

# MISURE DI EFFICIENZA ED EVOLUZIONE TEMPORALE DI PROPAGAZIONE ANOMALA IN BANDA X

G. TOMASSETTI, R. AMBROSINI, M. CAPORALONI, G. STEFFE' (\*)

*SOMMARIO – Tre mesi consecutivi autunno-invernali di osservazione di propagazione anomala in banda X su una tratta solo su terra, una solo su mare e quella complessiva, mostrano efficienze di funzionamento fino al 43% durante le ore notturne. Il profilo orario dell'efficienza ha caratteristiche peculiari per ciascuna delle tratte e può essere collegato ai meccanismi meteorologici che determinano tale tipo di propagazione. Questi fenomeni destano interesse, oltre che dal punto di vista delle telecomunicazioni, anche da quello meteorologico in quanto possono permettere uno studio degli strati di inversione e quindi della dispersione di inquinanti nell'atmosfera. Viene infatti mostrata una possibile correlazione fra misure radio e dati meteorologici rilevati al suolo.*

**SUMMARY – Efficiency measurements and time evolution of anomalous propagation in X-band.**

*Three months of continuous observation during the autumn and winter of X-band radio propagation far beyond the horizon showed an efficiency up to 43%. The following three aligned paths were considered; the first 100 km long and on flat land only, the second 140 km long and on the sea-only and the third consisting of the combination of the previous ones. The time dependence of the efficiency is typical for each path and can be related to different atmospheric mechanisms. Monitoring radio propagation beyond the horizon seems to be possible method of performing meteorological studies of inversion layers and then in pollutant transfer in the atmosphere. The possibility of both transmission of prerecorded data and correlation between radio measurements and meteorological data has also been suggested.*

## 1. Introduzione

L'interesse scientifico e tecnologico nello studio di fenomeni meteorologici, come le inversioni nella bassa atmosfera, ed in quello della propagazione radio a microonde, hanno indotto gli Autori a proseguire alcune osservazioni sperimentali di propagazione anomala oltre l'orizzonte in banda X, (1) nell'intento di trovare una correlazione fra questa e le condizioni meteorologiche ad essa associate.

Infatti, ad esempio, la possibilità di conoscere l'evoluzione temporale di strati di inversione sulla pianura mediante una semplice misura di attenuazione di tratta radio, può essere di grande aiuto nello studio del trasporto degli inquinanti industriali, ovvero nella ricerca della migliore utilizzazione dei meccanismi di autodepurazione (rimiscolamento) dell'atmosfera stessa. In questo ambito la misura radio potrebbe costituire un anello di unione fra la misura delle grandezze meteorologiche al suolo e la conoscenza della corrispondente situazione meteorologica in quota (l'interpretazione di questi fenomeni è in genere ricondotta allo studio di gradienti verticali dell'indice di rifrazione nelle prime centinaia di metri di altezza rispetto al suolo).

Inoltre, la possibilità di prevedere l'area di copertura radar, ha importanza fondamentale soprattutto nella navigazione marina.

Inoltre la conoscenza della percentuale di tempo e delle modalità con le quali si verificano tali fenomeni può risultare utile, da un lato per una migliore comprensione della radio propagazione, dall'altro per una corretta pianificazione del riuso spaziale delle frequenze assegnate ai ponti radio terrestri.

Per questi scopi la tratta mista su mare e terra, compresa fra Bologna e Trieste, oggetto delle precedenti osservazioni sperimentali (2), è stata separata in due parti, una solo su terra ed una solo su mare, installando un generatore di microonde di riferimento a Porto Tolle, sul Delta del Po, a qualche chilometro dal mare Adriatico.

L'assetto sperimentale è congegnato in modo tale che, in condizioni di propagazione anomala (superrifrazione) lo stesso segnale di riferimento viene ricevuto e registrato su carta, con una precisa calibrazione oraria, sia a Bologna che a Trieste. Da quest'ultima località viene anche irradiato un altro segnale in banda X che, quando viene ricevuto a Bologna, permette di rivelare coincidenze ed anticoincidenze con aperture di propagazione sulle tratte singole su mare e su terra.

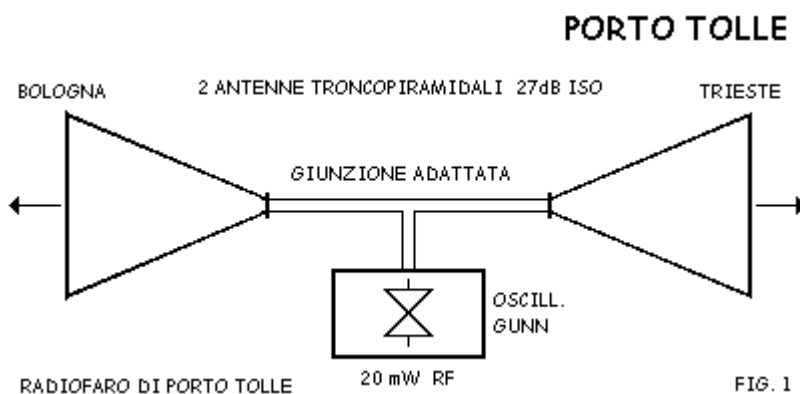
Per ragioni di affidabilità e semplicità di realizzazione, il problema della stabilità di frequenza, ovvero la corretta sintonia fra trasmettitore e ricevitore è stato risolto facendo variare in modo periodico la frequenza di lavoro di uno dei due dispositivi per un campo di variazione superiore alle derive termiche del sistema. Campionando in questo modo il segnale, con periodo di circa tre minuti, si perde informazione su evanescenze rapide, per altro già considerate nel

precedente lavoro degli Autori. Queste fluttuazioni del segnale, tuttavia, non sono significative nella ricerca di correlazioni con le condizioni meteorologiche, data la durata tipica di qualche ora di questi fenomeni.

Per il momento non è stata considerata indispensabile una calibrazione assoluta del segnale ricevuto in quanto, per una indagine preliminare sulla correlazione fra dati radio e meteorologici, è sufficiente verificare la presenza o meno del segnale sulla tratta in esame. In questo ambito, la geometria delle tratte e la sensibilità del sistema radio sono state dimensionate in modo da permettere la ricezione del segnale solo in condizioni di forte "intrappolamento" (superrifrazione).

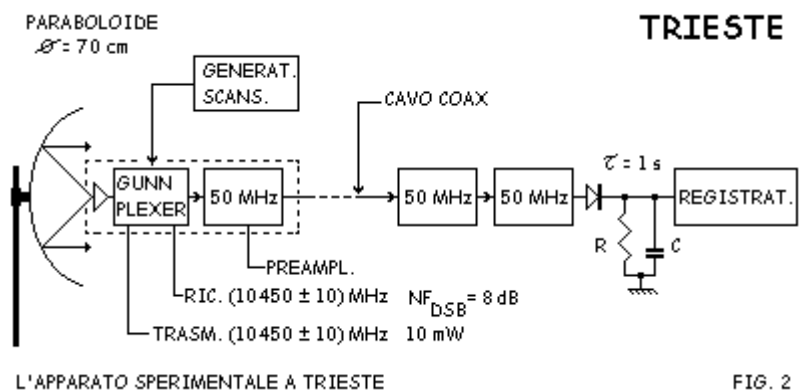
## 2. L'apparato sperimentale.

A Porto Tolle (vedi fig. 1), quasi al centro della tratta in esame, su una torre piezometrica alta circa 25 metri, è stato installato un oscillatore in guida d'onda a diodo Gunn, di 20 mW di potenza d'uscita, che alimenta, tramite un divisore a T, due antenne troncopiramidali calibrate per un guadagno isotropico di 27 dB, puntate nelle direzioni diametralmente opposte, di Bologna e Trieste.



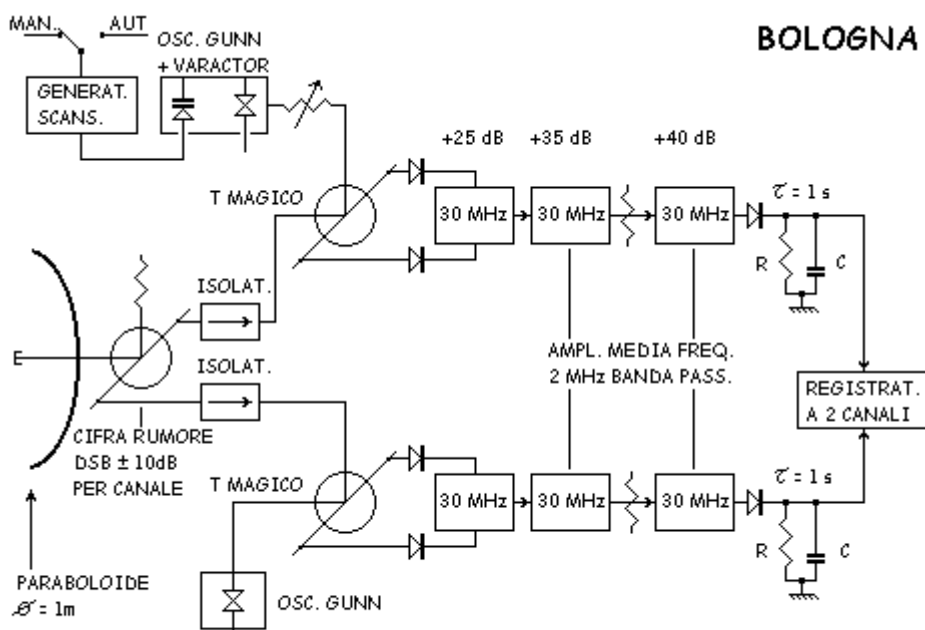
Per limitare le fluttuazioni termiche dell'oscillatore, il suo contenitore è stato accuratamente coibentato con polistirolo espanso.

A Trieste (fig. 2), ad un'altezza di circa 40 m sul livello del mare, un paraboloide di 70 cm di diametro trova nel suo fuoco un mixer-trasmettitore (Gunnplexer) costituito da un circolatore, da un diodo Schottky e da una cavità contenente un oscillatore a diodo Gunn sintonizzato mediante un varactor per +/- 10 MHz. Il ricevitore ed il trasmettitore, con 8 dB di cifra di rumore (DSB) e 10 mW di potenza di uscita, possono così esplorare contemporaneamente una banda di 20 MHz. Il segnale ricevuto, convertito a media frequenza (50 MHz), amplificato, rivelato ed integrato ( $\tau = 1$  s), pilota un registratore a penna scrivente.



A Bologna sono necessari due ricevitori, uno a sintonia fissa sul segnale "spazzolato" di Trieste, l'altro a sintonia variabile per il segnale di Porto Tolle.

L'apparato sperimentale di Bologna (fig. 3), posto sulla torre dell'Osservatorio Astronomico dell'Università, è composto da un paraboloide di 1 m di diametro con illuminatore "back fire" di tipo Cutler che alimenta, mediante una giunzione a T magico ed un isolatore in ferrite per ramo derivato, due mixer a T magico in guida d'onda.



L' APPARATO SPERIMENTALE A BOLOGNA

FIG. 3

Gli isolatori sono risultati necessari per il disaccoppiare fra loro i due ricevitori.

I due canali di media frequenza a 30 MHz vengono infine rivelati ed integrati con  $\tau = 1$  s; i relativi segnali sono applicati al registratore avente due penne scriventi che tracciano i grafici relativi.

La disponibilità immediata di amplificatori di media frequenza con banda passante di 2 MHz, ha imposto una scelta oculata sia della costante di tempo che della velocità di scansione.

### 3. Risultati

Fino al momento della stesura del presente articolo sono stati analizzati i dati di propagazione radio relativi a tre mesi consecutivi di osservazione (dalle 00 del 15-9-1979 alle 24 del 15-12-1979), per un totale di 2208 ore, pari a 92 giorni.

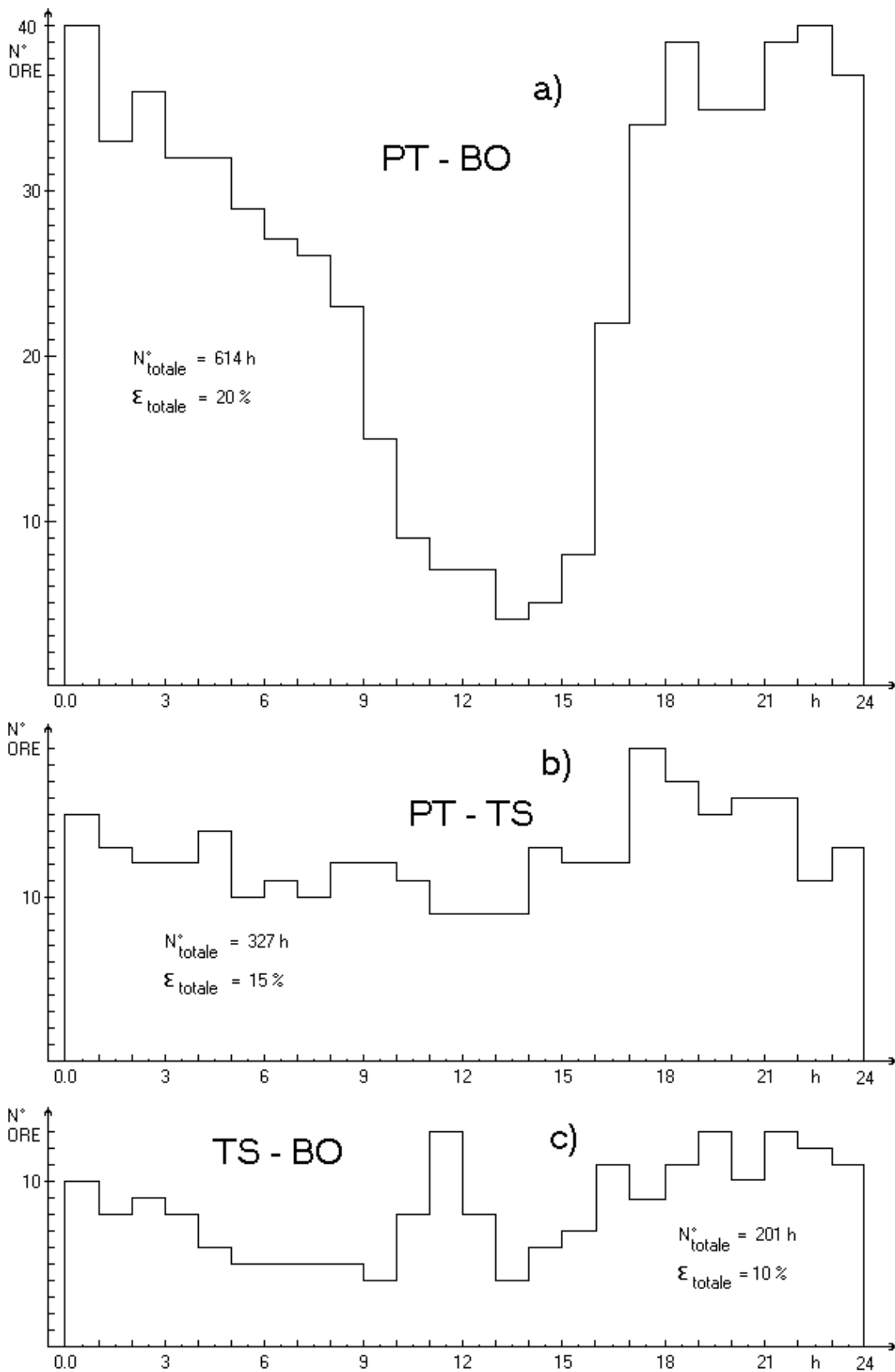
Sono stati ricavati per ciascuna delle tre tratte (Porto Tolle-Bologna, Porto Tolle-Trieste e Trieste Bologna) i diagrammi di frequenza oraria delle aperture di propagazione, ossia il numero effettivo di ore in cui il segnale è stato ricevuto, nei 92 giorni, con continuità, nell'intervallo di un'ora indicato in ascissa.

In figura 4a è riportato il diagramma relativo alla tratta Porto Tolle-Bologna; in figura 4b quello relativo alla tratta Porto Tolle-Trieste; in figura 4c quello relativo alla tratta Trieste-Bologna.

Per quello che riguarda la tratta su terra appare chiarissima una forte dipendenza della propagazione radio dall'ora solare; le ore notturne sono di gran lunga più favorite. Risulta quindi confermata l'ipotesi che, sulla pianura, il meccanismo responsabile della formazione di "condotti radio", e quindi di fenomeni di super rifrazione, sia sostanzialmente l'irraggiamento notturno.

L'efficienza del meccanismo corrisponde al 28% del tempo totale, ma sale al di sopra del 40% se si considerano le sole ore notturne, evidentemente caratteristiche del fenomeno.

Il profilo di questo diagramma presenta poi due diverse pendenze: una più attenuata nella fase di distruzione delle condizioni di propagazione favorevole (prime ore del mattino) e una molto più ripida in corrispondenza dell'instaurarsi delle stesse condizioni (ore del pomeriggio). Questa osservazione può essere utile per individuare, fra le grandezze meteorologiche, quella che presenta un analogo profilo orario e che quindi, può avere un ruolo determinante nei meccanismi che regolano il fenomeno.



Istogrammi relativi delle efficienze orarie (numero di ore di ricezione per intervallo orario indicato in ascissa). Il periodo totale di osservazione è di 2208 ore, pari a 92 giorni. Per ogni curva è riportato anche il numero totale di ore di ricezione e l'efficienza totale del fenomeno.

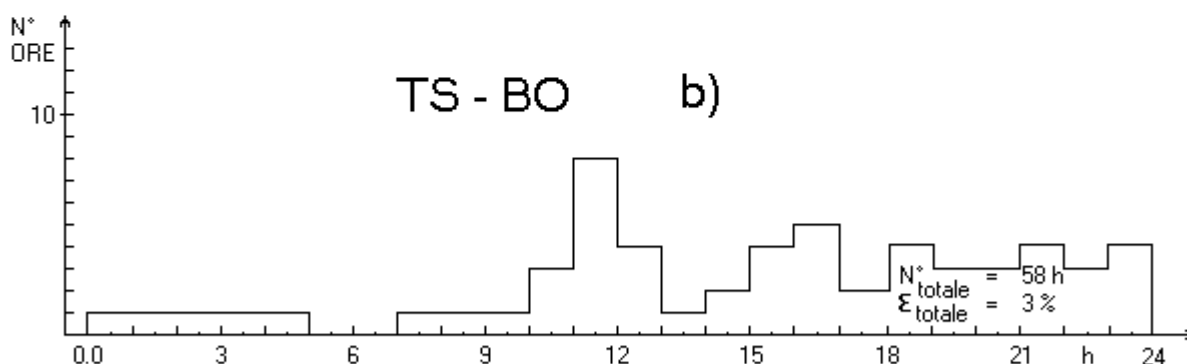
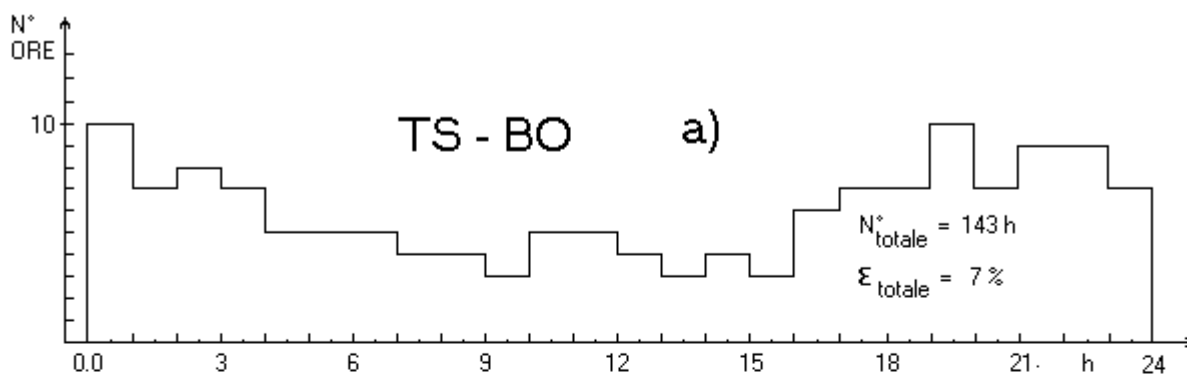
Fig. 4 a) Tratta Porto Tolle - Bologna, (PT-BO). b) Tratta Porto Tolle -Trieste, (PT-TS). c) Tratta Trieste -Bologna (TS-BO).

Nel grafico di figura 4b, relativo alla tratta sul mare, l'effetto giorno-notte è di gran lunga più attenuato, in accordo con il fatto che il mare per la sua elevata capacità termica, tende a livellare le differenze meteorologiche fra il giorno e la notte.

L'efficienza del fenomeno risulta in questo caso minore rispetto a quello su terra. D'altra parte prove sistematiche precedenti effettuate dagli Autori in mesi estivi (anziché quasi invernali) sulla stessa tratta hanno mostrato efficienze di gran lunga più alte (anche fino all'85%). Risulta quindi evidente, almeno per quanto riguarda il mare, una forte dipendenza stagionale del fenomeno.

Infine l'analisi dell'istogramma per la tratta complessiva Trieste-Bologna (fig. 4c), oltre ad una ulteriore minore efficienza totale (in quanto, in prima approssimazione, collegata con l'apertura di propagazione contemporanea su singole tratte), mostra anche la presenza di un "meccanismo di riempimento" durante le ore diurne.

Per analizzare meglio questo fenomeno i periodi di ricezione sulla tratta mista sono stati suddivisi in eventi in coincidenza o anticoincidenza con la presenza di segnale su tratte singole.



Istogrammi delle efficienze orarie sulla tratta Trieste - Bologna suddivisi in :

- a) eventi in coincidenza con almeno una delle due tratte singole;
- b) eventi in anticoincidenza con entrambe le singole tratte.

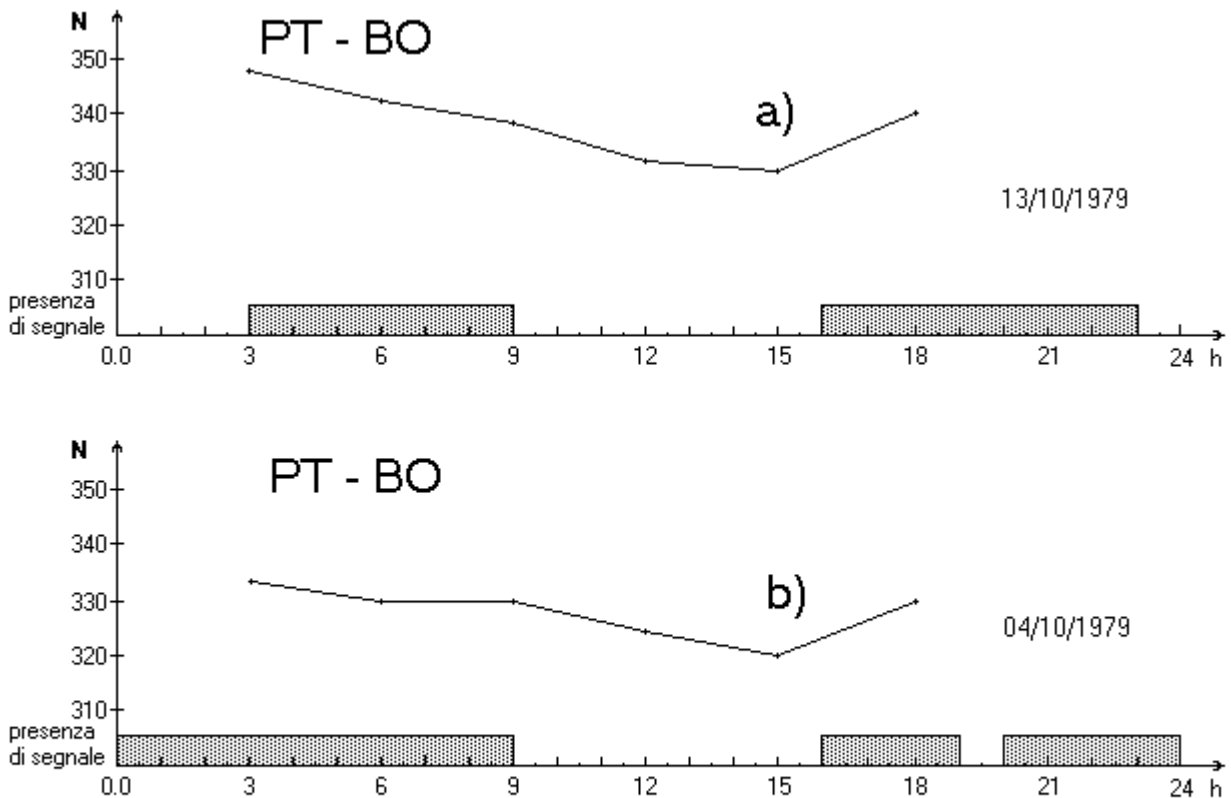
Fig. 5

Quando il segnale sulla tratta Trieste-Bologna viene ricevuto contemporaneamente a quello sulla tratta Porto Tolle-Trieste e/o Porto Tolle-Bologna, il diagramma di frequenza oraria (fig. 5a) mostra lo stesso profilo di quelli riportati precedentemente in figura 4a, b.

Quando invece il segnale sulla tratta Trieste-Bologna è in anticoincidenza con gli altri due (fig. 5b), ricompare il "riempimento" diurno, che quindi sembra caratteristico della propagazione su tratta mista.

In generale, il funzionamento di quest'ultima tratta, in assenza di quello sulle singole tratte, viene giustificato dalla formazione di condotti radio in quota.

Si deve infine considerare, nel confronto delle efficienze totali sulle tre tratte, il contributo della diversa lunghezza delle stesse. Infatti, se da un lato, l'attenuazione di tratta nelle migliori condizioni è prossima a quello dello spazio libero, indipendentemente dalla loro lunghezza, tuttavia su percorsi più lunghi, l'efficienza del fenomeno risulta inferiore perché minore è la probabilità che una situazione meteorologica favorevole si estenda su una distanza maggiore.



Confronto fra il profilo orario dell'indice di rifrazione in unita  $N = (n-1) \times 10^6$  calcolato al suolo a Bologna e l'apertura della propagazione sulla tratta Porto Tolle-Bologna in due giorni tipici di osservazione. In questo caso h indica l'ora GMT.

Fig. 6

Un primo confronto fra dati di propagazione radio e parametri meteorologici rilevati al suolo (fig.6a e 6b) mette in evidenza una correlazione fra un minimo dell'indice di rifrazione e l'assenza di ricezione del segnale. La tratta in esame è Porto Tolle-Bologna ed  $N$  (coindice di rifrazione) è quello di Bologna.

Sarebbero stati più rappresentativi dei dati relativi alla zona intermedia del percorso, ma non erano a disposizione degli Autori.

Analoghe correlazioni si sono verificate durante tutto il periodo di osservazione tanto da giustificare la possibilità di invertire il metodo ed ottenere quindi informazioni meteorologiche da misure di propagazione radio in banda X.

#### 4. Conclusioni.

Le prove sperimentali descritte mostrano che il fenomeno della super rifrazione ha una efficienza assolutamente non trascurabile, dal punto di vista delle telecomunicazioni, sia su terra che su mare, a tal punto da ipotizzare un sistema di telecomunicazioni per la trasmissione, a basso costo anche se non in tempo reale, di informazioni precedentemente accumulate.

Inoltre la diversa dipendenza oraria dell'apertura di propagazione per la tratta su mare e quella su terra conferma sostanzialmente l'interpretazione classica dei meccanismi meteorologici che formano i condotti radio.

Lo stesso tipo di analisi, effettuata per un intero anno (come è nostra intenzione), oltre a diminuire l'errore statistico, consentirebbe un confronto fra le variazioni stagionali dell'efficienza del fenomeno. Inoltre sarebbe possibile definire meglio le caratteristiche del meccanismo di riempimento sulla tratta mista, ovvero il contributo relativo dei condotti in quota e la possibilità che possano essere alternativi a quelli riferiti al suolo.

Questa indagine risulta importante in particolar modo dal punto di vista meteorologico, in quanto una rete di postazioni radio di questo tipo potrebbe costituire un mezzo di studio a basso costo degli strati di inversione e fornire quindi informazioni sulla dispersione di inquinanti in atmosfera.

D'altra parte la possibilità di stabilire correlazioni precise fra propagazione radio e dati meteorologici è legata alla possibilità di avere stazioni meteorologiche lungo la tratta che possano effettuare anche sondaggi verticali.

## RINGRAZIAMENTI

Si ringraziano per l'ospitalità e l'assistenza gentilmente concessa il Consorzio Acquedotto del Po e l'Istituto di Astronomia dell'Università di Bologna.

Si ringrazia inoltre il prof. Gianfranco Sinigaglia per gli interessanti suggerimenti.

---

(\*) Dott. Goliardo Tomassetti ,dott. Roberto Ambrosini dell'Istituto di Radioastronomia, C.N.R. Bologna;  
dott. Marina Caporaloni del Laboratorio di Fisica e Chimica della bassa e alta atmosfera,C.N.R. Bologna;  
Giuseppe Steffè, Trieste

(1) Com'è noto, la banda X si estende da 8,2 a 12,4 GHz

(2) Tomassetti, Ambrosini, Caporaloni:*Osservazioni sperimentali di propagazione anomala in banda X*. "Elettronica e Telecomunicazioni"XXVIII, 1979, n. 1, p.19