FRANCESCO FEDI (*)

La propagazione delle onde radio a 50 anni dalla morte di Guglielmo Marconi (**)

Dovendo parlare degli studi sulla propagazione delle onde radio a 50 anni dalla morte di Guglielmo Marconi mi sembra opportuno, nel tempo a disposizione, concentrare l'attenzione su quello che è stato il tema di ricerca più importante degli ultimi venti anni.

Già alla fine degli anni '60, infatti, si fece più pressante la necessità di impiegare porzioni delle spettro radio al di sopra dei 10 GHz per i vari servizi radio ed in primo luogo per le telecomunicazioni.

A queste frequenze l'influenza delle condizioni atmosferiche sulla propagazione delle onde radio diventa fondamentale e lo studio di tale influenza ha ben presto attratto l'attenzione dei più importanti Centri di ricerca dei vari paesi.

In questo sforzo di ricerca va sottolineato il ruolo di primo piano avuto dall'Europa e dall'Italia anche nei confronti di paesi industrialmente avanzati come gli Stati Uniti ed il Giappone.

In occasione dell'anniversario di oggi è giusto ricordare che furono proprio gli esperimenti condotti da Marconi intorno al 1930 a dimostrare l'influenza delle condizioni atmosferiche sulla radio propagazione a frequenze superiori ad alcune centinaia di MHz.

Ancora una volta in contrasto con le teorie dell'epoca, che non tenevano conto della non omogeneità delle condizioni di temperatura, pressione ed umidità atmosferiche, egli ricevette sul panfilo Elettra segnali ben al di là dell'orizzonte ottico.

Fu anche in conseguenza di questi risultati che nacque una nuova branca

(*) Direttore delle Ricerche, Fondazione « Ugo Bordoni », Roma.

(**) Relazione presentata in occasione della commemorazione del cinquantesimo anniversario della morte di Guglielmo Marconi a Villa Griffone, Pontecchio Marconi, il 20 luglio 1987.

della scienza, la cosidetta « Radiometeorologia », proprio per lo studio dell'interazione tra propagazione delle onde radio e condizioni meteorologiche.

Nel caso delle frequenze superiori a 10 GHz il fenomeno più importante è costituito dall'assorbimento e dalla diffusione di energia elettromagnetica da parte delle idrometeore e dalle conseguenti notevoli attenuazioni che le onde radio possono subire nell'attraversare regioni dell'atmosfera contenenti precipitazioni ed, in particolare, pioggia.

Di tali attenuazioni occorreva necessariamente tenere conto nel dimensionamento dei radiocollegamenti e sullo studio di tale argomento si sono concentrati gli sforzi degli studiosi di tutto il mondo.

Il problema si pose dapprima per i collegamenti terrestri. Le informazioni necessarie per dimensionamento di tali collegamenti consistevano — una volta dati la località d'installazione, la frequenza e polarizzazione impiegata e la lunghezza del collegamento — nell'ottenere la funzione di distribuzione dell'attenuazione dovuta a pioggia, cioè la curva che fornisce i valori di attenuazione A (dB) superati per le varie percentuali del tempo P(%).

Una volta nota tale curva, il sistemista può calcolare il « margine di potenza » necessario per rispettare obiettivi di disponibilità prefissati, ovvero, dato il « margine di potenza », può calcolare il tempo di fuori servizio che ci si può attendere sul collegamento.

Il problema che ci si pose fu quello di come ricavare queste informazioni per le varie località, lunghezza di tratta, frequenze e polarizzazioni tenuto conto della notevole variabilità di tali curve di anno in anno.

La strada più ardua, ma certamente più corretta dal punto di vista fisico e più promettente dal punto di vista applicativo, apparve quella di cercare di costruire un modello per il calcolo di A(P) a partire da dati meteorologici che fossero disponibili in molte località e di utilizzare i dati radio raccolti sui collegamenti per verificare la precisione del modello.

Nel caso in questione si era indubbiamente avvantaggiati in quanto i dati meteorologici su cui costruire il modello esistevano. Questi erano i dati di intensità di precipitazione raccolti in tutti i paesi in numerosissime località e molte decadi dai vari Servizi Meteorologici.

Questa fu l'impostazione data al programma di ricerca italiano svolto negli anni '70 dalla Fondazione « Ugo Bordoni » per conto dell'Istituto Superiore P.T.; programma che comportò anche la realizzazione di un Centro sperimentale di notevole complessità nella piana del Fucino.

Questa fu anche l'impostazione data al programma europeo COST (European Cooperation in the Scientific and Technical Field) sull'argomento, programma ideato e coordinato dall'Italia.

Il programma fu certamente importante: durò dal '72 al '78, vide la partecipazione di 14 paesi europei e dell'ESA ed ottenne come risultato, da una parte, una base dati veramente ragguardevole (di gran lunga superiore a quelle disponibili negli USA o in Giappone) e, dall'altra, l'unificazione delle procedure per la raccolta e l'analisi dei dati.

L'importanza scientifica dei risultati fu sottolineata dalla loro pubblicazione in un numero unico della rivista Alta Frequenza [1] e la loro importanza applicativa dall'interesse suscitato in ambito CCIR (International Radio Consultative Committee).

Il cuore del modello risiedeva nel trovare una relazione tra causa ed effetto, cioè una relazione tra l'attenuazione specifica γ (dB/km) e l'intensità di precipitazione R (mm/h) Tale relazione doveva essere costruita, data la frequenza e la polarizzazione, sulla base di un modello della microstruttura delle precipitazioni.

I primi tentativi furono compiuti da due ricercatori inglesi, Ryde e Ryde, intorno al 1945. Essi utilizzarono i risultati ottenuti dal fisico tedesco Mie all'inizio del secolo circa la diffusione ed assorbimento di una singola goccia sferica.

Facendo l'ipotesi di gocce sferiche, tenendo conto del fatto che le gocce non hanno tutte lo stesso diametro ed utilizzando risultati sperimentali sulla distribuzione dei diametri, sulla velocità e temperatura delle gocce di pioggia, essi riuscirono a dimostrare che il legame γ - R era molto semplice, del tipo $\gamma = k R^{\alpha}$ con k ed α coefficienti che dipendono dalla frequenza.

Questi risultati furono sottoposti a verifica sperimentale in molti paesi del mondo e ci si accorse ben presto che una delle ipotesi più discutibili era quella concernente l'indipendenza dalla polarizzazione. Nella figura 1 sono riportati alcuni dati ottenuti nel '76 in Italia misurando contemporaneamente, alla stessa frequenza e sullo stesso collegamento, le attenuazioni in polarizzazione verticale ed orizzontale. Si vede che, al contrario di quanto previsto dalla teoria, la polarizzazione orizzontale risulta più attenuata e la differenza tra le attenuazioni aumenta con l'entità del fenomeno cioè aumenta con l'intensità di precipitazione.

Ben presto ci si rese conto che il motivo di ciò dipendeva dal fatto che le gocce non erano sferiche ma schiacciate e tanto più schiacciate quanto maggiori erano le loro dimensioni, come mostrano in figura 2. Qualitativamente era spiegato quindi perché la polarizzazione orizzontale era più attenuata e perché la differenza cresce con l'aumentare dell'intensità di precipitazione. All'aumentare dell'intensità crescono infatti le dimensioni delle gocce e quindi la loro deformazione.

Per i risultati quantitativi occorreva attendere il 1960 allorché il fisico giapponese Oguchi calcolò la diffusione ed assorbimento di una goccia ellissoidale (così come Mie aveva fatto per la goccia sferica) ed il 1979, allorchè il gruppo della Fondazione Bordoni, ipotizzando gocce ellissoidali, riuscì a dimostrare che la relazione γ-R era ancora del tipo $\gamma = kR^{\alpha}$ ma con k ed α dipendenti non solo dalla frequenza ma anche dalla polarizzazione.

Sulla base di tali risultati fu preparata la tabella di figura 3 che fornisce i valori di k ed α per le due polarizzazioni e per frequenze da 1 a 400 GHz.

(1) F. Fenr (Editor), *The Eurocop-COST 25/4 Project on Radiopropagation above 10 GHz*. « Alta Frequenza », English issue, April (1979).

Questa tabella è contenuta nelle raccomandazioni del CCIR ed è oggi universalmente utilizzata.

Il secondo punto fondamentale del modello riguardava la possibilità di caratterizzare ogni località con una funzione di distribuzione dell'intensità di precipitazione R(P) che si potesse ritenere valida in tutti i punti della zona del collegamento.

Dagli studi sull'andamento di R nel tempo ci si accorse ben presto che le precipitazioni intense tendono ad essere concentrate in brevi periodi di tempo, pochi minuti. Dalla figura 4, che riporta un evento misurato a Roma nel '75, si vede che i picchi di intensità (fino a 300 mm/h) sono concentrati in circa 4 minuti: la media oraria non sarebbe invece stata superiore a qualche millimetro.

Da risultati di questo tipo ci si avvide subito che i dati dei Servizi Meteorologici, presentati normalmente come medie orarie, non potevano essere usati direttamente. Con opportune tecniche, dalle registrazioni originarie, si è iniziato ad estrarre dati di intensità mediati tipicamente su uno-due minuti. Particolar-

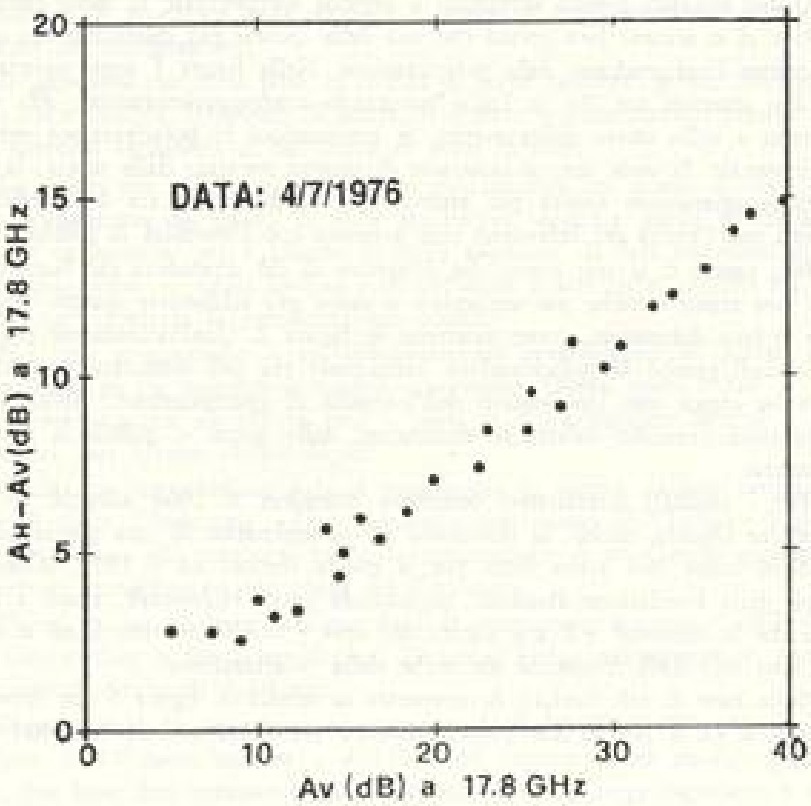


Fig. 1. Attenuazioni misurate a 17.8 GHz per polarizzazioni orizzontale e verticale.

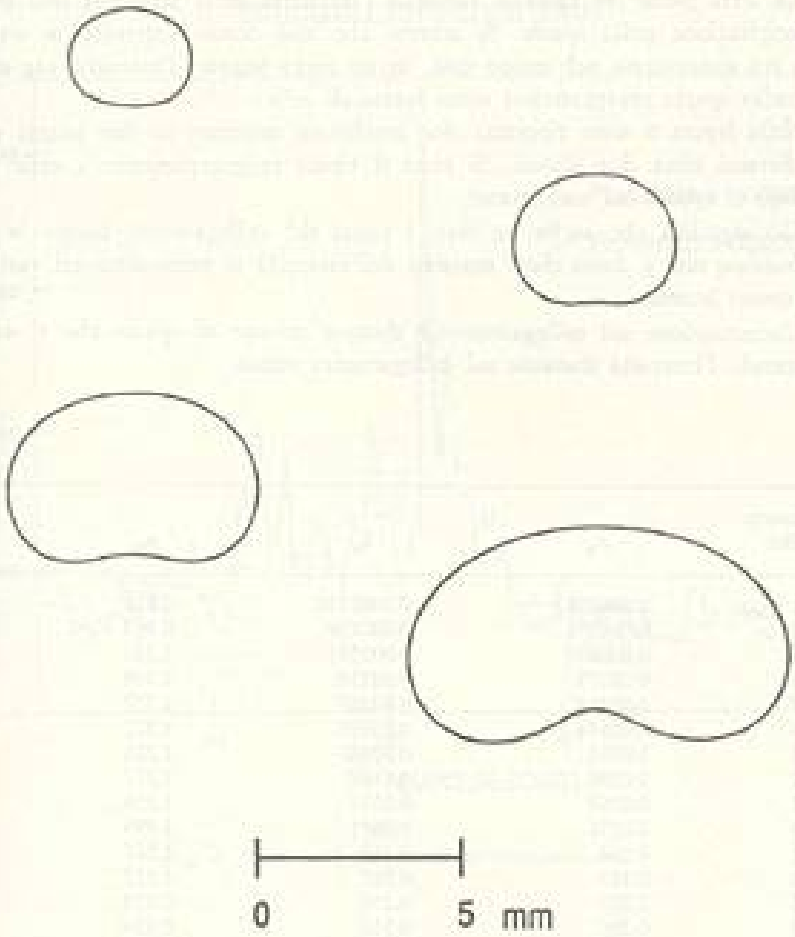


Fig. 2. Forma delle gocce di pioggia.

mente notevole nel nostro Paese è stata, in questo campo, l'attività dello CSELT di Torino.

Infine si è visto che i dati statisticamente più stabili e più utili sono i valori di intensità superati per lo 0.01% del tempo di un anno cioè circa 1 h/anno. Si è pertanto proceduto in sede internazionale CCIR a caratterizzare le varie zone da questo punto di vista.

Nella figura 5 sono riportate le curve « isointensità » (che sono come le curve di livello nelle carte topografiche) per la Regione 1. Si vede, ad esempio, che per il nostro paese le zone più piovose sono quelle tirreniche, e tra queste quelle intorno a Genova, con picchi, fino a 60-70 mm/h.

Si nota anche che questi valori sono superiori a quelli riscontrabili in paesi notoriamente « piovosi » come, ad esempio, la Gran Bretagna.

La terza parte del modello riguarda l'influenza della struttura dell'intensità di precipitazione nello spazio. Si accertò che così come l'intensità in un certo punto era concentrata nel tempo così, in un certo istante, l'intensità era concentrata nello spazio presentandosi sotto forma di celle.

Nella figura 6 sono riportate due condizioni misurate in due istanti successivi, distanti circa due minuti. Si nota il tipico raggruppamento a celle la cui posizione si sposta nei vari istanti.

Ciò significa che anche se tutti i punti del collegamento hanno la stessa distribuzione non è detto che i massimi dell'intensità si presentino nei vari punti nello stesso istante.

L'attenuazione sul collegamento è dunque minore di quella che si avrebbe supponendo l'intensità costante sul collegamento stesso.

Frequency (GHz)	k_H	k_V	α_H	α_V
1	0.0000387	0.0000352	0.912	0.880
2	0.000154	0.000138	0.963	0.923
4	0.000650	0.000591	1.121	1.057
6	0.00175	0.00155	1.308	1.265
7	0.00301	0.00265	1.332	1.312
8	0.00454	0.00395	1.327	1.310
10	0.0101	0.00887	1.276	1.264
12	0.0188	0.0168	1.217	1.200
15	0.0367	0.0335	1.154	1.128
20	0.0751	0.0691	1.099	1.065
25	0.124	0.113	1.061	1.030
30	0.187	0.167	1.021	1.000
35	0.263	0.233	0.979	0.963
40	0.350	0.310	0.939	0.929
45	0.442	0.393	0.903	0.897
50	0.536	0.479	0.837	0.868
60	0.707	0.642	0.826	0.824
70	0.851	0.784	0.793	0.793
80	0.975	0.906	0.769	0.769
90	1.06	0.999	0.753	0.754
100	1.12	1.06	0.743	0.744
120	1.18	1.13	0.731	0.732
150	1.31	1.27	0.710	0.711
200	1.45	1.42	0.689	0.690
300	1.36	1.35	0.688	0.689
400	1.32	1.31	0.683	0.684

* Raindrop size distribution [Laws and Parsons, 1943].
Terminal velocity of raindrops [Gunn and Kinzer, 1949].
Index of refraction of water at 20°C [Ray, 1972].
Values of k_H, k_V, α_H and α_V for spheroidal drops [Fedi 1979; Maggiori, 1981] based on regression for the rande 1 to 130 mm/h.

Fig. 3. CCIR - Coefficienti di regressione per la stima delle attenuazioni specifiche.

Fig. 4. Esempio di un evento di precipitazione.

Per il calcolo dell'attenuazione si può pertanto sostituire al collegamento reale un collegamento fittizio, avente una lunghezza equivalente Le = rL minore di quella reale L ma tale che, supponendo su di essa l'intensità costante, si ottiene lo stesso valore di attenuazione.

Il problema si sposta dunque al calcolo del coefficiente di riduzione r anch'esso funzione della percentuale di tempo P.

Il problema del clacolo del coefficiente di riduzione r è stato molto semplificato dall'osservazione dei numerosi dati sperimentali ottenuti soprattutto in Europa. Si notò infatti che le distribuzioni dell'attenuazione riportate in scala doppiamente logaritmica risultarono tutte delle rette, approssimativamente parallele, indipendentemente dalla frequenza, dalla polarizzazione, dalla distanza, e dalla località. A titolo di esempio sono mostrati nelle figure 7 e 8 i dati ottenuti nella stessa località (Fucino) sullo stesso collegamento (9.5 km) a diverse frequenze e polarizzazioni; ed i dati ottenuti in località (Regno Unito e Giappone), collegamenti, frequenze e polarizzazioni differenti.

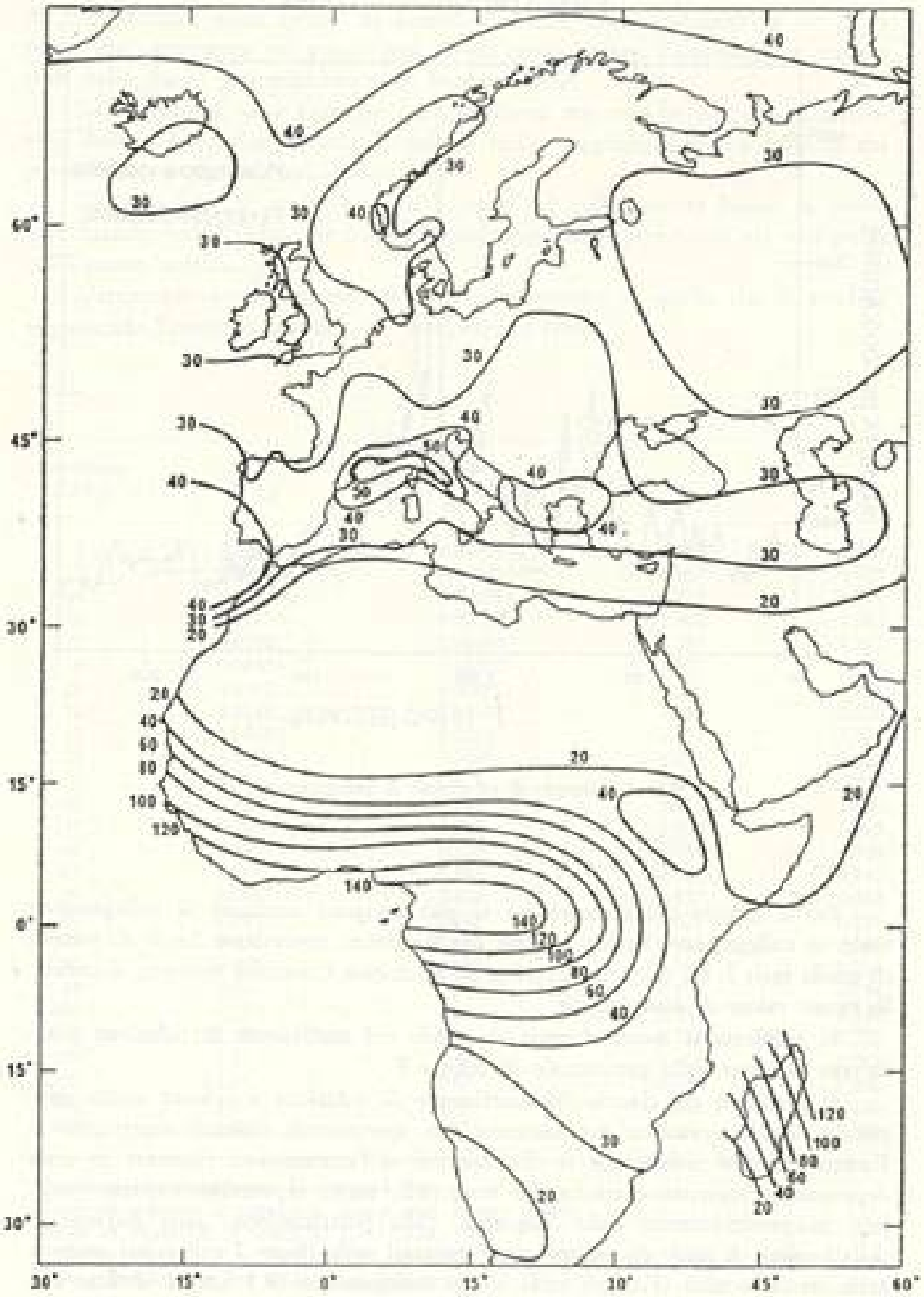


Fig. 5. Curve isointensità di precipitazione superate per circa 1 ora/anno.

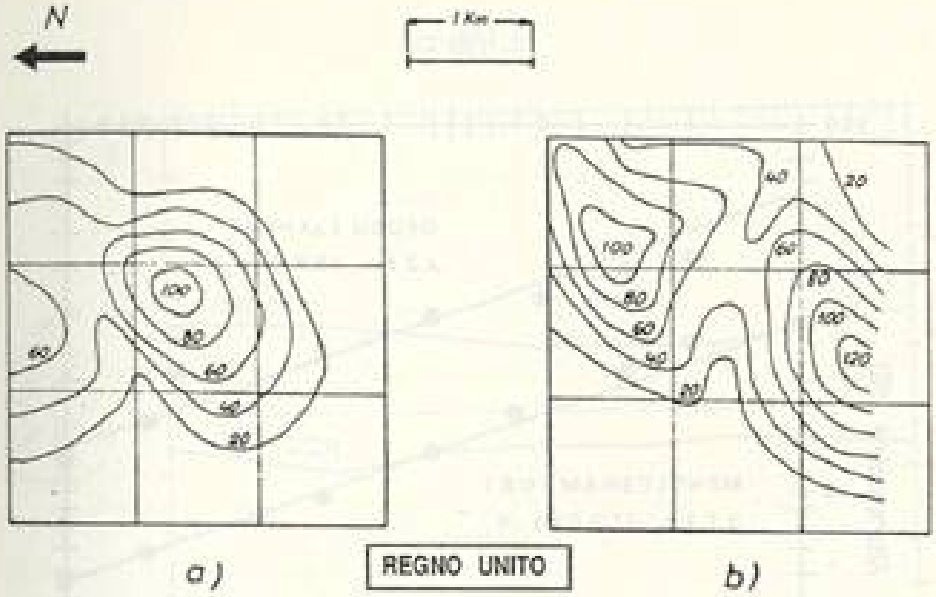


Fig. 6. Celle piovose in due istanti di tempo separati di due minuti primi.

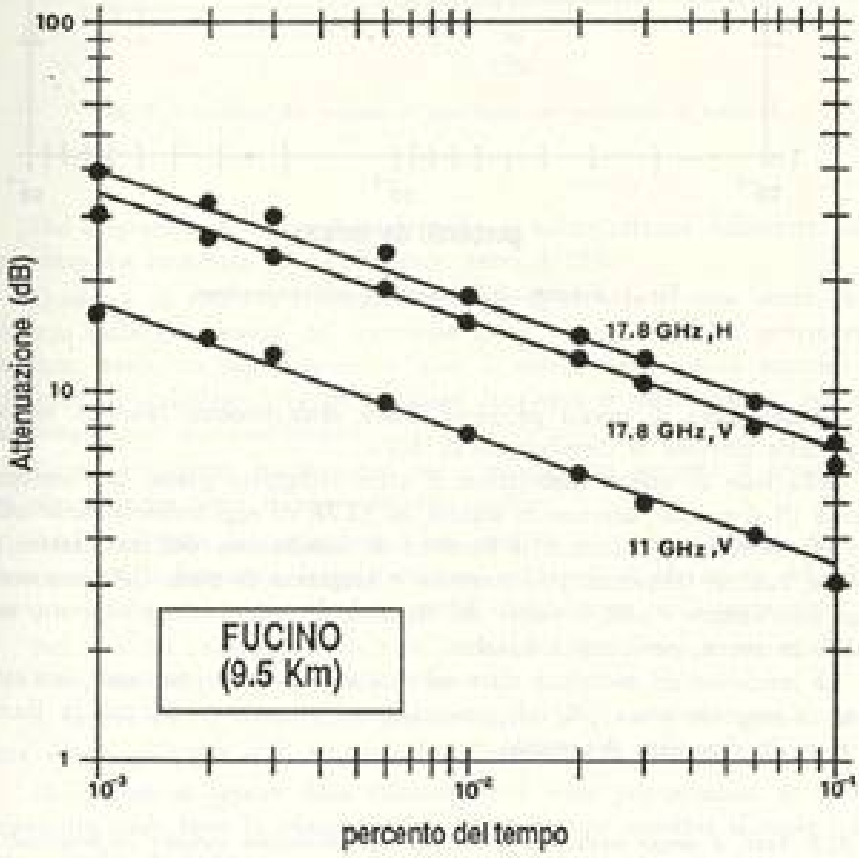


Fig. 7. Funzioni di distribuzione dell'attenuazione.

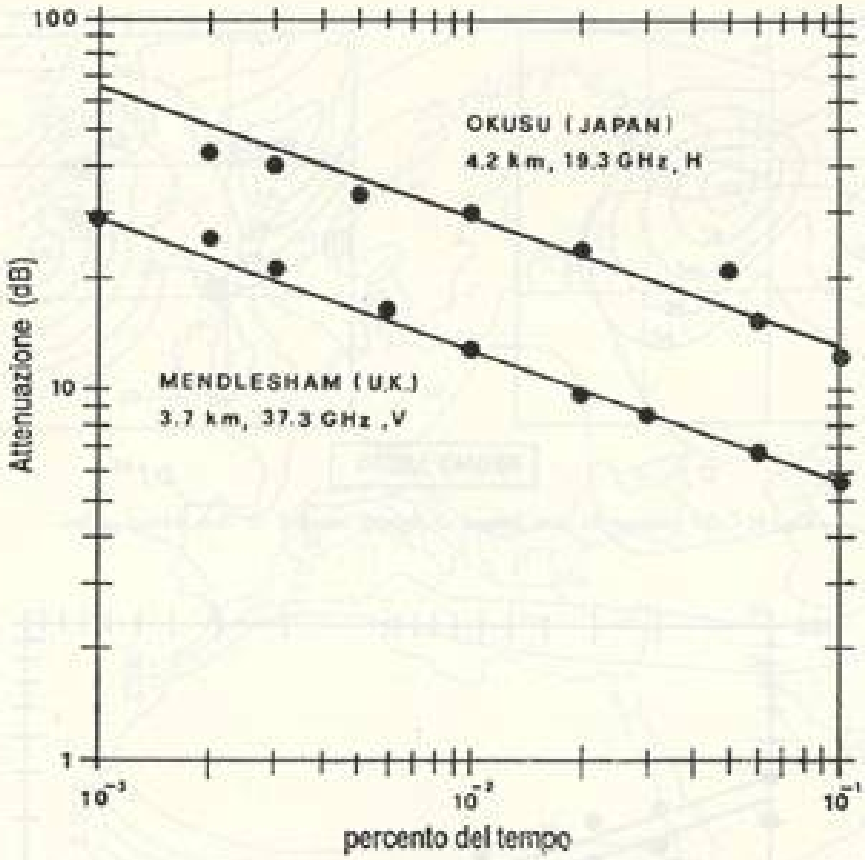


Fig. 8. Funzioni di distribuzione dell'attenuazione.

Tenuto conto di questa proprietà, basta evidentemente calcolare un solo punto della funzione di distribuzione di A(P).

Sulla base di queste osservazioni è stato sviluppato presso la Fondazione Bordoni [2] il metodo, adottato in seguito dal CCIR ed oggi universalmente utilizzato, che permette di calcolare la funzione di distribuzione dell'attenuazione per qualsiasi località, frequenza, polarizzazione e lunghezza di tratta dalla conoscenza di un solo numero e cioè il valore dell'intensità di precipitazione superato, nella località in esame, per circa 1 h/anno.

La precisione del metodo è stata valutata sulla base di una banca dati estremamente rappresentativa (90 collegamenti/anno) ottenuti soprattutto in Europa ma anche in altre parti del mondo.

[2] F. Fiori, *A simple method for predicting rain attenuation statistics on terrestrial and earth-space paths*. Relaz. FUB 1B 1081.

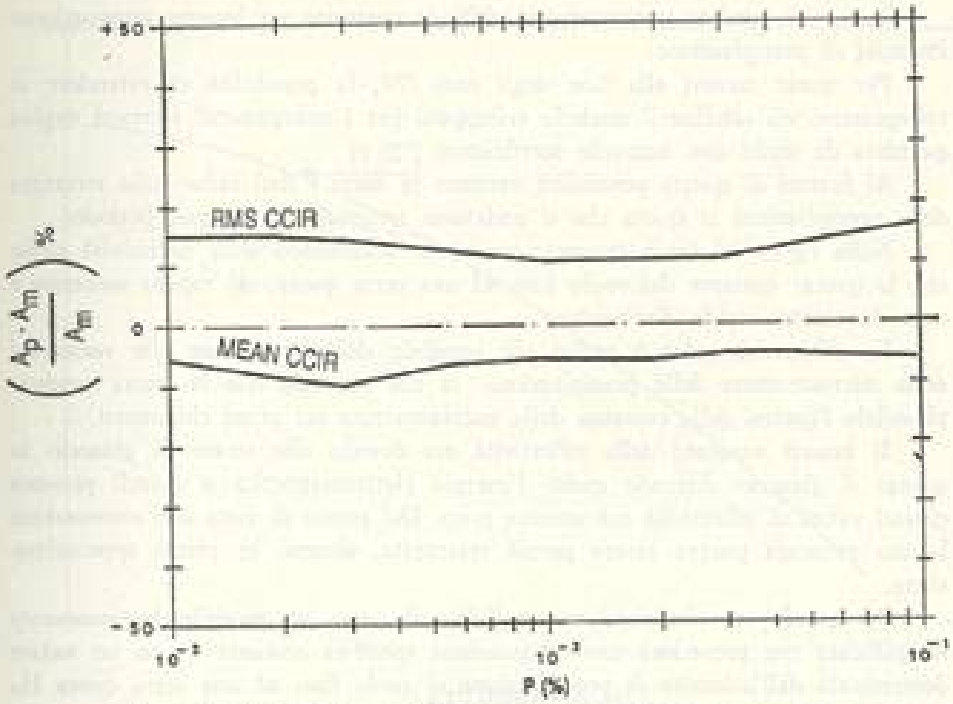


Fig. 9. Precisione del metodo di precisione per collegamenti terrestri.

Dal diagramma di figura 9 si vede che il valore efficace dell'errore sull'intero campione esaminato risulta contenuto entro il 15%.

Questo è un risultato estremamente degno di nota se si tiene conto che — a fronte della complessità del fenomeno fisico — il metodo è estremamente semplice: basta un solo numero e cioè il valore dell'intensità superata per 1 h/anno per calcolare A(P) per qualsiasi frequenza e polarizzazione, per qualsiasi lunghezza e qualsiasi località.

Le stesse esigenze manifestatesi per i collegamenti terrestri si presentarono ben presto anche per i collegamenti via satellite.

Anche nel caso dei collegamenti via satellite — dati la località della stazione terrena, la frequenza, la polarizzazione e l'angolo di elevazione del collegamento — occorreva ottenere la funzione di distribuzione dell'attenuazione.

Nel caso dei collegamenti via satellite la situazione fisica si presentava però più complicata che per i collegamenti terrestri.

Si sapeva che la temperatura diminuiva con la quota e che quindi, ad una certa altezza, all'acqua allo stato liquido si sostituiva il ghiaccio.

Nulla però si sapeva della microstruttura delle precipitazioni in quota e soprattutto quale fosse la relazione tra la microstruttura misurata al suolo e a noi nota e quella in quota.

Tutto ciò rendeva estremamente difficile costruire un legame attenuazione-intensità di precipitazione.

Per questi motivi alla fine degli anni '70, la possibilità di estendere ai collegamenti via satellite il modello sviluppato per i collegamenti terrestri veniva guardata da molti con notevole scetticismo.

Ai fautori di questa possibilità vennero in aiuto i dati radar sulla struttura delle precipitazioni in quota che si andavano accumulando in quel periodo.

Nella figura 10 (a) è mostrato un tipico andamento della riflettività radar con la quota: costante dal suolo fino ad una certa quota, un rapido aumento e una altrettanto rapida diminuzione.

La riflettività radar è molto più sensibile dell'attenuazione alle variazioni della microstruttura delle precipitazioni: la sua costanza con la quota rendeva plausibile l'ipotesi della costanza della microstruttura nei primi chilometri.

Il brusco aumento della riflettività era dovuto allo strato di ghiaccio in quota: il ghiaccio diffonde molto l'energia elettromagnetica e quindi provoca elevati valori di riflettività ma attenua poco. Dal punto di vista dell'attenuazione la sua presenza poteva essere perciò trascurata, almeno in prima approssimazione.

Da queste considerazioni venne l'idea di usare un modello estremamente semplificato che prevedeva una attenuazione specifica costante e con un valore determinato dall'intensità di precipitazione al suolo fino ad una certa quota H_R e con un valore zero al di sopra di tale quota (fig. 10, b).

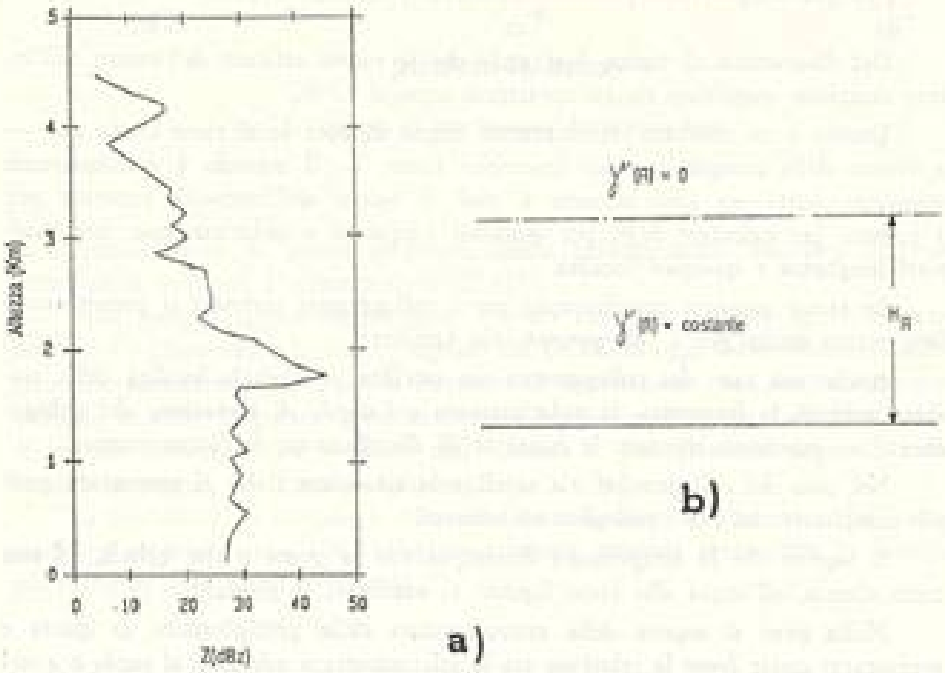


Fig. 10. Riflettività radar con la quota (a) e modello semplificato di attenuazione (b).

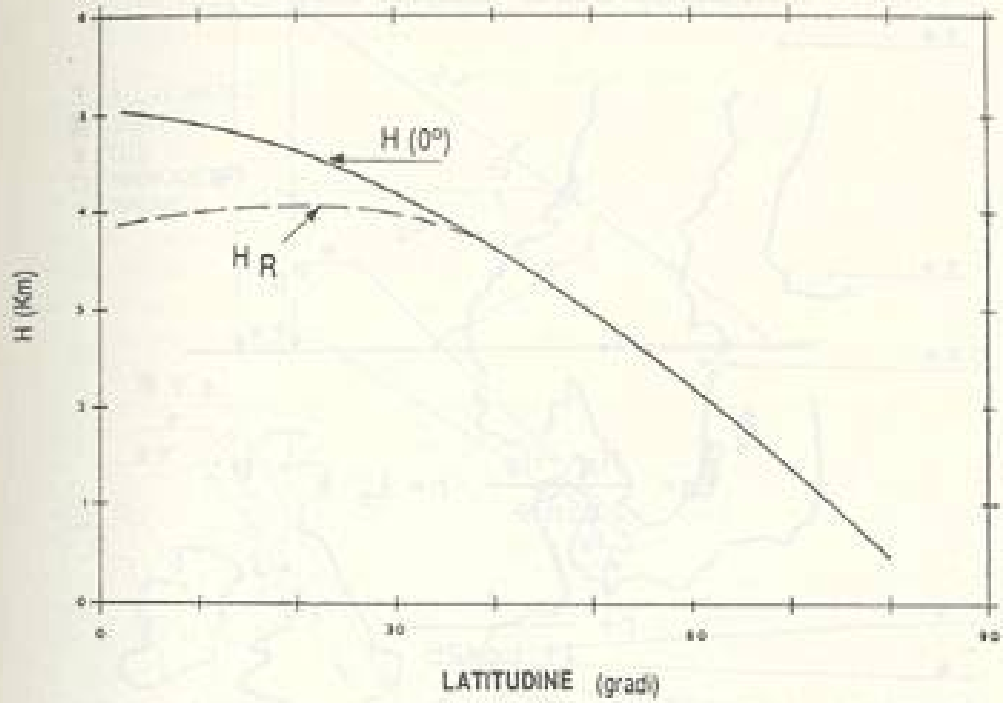


Fig. 11. Andamento dell'isoterma a zero gradi.

Venne spontaneo pensare di assumere come quota H_R quella dell'isoterma a zero gradi misurata dai servizi meteorologici con i sondaggi verticali. Tale quota risultò avere con la latitudine l'andamento riportato in figura 11: molto basso ai poli e di circa cinque chilometri all'equatore.

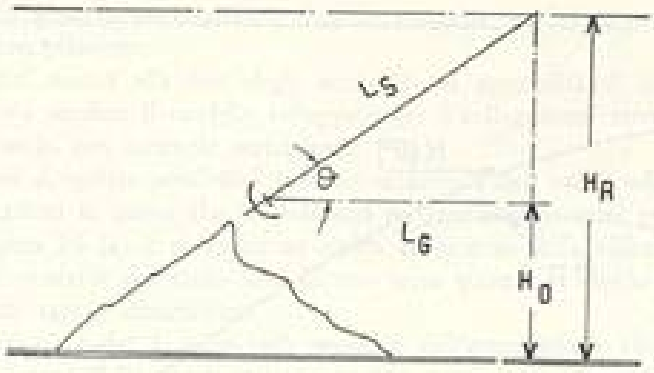
Con il modello molto semplificato descritto, il metodo sviluppato per i collegamenti terrestri fu esteso facilmente ai collegamenti via satellite. Noto l'angolo di elevazione del collegamento, la quota della stazione e la quota dell'isoterma a zero gradi in quella località risultò semplice calcolare la lunghezza equivalente del collegamento, come mostrato in figura 12.

Rimaneva il problema di accertare la precisione del metodo.

Venne in aiuto a questa esigenza la notevole attività sperimentale sviluppata in quegli anni in Europa.

Alla fine degli anni '70 erano disponibili nel cielo d'Europa due satelliti per prove di propagazione. L'OTS, lanciato dall'ESA, che permetteva misure a 11 e 14 GHz; ed il satellite italiano SIRIO che permetteva misure a 11 e 18 GHz e la cui conduzione scientifica era curata dal Centro Studi Telecomunicazioni Spaziali del CNR di Milano.

Agli inizi degli anni '80 fu pertanto deciso, di lanciare un nuovo progetto europeo COST 1 cui obiettivi erano:



$$Le = \frac{H_R - H_0}{\sin \theta} \cdot r = L_S \cdot r$$

$$r = \frac{1}{1 + L_G/25}$$

Fig. 12. Geometria per il calcolo di Le nei collegamenti terra-satellite (r è il coefficiente di induzione.

— la produzione di una base di dati globale ed unificata (utilizzando le stazioni dell'OTS e del SIRIO, i radiometri, i radar e le stazioni pluviometriche);

— l'analisi centralizzata di tale base dati;

— lo sviluppo di modelli di radiopropagazione per la pianificazione dei futuri sistemi via satellite europei.

L'apparato sperimentale che risultò da questi sforzi congiunti fu veramente ragguardevole come è mostrato nella figura 13: 6 stazioni SIRIO, 20 stazioni OTS, 13 radiometri, 2 radar e 14 stazioni pluviometriche. Tutto ciò consentì, ancora una volta, all'Europa di avere un ruolo di primo piano in ambito internazionale.

Ancora una volta, in riconoscimento delle notevoli attività sviluppate in questo campo nel nostro paese, la presidenza del progetto fu affidata all'Italia.

I risultati del progetto furono pubblicati in un numero speciale di Alta Frequenza [3], illustrati in un Simposio appositamente organizzato a Capri dalla

[3] F. Fiori (Editor), *Project COST 205: Influence of the Atmosphere on Earth-Satellite Radiopropagation at Frequencies above 10 GHz.* « Alta Frequenza », May-June (1985).

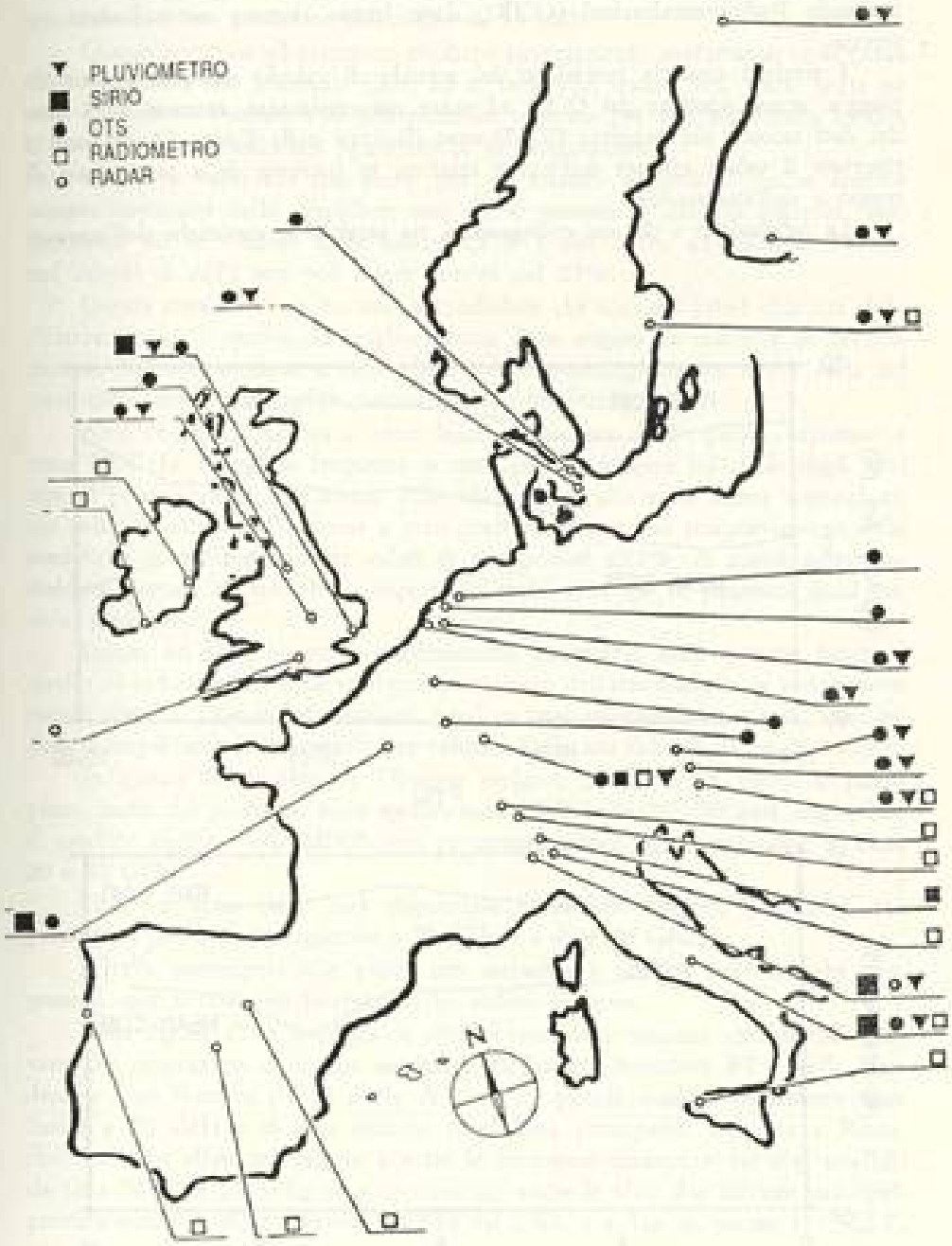


Fig. 13. Disposizione della strumentazione di misura nelle diverse località europee per il Progetto COST 205.

Fondazione « Ugo Bordoni » nell'85 e presentati al Comitato Consultivo Internazionale Radiocomunicazioni (CCIR), dove hanno riscosso notevolissimo interesse.

I risultati circa la precisione del metodo di calcolo dell'attenuazione da pioggia, ormai adottato dal CCIR ed usato universalmente, ottenuti sulla base dei dati raccolti nel progetto COST sono illustrati nella figura 14. In essa è riportato il valore efficace dell'errore relativo, in funzione della percentuale di tempo o dell'attenuazione.

La conclusione è che nei collegamenti via satellite le statistiche dell'attenua-

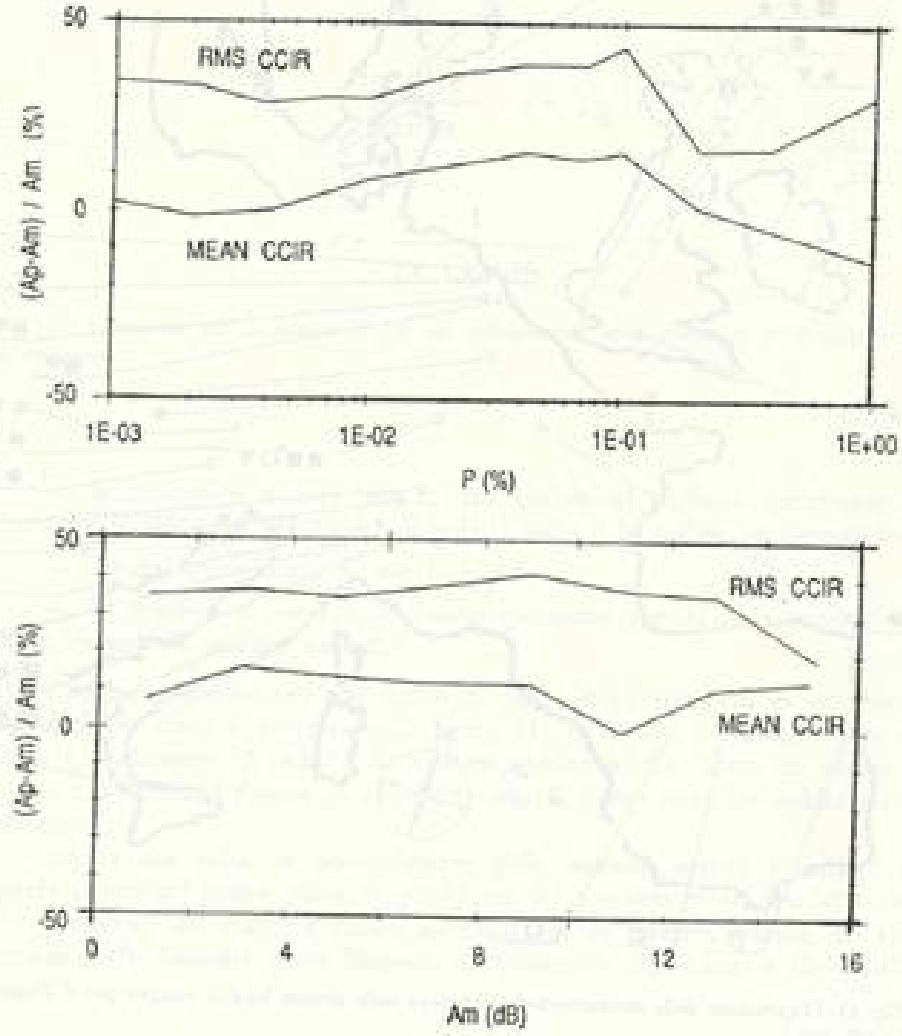


Fig. 14. Collegamenti via satellite. Comportamento dell'errore relativo con dati a lungo termine.

zione da pioggia possono essere calcolate a partire dai dati di intensità di precipitazione con una precisione dell'ordine di 15-30%.

Questo continua ad essere un risultato estremamente confortante se si pensa alla complessità del fenomeno fisico ed al fatto che, ancora una volta, basta un solo numero — l'intensità di precipitazione superata per 1 h/anno nella località d'interesse — per calcolare le statistiche di attenuazione.

Va anche osservato che anche per un metodo perfetto il limite sarebbe sempre costituito dalla precisione con cui si conosce il dato di ingresso, cioè l'intensità R. Se l'errore nella misura di R è del 20%, ad esempio, l'errore nel calcolo di A(P) non può essere minore del 20%.

Queste considerazioni portano a concludere che uno dei primi obiettivi delle ricerche future è quello del miglioramento delle mappe di intensità di precipitazione. Nel nostro paese, a causa della natura morfologicamente molto varia del territorio, questo è un punto particolarmente importante.

Altri obiettivi di ricerca sono legati all'utilizzo di frequenze superiori a circa 20 GHz. A queste frequenze occorre infatti indagare sul ruolo degli altri tipi di precipitazione, sull'effetto delle idrometeore allo stato misto acqua-ghiaccio nelle vicinanze dell'isoterma a zero gradi ed, infine, sul comportamento delle statistiche di attenuazione per valori di P superiori all'1%. A questi valori potrebbero portare un contributo importante anche altri tipi di fenomeni quali nuvole, nebbia etc.

Infine, un altro obiettivo estremamente importante delle ricerche future è quello di ottenere dati sulle statistiche congiunte dell'attenuazione in punti variamente distanti. Queste informazioni, peraltro oggi estremamente scarse, sono invece di importanza fondamentale per valutare l'efficacia delle tecniche di diversità.

In queste future ricerche l'Europa svolgerà di nuovo un ruolo di primo piano anche dal punto di vista sperimentale. Agli inizi dell' '89 sarà disponibile il satellite europeo OLYMPUS che permetterà prove di propagazione a 12.5, 20 e 30 GHz.

Circa un anno dopo sarà disponibile il satellite Italiano ITALSAT che permetterà prove di propagazione a 20 GHz e a 40 e 50 GHz.

L'Italia parteciperà alle prove con ambedue i satelliti con uno dei programmi sperimentali più interessanti in ambito europeo.

Nella figura 15 è mostrata la dislocazione delle stazioni sperimentali previste dal programma di ricerca condotto dall'Istituto Superiore PT e dalla Fondazione Ugo Bordoni (*). Si tratta di circa 25 piccole stazioni (cosiddette ausiliarie) a 20 GHz e di una stazione (cosiddetta principale), dislocata a Roma, che dovrebbe effettuare misure a tutte le frequenze consentite dai due satelliti, da 12 a 50 GHz. Nella figura sono riportate anche le altre due stazioni principali previste vicino a Milano, presso il CSTS del CNR, e a Torino, presso lo CSELT.

(*) F. Fedi e A. Paraboni, *Progetto di partecipazione coordinata a livello nazionale agli esperimenti di propagazione con i satelliti Olympus ed ITALSAT*. «L'Elettrotecnica», Vol. LXXXII, n. 1, luglio 1985.

Fig. 15. Rainfall intensity contours for an average annual probability of 0.01% and possible location of the main and small stations network.

Il programma italiano è stato preparato e sarà seguito da un gruppo formato appositamente, coordinato dalla Fondazione « Ugo Bordoni », ed a cui partecipano non solo gli Enti impegnati nella ricerca, ma anche industrie e società di esercizio.

L'auspicio che si può formulare è che attraverso le prossime attività di ricerca — che si preannunciano così interessanti sia dal punto scientifico che applicativo — venga mantenuta la ragguardevole tradizione culturale sviluppata in Italia negli ultimi venti anni e la collaborazione, rivelatasi così proficua, tra i vari enti di ricerca sia in campo nazionale che in campo europeo.

E con questo auspicio concludo, ringraziando tutti per la cortese attenzione