

# OSSERVAZIONI SPERIMENTALI DI PROPAGAZIONE

## ANOMALA IN BANDA X

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

*SOMMARIO – Nel Nord Italia esistono, e non sembrano fenomeni rari, condotti radio in banda X nella bassa atmosfera, sia sul mare che sulla pianura. Essi permettono di avere attenuazioni prossime a quelle dello spazio libero su tratte di molte centinaia di chilometri fra postazioni a bassa ed alta quota sfruttando la possibilità di accoppiamento fra condizioni di rifrazione super-normale sul mare e sulla terra, e fra queste e la propagazione ottica. Vengono descritte alcune prove di radiopropagazione riferendole ai meccanismi meteorologici che generano tali condotti e che ne determinano l'evoluzione temporale.*

*SUMMARY – Extra standard propagation at X band, experimental observation. At X band, ground based radio duct, both over sea and flat land, have been observed and seem to be rather frequent in some regions of Italy. Matching between them and line of sight radio propagation can give almost free-path losses over distances of several hundreds of km. In this paper experimental evidence of ducting propagation of both types and a correlation to the meteorological origin and time evolution is given.*

### 1. Introduzione

Durante l'estate 1978 sono state effettuate le prove preliminari di un ponte radio in banda X per la trasmissione in tempo reale di informazioni radioastronomiche, nell'ambito dello studio di fattibilità di un sistema interferometrico a lunga linea di base (alcune decine di chilometri)

Per valutare il massimo limite affidabile di tale distanza sono state effettuate prove di propagazione anche oltre l'orizzonte ottico geometrico. E' stato così possibile mettere in evidenza alcune peculiarità della propagazione in banda X anche a distanze molto maggiori dell'orizzonte.

Dagli anni '40 è nota la possibilità di avere attenuazioni di tratta prossime a quelle dello spazio libero fra postazioni ben al di fuori della portata ottica, attraverso condotti radio nella bassa atmosfera per effetto dell'evaporazione del mare (sea evaporation duct). In questo meccanismo di propagazione il gradiente (negativo con la quota) dell'indice di rifrazione atmosferico è tanto elevato da incurvare la traiettoria di un'onda elettromagnetica al punto da obbligarla a seguire la curvatura terrestre.

Questi fenomeni sono stati osservati sperimentalmente con sistematicità all'estero (bibl. 1) determinando anche profili verticali locali dell'indice di rifrazione (radiosonde) per effettuare previsioni di propagazione su tratte entro la portata ottica o di poco superiori ad essa. Non altrettanto, a conoscenza degli autori, è stato fatto in Italia, anche se, da un lato il mare Adriatico e dall'altro la pianura Padana sembrano sedi particolarmente favorevoli al verificarsi di tali fenomeni. Infatti i principali meccanismi (bibl. 2) responsabili della formazione di condotti radio prossimi alla superficie, l'avvezione e l'irraggiamento notturno, si riferiscono soprattutto a mari calmi ed a vaste distese pianeggianti.

L'avvezione si ha quando un flusso di aria calda e secca fluisce sulla superficie fredda del mare. La conseguente diminuzione di umidità e la formazione di un'inversione termica nello strato immediatamente sopra l'acqua provocano entrambi un aumento del gradiente negativo dell'indice di rifrazione con la quota. A causa della elevata capacità termica del mare questo fenomeno non subisce forti variazioni giorno-notte.

L'irraggiamento notturno è caratteristico della superficie terrestre che, riscaldata durante il giorno dalla radiazione solare, di notte irraggia verso l'esterno perdendo calore; ciò provoca il riscaldamento degli strati d'aria più vicini e quindi la formazione di una inversione di temperatura. Tale fenomeno inizia al tramonto e termina all'alba quando i primi raggi del sole distruggono l'inversione.

E' interessante poi notare che una atmosfera in cui si instauri un'inversione termica è una atmosfera stratificata stabile, ossia la situazione di inversione tende a automantenersi.

Tuttavia moti turbolenti a scala locale, generati da ostacoli o da irregolarità della superficie terrestre, tendono a distruggere i condotti in quanto provocano il rimescolamento delle masse d'aria.

Si comprende quindi come i mari e le pianure siano le sedi più adatte all'instaurarsi e al mantenersi di questi condotti. Pertanto la particolare orografia del Nord-Italia con l'ampia estensione della pianura Padana che sfocia nel mare Adriatico ha destato in noi l'interesse a verificare sperimentalmente sia l'esistenza di tali condizioni di condotto anche sulla pianura, che la possibilità di sfruttare l'accoppiamento con analoghe condizioni sul mare al fine di realizzare collegamenti radio in banda X a grande distanza.

Sono state osservate due tratte distinte: una mista su mare e terra, Trieste-Bologna, e l'altra solo su terra, Milano-Bologna, entrambe ricevute sia da postazioni a bassa quota installate su normali edifici urbani che da quote intermedie ed elevate. E' stato così possibile evidenziare anche la diversa efficienza di questi condotti al variare della quota.

Le osservazioni sono state effettuate sporadicamente a causa della diversa finalità della ricerca iniziale e quindi permettono solo una analisi qualitativa del fenomeno. D'altra parte esse consentono di individuare alcuni aspetti molto interessanti per un eventuale ulteriore studio sistematico.

In questa comunicazione vengono descritte alcune osservazioni sperimentali di tali fenomeni relative ai mesi agosto-settembre e ottobre-novembre del 1978.

I dati sperimentali sono stati ottenuti installando due stazioni beacon trasmettenti una a Trieste città (30 slm) e l'altra a Milano città (40 m sul livello del piano di campagna) e tre stazioni riceventi che erano situate a Bologna città (30 m sul livello del piano di campagna), a Monte Calvo (300 slm) 2 km più a sud della città ed infine a Piane di Mocogno nell'Appennino modenese (1300 slm). Una carta geografica del Nord-Italia con l'indicazione di queste località è riportata in figura 1.



Fig. 1 Disposizione geografica delle tratte osservate

LOCALITA'	Antenna	Potenza trasmessa (mW)	Cifra di rumore DSB (dB)	Quota slm (m)
Trieste	Parab. Ø 1m	25	—	30
Milano	Horn 25 dB	40	—	150 *
Bologna	Parab. Ø 1m	—	7.5	90 *
Monte Calvo	Parab. Ø 1m	—	6	300
PianeMocogno	Parab. Ø 1m	—	8	1300

\*Somma del piano di campagna più 30 m. dell'edificio

Tabella 1

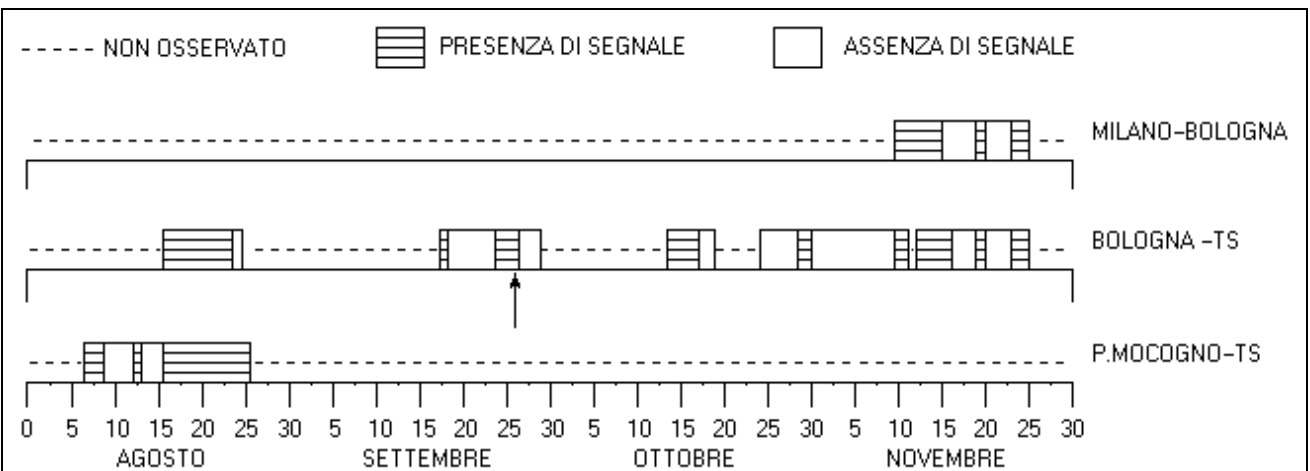


Fig.2 Rappresentazione grafica delle osservazioni di radiopropagazione sulle tre tratte considerate. La freccia nella tratta Bologna-Trieste indica il giorno in cui è stata effettuata la registrazione su carta riportata in figura 3.

## 2. Descrizione delle prove sperimentali

Nella tabella 1 sono elencate le caratteristiche salienti delle apparecchiature utilizzate. Data la sostanziale equivalenza fra le stazioni riceventi è stato possibile effettuare un confronto diretto dei risultati (eccetto che per la tratta Piane di Mocogno-Milano a causa della direttività dell'antenna trasmittente che era puntata su Bologna).

In figura 2 sono stati riassunti i risultati ottenuti sulle due tratte in esame. Le zone tratteggiate si riferiscono ai periodi in cui non sono state fatte osservazioni; quelle incasellate e vuote ai giorni di assenza del segnale, mentre quelle incasellate e riempite con tratto continuo ai giorni in cui è stato ricevuto il segnale almeno per alcune ore. La classificazione è quindi per eventi favorevoli o sfavorevoli giornalieri in quanto le osservazioni non sono state rigorosamente continuative. Pertanto non si escludono brevi periodi di evanescenza profonda verificatesi durante gli eventi considerati positivi e viceversa brevi periodi di presenza del segnale in quelli considerati negativi.

Un primo risultato significativo consiste nell'aver constatato la possibilità di effettuare un collegamento radio a microonde fra Trieste e Piane di Mocogno (285 km) e quindi di aver mostrato sperimentalmente la possibilità di entrare

nel condotto sul mare da postazioni che lo vedono in portata ottica sotto un piccolo angolo di incidenza (la costa adriatica cade in prossimità dell'orizzonte delle Piane di Mocogno).

Una verifica di questa osservazione si è avuta dal confronto nella ricezione contemporanea del segnale di Trieste da Bologna città, da Monte Calvo e da Piane di Mocogno.

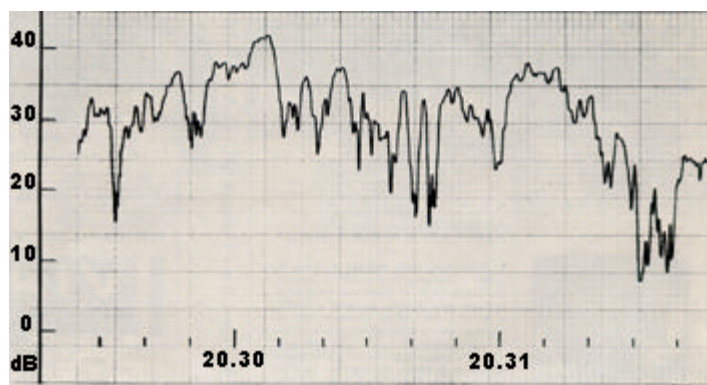
In condizione di forte "ducting", ovvero quando il segnale confinato a bassa quota era ricevuto in città mediamente molto più forte che ad alta quota, da Monte Calvo, posto a quota intermedia probabilmente immediatamente al di sopra del condotto, non era possibile ricevere praticamente nulla.

Altre prove effettuate da località diversa lungo la costa adriatica hanno sempre confermato un aumento della attenuazione di tratta all'aumentare della quota da bassa ad intermedia.

Durante le condizioni di "ducting" è stata poi osservata una forte anticoincidenza fra il fading ad alta e bassa quota. Quando cioè il campo elettromagnetico era maggiormente confinato a bassa quota, minore era la probabilità che parte dell'energia potesse uscire dal condotto e propagarsi in linea retta verso l'alta montagna.

Un secondo dato significativo è stata la verifica sperimentale dell'esistenza di condotti radio sulla terraferma sia nella tratta Bologna-Milano che in quella Bologna-Trieste. In quest'ultimo caso poi è risultata palese la possibilità di accoppiamento fra condotti sul mare e sulla terra.

Questi risultati ci sono sembrati particolarmente interessanti considerando che le antenne erano poste a quote appena sufficienti a superare gli ostacoli vicini e che le attenuazioni di tratta sono risultate prossime alla attenuazione nello spazio libero (vedi figura 3).



Ricezione del segnale ricevuto a Bologna da Trieste il 26-9-1978.  
Il picco di intensità più elevato corrisponde circa 8 dB in meno dell'attenuazione nello spazio libero nella tratta in esame.

Fig. 3

In generale su entrambe le tratte la formazione di questi condotti si è avuta dopo alcune giornate di alta pressione e calma atmosferica. Il fading, contenuto nei giorni centrali dei periodi favorevoli, era maggiormente pronunciato alla fine del fenomeno: una registrazione su carta relativa a questa situazione nella tratta Trieste-Bologna è riportata in figura 3.

Infine le nostre osservazioni hanno mostrato come le condizioni meteorologiche che caratterizzano i condotti possono realizzarsi non solo su scala locale ma anche su zone tanto estese come la pianura Padana e il mare Adriatico.

### 3. Conclusioni

Le osservazioni effettuate mostrano la possibilità di avere attenuazione di tratta in banda X dello stesso ordine di grandezza di quelle corrispondenti all'attenuazione nello spazio libero sia su pianura che sul mare ben oltre il normale orizzonte radio.

Questi condotti nella bassa atmosfera possono essere utilizzati sia da stazioni poste a poche decine di metri sul livello del mare o dal piano di campagna, che da quelle poste ad alta quota che vedono il condotto sotto un piccolo angolo di incidenza.

Queste ultime stazioni risultano sfavorite quando è particolarmente efficiente la propagazione guidata a bassa quota. Si possono quindi avere zone d'ombra a quote intermedie dalle quali non è possibile sfruttare né l'uno né l'altro modo di propagazione.

La durata di queste aperture sembra maggiore per tratte sul mare rispetto a quelle sulla pianura che sembrano di preferenza realizzarsi nelle ore pomeridiane e notturne. Queste osservazioni sono quindi sostanzialmente in accordo con la differente evoluzione temporale delle condizioni meteorologiche tipiche in cui si formano i condotti.

In definitiva pertanto la curvatura terrestre non rappresenta un limite intrinseco alla portata radio nei collegamenti terrestri in banda X in presenza di tali condotti. In questi casi la minima attenuazione di tratta è quella dovuta allo spazio libero ed, in particolari condizioni, è previsto teoricamente (bibl. 1) poter anche essere inferiore ad essa.

La possibilità di accoppiamento fra condotti sul mare e su terra e poi fra questi e la propagazione ottica può permettere collegamenti fra postazioni sia a bassa che ad alta quota distanti fra loro anche molte centinaia di chilometri purché separate da pianure o mare o da entrambi.

Questi fenomeni sembrano particolarmente favoriti alle nostre latitudini e, se da un lato non possono essere utilizzati per sistemi di telecomunicazioni ad alta affidabilità, devono almeno essere considerati al fine di prevedere interferenze fra sistemi esistenti o in progetto posti anche a distanze ben oltre l'orizzonte.

## RINGRAZIAMENTO

Per le innumerevoli discussioni e consigli va ringraziato il Prof. G. Sinigaglia dell'Istituto di Fisica dell'Università di Bologna.

Un sentito ringraziamento va altresì ai Signori G. Steffè di Trieste, A. Zagni di Milano e C. Carini di Bologna per la fattiva collaborazione prestata.

---

## BIBLIOGRAFIA

- 1.- ZANCLA A. : *Modern topics in microwave propagation and air-sea interaction*. D. Reidel. Dordrecht, 1973
- 2.- BEAN B. R., DUTTON E. J. : *Radio meteorology*, NBS monograph 92, 1976