in porto il lavoro, senza farci perdere la rotta.

Ancora sullo stesso modulo, se necessario, ripeteremo i calcoli secondo vari casi con condizioni variare; introducendo modifiche proprio su quegli elementi che contano (!) e che in esso — chiaramente — vengono messi in luce.

La chiave fondamentale di questo lavoro e anche gli aspetti che lo caratterizzano vanno visti proprio in questo modulo, ovviamente anche nei peculiari grafici già dati e in numerosi altri, anch'essi operativi, che di seguito verranno forniti.

AVANTI con cq elettronica

| MODULO DI TABULAZIONE Calcoli per il progetto di collegamento radio <u>VHF e UHF</u> | | 1° caso | | 2° caso | | 3° caso | | 4° caso | | 5° caso | |
|---|--|------------|-------------|------------|-------------|------------|-------------|------------|-------------|------------|-------------|
| | | Att. dB | Guad. dB |
| 1 | Attenuazione da spazio libero A_{sl} | | | | | | | | | | |
| 2 | Attenuazione da ostacoli A_{os} | | | | | | | | | | |
| 3 | Attenuazione da cammini multipli A_{cm} | | | | | | | | | | |
| 4 | | | | | | | | | | | |
| 5 | TX Guadagno antenna | | | | | | | | | | |
| 6 | TX Attenuazione linea a radiofrequenza | | | | | | | | | | |
| 7 | TX Attenuazione filtri di antenna | | | | | | | | | | |
| 8 | | | | | | | | | | | |
| 9 | RX Guadagno antenna | | | | | | | | | | |
| 10 | RX Attenuazione linea a radiofrequenza | | | | | | | | | | |
| 11 | RX Attenuazione filtri di antenna | | | | | | | | | | |
| 12 | | | | | | | | | | | |
| 13 | Attenuazione aggiuntiva (scorta) | | | | | | | | | | |
| 14 | <u>T O T A L I</u> dB | | | | | | | | | | |
| 15 | <u>Attenuazione totale</u> Att. - Guad. = A_{tot} | | dB |
| 16 | <u>Tensione ingresso RX</u> V_i | | | | | | | | | | |

figura 7

Modulo per la raccolta ordinata delle attenuazioni e dei guadagni che concorrono in un radio-collegamento troposferico VHF e UHF.

Il risultato finale (ultima riga) rappresenta il valore della tensione del segnale utile V_i ricevuto, presente all'ingresso del ricevitore.

Sono previsti cinque calcoli completi e paralleli così da mettere rapidamente in correlazione cause ed effetti, varianti e risultati, prestazioni e convenienze.

Nel prosieguo saranno date tutte le modalità per le singole valutazioni delle varie voci mediante l'impiego di agevoli grafici.

ATTENUAZIONE DA SPAZIO LIBERO

Il solo fatto che due antenne, una trasmittente e l'altra ricevente, siano separate da « spazio libero » (tanto impropriamente chiamato etere) è comprensibilmente motivo di forti valori di attenuazione del segnale radio trasferito. Questi elevati valori sono fisicamente inevitabili;

costituiscono la gran parte dell'attenuazione totale (A_{tot}); sono legati alla distanza tra le antenne e alla frequenza in gioco, e aumentano con esse, secondo una legge ben definita.

Il grafico di cui alla figura 8 mette in evidenza la relazione che intercorre tra queste grandezze, in maniera immediata ed estremamente semplice.

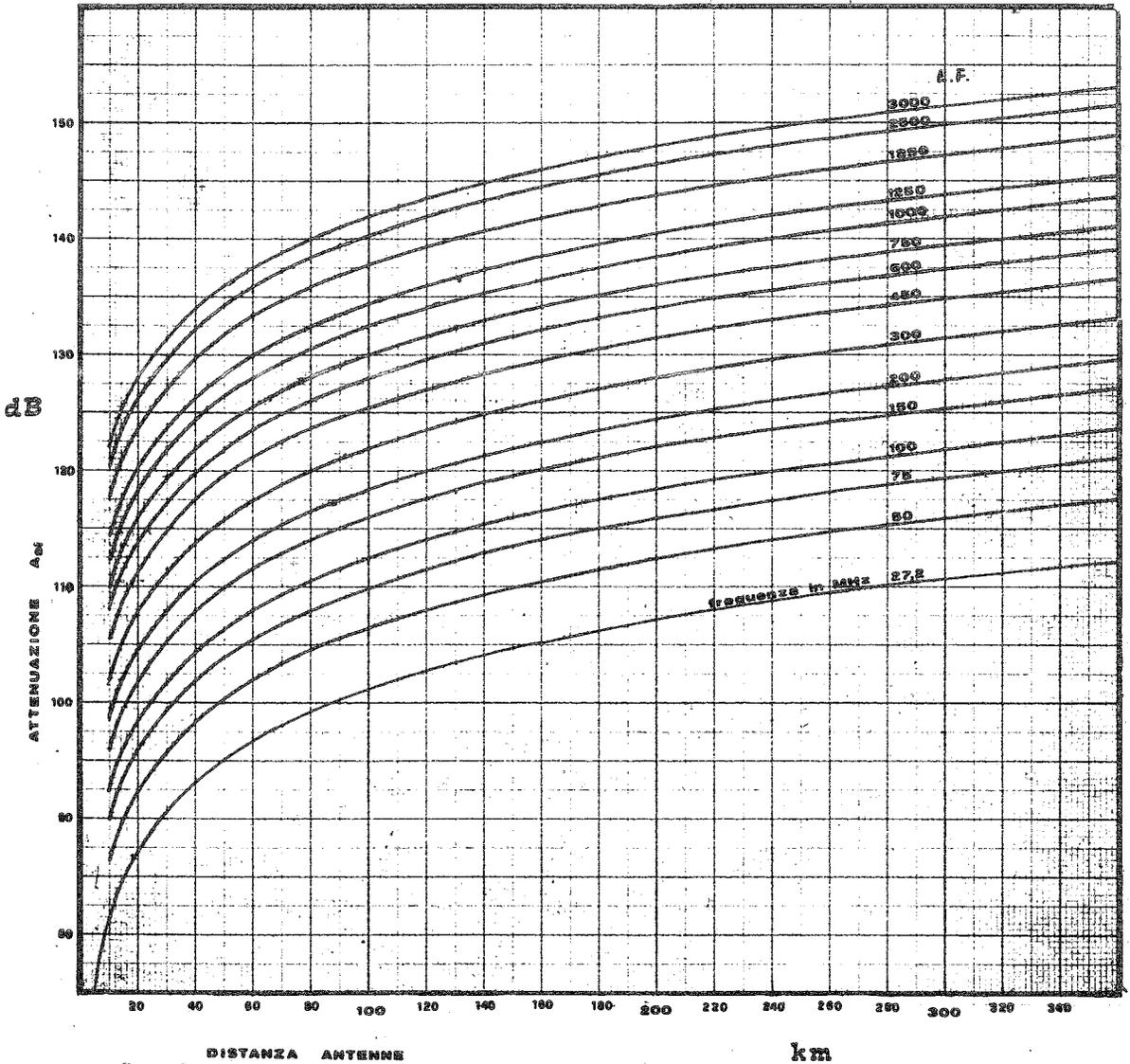


figura 8

DISTANZA ANTENNE

km

Valore dell'attenuazione da spazio libero A_{sl} in dB in funzione della distanza tra le antenne TX e RX in km per le frequenze in MHz indicate.

Vediamo un esempio: sia la distanza tra le due antenne TX e RX pari a 100 km e la frequenza impiegata 150 MHz; il grafico ci dice immediatamente che l'attenuazione da spazio libero A_{sl} è di 116 dB.

Il dato così ricavato, in sede di elaborazione del « caso » pratico, viene semplicemente preso e inserito nel modulo di figura 7 (« conto profitti e perdite »), colonna delle attenuazioni, in corrispondenza della riga A_{sl} .

Il valore di A_{s1} non dipende da altro (ostacoli compresi!). Evidentemente questi hanno pure un loro effetto; introducono infatti una « attenuazione supplementare » nota come « attenuazione da ostacolo » (A_{os}) che impareremo a valutare. Questo, si intende, dopo lo studio necessario a tracciare il « profilo altimetrico » della tratta radio.

Orse non è del tutto inutile precisare che, nello studio della radiopropagazione troposferica, tratta radio o semplicemente tratta, è lo spazio compreso tra le antenne TX/RX; in esso però è necessario raffigurare nella giusta misura la curvatura della terra e gli ostacoli che intercettano, e in una certa misura anche solo sfiorano, il percorso dell'onda hertziana.

RIFRAZIONE TROPOSFERICA

Disegno del profilo altimetrico della tratta radio

Questa parte è un poco più laboriosa però, non essendo difficile ed essendo figurativa, dovrebbe dare una certa distensione.

Si noti che l'attenuazione da spazio libero A_{s1} che ora sappiamo quantizzare facilmente (figura 8) è ancora perfettamente valida e sarebbe anche sufficiente per il calcolo del collegamento radio nello spazio extraterrestre oppure, con qualche « distinguo », tra stazioni terrene e satelliti artificiali in visibilità. Varrebbe anche, grosso modo, tra due montagne piuttosto alte, abbastanza vicine e senza ostacoli interposti.

Nella pratica ordinaria queste condizioni ideali o quasi sono rare, sorge così urgente il problema di quantizzare l'attenuazione che si deve aggiungere ad A_{s1} (detta appunto attenuazione supplementare) per correttamente calcolare la situazione del determinato « caso » reale in esame. Vedremo comunque questi calcoli in seguito, con l'ausilio di appositi grafici, come promesso. Per prima cosa è ora però necessario saper disegnare il profilo della nostra tratta.

Il primo ostacolo alla propagazione troposferica è notoriamente costituito dalla rotondità della Terra. Siccome « sostanzialmente » l'onda si propaga in linea retta, è del pari noto che oltre l'orizzonte le ordinarie comunicazioni troposferiche diventano difficili fino a diventare impossibili. Con quanto detto si astrae intenzionalmente dalla « propagazione scatter » caratterizzata da peculiari implicazioni che non verranno trattate in questa sede.

Per orizzonte però si intende « l'orizzonte radio » e non quello « ottico ». Essi non coincidono tra loro. Quello radio è più lontano (figura 9), sia pure in misura alquanto incostante e relativamente modesta.

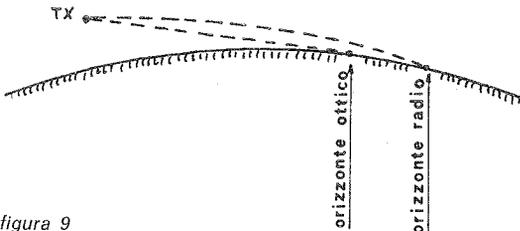


figura 9

Geometria giustificativa della ragione per cui l'orizzonte radio è più lontano dall'orizzonte ottico.

Questo perché? Perché normalmente, per un complesso di fenomeni fisici con componenti aleatorie che trovano sede ed evoluzione nella troposfera e tali da dar luogo complessivamente a quella fenomenologia nota come « rifrazione troposferica », la onda troposferica (si perdoni il bisticcio) non si propaga proprio in linea retta ma segue di solito un percorso alquanto incurvato verso il basso: ciò le concede evidentemente il procedere in qualche misura anche oltre l'orizzonte ottico. Questo incurvamento non ha però un valore fisso ma può variare appunto al mutare delle condizioni fisiche della bassa atmosfera (cioè della troposfera) interessata al percorso radio.

Si vedrà comunque, tra poco, come chi si interessa a questo tipo di collegamenti non dovrà certo munirsi di termometri, igrometri, barometri, anemometri, ecc. Praticamente egli terrà solamente conto di certi valori tipici « fissi » di un peculiare ente fisico-geometrico « K » che prende il nome di « indice troposferico ».

Si noti ancora, e ciò è molto semplificativo, che nelle rappresentazioni grafiche anziché tracciare il raggio incurvato verso il basso, si continua a « immaginarlo e tracciarlo rettilineo », e a rappresentare invece la Terra con un diverso raggio di curvatura. Il che è molto più semplice ed è praticamente la stessa cosa per le conclusioni.

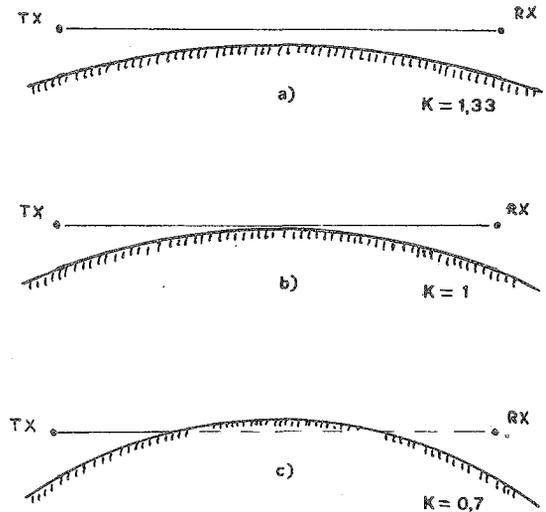


figura 10

Effetto della variazione dell'indice troposferico « K » in uno stesso collegamento dove restano invariate tutte le altre condizioni.

Sopraelevando le antenne TX e RX (o una delle due) migliorerebbero i risultati relativi alla condizione c), indice $K = 0,7$.

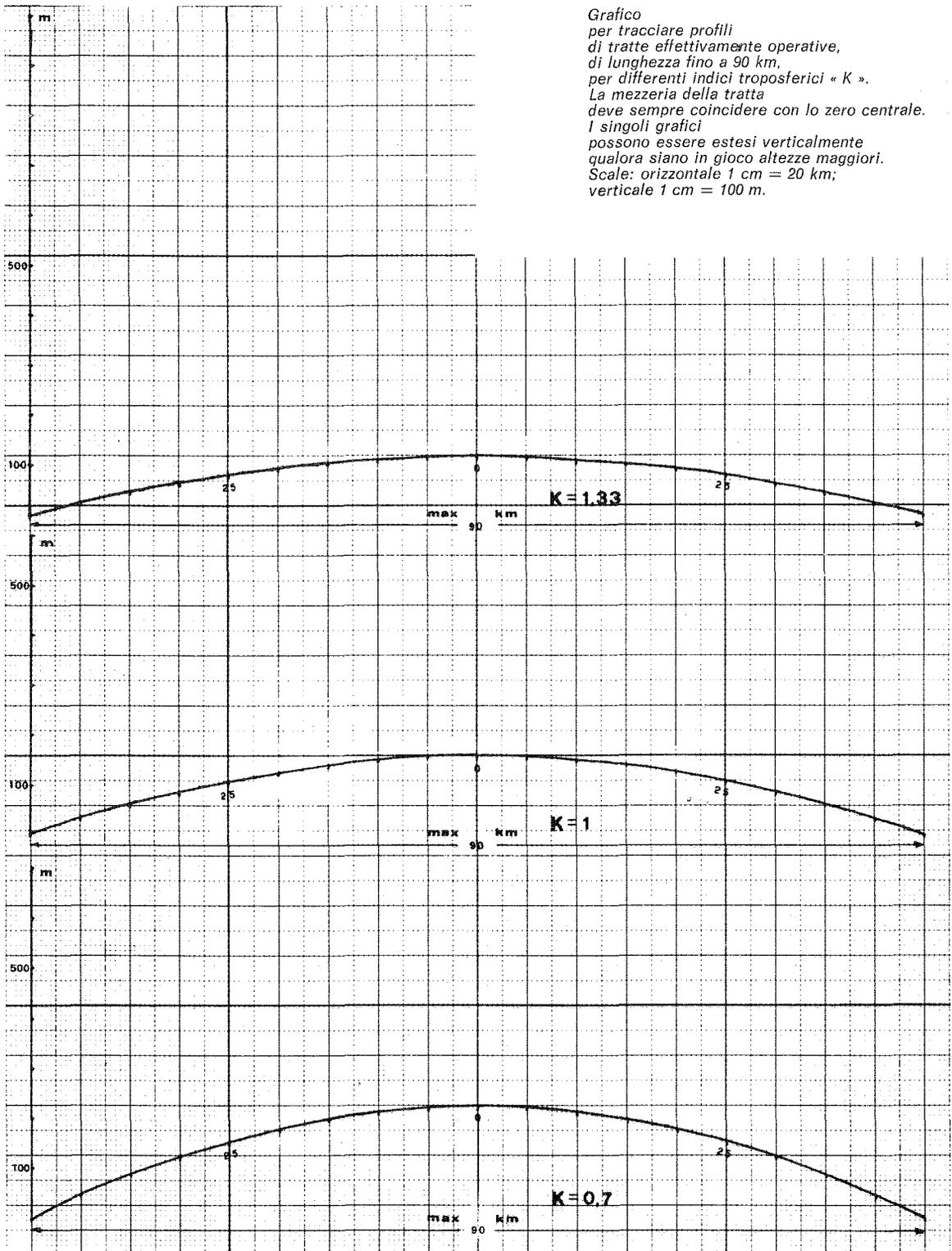
Con atmosfera nelle condizioni normali, che in questo caso si dice « standard », si ha

$$K = 1,33$$

Questo vuol dire semplicemente che il raggio di curvatura della Terra è 1,33 volte il reale raggio geografico (aumento del 33%). Per inciso, questa

figura 11

Grafico
per tracciare profili
di tratte effettivamente operative,
di lunghezza fino a 90 km,
per differenti indici troposferici « K ».
La mezziera della tratta
deve sempre coincidere con lo zero centrale.
I singoli grafici
possono essere estesi verticalmente
qualora siano in gioco altezze maggiori.
Scale: orizzontale 1 cm = 20 km;
verticale 1 cm = 100 m.



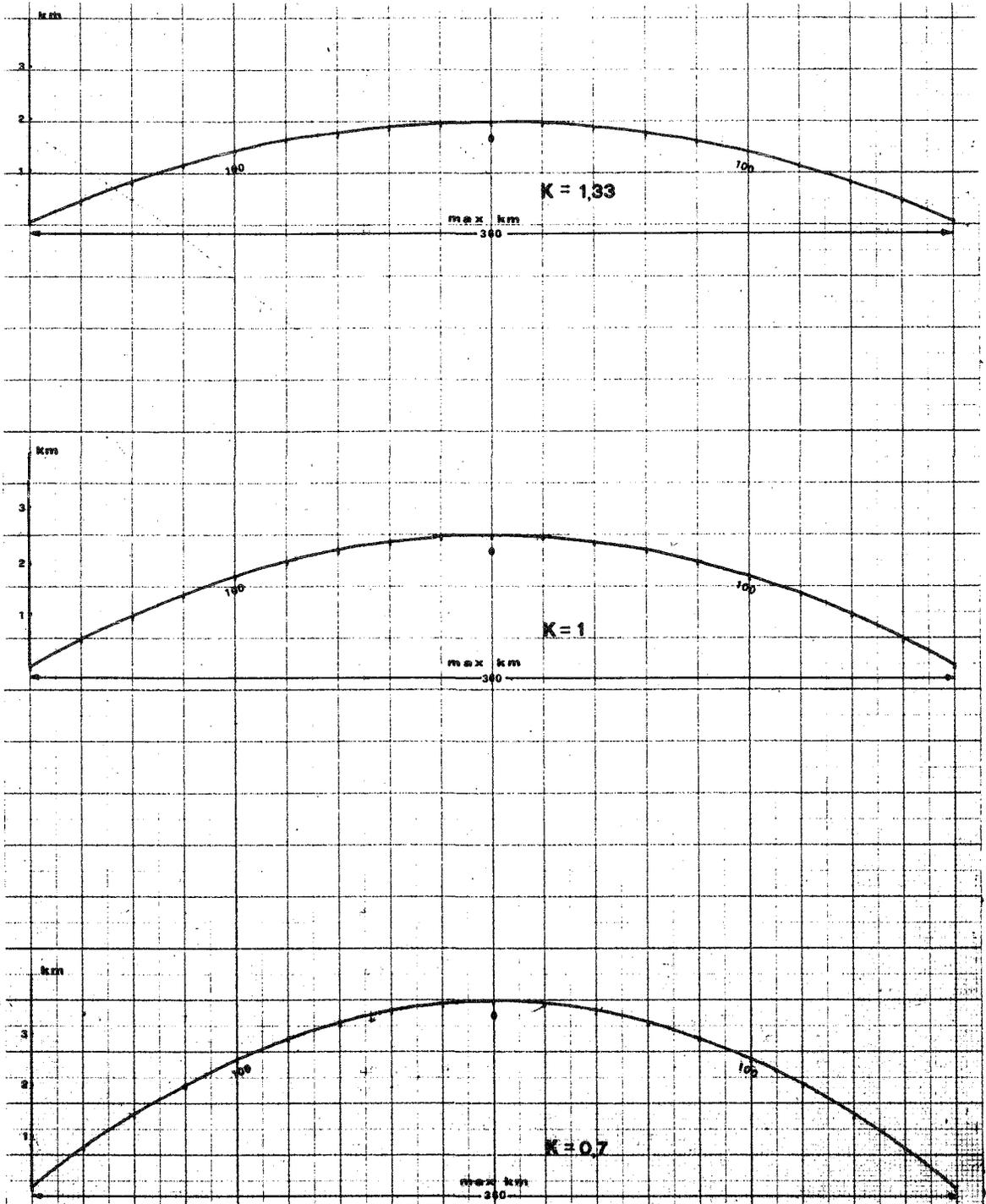


figura 12

Grafico per tracciare profili di tratte effettivamente operative, di lunghezza fino a 360 km, per differenti indici troposferici «K». La mezziera della tratta deve sempre coincidere con lo zero centrale. I singoli grafici possono essere estesi verticalmente qualora siano in gioco altezze maggiori.

Scale: orizzontale 1 cm = 20 km; verticale 1 cm = 100 m.

è una condizione tipica cui si fa ordinariamente riferimento.

Prendiamo in considerazione la figura 10a dove compaiono due antenne TX e RX abbastanza sovrapposte così da essere in visibilità radio tra di loro, in condizioni di atmosfera standard ($K = 1,33$). Supponiamo che a un certo momento le condizioni fisiche della troposfera siano tali per cui diventi $K = 1$. Si avrà evidentemente una riduzione del raggio terrestre fittizio che porta lo stesso a coincidere, per l'appunto, con il raggio reale del pianeta: in parole povere, per quanto riguarda il comportamento radioelettrico, la Terra è diventata più « gobba » (figura 10b); si avvicina infatti maggiormente alla congiungente TX/RX e, se le antenne fossero state sistemate più in basso, l'avrebbe intercettata ostacolando in una certa misura il collegamento.

Vorrei a questo punto tranquillizzare il lettore che già si vedesse coinvolto in terribili calcoli geo-astronomico-meteorologici. Nulla di tutto ciò! Questo argomentare è solo una transitoria fase d'obbligo che consente di affrontare la pratica con procedure molto semplificate.

Torniamo a maltrattare la nostra Terra « elastica ». Supponiamo che i fenomeni troposferici che hanno portato K a 1 si accentuino ancora fino a dare luogo a $K = 0,7$, figura 10c. La Terra ora sarà radioelettricamente ancora più « gobba » e (ferma restando l'altezza iniziale delle due antenne) la congiungente TX/RX risulta intercettata con conseguente degradazione del segnale fino anche, eventualmente, alla relativa scomparsa.

Dalle figure 10 b-c si può facilmente comprendere come l'eventuale instabilità della troposfera con K compreso, ad esempio, tra 1,15 e 0,80 possa dare luogo a un livello di ricezione incostante con affievolimenti (fading) ad andamento solitamente piuttosto lento.

Per il calcolo pratico di un radiocollegamento secondo questo lavoro, si impiegheranno curvature terrestri tipiche, con scale ben determinate come quelle indicate nelle figure 11 e 12. Sugli stessi grafici, o su eventuali buone fotocopie degli stessi, verranno riportate tutte le distanze e le quote relative alle condizioni del « caso » in esame.

Le figure 11 e 12 indicano varie situazioni con diverso indice troposferico tipico ($K = 1,33 - 1 - 0,7$); sulle distanze che praticamente possono interessare questo tipo di collegamento; per quote relativamente consuete anche se, queste ultime, possono essere estese verticalmente.

Su di esse, in scala e alla giusta distanza prendendo come riferimento la mezzzeria, dovranno essere riportate le quote delle antenne TX e RX, tutto il rilievo orografico interposto, le pianure e le relative quote, anche le depressioni e tutti quegli ostacoli significativi che dovessero trovarsi sul percorso radio. Tutto questo per dire, in sostanza, ciò che la figura 13 dice forse molto più rapidamente.

Sono stati indicati tre soli casi di « K » l'uso dei quali consente automaticamente di tenere conto di condizioni normali e di condizioni particolarmente severe così da esplorare gran parte della casistica che può ricorrere nella pratica ordinaria.

L'uso di $K = 1,33$ costituisce il caso tipico cui è lecito riferirsi come primo orientamento e quando il progetto di collegamento riguarda zone monta-

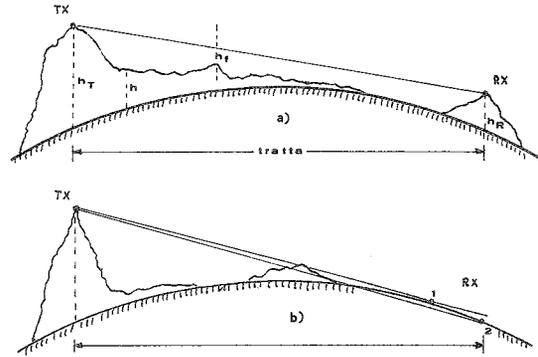


figura 13

Profili di generiche tratte radio:

a) condizioni soddisfacenti;
b) condizioni alquanto critiche specie in « 2 » dove serve una valutazione accurata dell'influenza degli ostacoli.

h_T = quota TX;
 h_R = quota RX;
 h_i = franco sull'ostacolo;
 h = quota generica.

gnose e ventilate. Nel caso invece di zone costiere o di bassa pianura, bisogna considerare anche il caso $K = 1$ che presenta maggiore curvatura della superficie, quindi condizione maggiormente suscettibile di riduzione del segnale ricevuto e di incostanza del relativo livello. Contro ciò — evidentemente — necessiterà poi premunirsi (antenne adeguate, adeguate potenze, adeguate sensibilità di ricezione, eventuale modifica di dislocazione delle stazioni, ecc.).

Nei casi in cui si desidera avere la massima garanzia di stabilità e costanza del collegamento, è necessario valutare le condizioni anche sulla curva $K = 0,7$, riferendosi a un regime di grave sfavore, che si può tuttavia verificare, sia pure per tempi brevissimi, ad esempio: 1‰ del tempo di esercizio. Infatti queste condizioni ($K = 0,7$) potrebbero rivelare sorprese che è bene mettere in luce per accettarle o meno in termini di valutazione anche statistica dell'efficienza tecnico-economico-operativa del collegamento.

Si osservi ancora che le quote si misurano salendo perpendicolarmente sulla carta millimetrata, come mostra la figura 13; ciò in qualunque punto della curvatura, anche agli estremi! È una modalità professionalmente prevista.

Per ciò che riguarda la rappresentazione del « profilo della tratta » abbiamo ora tutte le nozioni per tracciarla.

Per lo studio del caso effettivo è necessaria evidentemente una buona carta della zona con l'indicazione quotata dei rilievi: scala 1 : 500.000 o 1 : 250.000 per valutazioni di massima di primo orientamento. Per una successiva scrupolosa analisi necessitano carte fino a 1 : 25.000 (es.: quelle dell'Istituto Geografico Militare); vanno mediamente bene carte 1 : 100.000.

Preziosa qualche esercitazione sia pure con dati a piacere.

(segue sul n. 9)

Aspetti radioelettrici del collegamento troposferico VHF e UHF

calcolo semplificato della portata

p.i. Luigi Felizzi

(segue dal n. 7)

DIFFRAZIONE

- 1° ellissoide di Fresnel
- Attenuazione da ostacolo

Ora che abbiamo acquisito un metodo semplice per disegnare il grafico (profilo) della tratta radio abbiamo evidentemente compiuto un notevole passo avanti.

Però non è tutto.

Dobbiamo infatti introdurre un affinamento che ci consenta di valutare con maggiore attendibilità le vicende dell'onda che si propaga lungo la congiungente TX-RX, per ciò che riguarda l'attenuazione introdotta dagli ostacoli presenti lungo tale cammino. Si noti che l'ostacolo interferisce (ovviamente in misura diversa) sia che venga colpito in pieno dalla retta TX-RX, sia che questa lo sfiori sia, infine, che passi al di sopra fino a un certo valore di « franco sull'ostacolo » h_1 (per h_1 , vedere figura 13): oltre, l'ostacolo non produrrà più effetti di rilievo. Ora si deve affermare che, sotto determinate condizioni, la ricezione troposferica è possibile nonostante l'influenza degli ostacoli frapposti sul percorso. Il fenomeno per cui ciò avviene si chiama « diffrazione » e merita veramente un'attenta osservazione. L'effetto dell'ostacolo si risolve in pratica in un supplemento di attenuazione, detta appunto « attenuazione da ostacolo » (A_{os}), da aggiungere a quella da « spazio libero » (A_s) nel computo di cui al « modulo di tabulazione » della figura 7 e secondo i valori che impareremo a calcolare.

Lo scopo di quanto segue è quindi quello di dare una certa visione qualitativa del fenomeno e di valutarne poi quantitativamente l'effetto in maniera accettabilmente attendibile.

Il fenomeno della diffrazione è ben noto in quel ramo della fisica che si occupa dell'« ottica ». Esso trova qua un parallelismo nella radioelettricità. Anzi considerata la comune natura elettromagnetica sia della luce dell'ottica classica che dell'onda hertziana della radioelettricità, è necessario intravedere in questa sede una identità di sostanza fenomenologica.

Con un discorso più concreto, pensiamo per un momento a una fonte luminosa che noi non vediamo direttamente (ad esempio: un faro di un'auto dietro un dosso) ma che noi, pur essendo collocati all'« ombra », possiamo ben percepire e rilevare dal chiarore, figura 14 (sempreché il dosso sia di dimensioni ragionevoli e non una montagna!).

Poniamo ora mente a un ricevitore radio posto all'« ombra » di un ostacolo, sempre ragionevole sintende. Ebbene, il ricevitore in questione può essere accettabilmente sensibilizzato da una sorta di « chiarore elettromagnetico » (i puristi perdonino la licenza) che si instaura all'« ombra » dell'ostacolo medesimo.

In entrambi i casi questa sorta di deviazione del raggio si chiama « diffrazione »: nell'un caso rende possibile una certa condizione di visibilità sia pure in penombra; nell'altro caso rende possibile una certa condizione di ricezione sia pure attenuata.

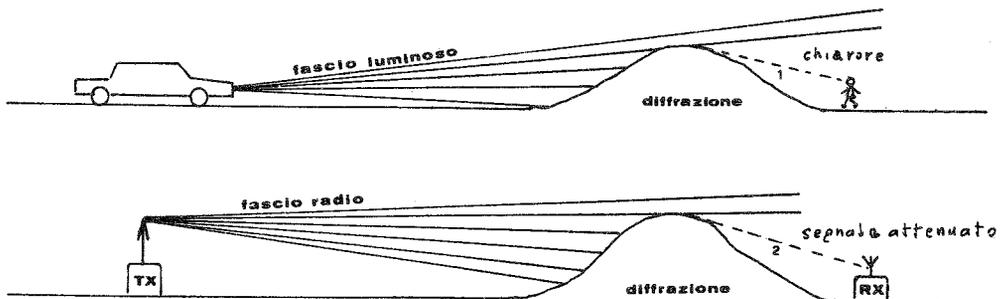


figura 14

Parallelismo tra il fenomeno della propagazione della luce e quello delle onde radio in rapporto alla « diffrazione »: (1) luce diffratta; (2) onda diffratta.

Passiamo a ulteriori precisazioni.

Fino ad ora abbiamo immaginato il legame TX-RX come una linea retta, ovviamente « priva di diametro »; ebbene, questa è una approssimazione molto comoda ma purtroppo alquanto grossolana: tende a limitare la concettualità dei fenomeni e a precluderne la possibilità di quantizzazione degli effetti derivanti dalla diffrazione.

Dobbiamo pertanto modificarla.

Ci avvicineremo molto di più alla realtà se considereremo, al posto di detta linea retta, un solido geometrico molto allungato, marcatamente fusiforme, con i vertici rispettivamente in TX e RX.

A detto solido si deve attribuire inoltre una sezione circolare di raggio φ , con valori varianti da un

punto all'altro, e un raggio massimo φ_{max} ben determinato.

Questo solido prende nome di 1° ellissoide di Fresnel. In teoria si tratterebbe infatti proprio di un vero ellissoide con i rispettivi fuochi in TX e RX. Per tutti gli scopi pratici è però sufficiente considerarlo fusiforme come in figura 15. Per la relativa determinazione geometrica, e quindi per la relativa tracciatura sul profilo di tratta, si potrà facilmente procedere in base ai grafici di cui alle figure 18 e 19 che vedremo successivamente.

A livello intuitivo dobbiamo immaginare che questo solido sia in sostanza una sorta di conduttura che contiene e consente il « trasferirsi » del segnale utile.

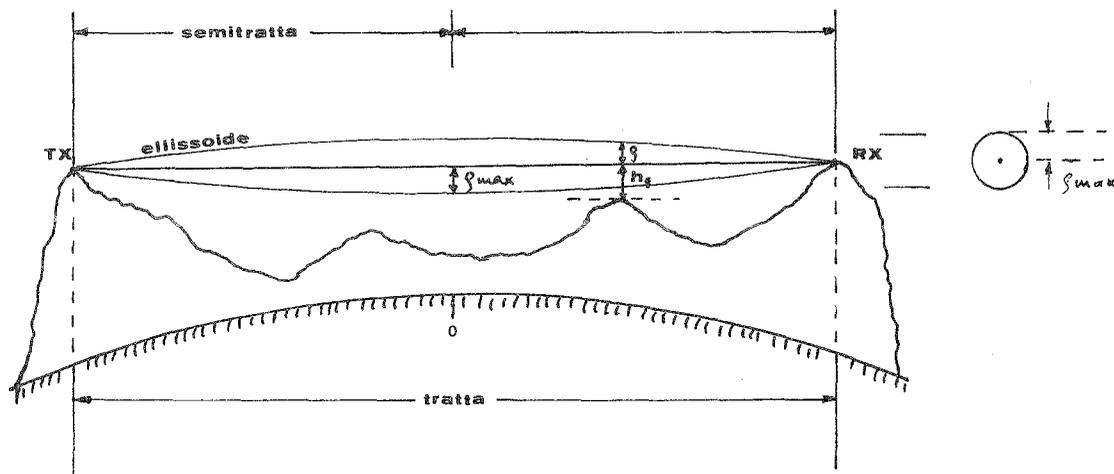


figura 15

Primo ellissoide di Fresnel.

φ_{max} = raggio massimo dell'ellissoide

φ = raggio generico dell'ellissoide

h_i = franco sull'ostacolo.

Affinché il collegamento troposferico non sia influenzato dagli ostacoli, non solo deve essere liberata la congiungente TX-RX ma deve essere libero anche tutto lo spazio occupato dal 1° ellissoide di Fresnel. In altre parole il « franco sull'ostacolo » (h_i) deve essere in ogni punto almeno eguale al diametro (φ) che l'ellissoide assume in quel punto ($h_i = \varphi$ ovvero $h_i/\varphi = 1$): condizione quest'ultima per cui, evidentemente, la parte sottostante dell'ellissoide suddetto lambisce l'ostacolo medesimo. Per un ostacolo che comincia a penetrare nell'ellissoide dal basso

h_i minore di φ cioè $h_i < \varphi$

a un certo momento si cominciano ad avere i primi effetti di attenuazione: si badi bene, ciò nonostante la congiungente TX-RX sia ancora libera!

Se l'ostacolo poi intercetta detta retta e si spinge ancora oltre, l'attenuazione si fa sempre più elevata. Viene comunque da sé che, almeno fino a un certo livello, la maggiore attenuazione potrà essere

compensata per altre vie; ad esempio aumentando il guadagno delle antenne (TX e RX) o aumentando la potenza trasmessa oppure migliorando la qualità del ricevitore, ecc.

Tutto questo esprime in sostanza ragionevoli possibilità di collegamento, sia pure con attenti accorgimenti, nonostante la presenza di ostacoli sul percorso.

Forse qualcuno ora si spiegherà meglio il perché di qualche « fenomeno strano » di cui è stato testimone.

È evidente infatti che la parte superiore dell'ellissoide, restando libera, consente ancora, in una certa misura, il trasferimento del segnale utile.

Pena attenuazioni sempre più forti, la diffrazione si verifica ancora, anche quando tutto l'ellissoide risulta intercettato, e anche oltre. Intuitivamente però il discorso diventa ora molto meno agevole per cui, in questi casi, ci si accontenterà di assumere i relativi valori di attenuazione dati dai rilievi possibili sulle successive figure e grafici (figure 16, 17, 18, 19).

Queste attenuazioni, ovviamente, dovranno essere introdotte nel « Modulo di Tabulazione » di cui alla figura 7.

Vediamo ora in figura 16 le situazioni che nella pratica effettiva si possono presentare. Immaginiamo di porci fisicamente dove si trova l'antenna ricevente della figura 15 e di guardare verso il TX. In questo caso si rileva che non vi sono ostacoli interposti per cui la visibilità « radioelettrica » è assicurata. Se però l'ostacolo dovesse invadere l'el-

lissoide, a seconda delle caratteristiche di questa interferenza (eventualmente variabile in conformità delle variabili condizioni della troposfera e quindi dell'indice troposferico « K »), possono verificarsi diverse situazioni che riportiamo schematicamente appunto in figura 16. Il grafico di figura 17 fornirà poi il valore dell'attenuazione da computare nei singoli casi, sotto la voce « attenuazione da ostacolo » (A_{os}).

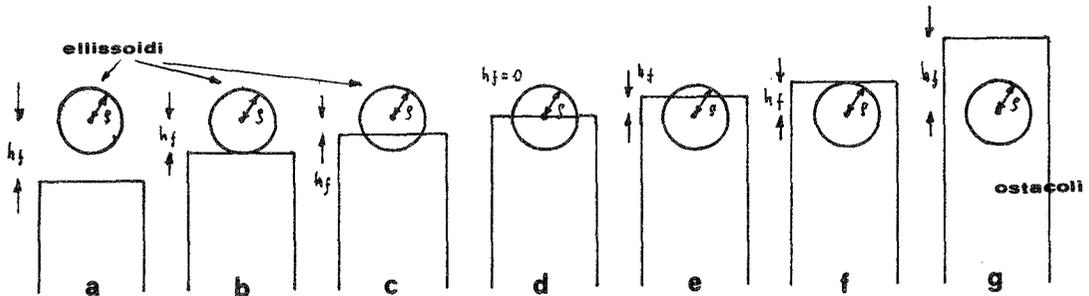


figura 16

Situazioni che possono intercorrere tra il primo ellissoide di Fresnel associato a un raggio TX-RX e ostacoli di diversa invadenza; relativa influenza sulla attenuazione. Il punto rappresenta la congiungente TX-RX; ρ è il raggio del primo ellissoide di Fresnel nel punto che si considera. La notazione h_i indica il franco sull'ostacolo che può essere positivo (a, b, c), nullo (d), negativo (e, f, g). Il rettangolo rappresenta l'ostacolo.

- a - franco sull'ostacolo h_i maggiore del raggio ρ , cioè $h_i/\rho > 1$; nessuna influenza;
- b - $h_i = \rho$ quindi $h_i/\rho = 1$ praticamente nessuna influenza apprezzabile;
- c - h_i minore di ρ cioè $h_i < \rho$; condizione corrispondente a $h_i/\rho < 1$; praticamente nessuna influenza di rilievo fino a quando h_i/ρ non scende sotto lo 0,58;
- d - $h_i = 0$; attenuazione 6 dB; la congiungente TX-RX sfiora l'ostacolo;
- e - il franco sull'ostacolo diventa negativo, cioè $h_i < 0$ l'attenuazione aumenta vedere figura 17.
- g - idem, come sopra.

Dicevi, cara?



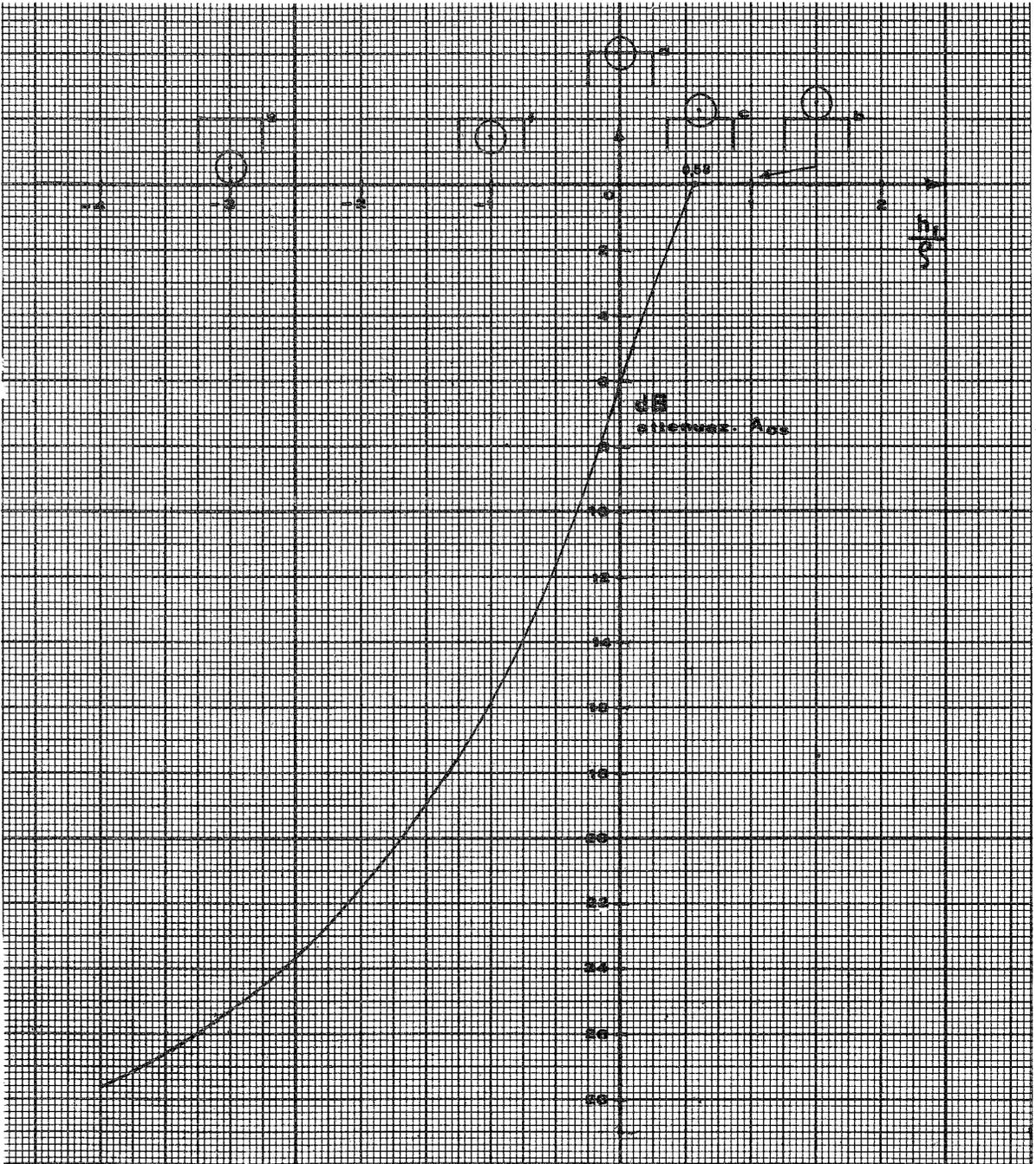


figura 17

Attenuazione da ostacolo (A_{ob}) in dB in funzione del rapporto

$$\frac{h_1}{p} = \frac{\text{tranco sull'ostacolo in metri}}{\text{raggio ellissoide (sull'ostacolo) in m}}$$

Si tratta di casi di interazione tra ostacolo ed ellissoide rappresentati qualitativamente in figura 16. Il grafico si riferisce all' A_{ob} prevista teoricamente su spigolo vivo; il caso pratico si discosta solitamente da questa condizione e l'attenuazione aumenta.

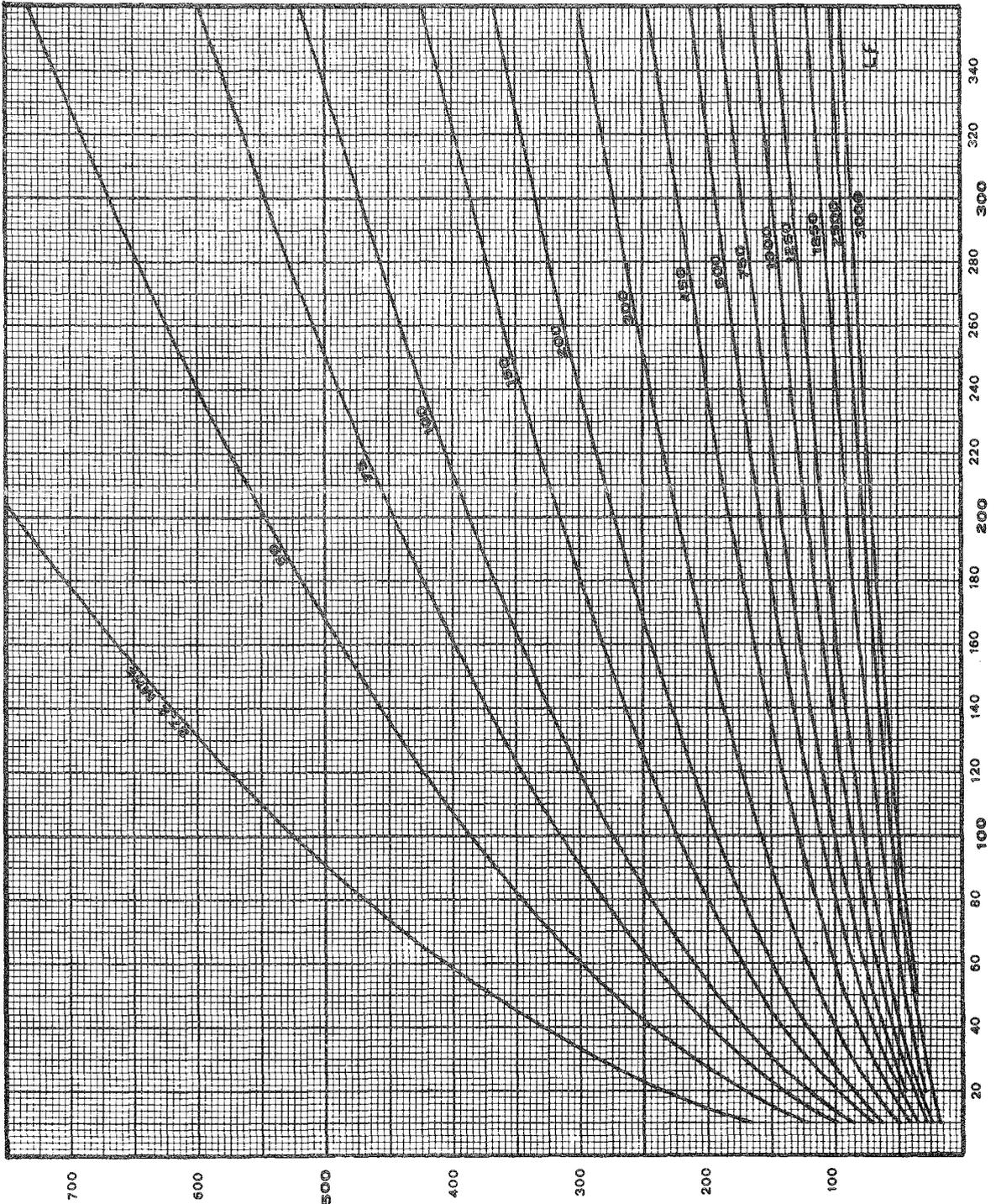


figura 18

raggio in metri centro tratta

Grafico che fornisce direttamente il valore in metri del raggio massimo (r_{max}) del primo ellissoide di Fresnel, in funzione della lunghezza totale della tratta radio espressa in km, per le varie frequenze indicate, espresse in MHz.

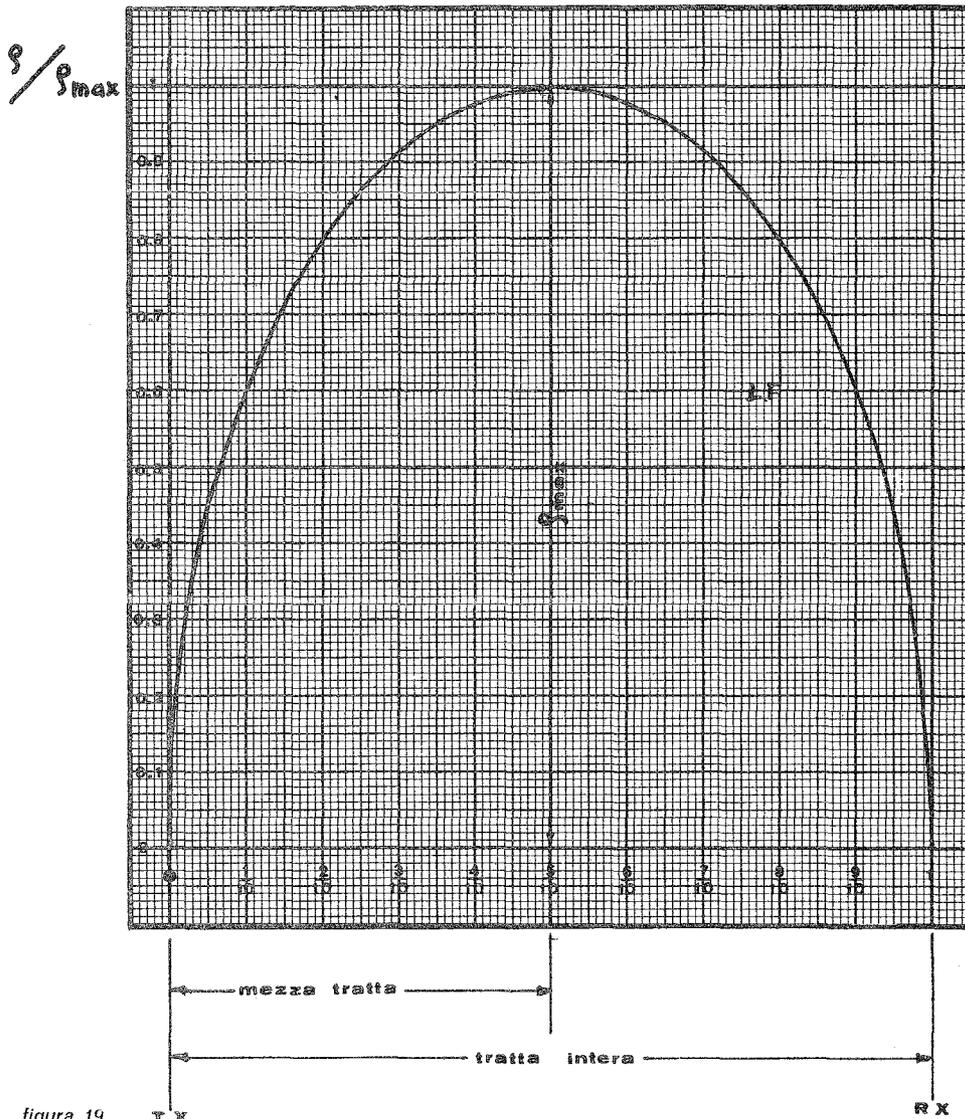


figura 19 TX RX

Curva che consente di disegnare sulla tratta radio, per punti, il primo ellissoide di Fresnel. La distanza si computa dal TX verso lo RX. Se ad esempio la tratta intera è 60 km, 1/10 di questa sarà 6 km, mentre 2/10 sarà $2 \times 6 = 12$ km e così via.

Non è inutile affermare ancora che non sempre un eventuale ostacolo interposto tra antenna TX e antenna RX è in grado di interdire il radiocollegamento troposferico. Questo evidentemente è molto importante e ogni caso dovrà essere studiato di volta in volta.

Di volta in volta infatti dovrà essere disegnato sulle tratte radio, tracciate secondo i vari valori di «K» considerati, l'ellissoide. Può accadere infatti che per $K = 1,33$ un certo ostacolo non interferisca mentre potrebbe interferire (anche sensibilmente) per

$K = 1$ e ancora di più per $K = 0,7$.

Il grafico di figura 17 ci consente di calcolare l'attenuazione da ostacolo (A_{os}) in dB in funzione del rapporto

$$h_i / \rho$$

il cui significato è ben visibile negli esempi di figura 16.

I valori forniti, sebbene vincolati da particolari ipotesi restrittive di partenza, sono considerati accettabili per i computi pratici e gli orientamenti di prima progettazione. Dopo vengono le prove pratiche, anche nei casi di spiccata professionalità.

Il primo ellissoide di Fresnel, riferito ad una assegnata frequenza, su una data distanza, potrà essere preventivamente tracciato con facilità impiegando il grafico di figura 18. Questo infatti fornisce il valore del raggio massimo (ρ_{max}) in metri che detto ellissoide assume al centro della tratta, in funzione della lunghezza della stessa (distanza TX-RX) e della frequenza in gioco, senza nessuna difficoltà di calcolo!

Per le altre distanze, partendo dal punto TX, il raggio ρ si ricaverà poi dal grafico di figura 19. Da questo si rileva infatti che, ad esempio, a un decimo (1/10) della distanza totale (partendo da TX) il raggio ρ è

$$1/10 = 0,6 \times \rho_{max} = \dots\dots\dots \text{(metri)}$$

e due decimi (2/10) è

$$2/10 = 0,8 \times \rho_{max} = \dots\dots\dots \text{(metri)}$$

e così via.

Praticamente solo pochissimi punti, tenendo conto della simmetria dell'ellissoide rispetto alla mezzeria, consentiranno di tracciare un'accettabile figura dello stesso senza alcuna complicazione matematica che vada oltre la semplice moltiplicazione. Questo sembra essere veramente non poco.

Quindi, ricapitolando, per calcolare l'attenuazione da ostacolo (A_{os}):

- 1) tracciare la o le tratte radio con l'ausilio delle figure 11 e 12 e di una adeguata carta geografica, assumendo uno o più valori dell'indice troposferico « K »;
- 2) segnare sulle stesse, in corrispondenza della loro mezzeria, il raggio massimo (ρ_{max}) del primo ellissoide di Fresnel in base alla figura 18;
- 3) tracciare per punti tutto l'ellissoide mediante l'ausilio della figura 19;
- 4) rilevare come l'ostacolo interferisce con detto ellissoide; in pratica è necessario precisare il rapporto h_i/ρ ;
- 5) determinare ora in funzione di h_i/ρ l'entità della attenuazione da ostacolo (A_{os}) direttamente in dB, mediante la figura 17;
- 6) riportare il dato ottenuto sul Modulo di Tabulazione di figura 7.

Ancora qualche nota.

Questo procedimento è basato sull'ipotesi restrittiva di ostacolo che si presenti con spigolo vivo, perfettamente conduttore, disposto trasversalmente al percorso dell'onda radio; malgrado ciò viene accettato nelle condizioni, abbastanza discoste, della pratica.

Se lo sviluppo in altezza dell'ostacolo supera di alcune volte il raggio del primo ellissoide di Fresnel, in particolare se è la rotondità della terra che interferisce pesantemente, il procedimento non è applicabile in quanto l'attenuazione può essere anche sensibilmente maggiore di quella ottenuta. Infine non lasciarsi intimorire da apparenti complessità. Anzi procedere subito a qualche esercitazione a piacere. Ad esempio: si calcoli l'ellissoide per una tratta avente la lunghezza di 100 km, per una frequenza di 150 MHz, prendendo in considerazione almeno quattro distanze intermedie oltre la mezzeria e gli estremi.

RIFLESSIONE

— Attenuazione da cammini multipli

In quanto precede abbiamo veduto il tipo di collegamento radio che avviene direttamente (onda diretta) tra i punti TX-RX.

Successivamente abbiamo veduto il collegamento che avviene ancora direttamente, nonostante la presenza di ostacoli, almeno fino a certe condizioni di assenza di visibilità radio, ad opera di una parte della radiazione che risulta deviata dal percorso diretto (onda diffratta) per effetto dell'ostacolo stesso.

A questo punto bisogna introdurre un ulteriore concetto che ci consenta di approssimarci ancora di più alla realtà della situazione operativa, e di comprenderne il meccanismo, in relazione a una ulteriore classe di fenomeni fisici concorrenti nel radiocollegamento per onda troposferica. Si tratta della **riflessione** delle onde che avviene, più o meno marcatamente, ad opera di superfici riflettenti quali il mare, la pianura, il fianco di una montagna, eccetera.

Si tratta in definitiva di una ulteriore fonte di attenuazione da computare nel Modulo di cui alla figura 7. Ma anche in questo caso il calcolo sarà spogliato di ogni difficoltà matematica e ridotto a un semplice e singolo rilievo da un grafico.

Bisogna ora subito premettere che qualsiasi antenna TX non solo irradia verso RX ma irradia anche verso infinite altre direzioni, più o meno, a seconda delle attitudini direttive dell'antenna stessa. Ebbene, dopo questa premessa, è ben facile affermare che in RX, oltre a giungere l'onda diretta che già conosciamo, attraverso altra via, anzi attraverso altre vie, generalmente più lunghe, possono giungere anche una o più onde riflesse, come risulta dalla figura 20.

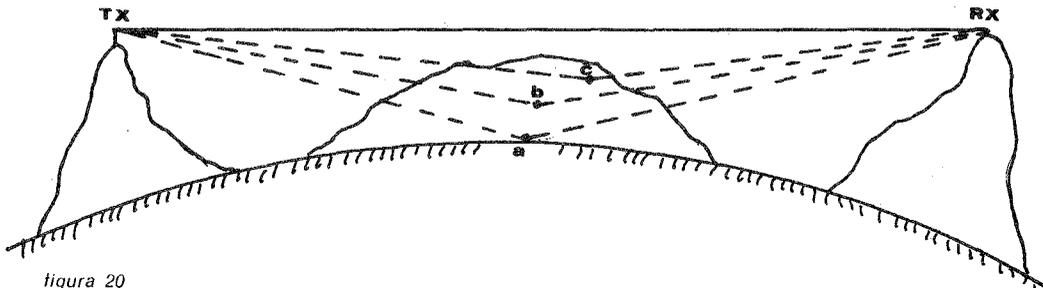


figura 20

Tratto pieno: onda diretta TX-RX. Tratteggio: onde riflesse in a, b, c. Attraverso percorsi diversi, più lunghi e con maggiore attenuazione, concorrono a formare il valore complessivo del segnale ricevuto in RX.

Le onde riflesse hanno intensità minore dell'onda diretta: talvolta estremamente ridotta talaltra però così elevata tanto da competere con la stessa onda diretta.

Questo insieme di onde recanti la stessa informazione che, pur provenendo dallo stesso TX, attraverso « cammini multipli » diversi giungono in RX, danno luogo a una risultante che è il segnale utile. Per un attimo si potrebbe pensare che il concorso di più onde incrementi vantaggiosamente il segnale utile. Purtroppo non è così! O meglio, si hanno aleatoriamente aumenti e riduzioni. Siccome in pratica è necessario premunirsi contro le riduzioni piuttosto che contare sugli aumenti, in definitiva bisogna tenere conto di una opportuna at-

tenazione del segnale che, per l'occasione, prende il nome di « attenuazione da cammini multipli ». La voce trova ovviamente collocazione nel Modulo di Tabulazione (figura 7), abbreviata con la notazione A_{cm} .

Infatti, due segnali radio della stessa frequenza, in conformità delle leggi fondamentali dell'elettrotecnica generale, si sommano fra loro, nel senso comune della parola, solo se sono esattamente in fase (caso « a » della figura 21).

Se invece sono in opposizione di fase, cosa che può facilmente avvenire per un'onda che, pur provenendo dallo stesso TX, segue un percorso diverso, si sottraggono nel senso comune della parola.

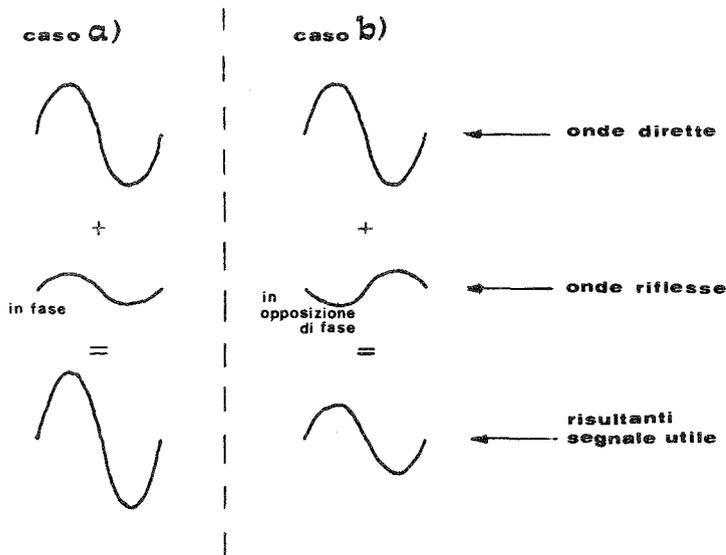


figura 21

Il caso a) indica come l'onda diretta si somma con l'onda riflessa generando una risultante più ampia. Il caso b) indica invece come dette onde si sottraggono riducendo la risultante.

In entrambi i casi l'effetto è dovuto alla reciproca relazione di fase.

Se le condizioni di propagazione diretta e riflessa sono variabili, come sovente accade, può aversi alternativamente l'uno o l'altro caso, con manifesti e nocivi effetti di affievolimento (fading). Ne discende che, tra le condizioni estreme — fase e opposizione di fase — sussiste tutta una gamma di valori intermedi che concorre attivamente al caratteristico fading, più o meno lento, più o meno frequente, più o meno profondo.

E' ovvio che in pratica si dovrà computare cautelativamente il caso peggiore, cioè la condizione di massima attenuazione.

In teoria, seguendo le leggi dell'ottica geometrica e mediante il computo fisico-matematico del « coefficiente di riflessione » della superficie riflettente, si può calcolare ampiezza e fase dell'onda riflessa. Noi non faremo nulla di tutto questo! Lo studio analitico dovrebbe essere poi ripetuto almeno per le principali onde riflesse che si presentano nel caso. Si dovrebbe poi ovviamente tenere conto anche delle varie condizioni di propagazione e delle singole ampiezze e fasi delle onde concorrenti alla formazione del segnale utile. Ancora meno faremo tutto questo! Anzi dette procedure sono evitate sovente anche nelle applicazioni professionali se non altro per la frequente indeterminazione dei punti di ri-

flessione e del « coefficiente di riflessione » relativo. In questi casi (professionali) per una prima quantizzazione di massima dell'attenuazione da cammini multipli (A_{cm}) introdotta in condizioni di affievolimento ci si basa su dati statistici, quali quelli elaborati dal Bullington sulla base di un gran numero di rilievi su casi pratici, o sui criteri normalmente considerati e raccomandati dal CCIR (Comitato Consultivo Internazionale per le Radiocomunicazioni) sulla base di certe formule. Successivamente si procede a prolungati rilievi pratici nelle condizioni effettive della tratta reale, mediante lunghe e costose campagne di misure, affrontate con larghezza di mezzi tecnici e apporti di personale largamente specializzato.

Nel nostro caso ci accontenteremo dei dati quantitativi di massima; ci avvarremo, come ormai di consueto in questo lavoro, del rilievo grafico su curve che discendono dalle formule raccomandate dal CCIR.

A questo punto si terrà infatti presente che nel collegamento TX-RX si deve sempre prudentemente imputare alle riflessioni una aliquota della riduzione del segnale ricevuto. In definitiva si dovrà introdurre nel modulo di figura 7 un opportuno valore di « attenuazione da cammini multipli ».

Si noti che in taluni casi, statisticamente piuttosto diradati, il segnale utile può subire attenuazioni particolarmente profonde suscettibili quindi di degradare sensibilmente la ricezione. Ebbene, se si vuole evitare (o mitigare) ciò con ragionevole sicurezza ed efficacia, bisogna disporre le cose (potenze, guadagni, sensibilità, controlli automatici, ecc.) in modo da compensare a priori queste particolari attenuazioni occasionali in maniera adeguatamente efficace. Praticamente il grafico di figura 22, sull'ordinata sinistra che va da 0 a 32 dB, fornisce il valore dell'attenuazione che in ogni caso non sarà superata per il 99,9 % della durata del collegamento. In altre parole, l'attenuazione così rica-

vata rischia di venire superata solo per 3,6 sec per ogni ora di lavoro in conseguenza, appunto, dei vari cammini multipli che le onde seguono prima di giungere in RX.

Evidente se si computano i valori di attenuazione di cui sopra, compensandoli adeguatamente con gli opportuni miglioramenti impiantistici, il collegamento risulterà notevolmente stabile ma probabilmente anche piuttosto costoso. In altre parole ancora: se i microvolt che risultano a disposizione sul ricevitore sono piuttosto molti, nonostante tali valori di attenuazione introdotti, il collegamento è da considerare notevolmente stabile: ciò evidentemente ha il suo prezzo.

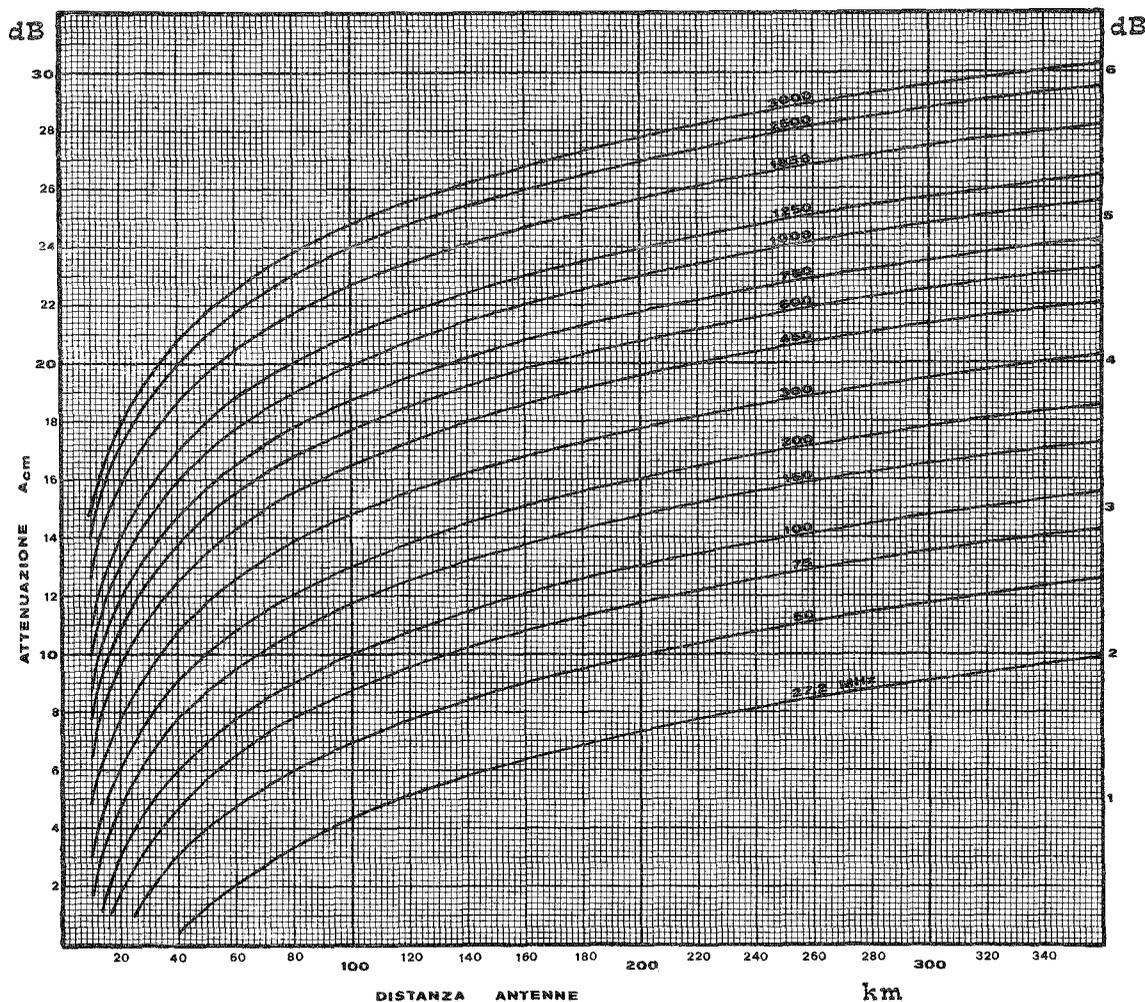


figura 22

Grafico che fornisce direttamente il valore in dB della attenuazione da cammini multipli (A_{cm}), secondo criteri praticamente accettabili, in funzione della lunghezza della tratta in km, per le varie frequenze indicate espresse in MHz.

Si attribuiscono i valori di sinistra ($0 \div 30$ dB) quando si devono predisporre le cose in modo da avere un'alta stabilità della ricezione.

Si attribuiscono i valori di destra ($0 \div 6$ dB) nel caso ci si accontenti di una minore stabilità. Nel primo caso il segnale ricevuto può scendere statisticamente sotto il livello calcolato solo per 3,6 sec ogni ora; nel secondo caso può scendere per 720 sec.

Se invece ci si accontenta di condizioni più modeste quindi si accetta una maggiore probabilità di incorrere in affievolimenti di un certo rilievo, si inserirà nel modulo di figura 7 un minore valore di attenuazione da cammini multipli, così come fornisce l'ordinata destra del grafico di figura 22 che va da 0 a 6,4 dB. Naturalmente dovremo spendere di meno per compensare con potenze, guadagni, sensibilità, ecc. Detta attenuazione non verrà statisticamente superata per lo 80 % della durata del collegamento. In altre parole c'è il rischio reale che per 12 min ogni ora si abbia una attenuazione superiore a quella effettivamente computata e quindi una degradazione bene avvertibile della ricezione, fino anche alla totale perdita del segnale, se il « conto profitti e perdite » del Modulo di Tabulazione è stato fatto troppo risicato.

E' buona norma di progettazione non fare i conti troppo risicati, specialmente con il tipo di procedura adottata in questo contesto. Se il ricevitore ha, per esempio, la sensibilità di $1 \mu\text{V}$ con 20 dB di rapporto segnale/disturbo in radiofonia, vuol dire che disponiamo di un buon ricevitore. Non è tuttavia prudente dimensionare le cose in modo che sia presente soltanto $1 \mu\text{V}$ all'ingresso del ricevitore stesso. La tensione di ingresso del segnale ricevuto deve infatti essere convenientemente più elevata per fare fronte alle varie necessità derivanti dalle interferenze, dagli errori di valutazione e da altri imprevisti.

Ciò si ottiene introducendo nel Modulo una « Attenuazione aggiuntiva » che chiameremo significativamente « scorta ».

In mancanza di accorgimenti cautelativi se, a conclusione del calcolo del « caso » in esame, il Modulo ci fornisce come risulta un valore di segnale V_1 (prevedibile in ricezione) dell'ordine del

limite minimo di ricevibilità, le condizioni non hanno il prudenziale margine di accettabilità.

Detta accettabilità può essere invece più ragionevolmente accordata se avremo avuto cura di introdurre una adeguata « scorta » (ad esempio 10 dB).

La stessa cosa dicasi se saranno state poste ipotesi di partenza alquanto rigorose come un basso valore di « K » (ad esempio 1) oppure se l'attenuazione da « cammini multipli » introdotta è quella approssimativamente corrispondente a una costanza del segnale ricevuto dal 99,9 % del tempo di collegamento (figura 22).

E' evidente che questi tre accorgimenti cautelativi possono essere anche congiuntamente adottati; ciò comporta vantaggi, svantaggi, costi, complicazioni, risultati, ecc. che devono caso per caso essere attentamente valutati.

In sostanza si dovrà ripetere diverse volte il calcolo alla ricerca di condizioni di compromesso.

A questo punto per ben fissare i concetti è opportuno rileggersi attentamente tutto il lavoro sin qua svolto. Eventualmente elaborando qualche caso scelto a piacere.

Importante il metodo razionale di eseguire, annotare e computare dati, calcoli e risultati a mezzo del « Modulo di Tabulazione ». Una volta infatti assorbiti i concetti, i vari computi si faranno ben rapidamente, molto più di quanto si possa ora credere, come appunto consentono gli appositi grafici forniti.

I due capitoli che seguono costituiscono una mini-guida per la scelta orientativa dei materiali impiantistici e per la valutazione dei casi reali.

(segue sul prossimo numero)



Soltanto **L. 4.500** i due raccoglitori per annata della rivista « **cq elettronica** »
Sono pratici, funzionali ed eleganti.

Richiedeteli alla

« **EDIZIONI CD** » via **C. Boldrini 22**
40121 BOLOGNA

con versamento a mezzo vaglia, francobolli da L. 100 o qualsiasi altro mezzo a voi più comodo

Sconto di L. 500 agli abbonati

Aspetti radioelettrici del collegamento troposferico VHF e UHF

calcolo semplificato della portata

p.i. Luigi Felizzi

(segue dal n. 9)

ANTENNE - LINEE - FILTRI

- Aspetti tecnico-applicativi
- Prestazioni orientative

Nel progetto di un collegamento radioelettrico in genere, e quindi anche VHF e UHF, rivestono par-

ticolare importanza le antenne, le linee di trasmissione a radiofrequenza (sovente cavi coassiali), gli eventuali filtri.

Queste tre componenti costituiscono il tramite che collega sia l'uscita del trasmettitore che l'ingresso del ricevitore allo spazio libero (tratta radio): vedere figura 23.

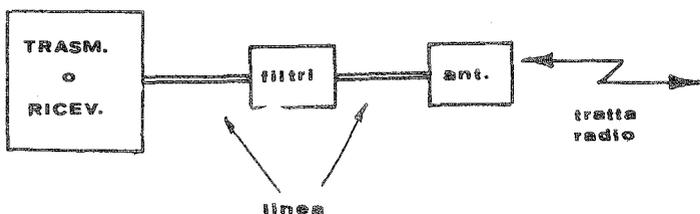


figura 23

Aspetto tipico di struttura completa di stazione trasmittente o ricevente con i relativi organi intermediari per il raccordo con lo spazio relativo alla tratta radio (linea, antenna, filtri).

Passiamo ora a un esempio concreto per vedere di fatto il gioco delle grandezze che ricorrono. Per un certo collegamento radio, supponiamo che dal Modulo di Tabulazione, a fine calcolo, si abbia:

- 1) Attenuazione totale $A_{tot} = 140$ dB; in cui incorre il guadagno sull'isotropa (1) di due stili irradiati pari a 4 dB (cioè $2 + 2$ dB) e l'attenuazione totale delle linee a radiofrequenza di 7 dB (3,5 in TX e 3,5 in RX) realizzate con cavo coassiale RG58 e aventi per semplicità la stessa lunghezza;
- 2) potenza del trasmettitore pari a 2 W;
- 3) segnale ricevuto $1 \mu V$ su $R_i = 50 \Omega$ (impedenza di ingresso del ricevitore); il valore della tensione di ingresso è stato ricavato dalla figura 4.

In queste condizioni vi è evidentemente ben poco margine di sicurezza; la possibilità di ricezione risulta piuttosto al limite e ben rapidamente può scendere sotto il livello di accettabilità.

Effettive procedure di calcolo saranno date nel successivo capitolo.

La situazione può essere notevolmente migliorata ad esempio come segue:

- 1) sostituzione dei due stili con due Yagi da 12 dB di guadagno cadauna (sull'isotropa);
- 2) sostituzione del cavo coassiale RG58 con il tipo RG8, sia in ricezione che in trasmissione con passaggio dai 7 dB complessivi di attenuazione a 3,5 (il cavo RG8 è migliore, è più costoso, ma l'attenuazione con esso si dimezza all'incirca).

(1) Per antenna isotropica (o isotropa) si intende un radiatore « ideale » che irradia uniformemente in tutte le direzioni, senza alcun privilegio.

È un'antenna irrealizzabile in pratica e del resto non avrebbe alcuna utilità nel campo applicativo.

Nello studio teorico invece riveste notevole importanza come riferimento, capita così di trovarla citata abbastanza frequentemente nei cataloghi dei costruttori specializzati. In questo lavoro ricorre l'espressione: « guadagno di un'antenna sull'isotropa ». Detto guadagno è quello effettivamente computato nel Modulo.

Se il costruttore fornisce il « guadagno dell'antenna riferito al dipolo $\lambda/2$ », si può pervenire al « guadagno sull'isotropa » semplicemente aggiungendo 2,16 dB (praticamente 2) a detto valore.

Con questi accorgimenti si ha una minore attenuazione totale (A_{tot}), infatti ai 140 dB di cui sopra devono essere tolti i dB (di guadagno) introdotti passando dagli stili alle Yagi

$$12 + 12 - 2 - 2 = 20 \text{ dB}$$

che è appunto il miglioramento dovuto alle antenne; si deve togliere inoltre quello dovuto alla sostituzione del cavo coassiale che è

$$7 - 3,5 = 3,5 \text{ dB.}$$

L'attenuazione totale in questo secondo caso (migliorato) è pertanto

$$A_{tot} = 140 - 20 - 3,5 = 116,5 \text{ dB}$$

Ancora dalla figura 4 si rileva che il segnale ricevuto con 116,5 dB di A_{tot} (contro i 140 delle precedenti condizioni) passa da $1 \mu\text{V}$ a ben $17 \mu\text{V}$ (!) assicurando evidentemente ben altre condizioni di lavoro e ben più soddisfacente margine di sicurezza per la continuità della ricezione.

Per inciso, dallo stesso grafico si rileva anche che, ferme restando antenne e cavi iniziali e quindi A_{tot} a livello di 140 dB, si poteva passare da 1 a $17 \mu\text{V}$ aumentando la potenza emessa da 2 a 500 W (!). Evidentemente vi sarebbe stato un ben maggiore inquinamento radioelettrico dello spazio, una maggiore complessità d'apparato, forse un aumento dei costi senza contare che già da una quarantina di megahertz in su il cavo RG58 non è più indicato per potenze RF di 500 W (vedi anche figura 26). Considerazioni di questo tipo, con più ampie implicazioni, saranno riprese nella parte conclusiva di questo lavoro. Esse sono molto importanti ed è bene rifletterci sopra fin da ora. Di seguito saranno date anche le grandezze pratiche fondamentali che interessano antenne, linee e filtri.

Tutte queste considerazioni rappresentano alcuni dei criteri principali che regolano e consigliano le scelte di progetto e di ottimizzazione. Si badi bene che non si possono dare regole fisse per le scelte ma solo criteri generali perché ogni caso è un caso a sé. **Inoltre le implicazioni hanno quasi sempre un aspetto tecnico e un aspetto economico da bene armonizzare e contemporaneamente.**

Ad esempio, riferendosi al caso di cui sopra, si osserva che il costo del cavo RG58 è notevolmente inferiore a quello dello RG8; la differenza sarebbe ancora più marcata se il confronto si facesse con il cavo RG17 (che infatti pur essendo ancora migliore non è stato scelto). Un'antenna Yagi, anche a parecchi elementi, ha un costo fortemente inferiore a quello di una antenna con riflettore parabolico. Gli uni e le altre non possono quindi, e non devono, essere scelti a sproposito o, come si suol dire, a lume di naso.

Un discorso analogo vale per la potenza di emissione dei TX e per la qualità degli RX.

Più pedestremente giocano talvolta gli ingombri; e ancora le condizioni ambientali, esempio: si dovrà pensare due volte prima di impiegare una parabola, sia pure da due metri di diametro, in una zona particolarmente ventilata senza sicuri supporti e ancoraggi; si preferirà un'antenna a riflettore angolare « a stecche » se la supportatura meccanica è carente e se il guadagno può essere accettabile.

Accorte riflessioni dovranno essere fatte anche nel caso dell'impiego dei filtri; questi non di rado sono sensibili alle elevate variazioni di temperatura; sono costosi, critici e a volte ingombranti; si « mangiano » inoltre qualche dB. Dovranno però essere senz'altro usati in zone radioelettricamente molto inquinate: ad esempio per la presenza di altri ponti radio con disturbi da armoniche, spurie varie, intermodulazione. Oppure quando si ha il timore di essere a propria volta fonte di disturbo: ad esempio nel caso delle radio e TV libere che sovente operano in piena città, in mezzo alle antenne degli utenti **rai**, producendo le famose « emissioni non essenziali » irradiate da TX senza troppa avarizia.

Antenne

I tipi di antenne radio impiegabili sono numerosissimi. Si può dire che ogni caso trova possibilità di ottima soluzione con un certo tipo di antenna. Gli elementi principali da prendere in considerazione per la scelta sono i seguenti:

- 1) direttività e diagramma di radiazione;
- 2) guadagno;
- 3) adattamento alla linea a radiofrequenza e ROS;
- 4) compatibilità con l'ambiente di installazione;
- 5) costo.

Direttività. In termini discorsivi è l'attitudine di una antenna a favorire l'irradiazione in una direzione piuttosto che in un'altra. Questa proprietà viene messa in luce dai diagrammi di radiazione che i libri di testo forniscono in generale e i Costruttori forniscono in particolare. Orientativamente si parla di antenne « omnidirezionali », « moderatamente direttive », « direttive », « fortemente direttive » e altri simili aggettivi.

Si parla inoltre di « direttività orizzontale » e di « direttività verticale ». Per quanto superfluo, ricordiamo che la direttività orizzontale riguarda il piano orizzontale, quello che contiene la « rosa dei venti »; la direttività verticale riguarda il piano in cui si solleva una batteria contraerea o un telescopio astronomico. Inoltre se le antenne sono munite di « riflettore » viene attenuata o praticamente eliminata la radiazione posteriore.

A questo punto è chiaro che per una radioemittente libera quasi certamente interessa un'antenna che, nel piano orizzontale, sia omnidirezionale mentre, nel piano verticale, « spari » meno possibile verso l'alto. La « ground-plane » assolve bene al primo requisito, molto meno bene al secondo; un'antenna collineare a quattro dipoli sfalsati assolverà bene al primo e al secondo requisito contemporaneamente. Dalla figura 24 si rileva che entrambe sono omnidirezionali ma i rispettivi guadagni passano da 2 a ben 8 dB circa!

Nel collegamento invece tra due punti fissi, ad esempio due ripetitori di ponte radio, saranno generalmente necessarie due antenne direttive, meglio se fortemente direttive, in grado di eliminare la radiazione posteriore e anche buona parte di quella laterale.

Nel caso invece di un ponte radio per radioamatori, possono sorgere varie altre necessità in relazione alle zone che si intende (o non) servire.

Guadagno. Viene espresso in dB ed è in definitiva l'indicazione quantitativa del comportamento dell'antenna. Comportamento rispetto a che cosa? Solitamente viene dato rispetto al dipolo $\lambda/2$. Quindi, ad esempio, un guadagno di 6 dB rispetto al dipolo $\lambda/2$ vuol dire che con quell'antenna, nella direzione favorita, si ottiene lo stesso effetto del dipolo $\lambda/2$ irradiando una potenza quattro volte inferiore. Ma questa contabilità, espressa in questi termini, non è strettamente necessaria.

Si deve tenere conto invece che se il Costruttore fornisce il guadagno in dB rispetto a $\lambda/2$, tale guadagno deve essere aumentato di 2 dB circa prima di essere introdotto nel « Modulo di Tabulazione », figura 7; se invece il guadagno è fornito direttamente rispetto all'isotropia, deve essere preso così com'è e utilizzato nel computo.

E ora, regola « maccheronica »: le antenne che rispetto alla lunghezza d'onda in gioco espressa in metri hanno un notevole ingombro (almeno due delle loro dimensioni dell'ordine di $\lambda/2$ oppure grossa sezione di conduttori) tendono ad avere buoni guadagni o soddisfacenti larghezze di banda o entrambi. In altre parole il miglioramento di questi requisiti è legato in qualche modo all'aumento dell'ingombro. Il purista sarà un tantino indulgente.

Adattamento. La condizione tipica è l'eguaglianza tra l'impedenza di ingresso dell'antenna e l'impedenza caratteristica della linea a RF; condizione questa che dà luogo al rapporto di onda stazionaria unitario (ROS = 1). Sovente questo estremo non ricorre nella pratica ma non bisogna rammaricarsene troppo. ROS pari a 1,5 sono frequenti nelle condizioni normali senza drammi. Al di sopra bisogna cominciare a valutare l'opportunità di introdurre criteri correttivi.

Compatibilità con l'ambiente e costo. Solo qualche regola generale. Curare che la posizione di installazione della antenna sia facilmente accessibile, in modo particolare se è critico il relativo puntamento. Servono comunque, relativamente spesso, controlli e manutenzione.

Puntare sul guadagno di antenna piuttosto che sulla potenza del trasmettitore.

Tenersi lontani almeno due o tre lunghezze d'onda (ad esempio da quattro a sei metri per la banda dei 144 MHz) da strutture metalliche, piani riflettenti (lastre solari), ecc.

Ricordare inoltre che le antenne si installano quando c'è il sole però devono sopportare anche le bufere. Ogni commento è superfluo. Niente ancoraggi provvisori che restano immancabilmente definitivi fino alla loro rottura. Per la strallatura (tirantaria) la cordina di nailon può sostituire vantaggiosamente il cavo di acciaio ma, per effetto della maggiore elasticità della prima, ogni cavo di acciaio deve essere sostituito con due cordine opportunamente distanziate.

Impiegare sempre (!) tenditori, radance, grilli, moschettoni, piuttosto che la gassa d'amante o il nodo Savoia.

Linee a radiofrequenza

Il termine linea a RF è generico. Esprime il tramite che collega trasmettitore (o ricevitore) alla relativa antenna, anche nel caso di interposizioni di filtri.

Le linee possono essere praticamente dei seguenti tipi:

- bifilari;
- coassiali;
- a guida d'onda.

Linea bifilare. Il tipo più noto di linea bifilare è la comune piattina usata un tempo, abbondantemente, per la televisione, per la modulazione di frequenza e anche da parte di non pochi radioamatori (in trasmissione e ricezione). La relativa impedenza caratteristica è di 300 Ω .

Vi sono vari tipi di piattina che presentano piuttosto ridotta attenuazione teorica così da competere con i buoni e ben più costosi cavi coassiali. In pratica però la discesa deve essere particolarmente curata nel percorso, nelle curve e allontanata dalle masse metalliche. Il regime elettrico della piattina è facilmente dissimmetrizzabile con conseguente subentro di fenomeni di irradiazione che aumentano l'attenuazione e producono campi radio non desiderati in trasmissione.

Cavo coassiale. E' il tipo più noto di linea a RF, in televisione, per la modulazione di frequenza, nei ponti radio, per i radioamatori, per i CB, nei collegamenti su mezzi mobili, ecc.

L'impedenza caratteristica praticamente usata è quella di 75 Ω per la radio TV e stereofonia domestica e di 50 Ω per le radiocomunicazioni professionali e semiprofessionali.

Il cavo coassiale è più costoso della piattina. Per costi approssimativamente comparabili ha perdite di attenuazione notevolmente superiori. Ha però il vantaggio della non irradiazione e di non presentare alcuna difficoltà per la posa in opera (persino sotto traccia) anche se in ogni caso è bene evitare raggi di curvatura troppo ridotti.

E' bene ricordare che al rimpicciolirsi del cavo coassiale tende ad aumentare la relativa attenuazione e a diminuire la potenza ammessa.

Guide d'onda. Sono singolarmente adatte per ristrette bande di frequenza; sono costose, ingombranti e di laboriosa posa. Hanno però una irradiazione nulla e una attenuazione bassissima. Sono componenti altamente professionali, perciò esulano da questo contesto.

* * *

La figura 26 indica orientativamente le attenuazioni dei vari tipi di linea. In mancanza di precisi dati del Costruttore, queste possono essere assunte come prima approssimazione nello studio di massima. E' importante inoltre osservare che si suppone sempre esistente la condizione di adattamento di impedenza tra apparecchiatura, linea e antenna. In pratica, come già accennato, questa condizione si considera soddisfatta per ROS intorno a 1,5.

Il costo della piattina e particolarmente quello del cavo coassiale salgono rapidamente al diminuire della relativa attenuazione.

Bisogna inoltre fare attenzione che la potenza immessa in linea sia sempre compatibile con quella sopportabile dalla stessa; il relativo esatto valore viene fornito dal Costruttore. La massima potenza ammissibile indicata sovente si riferisce al ROS=1; in presenza di onde stazionarie (ROS \neq 1) detta potenza deve essere prudentemente ridotta (lasciamo perdere di quanto, altrimenti le cose si complicano!).

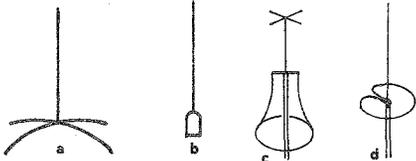
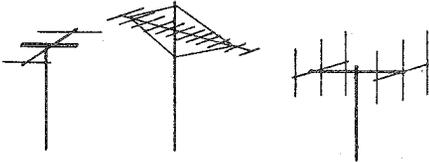
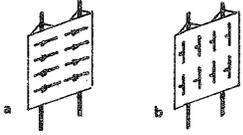
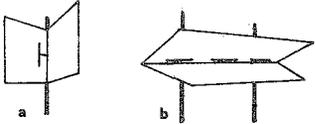
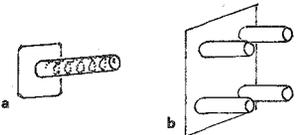
| Aspetto delle più usate ANTENNE per VHF e UHF | Descrizione | Guadagno dB sull'isotr. | Prop. direttive |
|---|---|-------------------------------|------------------------------------|
|  | a-b Dipoli $\lambda/2$ orizzontali c Dipolo $\lambda/2$ verticale | 2 2 | SD SD |
|  | <u>Stili e antenne derivate</u> a Ground-plane b Stilo $\lambda/4$ c) Elaborazioni particol. d) | 2 2 3/5 | omn. omn. omn. |
|  | <u>Y A G I</u> 1 rad. + 1 rifl. 1 " + 1 " + 1 diret. 1 " + 1 " + 2 " 1 " + 1 " + var.dir. Elaborazioni particol. | 5 7 9 9/11 11/16 | dir. dir. dir. dir. FD |
|  | <u>Collineari</u> a 4 elementi coassiali b 4 " sfalsati c 2 " coassiali | 10 8 7 | ODF omn. ODF |
|  | <u>Cortine con riflettore</u> a 8 dipoli $\lambda/2$ orizzon. b 8 " " vertic. | 11 11 | dir. dir. |
|  | <u>Dipoli su riflettore angol.</u> a 1 dipolo $\lambda/2$ b 3 dipoli $\lambda/2$ | 10/12 14/16 | dir. FD |
|  | <u>Antenna elicoidale + rifl.</u> a Antenna singola b Sistema di antenne | 12/15 17/20 | FD FD |
|  | <u>Antenne con parabola rifl.</u> Diametro parabola 2/6 metri (vedere Fig. 25) | 16/42 | FD |

figura 24

Principali tipi di antenne ricorrenti in VHF e UHF con l'indicazione orientativa del guadagno riferito all'isotropia e delle attitudini direttive.

- omn. = omnidirezionale
ODF = omnidirezionale con direzione favorita
SD = scarsamente direttiva
dir. = direttiva
FD = fortemente direttiva

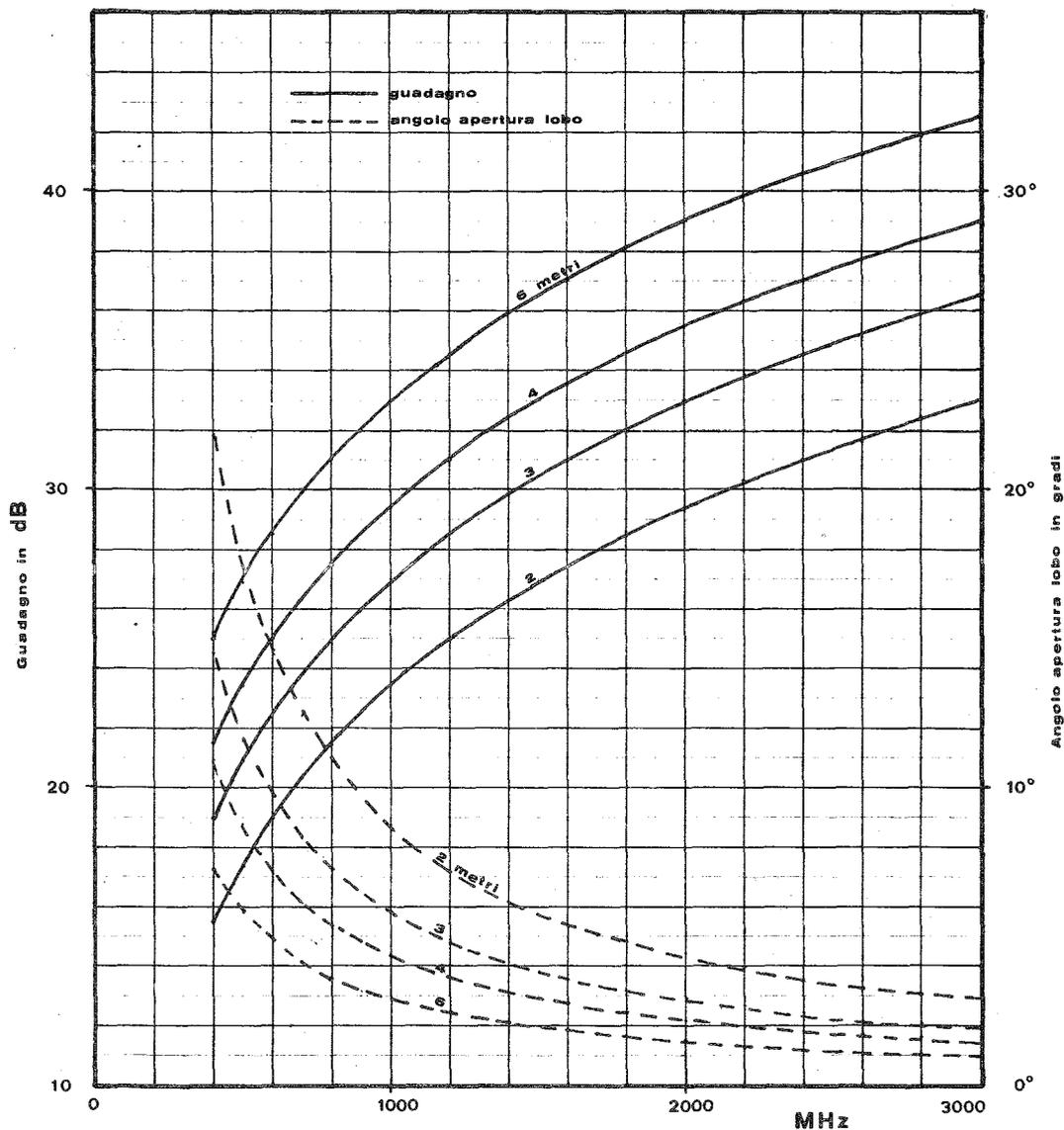


figura 25

Guadagno orientativo di antenne a parabola aventi diametri diversi in funzione della frequenza di emissione.
Indicazione dell'apertura in gradi del lobo cioè apertura del fascio tra i punti verso cui la potenza emessa in quella direzione si riduce a metà.

Filtri

Il filtraggio in antenna, sia in ricezione che in trasmissione, è una questione teoricamente molto complessa. Tuttavia in pratica è possibile avere discreti orientamenti se si fa riferimento ad alcuni concetti base.

Ebbene, quando serve il filtraggio? Come deve essere? Vediamo qualche caso.

- 1) Ricezione del segnale utile in una zona radioelettricamente inquinata; in altre parole, quando si desidera che al ricevitore si presenti il solo segnale utile eliminando fin dall'ingresso tutti quei segnali che per la loro elevata intensità, per quanto di diversa frequenza, potrebbero introdurre seri disturbi (intermodulazione).
- 2) Trasmissione del solo segnale utile con l'eliminazione di ogni emissione spuria, in partico-

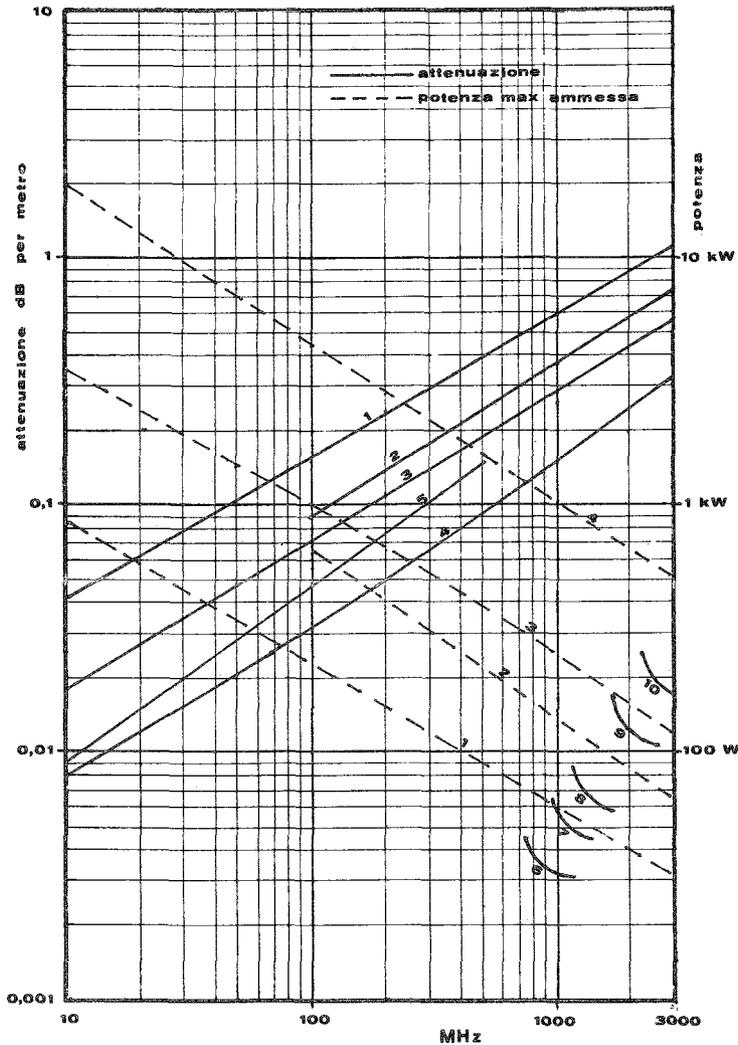


figura 26

Attenuazione comparativa delle più significative linee a radiofrequenza: cavi coassiali, piattine, guide d'onda. Indicazione della potenza ammessa nei cavi coax.

Per le realizzazioni che possono riguardare il presente studio, le linee praticamente impiegate sono i cavi coassiali (50 e 75 Ω).

Nel caso di impiego di piattine dovrà essere richiesta la relativa attenuazione direttamente alla fonte. E' buona norma riferirsi a detta fonte in ogni caso.

Cavi coax 50

- 1 RG 58 C/U
- 3 RG 8/U (9 e 10)
- 4 RG 17/U (e 18)

Cavi coax 75

- 2 RG 6 A/U
- 3 RG 11/U (12 e 13)
- 4 RG 35/U (84 e 85)

Piattina 300

- 5 indicaz. generica

Guide d'onda

- 6 WR 975
- 7 WR 770
- 8 WR 650
- 9 WR 430
- 10 WR 340

lare delle armoniche, fin dall'antenna trasmittente.

- 3) Ricezione e trasmissione contemporanea a mezzo di una sola antenna (duplexer). Eventualità abbastanza possibile in collegamenti tra punti fissi con l'impiego di una sola (costosa) antenna fortemente direttiva.

Bisogna però, per maggiore completezza, presentare prima i quattro fondamentali tipi di filtro.

Essi sono:

Filtro passa-basso che consente liberamente il tran-

sito delle frequenze basse sino a un certo valore f_c (frequenza di taglio); oltre detta frequenza, all'aumentare della stessa, il filtro introduce una attenuazione che può essere anche di rilevante entità.

Filtro passa-alto che consente liberamente il transito delle frequenze elevate sino a un certo valore f_c ; al di sotto di detto valore, al diminuire della frequenza, il filtro introduce una attenuazione che può essere anche di rilevante entità.

Filtro passa-banda che consente liberamente il transito di una più o meno ristretta banda di fre-

quenze attenuando tutte le frequenze superiori e tutte quelle inferiori, in misura più o meno energica, a seconda delle caratteristiche del filtro stesso.

Filtro arresta-banda che consente liberamente il transito di tutte le frequenze tranne una ben definita banda di queste che viene attenuata in maniera più o meno energica a seconda delle caratteristiche del filtro stesso.

* * *

Ritorniamo ora ai tre casi di filtraggio iniziali.

1° caso. Poniamo di voler ricevere la frequenza di 145 MHz senza ricevere contemporaneamente disturbo da una vicina emittente che opera su 148. La figura 27 ci dice che è sufficiente un filtro del tipo passa-basso di adeguate prestazioni.

Se oltre alla frequenza di 148 MHz vi fosse anche il disturbo di una 142, il filtro dovrebbe avere le caratteristiche di un passa-banda come indica la figura 28, sempre, si intende, di adeguate prestazioni.

La tecnica attuale consente agevolmente la soppressione di questi disturbi, anche così vicini, me-

dante l'uso di cavità. Le soluzioni sono molteplici, a seconda dei casi. Potrebbero ad esempio essere impiegate cavità esattamente sintonizzate sulla o sulle frequenze di disturbo così da cortocircuitarle (arresta-banda). Potrebbero essere impiegate cavità del tipo passa-banda. In certi casi vengono usate combinazioni di cavità. In altri vengono usati filtri a capacità e induttanza (detti a costanti concentrate).

Questi ultimi filtri sono alquanto laboriosi per il calcolo e soprattutto per la realizzazione. Sono critici da mettere a punto e, solitamente, hanno fronti di attenuazione molto meno ripidi delle cavità. Hanno però il vantaggio della possibile autocostruzione e quindi di un costo più che modesto. Questi discorsi valgono anche per i seguenti casi.

2° caso. Poniamo di voler «pulire» l'emissione di un certo trasmettitore di una radio libera che opera su 102 MHz in FM con la seconda armonica che cade nel bel mezzo del canale «G» della TV (200 ÷ 207 MHz). In questo caso è piuttosto indicato un filtro arresta-banda, esempio una cavità sintonizzata su 204 MHz. Una cavità passa-banda, sintonizzata su 102 MHz, poteva essere eventualmen-

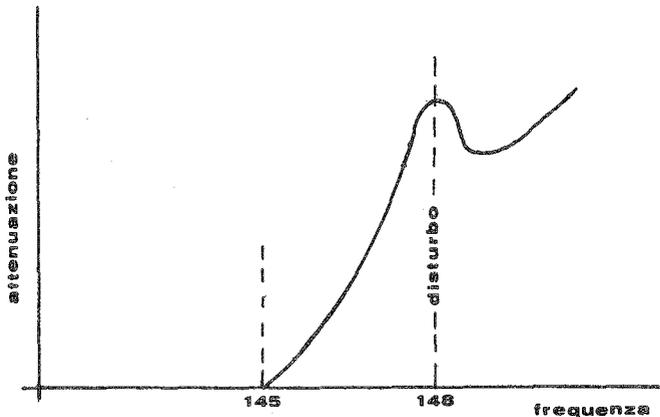


figura 27

Caratteristica di attenuazione di un filtro passa-basso idoneo ad attenuare il disturbo localizzato su una frequenza superiore a quella di ricezione che è di 145 MHz.

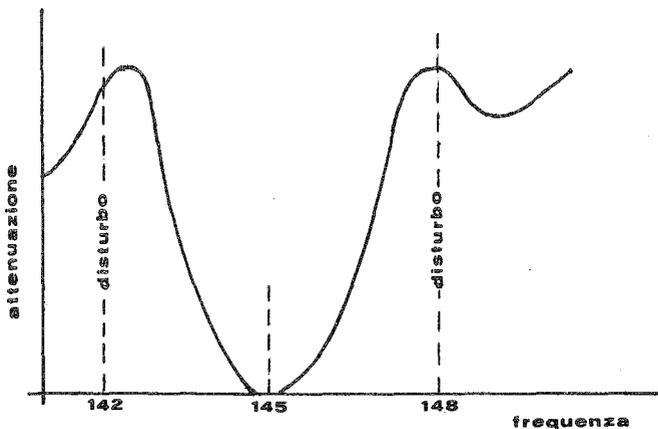


figura 28

Caratteristica di attenuazione di un filtro passa-banda idoneo ad attenuare disturbi localizzati su frequenze superiori e inferiori rispetto a quella di ricezione (145 MHz).

te impiegata dopo essersi accertati del libero transito delle bande laterali dell'emissione. Data la distanza dell'armonica poteva verosimilmente essere sufficiente anche un filtro passa-basso a costanti concentrate.

3° caso. Questo caso è il più complesso. Infatti TX e RX devono operare su frequenze diverse almeno di quel tanto che consenta di creare, con opportune combinazioni di filtri, due canali distinti e separati; ciò in modo che il TX non si riversi sul RX, ma che entrambi siano « visti » dall'antenna come collocati su canali separati. E' necessario il contatto con i Costruttori per disporre di esatte caratteristiche di filtraggio dei componenti da impiegare (cavità, celle predisposte) ovvero per la adozione di dispositivi già previsti per un certo tipo di servizio, ad esempio banda VHF Marina. Tutte queste soluzioni hanno il comune difetto di essere laboriose o costose o entrambe; inoltre certi componenti sono piuttosto scarsamente reperi-

ribili in Italia; a noi in questi ultimi tempi sembra che qualcosa si stia muovendo; manca comunque la divulgazione tecnico-commerciale. Negli Stati Uniti vi sono ottime reperibilità; i Costruttori sono larghi di pubblicità, di dati e di consigli, accade così che il filtraggio arriva a non essere difficile. Semmai è difficile l'ottimizzazione per rendere minima la spesa a fronte di soddisfacenti prestazioni ottenute.

Per quanto riguarda l'effetto dei filtri nel dimensionamento del collegamento radioelettrico, oggetto del nostro studio, bisogna prendere atto dell'attenuazione in dB che essi introducono alla frequenza di esercizio. Orientativamente questa attenuazione va da 0,5 a 2 dB circa, per la ricezione e per la trasmissione. Nel Modulo di Tabulazione quindi si dovranno introdurre i valori che il Costruttore dichiara badando ad aggiungere qualche cosetta in più, anziché no, per certe sorprese possibili a verificarsi.

Articolo [7/1979, pagina 1332] leggasi: orizzontale 1 cm = 5 km; stesso articolo, pagina 1333, leggasi: verticale 1 cm = 1 km. Con tutte le dovute scuse del caso.

(seguito e fine sul prossimo numero)

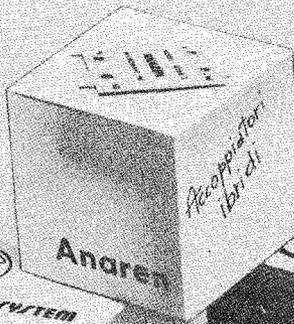


TELEMATICA

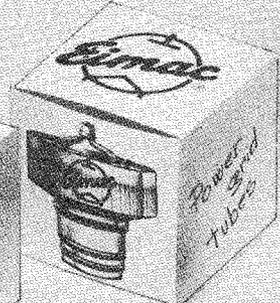
tecnologie avanzate



TECHNO/SYSTEM SERVICE
Anaren



Picoapplicatori ibridi di



Power Signal Tubes



TELELEC TA

*Proposta
'Telematica'
nel campo delle
telecomunicazioni!*

TELEMATICA SRL
roma via p. fumaroli 14 tel.(06) 220396 - 222049

brescia piazza c. battisti 7 tel.(030) 301636

Aspetti radioelettrici del collegamento troposferico VHF e UHF

calcolo semplificato della portata

Luigi Felizzi

(segue dal n. 10)

I MOLTI ASPETTI DI UN CASO DI TV LOCALE

— Impostazione del problema. Esecuzione dei calcoli; discussione dei risultati e analisi comparativa.

Impostazione del problema

Poniamo il caso di una emittente libera locale di TV che intendesse operare sul canale 38 (607,25 MHz) con una potenza di 100 W irradiati da una antenna costituita da quattro dipoli collineari. L'irradiazione dell'antenna sia (para)-omnidirezionale con guadagno di 10 dB (sull'isotropa) nella direzione privilegiata.

Sia pure in condizioni piuttosto al limite della portata si desidererebbe anche servire una cittadina posta a 40 km di distanza con un profilo di tratta corrispondente a quello indicato in figura 29, ricavato per condizioni troposferiche più severe di quelle standard: $K = 1$ anziché 1,33.

Si ammette di impiegare in ricezione antenne Yagi a quattro elementi, 75Ω di impedenza caratteristica ($R_r = 75$), con amplificatore di antenna associato.

Per soddisfare al servizio con un buon livello commerciale si pone che il segnale presente ai capi dell'antenna ricevente sia di almeno $300 \mu V$ per il 99,9 % del tempo di durata del collegamento.

Altre considerazioni e condizioni:

cavo coax trasmissione
30 m, tipo RG8

filtri trasmissione
vedere casi seguenti

cavo coax ricezione complessivamente
1 dB circa di attenuazione

In quanto segue si farà un discorso sostanzialmente tecnico, senza quindi nessun riferimento a limiti di legge o a normative in genere attuali e, ovviamente, future. Inoltre le condizioni di cui sopra sono di « partenza ». Nel prosieguo verranno ipotizzate e introdotte opportune variazioni così da far risaltare varie linee da seguire (o da abbandonare) per conseguire utili risultati.

Avvalendoci del « Modulo di Tabulazione » di cui alla figura 7, accingiamoci con ordine e raziocinio a calcolare le varie componenti (attenuazioni, guadagni, tensioni di ingresso RX) che ricorrono nel

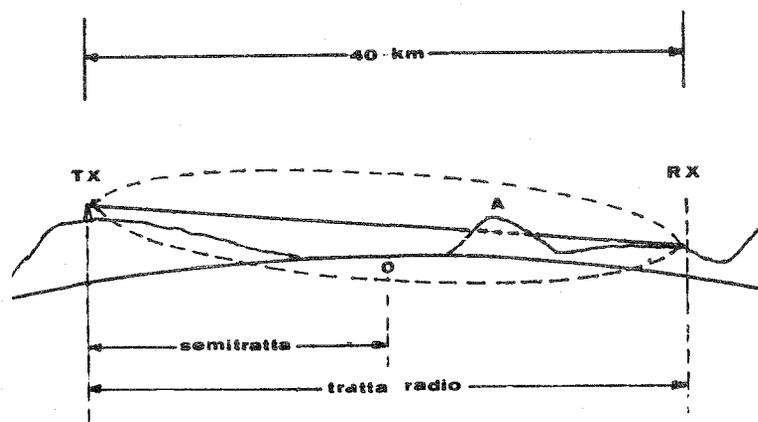


figura 29

Profilo altimetrico della tratta radio (che nella pratica si ricava da buone carte con scala ad esempio 1/100.000) relativo al caso in esame, completo del 1° ellissoide di Fresnel necessario per individuare l'attenuazione da ostacolo (rilievo « A »).

collegamento. Successivamente, sempre sullo stesso « Modulo », prenderemo in considerazione più esempi (casi) diversi alla ricerca della migliore soluzione, più confacente in ordine a considerazioni tecniche, economiche, operative, ecc.
In figura 30 in appresso riportata risultano ordinatamente tabulate condizioni e valori di calcolo di

seguito meglio illustrati.

Esecuzione dei calcoli; discussione dei risultati e analisi comparativa

1° caso.

| | |
|---|-------------------|
| - Dalla Fig. 8 , per 40 km, a 600 MHz circa si ha una attenuazione da spazio libero | $A_{sl} = 120$ dB |
| - Facendo riferimento alla Fig. 29 di cui sopra, dove già figura il 1° ellissoide di Fresnel (calcolato per 600 MHz e 40 km) su una curvatura severa ($K = 1$) si ha attenuazione da ostacolo (sono state impiegate le Figg. 18/19/17) | $A_{os} = 9$ dB |
| - L'attenuazione da cammini multipli si ricava direttamente dalla Fig. 22 per 600 MHz e 40 km. Pertanto attenuazione non superato per il 99,9 % della durata del collegamento | $A_{cm} = 14$ dB |
| - TX: guadagno antenna sull'isotropia | 10 dB |
| - TX: attenuazione cavo coax $0,21 \times 30 = 0,63$ (circa 1) | 1 dB |
| - TX: attenuazione filtri non viene computata intenzionalmente; se i filtri dovessero essere applicati per ridurre le interferenze vi sarebbe una ulteriore attenuazione di un paio di dB | - |
| - RX: guadagno sull'isotropia della Yagi a 4 elementi | 8 dB |
| - RX: attenuaz. cavo coax. complessivamente | 1 dB |
| - RX: filtri (non impiegati) | - |
| - Volutamente non sono stati introdotti dB di scorta. | |

Dalla trascrizione nel « Modulo di Tabulazione » ed eseguendo somme e differenze, si ha l'attenuazione totale (cioè attenuazione meno guadagni)

$$A_{tot} = 145 - 18 = 127 \text{ dB}$$

Da ciò, mediante la figura 5 (riferita a $R_i = 75 \Omega$), tenuto presente che la potenza irradiata è $P_T = 100 \text{ W}$, si ricava che la tensione del segnale utile prodotta dall'antenna all'ingresso del ricevitore (in questo caso per l'esattezza si tratta dell'ingresso dell'amplificatore di antenna) è insufficiente; si ha infatti

$$V_i = 34 \mu\text{V}$$

contro almeno i $300 \mu\text{V}$ prestabiliti.

Nelle condizioni poste dal problema la zona non può essere servita: $34 \mu\text{V}$ sono largamente insufficienti in quanto il rapporto segnale/disturbo è

inaccettabile; sarebbe inutile aumentare le sensibilità dell'amplificatore di antenna, il rumore prevarrebbe comunque sul segnale.

Perché le condizioni di ricezione rientrino nei limiti imposti (piuttosto severi in verità: $K = 1$, segnale garantito per il 99,9 % della durata del collegamento) il grafico di figura 5 ci dice che A_{tot} deve ridursi fino a circa 105 dB.

E' chiaro che bisogna introdurre nel sistema, complessivamente, un guadagno di circa 22 dB oppure, della stessa quantità, si deve diminuire l'attenuazione di una o più delle componenti che vi concorrono oppure, ancora, si può agire contemporaneamente su attenuazioni e guadagni purché sia di 105 dB il valore di A_{tot} . Purtroppo ciò non è né facile né economico.

Si potrebbe pensare di spartire difficoltà e oneri tra i punti TX e RX: tecnicamente ciò è possibile e spesso sarebbe anche opportuno. Bisogna però ri-

cordare che si è già supposto che l'utente sia propenso a sobbarcarsi la spesa e le complicazioni dell'amplificatore d'antenna; c'è però da aspettarsi che non sia affatto disposto ad altro. In parole povere c'è da aspettarsi la rinuncia all'utenza con forte probabilità se le difficoltà non vengono affrontate dall' esercente della trasmittente TV.

Vediamo quali potrebbero essere i rimedi. In ogni caso l'adozione di uno solo di questi non sarebbe conveniente né sufficiente; in pratica la possibilità di collegamento si realizza solo associando più rimedi.

Di seguito si elencano i provvedimenti tipici cui si ricorre in casi di questo genere anche se, nel caso specifico, non sarebbero tutti adottabili e qualcuno risulterebbe inutile per trascurabile contributo positivo:

- 1) sopraelevazione dell'antenna TX
- 2) sopraelevazione dell'antenna RX
- 3) aumento guadagno antenna TX
- 4) aumento guadagno antenna RX
- 5) aumento potenza TX
- 6) ripetitore nel punto « A »
- 7) ripetitore nel punto RX
- 8) riduzione attenuazione cavi coassiali
- 9) riduzione attenuazione cavi filtri
- 10) aumento della sensibilità di ricezione

implicano entrambi
l'impiego di un secondo
canale

Passiamo ora a esaminare, quantizzandoli con i necessari calcoli (grafici) sul « Modulo di Tabulazione », alcuni rimedi mettendo a punto quattro altri casi alternativi. Si faccia riferimento alla figura 30.

2° caso.

Sistemazione in « A » di un ripetitore destinato a servire solamente la cittadina.

Sarà evidentemente sufficiente che il ripetitore abbia una relativamente modesta potenza P_T di emissione (di cui intenzionalmente non ci fermeremo a calcolare il valore). Inoltre la relativa antenna può essere direttiva.

La tratta radio principale risulta ora tutta « in vista », su una lunghezza totale di 27,5 km. Calcolando il 1° Ellissoide di Fresnel ci si accorge che questo è praticamente tutto libero.

È indispensabile però trasmettere verso la cittadina su un diverso canale. Anche questo secondo problema, di evidente possibile soluzione a mezzo degli strumenti di studio e operativi offerti da questo lavoro, per semplicità non verrà affrontato in questa sede.

È necessario prevedere l'uso di filtri sia per la parte TX che per la parte RX del ripetitore onde evitare disturbi.

Adottando una adeguata antenna e una conveniente potenza per il trasmettitore del ripetitore in « A », l'utente potrà anche fare a meno dell'amplificatore di antenna individuale e questo costituisce incentivo.

Dallo stretto punto di vista della tecnica radioelettrica, per i 450 μ V assicurati in « A », la soluzione è valida. Bisogna però tenere conto di tutta una serie di difficoltà che ora indichiamo.

Si potrebbero avere notevoli problemi per l'acquisto o l'affitto del terreno o di una adatta costruzione sita in « A ». E ancora: difficoltà di installazione

di antenne; mancanza di agevoli strade di accesso; mancanza di energia elettrica; notevole esposizione ai venti e alle scariche atmosferiche; esposizione ai vandalismi e ai furti nel caso di località isolata; difficoltà di sistemazione di adeguate prese di terra (cucuzzoli rocciosi); oneri non indifferenti per la manutenzione decentrata; possibili interruzioni del servizio; acquisto del ripetitore; maggiormente costoso se si desidera che l'apparecchiatura sia binata (cioè doppia) così da essere automaticamente sostituita in caso di avaria.

Questo per citare gli aspetti più probabili e appariscenti. Evidentemente anche altri elementi a sorpresa potrebbero negativamente concorrere. È chiaro quindi che la valutazione non può essere solo strettamente radioelettrica ma deve essere anche economica ed operativa.

Si noti che nel caso di ripetitore in « A » si dovrebbero calcolare anche le condizioni della seconda tratta radio che si viene a formare (da « A » a « RX »). Per semplicità questo calcolo è stato omesso ma potrebbe utilmente essere eseguito dal lettore per propria esercitazione, adottando un serparato « Modulo di Tabulazione ».

Vediamo altri casi.

3° caso.

Potrebbe essere sistemato un ripetitore nella cittadina stessa collocandolo in qualche edificio già esistente (anche mediante corresponsione di un canone) unitamente a una parabola da due metri (19 dB sull'isotropia). Un ulteriore miglioramento si potrebbe avere prevedendo di aumentare la potenza originaria di TX passando da $P_T = 100$ W a $P_T = 1000$ W.

Si eliminerebbero così parecchi degli inconvenienti della postazione in « A » ferma restando la necessità dell'acquisto del ripetitore e dell'uso di un secondo canale.

Gli interventi urgenti, almeno quelli più elementari, potrebbero essere affidati a una persona del luogo. In realtà però, radioelettricamente, si sarebbe alquanto al limite delle possibilità; sarebbero infatti disponibili su $R_1 = 50 \Omega$ del ricevitore del ripetitore solo 280 μ V, seppure per il 99,9 % del tempo di servizio. La condizione presenta quindi validi elementi di interesse.

Almeno sulla carta, la possibilità di collegamento è discretamente concreta. Meritevole di essere sperimentata perché all'esperienza, in definitiva, spetta sempre l'ultima parola nonostante ogni sofisticatezza di calcoli.

Non trascurabile l'incentivo all'utenza in quanto, essendovi un ripetitore locale, non si presenterebbe più la necessità degli amplificatori sulle relative antenne individuali.

4° caso.

Nessun ripetitore intermedio. Parabola di tre metri in trasmissione (nel punto TX). Potenza in antenna $P_T = 200$ W. Raccogliendo le condizioni di questo particolare caso nel « Modulo di Tabulazione » (4° caso) si vede che all'ingresso dei vari ricevitori l'utente (o meglio dei relativi amplificatori di antenna) si avrebbero 220 μ V; notevolmente quindi al di sotto dei 300 μ V previsti.

Verosimilmente però il servizio avrebbe anche ben ampi periodi di accettabile possibilità per i seguenti motivi:

1) se si accettasse il servizio assicurato per lo

80 % del tempo l'attenuazione da « cammini multipli » potrebbe essere computata nella misura di 3 dB anziché di 14! Di fatto, pur non raggiungendo il 99,9 % le condizioni sarebbero più favorevoli dello 80 %;

| MODULO DI TABULAZIONE Calcoli per il progetto di collegamento radio VHF e UHF | 1° caso | | 2° caso | | 3° caso | | 4° caso | | 5° caso | |
|--|--|-----------|--|-----------|---|-----------|---|-----------|---|-----------|
| | Pr = 100 Ri = 75 Tratta = 40 Canali: uno Cost. coll. 99,9% | | Ripet. in "A" Pr = 100 Ri = 50 Tratta = 27,5 Canali: due Cost. coll. 99,9% Parabola 2m φ in "A" | | Ripet. in "RX" Pr = 1000 Ri = 50 Tratta = 40 Canali: due Cost. coll. 99,9% Parab. "RX" 2m φ | | Pr = 200 (1000) Ri = 75 Tratta = 40 Canali: uno Cost. coll. 99,9% Parab. "TX" 3m φ | | Ripet. in "RX" Pr = 1000 Ri = 50 Tratta = 40 Canali: due Cost. coll. 99,9% Parab. "TX" 3m φ in "RX" 2m φ | |
| | Att. | Guad. | Att. | Guad. | Att. | Guad. | Att. | Guad. | Att. | Guad. |
| | dB | dB | dB | dB | dB | dB | dB | dB | dB | dB |
| Attenuazione da spazio libero A_{sl} | 120 | | 116 | | 120 | | 120 | | 120 | |
| Attenuazione da ostacoli A_{os} | 9 | | | | 9 | | 9 | | 9 | |
| Attenuazioni da cammini multipli A_{cm} | 14 | | 12 | | 14 | | 14 | | 14 | |
| | | | | | | | | | | |
| TX Guadagno antenna | | 10 | | 10 | | 10 | | 22 | | 22 |
| TX Attenuazione linea a radiofrequenza | 1 | | 1 | | 1 | | 1 | | 1 | |
| TX Attenuazione filtri di antenna | — | | 1 | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| RX Guadagno antenna | | 8 | | 19 | | 19 | | 8 | | 19 |
| RX Attenuazione linea a radiofrequenza | 1 | | 1 | | 1 | | 1 | | 1 | |
| RX Attenuazione filtri di antenna | — | | 2 | | 2 | | | | 2 | |
| Attenuazione aggiuntiva (scorta) | — | | — | | — | | — | | — | |
| | | | | | | | | | | |
| T O T A L I | 145 | 18 | 133 | 29 | 147 | 29 | 145 | 30 | 147 | 41 |
| | dB | | | | | | | | | |
| Attenuazione totale Att. - Guad. = A_{tot} | 127 dB | | 104 dB | | 118 dB | | 115 dB | | 106 dB | |
| Tensione ingresso RX V_i | 34 μV | | 450 μV | | 280 μV | | 220 μV (490 μV) | | 1030 μV | |

figura 30

Prospetto che consente e sintetizza tutti i calcoli relativi ai cinque casi esaminati. In testa alle colonne sono elencati i principali dati che presidono e condizionano ogni singolo caso. Potenze in W. Impedenze di ingresso RX in Ω . Lunghezze di tratta in km. Diametri di parabole in m. Costanza del collegamento 99,9 % cioè il segnale non scende sotto il valore indicato V_i per più di 3,6 sec ogni ora. Attenuazioni e guadagni sono espressi in dB. Il segnale utile è in μV .

- 2) la presenza dell'ostacolo « A » inoltre può bloccare qualche riflessione della pianura intermedia rendendo più costante il collegamento (fenomeno secondario noto come « guadagno da ostacolo ») per la minore incidenza negativa dei « cammini multipli »;
- 3) un ulteriore miglioramento si avrebbe in realtà anche quando è $K = 1,33$; si ricordi infatti che la curvatura di cui alla figura 29 è tracciata per $K = 1$ che costituisce condizione piuttosto sfavorevole.

Come si vede, sia pure con risultati più modesti, il caso potrebbe presentare motivi di validità per cui le prove sperimentali avrebbero ben ragione di essere.

Se poi si accettasse di passare da 200 W a 1.000 W per la potenza di emissione (indicazioni tra parentesi nel « Modulo »), il segnale passerebbe a 490 μV , quindi con un certo margine di sicurezza anche sulle condizioni di ricezione inizialmente stabilite.

5° caso.

Ripetitore sistemato nella cittadina (in RX) con ricezione in parabola da due metri. Trasmissione dal punto TX con parabola da tre metri e una potenza di antenna $P_T = 1.000 \text{ W}$.

I guadagni delle antenne sono rispettivamente 22 e 19 dB. Raccogliendo i dati di cui si dispone nel 5° caso del « Modulo di Tabulazione », si rileva che il ripetitore della cittadina dispone di un segnale di 1.030 μV , praticamente per il 99,9% del tempo di collegamento, nelle condizioni di $K = 1$!

Di eguale sicurezza temporale possono quindi fruire anche gli utenti della cittadina; il ripetitore locale assicura evidentemente una sufficiente ampiezza e costanza del segnale.

E' chiaro che l'impianto risulta costoso: come acquisto, come installazione e come manutenzione.

La soluzione però è valida in termini di piuttosto elevata professionalità.

Innanzitutto è chiaro che il collegamento non è facile. Una TV-libera di dimensioni, diciamo, piuttosto modeste per disponibilità complessive, non potrebbe affrontarlo. Ciò, in un certo senso, mostra la notevole utilità del tipo di studio affrontato!

In caso di disponibilità di mezzi, e quindi anche di apparato tecnico, le vie da seguire sono diverse, come l'impiego di un ripetitore locale (in RX), di un ripetitore decentrato (in « A »), di nessun ripetitore, ecc. Per ciascuna soluzione si possono comunque conoscere vantaggi, svantaggi e limiti.

Tra le varie cose vi è da considerare se, oltre alla cittadina indicata, l'area di servizio potesse essere estesa anche ad altre zone; ciò potrebbe far optare con maggiore convinzione per soluzioni di maggiore consistenza professionale.

In ogni caso l'attento esame del « Modulo di Tabulazione » dovrebbe consentire ragionevoli e ragionate scelte sia per le prove iniziali sia per le adozioni definitive.

RIEPILOGO SINTETICO DELLA PROCEDURA DI PROGETTO

Progettare vuol dire in sostanza porsi un problema, assumere alcuni ben determinati dati come **elementi di partenza**, operare per giungere alla conoscenza di certi risultati che possano essere considerati come la soluzione del problema posto.

In caso di risultati non soddisfacenti, o nel dubbio più o meno motivato che possano esservi soluzioni più convenienti, è necessario modificare uno o più elementi di partenza, ovvero introdurre altre opportune varianti (o l'uno e l'altro), e ripetere i calcoli.

Anche se nel nostro caso non è possibile dare una linea totalmente rigida, come del resto lo pro-

Dati normalmente considerati come elementi di partenza

| | | |
|-------|--|--------------------|
| f | = frequenza prevista | MHz |
| P_T | = potenza uscita trasmettitore | W |
| R_i | = impedenza ingresso ricevitore | Ω |
| V_i | = sensibilità del ricevitore per un precisato e accettabile rapporto segnale/disturbo adatto all'informazione che interessa ricevere (voce, musica, TV, ecc) | μV o mV |
| d | = distanza tra antenne TX e RX | km |
| K | = coefficiente troposferico | 1,33/0,7 |
| h | = quota altimetrica antenne TX ed RX | m |
| l | = lunghezza linee alimen. antenne TX e RX | m |
| - | carta geografica del percorso di tratta con l'indicazione quotata del rilievo o rografico, possibilmente scala 1:100.000 | |

vano anche i precedenti ragionamenti applicativi, è tuttavia possibile offrire una procedura molto guidata e molto agevole, con risultati parziali da ordinare nel Modulo di Tabulazione (figura 7) che risulta allo scopo diviso in **cinque casi**, ciascuno in **due colonne**, tutti in **sedici righe numerate** (qualcosa che ricorda il meno distensivo modulo della denuncia annuale dei redditi).

Con l'esercizio si scopre ben presto che spesso, nel corso dei calcoli ripetitivi, non è affatto necessario rifare tutti i calcoli parziali delle singole voci; si scopre anche che sono possibili varie procedure inverse; semplici visioni orientative, ecc. Alcune esercitazioni di allenamento saranno in ogni caso necessarie.

Sequenza delle operazioni per la compilazione del Modulo

| <u>Descrizione delle operazioni</u> | <u>Figure usate</u> | <u>Risultati ottenuti in</u> | <u>Rigo del Modulo</u> |
|--|---------------------|------------------------------|------------------------|
| Calcolo attenuazione spazio libero | 8 | dB | 1 |
| Disegno uno o più profili di tratta per vari valori di "K" | 11-12 | | |
| Calcolo I° ellissoide di Fresnel | 18-19 | f in m | |
| Disegno I° E. di F. sulla relativa tratta | 11-12 | | |
| Calcolo attenuazione da ostacolo | 16-17 | dB | 2 |
| Calcolo attenuazione cammini multipli | 22 | dB | 3 |
| Guadagno antenna TX (dai manuali o da..) | 24-25 | dB | 5 |
| Calcolo attenuazione linea RF del TX (dai manuali o da....) | 26 | dB | 6 |
| Attenuazione filtri TX (dai manuali) | | dB | 7 |
| Guadagno antenna RX (dai manuali o da..) | 24-25 | dB | 9 |
| Calcolo attenuazione linea RF del RX (dai manuali o da...) | 26 | dB | 10 |
| Attenuazione filtri RX (dai manuali) | | dB | 11 |
| Assegnazione attenuazione aggiuntiva (scorta = 0 ÷ 15 dB orientativamente) | | dB | 13 |
| Esecuzione totali colonne Att. e Guad. | | dB | 14 |
| Calcolo di Attenuazione totale (A_{tot}) (Att. - Guad. = A_{tot}) | | dB | 15 |
| Calcolo tensione ingresso Ricevitore | 4-5-6 | μV o mV | 16 |

BIBLIOGRAFIA

- 1 Prof. Antonio Chinni -
ENCICLOPEDIA DELL'INGEGNERIA Vol V - Mondadori
- 2 Prof. Antonio Ascione
LEZIONI DI PONTI RADIO - Università degli studi di Roma
Edizioni Scientifiche Siderea - Roma 1971
- 3 Walter Favaro
RICETRASMETTITORI VHF A TRANSISTORI AM, FM, SSB.-
Edizioni C.E.L.I. Bologna 1971
- 4 F.E. Terman
MANUALE DI INGEGNERIA RADIOTECNICA -
Edizioni Martello Milano 1960
- 5 F.E. Terman
RADIOTECNICA ED ELETTRONICA - Ed. C.E.L.I. Bologna
- 6 Dott. Alfredo Favaro
ENCICLOPEDIA DELLA RADIO -
Sansoni Edizioni Scientifiche Firenze 1954
- 7 Simonini e Bellini
LE ANTENNE - Edizioni Il Rostro - Milano 1956
- 8 A. Barone
MANUALE DELLE ANTENNE - Edizioni C.D. Bologna 1971
- 9 A. Bandini Buti
IMPIANTI DI ANTENNE TV - Editoriale Delfino Milano 1977
- 10 NORME PER GLI IMPIANTI CENTRALIZZATI D'ANTENNA
Fascicolo 432 Norme C.E.I. 12-15 Ed II - 1977
- 11 ANTENNE TV - IMPIANTI MULTIPLI
Catalogo edito da Fracarro Radioindustrie
Castelfranco Veneto 1977
- 12 Lenzi. Notarstefano. Riga.
METODOLOGIE PER LA REALIZZAZIONE DI UNA RETE RADIOTELEFONICA
MOBILE NELL'ITALIA CENTRALE - Atti XXII Congresso
Internazionale per l'elettronica - Roma 1975
- 13 ANTENNE PARABOLICHE - Catalogo edito dalla "Ponti Radio"
"PR" s.r.l. Linate
- 14 COMMUNICATION ANTENNAS SYSTEMS - Catalogo edito da The
Antennas Specialists Co. Cleveland 1975 Ohio
- 15 PROFESSIONAL COMMUNICATIONS ANTENNAS - Catalogo edito
da Phelps Dodge Communications Co. Marlboro 1977
- 16 ANTENNAS FOR COMMUNICATIONS EQUIPMENT - Cataloghi editi
dalla Kathrein - Rosenheim RFT 1975/76

FINE