

LA POLARIZZAZIONE DELLE ONDE ELETTROMAGNETICHE

Per la trasmissione dei segnali radio TV dal satellite vengono utilizzate onde elettromagnetiche polarizzate linearmente o circolarmente, in modo analogo al caso di trasmissioni terrestri. Ciò implica che tra antenna trasmittente e ricevente esista un'opportuna corrispondenza, affinché quest'ultima sottragga la massima energia al campo elettromagnetico in transito.

Polarizzazione lineare

In un'onda elettromagnetica sono presenti un campo elettrico ed uno magnetico oscillanti e concatenati, tra loro sempre ortogonali e disposti su piani a 90° rispetto alla direzione di propagazione.

Se obblighiamo uno dei due campi ad oscillare su un piano ben definito, anche l'altro subirà la stessa sorte, ma su un piano ortogonale al primo. In questo caso diremo che l'onda elettromagnetica è polarizzata linearmente (Fig. 1). Se poi il campo elettrico E oscilla su un piano orizzontale, si dirà che l'onda è a polarizzazione orizzontale (LH). Viceversa, quando il campo elettrico oscilla su un piano verticale rispetto al terreno, diremo

che l'onda è a polarizzazione verticale (LV). Nel caso della trasmissione operata dai satelliti, il piano orizzontale si intenderà quello che contiene la sua orbita di rivoluzione. È chiaro che, analogamente al caso terrestre, per avere il massimo segnale ai capi dell'antenna (del probe, nel caso dell'LNB), sarà necessario che il dipolo captatore, sensibile al campo elettrico, venga orientato parallelamente alla direzione di polarizzazione dell'onda (Fig. 2a). In caso contrario ne conseguirà un'attenuazione che cresce con il valore dell'angolo di errore α (Fig. 2b), secondo la legge:

$$att = 20 \log \cos \alpha$$

È altrettanto evidente che la presenza di oggetti, che causano la rotazione del piano di polarizzazione nel tragitto trasmettitore-ricevitore, determina allo stesso modo un'attenuazione. In base alla relazione risulta poi che l'attenuazione di un segnale polarizzato linearmente, ma disposto a 90° rispetto a quello per cui è massima la ricezione, risulta infinita. In ciò è insita la possibilità di separare in modo netto i due modi ortogonali di polarizzazione lineare. In realtà, la discriminazione tra i due

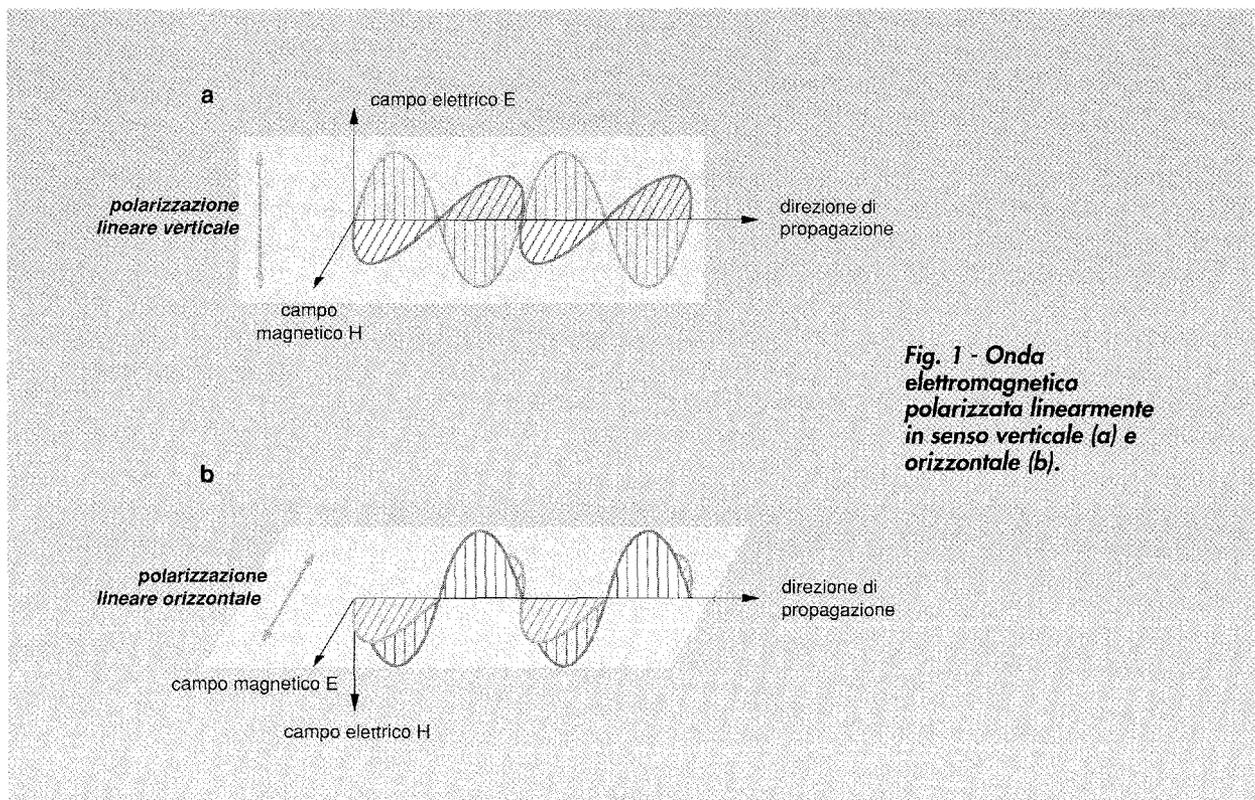


Fig. 1 - Onda elettromagnetica polarizzata linearmente in senso verticale (a) e orizzontale (b).

modi e limitata a 25-30dB, a causa delle imperfezioni delle antenne trasmittente e ricevente, che danno luogo alla formazione di un campo ortogonale (crosspolare) accanto a quello principale (copolare)

Polarizzazione circolare

Un altro modo di propagare il campo elettromagnetico è quello a polarizzazione circolare. In questo caso l'apice del vettore elettrico non oscilla più avanti e indietro, come nel caso della polarizzazione lineare, ma, al contrario, è ora costante in ampiezza e descrive un moto circolare intorno all'asse di propagazione. Se il vettore, osservato guardando verso la sorgente, ruota in senso orario, l'onda si dice polarizzata circolarmente in modo destrorso (RHCP - Fig 3a). Se ruota invece in senso antiorario l'onda è polarizzata circolarmente in modo sinistrorso (LHCP - Fig 3b). La polarizzazione circolare dell'onda elettromagnetica si può ottenere sommando due onde polarizzate linearmente su piani ortogonali,

sfasate nel tempo di 90° . La somma di due vettori ortogonali, le cui ampiezze variano secondo le funzioni trigonometriche seno e coseno, fornisce un vettore risultante di ampiezza unitaria, la cui estremità descrive un moto circolare (senso orario in Fig 3c).

Rovesciando la fase di una delle due componenti, il moto descritto dall'estremità del vettore risultante è ancora elicoidale ma di verso opposto.

Da quanto appena visto, si osserva che l'energia trasportata dall'onda elettromagnetica risulta divisa esattamente a metà fra le due componenti ortogonali polarizzate linearmente. Inoltre, qualunque rotazione introdotta su entrambe le componenti non modifica il verso di rotazione del vettore risultante e quindi non è richiesto alcun aggiustamento al ricevitore.

Naturalmente, l'alterazione dell'ampiezza o della fase di una delle due componenti ha quale effetto la trasformazione della polarizzazione da circolare a ellittica, con un asse privilegiato rispetto all'altro. Ciò equivale alla formazione di una componente polarizzata linearmente che si aggiunge a quella originale, polarizzata

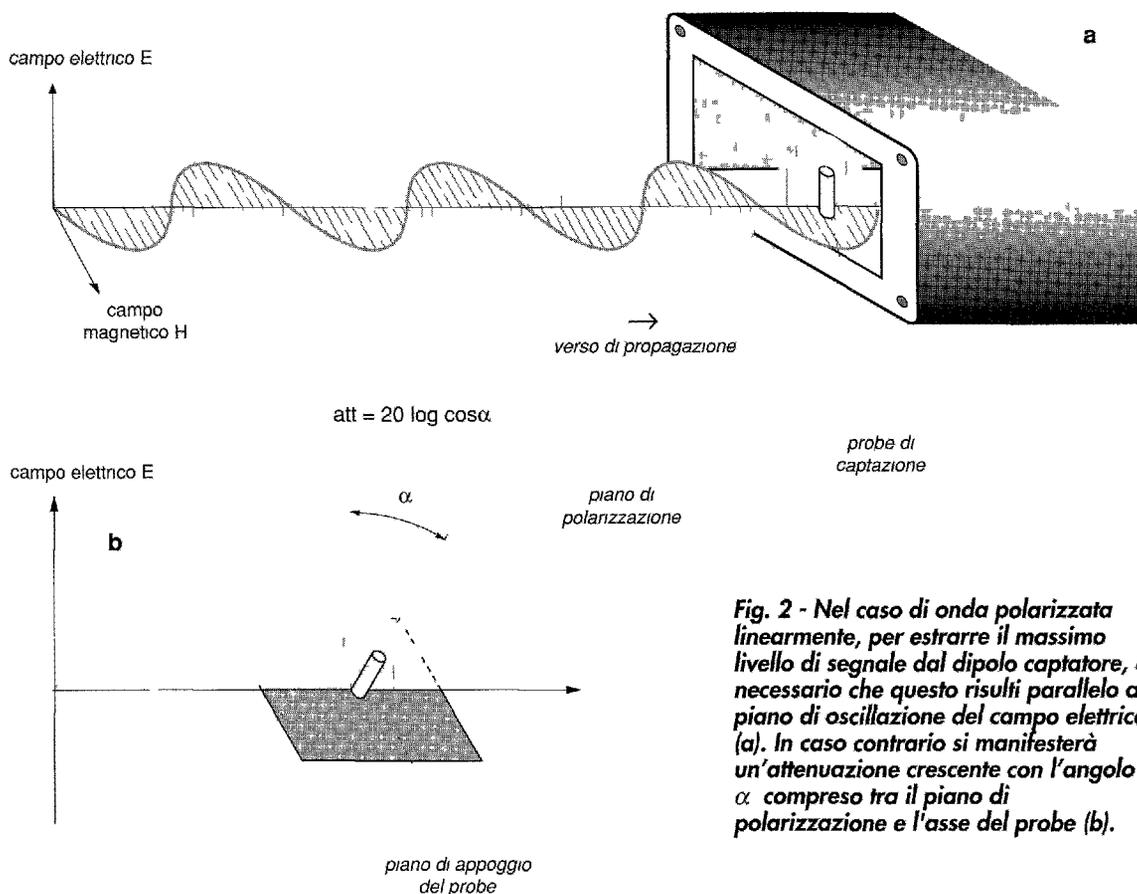


Fig. 2 - Nel caso di onda polarizzata linearmente, per estrarre il massimo livello di segnale dal dipolo captatore, è necessario che questo risulti parallelo al piano di oscillazione del campo elettrico (a). In caso contrario si manifesterà un'attenuazione crescente con l'angolo α compreso tra il piano di polarizzazione e l'asse del probe (b).

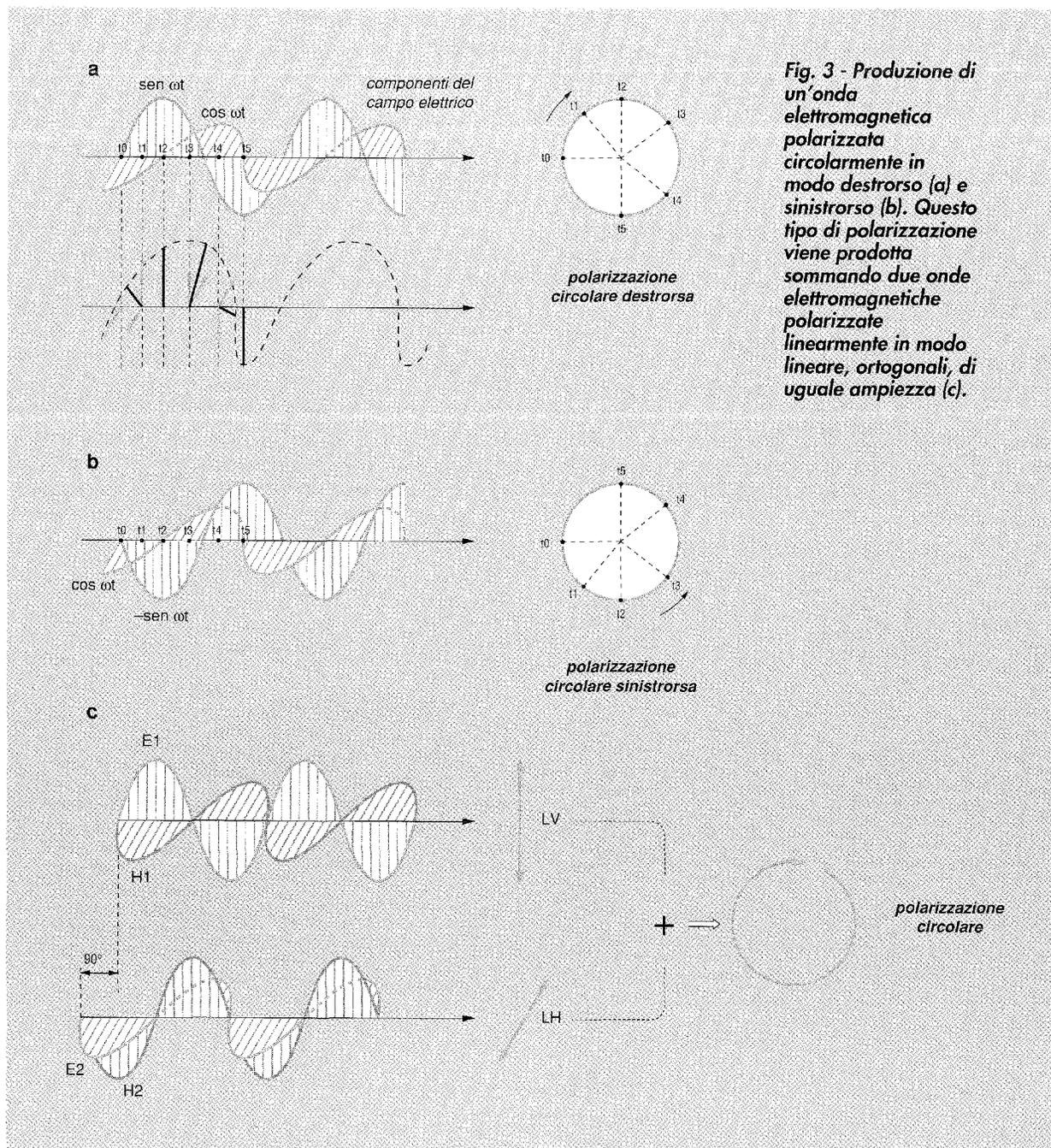


Fig. 3 - Produzione di un'onda elettromagnetica polarizzata circolarmente in modo destrorso (a) e sinistrorso (b). Questo tipo di polarizzazione viene prodotta sommando due onde elettromagnetiche polarizzate linearmente in modo lineare, ortogonali, di uguale ampiezza (c).

circolarmente, ora indebolita. Questo fenomeno di depolarizzazione porta allo sviluppo di una componente di campo crosspolare che riduce considerevolmente la discriminazione di polarizzazione possibile al ricevitore.

Ricezione delle onde polarizzate circolarmente

Vediamo ora come sia possibile la ricezione delle

onde polarizzate circolarmente trasmesse dal satellite. Anticipiamo subito che il processo adottato consiste nel recuperare l'energia totale associata alle due componenti, trasformando la polarizzazione da circolare a lineare, mantenendo alto il livello di separazione tra le polarizzazioni sinistrorsa e destrorsa.

La tecnica usata è concettualmente abbastanza semplice. Annullando lo sfasamento di 90° tra le due componenti ortogonali del campo (elettrico, ad esempio) - sfasamento che, lo ricordiamo, portava alla polarizza-

zione circolare dell'onda - si ottiene un campo con polarizzazione lineare oscillante sul piano definito dalla direzione di propagazione e dalla bisettrice dell'angolo formato dalle due componenti ortogonali, ora in fase.

A questo punto, per l'estrazione del segnale basterà semplicemente orientare la bocca dell'unità LNB in modo che il probe di captazione risulti parallelo al piano di polarizzazione.

Naturalmente, anche nel caso di segnali con polarizzazione circolare opposta, la tecnica descritta porterà sempre alla formazione di un campo polarizzato linearmente, ma con direzione ortogonale a quella del caso precedente. La separazione tra i segnali con polarizza-

zioni circolari opposte si traduce perciò in quella più ovvia tra segnali lineari crosspolari.

Per la trasformazione circolare-lineare della polarizzazione, ovvero sia per ritardare di $1/4$ di periodo una delle due componenti ortogonali del campo, si ricorre ad una lamina dielettrica che presenta una lunghezza opportuna nella direzione di propagazione dell'onda (Fig. 4).

Come è noto, le onde elettromagnetiche viaggiano nei mezzi materiali con velocità inferiore a quella della luce nel vuoto (300.000km/s). In particolare, nei dielettrici il fattore di riduzione della velocità è pari a $1/\sqrt{\epsilon_r}$ dove ϵ_r è la costante dielettrica relativa alla frequenza di lavoro.

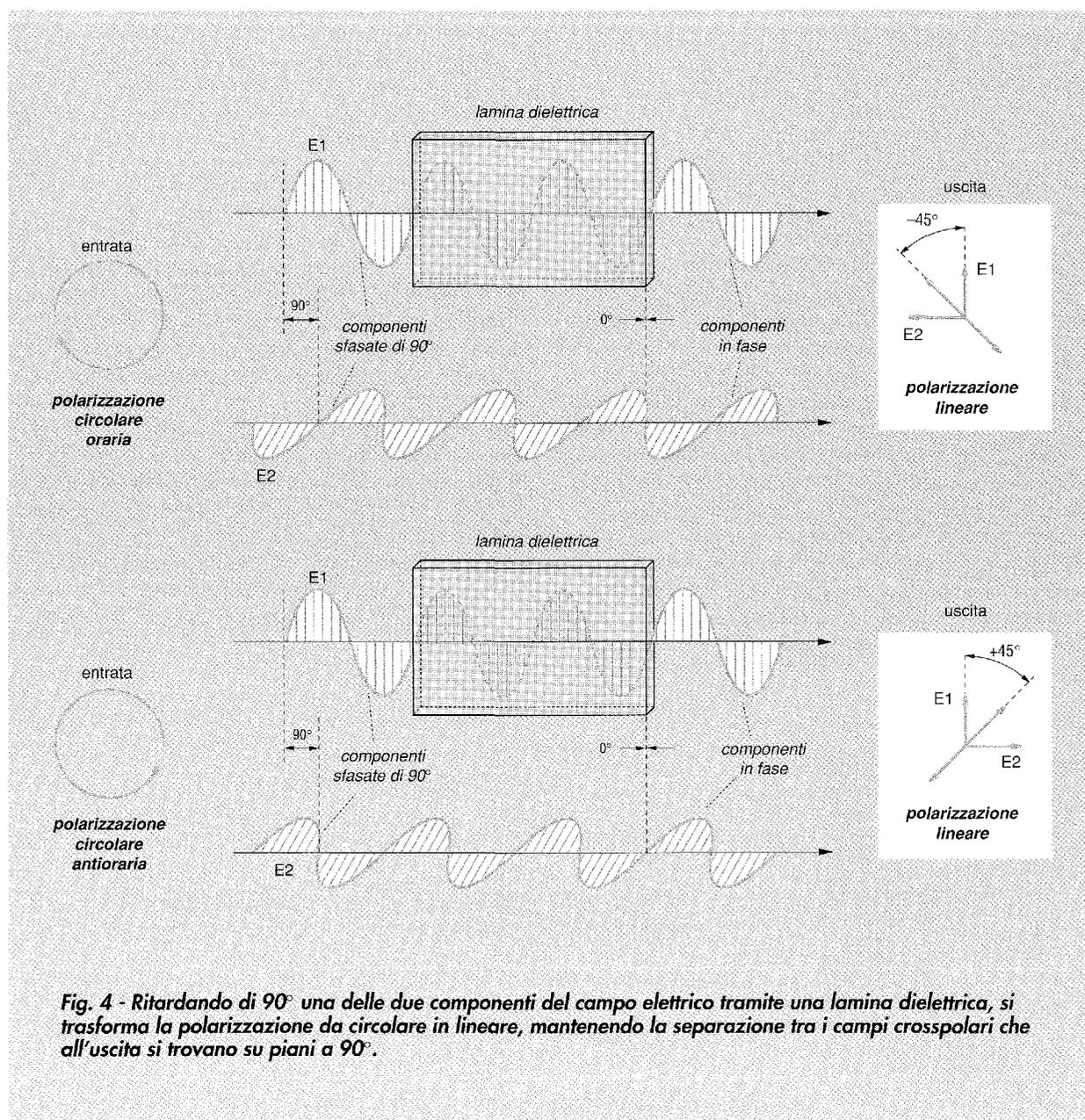


Fig. 4 - Ritardando di 90° una delle due componenti del campo elettrico tramite una lamina dielettrica, si trasforma la polarizzazione da circolare in lineare, mantenendo la separazione tra i campi crosspolari che all'uscita si trovano su piani a 90° .

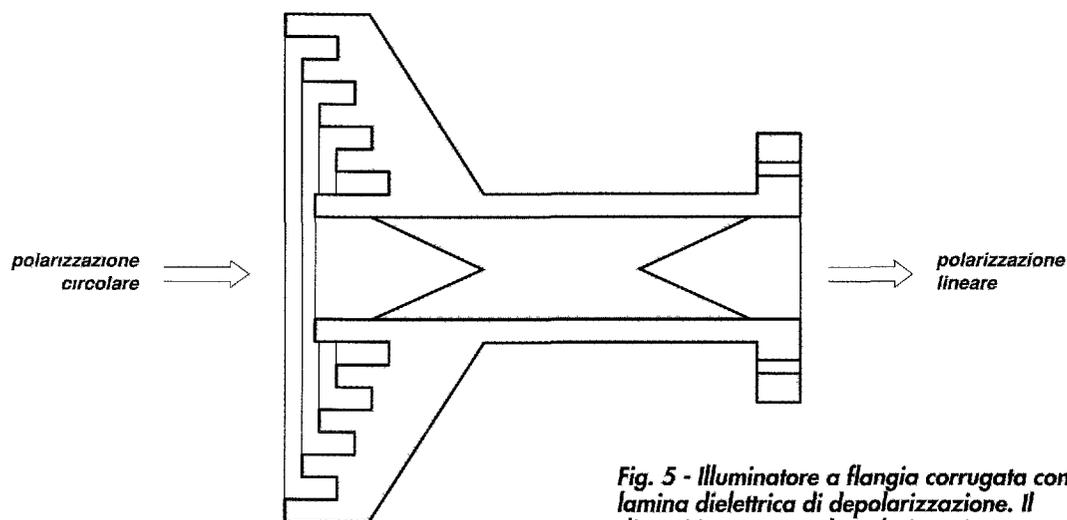


Fig. 5 - Illuminatore a flangia corrugata con lamina dielettrica di depolarizzazione. Il dispositivo converte la polarizzazione circolare in lineare.

E' proprio per questo motivo che nei cavi coassiali con dielettrico in PE compatto ($\epsilon_r = 2,25$) la velocità di propagazione dei segnali è di 200.000km/s ($300.000 \cdot 1/\sqrt{2,25}$).

Analogamente, l'attraversamento di una lamina in teflon (dielettrico di ottime caratteristiche in SHF, con $\epsilon_r = 2,56$) determina un rallentamento della componente del campo elettrico ad essa parallela. Se poi la lunghezza della lamina è tale da introdurre esattamente un ritardo pari a $1/4$ di lunghezza d'onda (corrispondente a 90° elettrici), all'uscita della lamina le due componenti ortogonali risulteranno in fase, dando luogo ad un campo risultante polarizzato linearmente, disposto a 45° rispetto alla sezione trasversale della lamina (direzione verticale in Fig. 4).

I due casi di polarizzazione circolare si trasformeranno così in polarizzazioni lineari, tra loro ortogonali ($\pm 45^\circ$), permettendo al ricevitore di effettuare la richiesta selezione, disponendo la bocca dell'LNB in modo che il probe assuma le orientazioni del campo elettrico ($\pm 45^\circ$).

Come si è detto, la lamina polarizzatrice è normalmente in teflon e dovendo operare su un intervallo di frequenza piuttosto ampio (11,7-12,5GHz per i satelliti DBS) viene opportunamente rastremata, assumendo la configurazione a freccia o a coda di rondine. In Fig. 5 è indicata la sezione di un illuminatore a flangia corrugata dotato di lamina polarizzatrice per la conversione della polarizzazione da circolare a lineare.

□