

Antenne riceventi e trasmettenti

Un interessante contributo di Grego Fidenzio della RKB ci introduce le nozioni base per valutare meglio il funzionamento di un'antenna.

■ Un'antenna trasmittente può essere definita come un dispositivo in grado di trasformare l'energia elettrica in ingresso in energia elettromagnetica irradiata nello spazio. Una stessa antenna, per il teorema di reciprocità, può essere utilizzata sia in trasmissione che in ricezione, per le stesse lunghezze d'onda. Il fisico Maxwell (1831-1879) dimostrò che un campo elettrico E, variabile nel tempo, non può esistere senza un campo elettromagnetico H ad esso associato e viceversa: questa coppia di vettori crea un campo elettromagnetico E.M. In un'antenna trasmittente il campo elettromagnetico si 'allontana' dall'antenna sotto forma di onde elettromagnetiche. Queste onde si propagano nello spazio circostante alla velocità calcolabile con i seguenti dati:

$\epsilon_0 = 8,86 \times 10^{-12}$ Farad/m
(costante dielettrica del vuoto attraverso la quale avviene la propagazione)

$\mu_0 = 1,256 \times 10^{-6}$ H/m
(permeabilità magnetica del vuoto)

Sostituendo questi valori all'interno della formula

$$c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \cdot \mu_0}}$$

si ottiene:

$$2,9977 \times 10^8 = \text{circa } 3 \times 10^8 \text{ m/sec}$$

Così nel vuoto, o in uno spazio libero, il campo E.M. si propaga alla velocità della luce c (300 mila Km/s) con i vettori E ed H che risultano perpendicolari fra loro e perpendicolari alla direzione di propagazione e sono legati dalla relazione:

$$\frac{E}{H} = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} = R_0$$

E = valore efficace dell'intensità di campo Volt/metro

H = valore efficace di campo magnetico ampere/metro

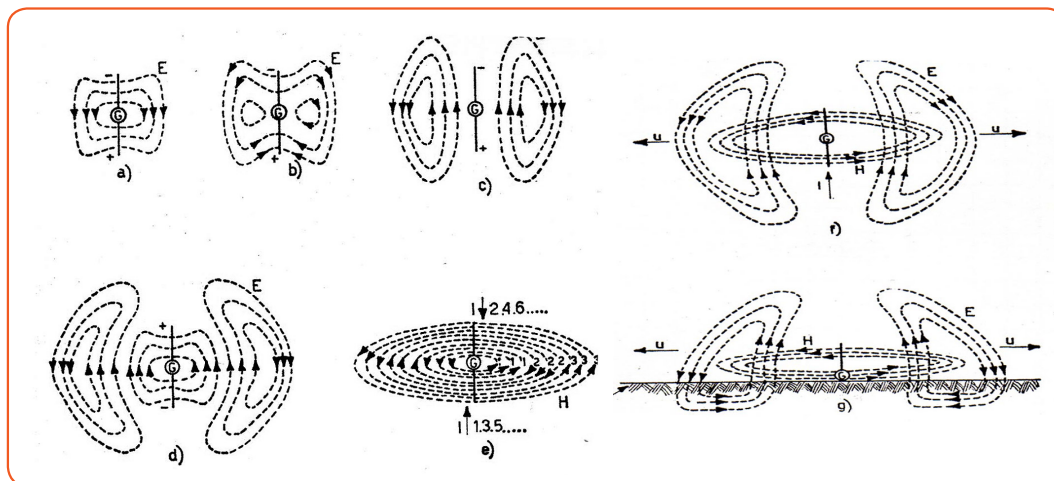
R_0 = resistenza dello spazio vuoto

Sostituendo i valori come sopra si ottiene:

$$R_0 = 377 \text{ Ohm}$$

Attorno all'elemento irradiante, la propagazione di energia elettromagnetica avviene alla velocità c.

Tale energia, allontanandosi dall'elemento va ad occupare superfici concentriche al dipolo, ciascuna con uguale intensità di campo in ogni suo punto, ma sempre più estese. Quindi, la potenza irradiata diminuisce allontanandosi dall'antenna, in modo inversamente proporzionale al quadrato della sua distanza.



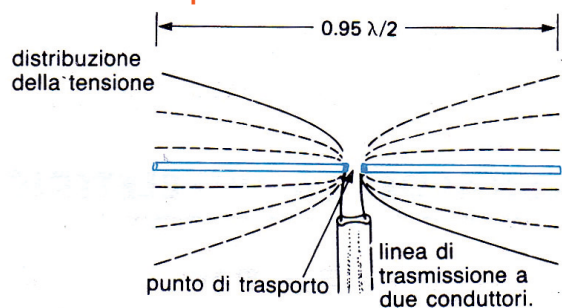
I disegni riportano il movimento dei flussi di energia nei campi magnetici; in particolare: la formazione successiva delle onde elettriche che lasciano l'antenna alla velocità c (diagrammi a - b - c - d); il campo magnetico equivalente perpendicolare al campo elettrico (diagramma e) e il campo elettromagnetico generato dal dipolo nello spazio (diagramma f - g)

I Dipoli

La più semplice antenna ricevente è il dipolo elementare costituito da 2 conduttori di lunghezza $\lambda/4$ dove λ corrisponde alla lunghezza d'onda del campo elettromagnetico.

Tale dipolo è sede di una corrente sinusoidale di frequenza $f = 1/T$ (T periodo dell'onda incidente) che ha il valore massimo al centro. Il dipolo è l'elemento di base per le antenne usate nella ricezione dei segnali televisivi.

Antenna a dipolo a mezz'onda



La tensione è massima alle estremità del dipolo e minima nella parte centrale. In questo punto è minima anche l'impedenza

La lunghezza fisica L del dipolo $\lambda/2$ si calcola così:
 L (metri) = $c \cdot T / 2 = c / 2f = 3 \times 10^8 / 2f \times 10^6$ (Hz) = $150 / f$ (MHz)

c = velocità della luce

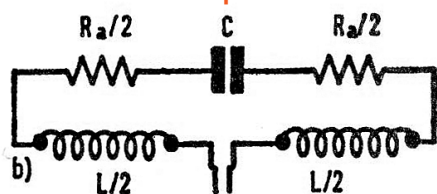
T = periodo dell'onda incidente

f = frequenza

Nella realtà bisogna tenere conto di un fattore di riduzione perché le onde elettromagnetiche si propagano nei mezzi con velocità minore di c (velocità della luce). Per i materiali che costituiscono i dipoli, normalmente tale coefficiente vale circa 0,94; di conseguenza:
 L (metri) = $0,94 \times 150 / f$ (MHz)

Il dipolo viene collegato alla linea di discesa nel punto di corrente massima, situato nel suo centro; è assimilabile ad un circuito risonante in serie provvisto di resistenza R_a , di induttanza L e di capacità C . L'impedenza del dipolo ideale vale 72 Ohm.

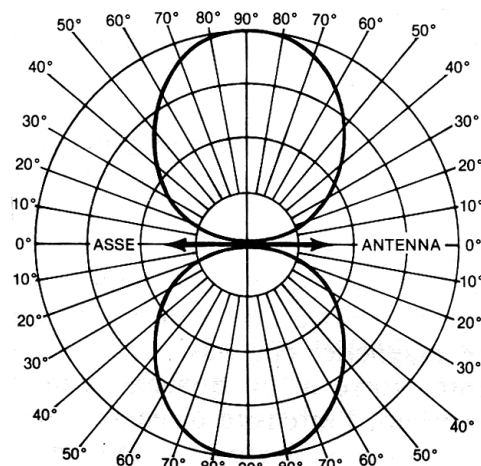
Circuito risonante equivalente del dipolo



Il dipolo è equivalente ad un circuito risonante serie. In questo circuito la banda passante B è legata al coefficiente di merito Q . Tanto più il Q è alto, quando minore è B

Il diagramma polare di irradiazione del dipolo ha la forma di un 'otto' ed è costituito da due 'cerchi' tangenti al dipolo nel suo punto medio.

Diagramma del dipolo a mezz'onda



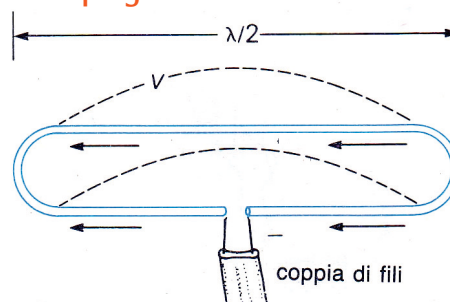
La maggiore intensità d'irradiazione e di ricezione si ottiene sulla parte frontale e posteriore del dipolo

La direzione di massima ricezione è quella perpendicolare al dipolo; in tutte le altre direzioni, l'intensità di ricezione è minore. L'elevato numero dei canali televisivi e la loro intrinseca larghezza di canale (7-8 MHz) portano alla necessità di usare antenne a Banda Larga in grado di ricevere le diverse frequenze dello spettro occupato.

Al semplice dipolo viene preferito il dipolo ripiegato che ha sostanzialmente due vantaggi:

1. il fattore di merito Q più basso e la sua risposta in frequenza meno selettiva, quindi più adeguata alle grandi larghezze di banda;
2. il bal-un di adattamento al cavo coassiale di discesa facilita la possibilità del passaggio da un'alimentazione simmetrica, ossia quella del dipolo (300 Ohm), ad un'alimentazione asimmetrica, caratteristica del cavo stesso (75 Ohm). La sua lunghezza e il suo diagramma polare rimangono sostanzialmente uguali a quelle del dipolo semplice.

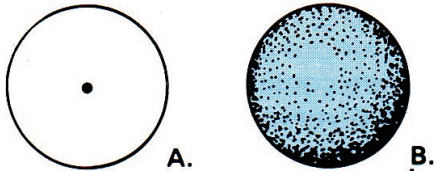
Dipolo ripiegato



Variando il diametro dei tubi che costituiscono il dipolo e la loro distanza è possibile ottenere un migliore adattamento di impedenza con la linea di discesa

Un ausilio teorico importante è il radiatore a sorgente puntiforme o radiatore isotropico. Viene chiamato così perché irradia uguale potenza in tutte le direzioni (proprietà di isotropia) e risulta utile come elemento di confronto con le antenne reali, le cui prestazioni possono essere messe in relazione con quelle di questo radiatore.

Modello di radiazione per radiatore isotropico teorico



a) Modello di radiazione per radiatore isotropico teorico rappresentato da un punto
b) caratteristica di una sorgente isotropica omnidirezionale

Il guadagno di un'antenna può essere comparato con quello di questa sorgente teorica, e in tal caso viene espresso in dBi, (cioè dB riferiti al radiatore isotropico). Il massimo guadagno di un dipolo a mezza onda confrontato con il dipolo isotropico è pari a 2,15 dBi. (equivalenti ad un guadagno in potenza di 1,64 volte), mentre il guadagno di un dipolo confrontato con se stesso è pari a 0 dBd (cioè dB riferiti al dipolo a $\lambda/2$).

Questo standard di riferimento è puramente teorico e il suo diagramma di irradiazione è una sfera, poiché l'intensità di campo irradiato è la stessa in tutte le direzioni.

Se, per esempio, un'antenna ha un guadagno di 10 dBd (riferita al dipolo in mezza onda) la stessa antenna può essere dichiarata avere un guadagno di 12,15 dBi (riferita al dipolo isotropico).

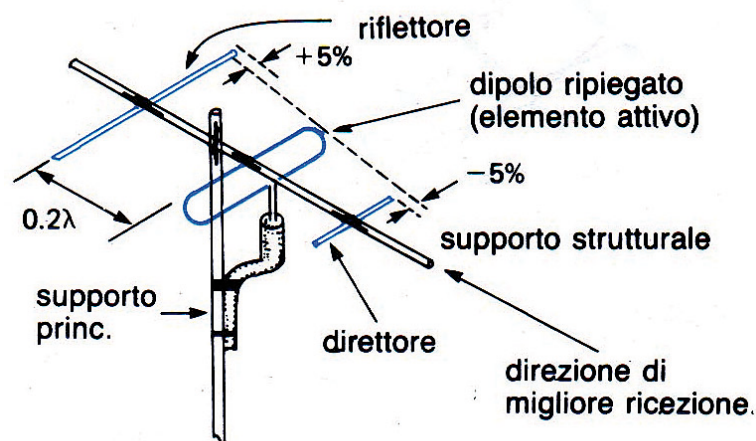
Antenne Yagi - Uda

Uda fu lo studente che scoprì il principio dell'incremento di direttività, sotto la guida del professor Hidetsugu Yagi, solitamente considerato l'inventore dell'antenna con quel tipo di struttura.

L'antenna Yagi è formata da un allineamento di elementi dove è presente un dipolo attivo (in genere del tipo ripiegato), uno o più riflettori e uno o più direttori (o elementi di antenna) non attivi, che incrementano il guadagno e la direttività.

Il direttore, o elemento dell'antenna, è un conduttore di lunghezza minore (circa il 5%) rispetto al dipolo (ripiegato o di altro tipo) immediatamente dietro. I direttori sono lunghi normalmente da $0,43\lambda$ a $0,4\lambda$ e sono spazati di circa $0,1\lambda$. Il riflettore è un conduttore di lunghezza leggermente superiore a quella del dipolo principale (circa il 5% maggiore), quindi di lunghezza praticamente coincidente a $\lambda/2$. Viene posto parallelamente dietro al dipolo attivo, perpendicolare alla direzione dell'emittente, ad una distanza variabile da $0,15\lambda$ a $0,25\lambda$.

Antenna Yagi con dipolo ripiegato



Quando si aggiunge al dipolo un riflettore o un direttore si aumenta il guadagno solo nella direzione principale, mentre l'impedenza dell'antenna diminuisce

La spaziatura tra gli elementi passivi e quello attivo è di circa $0,2\lambda$ ($0,15\lambda - 0,25\lambda$). L'azione dei riflettori e dei direttori si basa sul fatto che il segnale ricevuto provoca correnti indotte nei conduttori. Queste correnti creano un campo proprio, che viene re-irradiato dagli elementi parassiti; se questi sono distanziati dal dipolo in modo opportuno, il loro campo raggiunge il dipolo attivo con la fase necessaria per ottenere l'effetto additivo desiderato (aumento di guadagno). Il riflettore produce un guadagno extra e l'aggiunta di un numero di direttori superiori a 3 fa aumentare maggiormente il guadagno: per esempio, con 3 direttori il guadagno è di circa 2,5 dBd, con 8 direttori il guadagno è di circa 9 dBd.

Bal-un e cavo coassiale

L'antenna, in generale, è una struttura simmetrica: ciò significa che rovesciarla di 180° non deve cambiare le caratteristiche elettriche. Il cavo schermato, a differenza della 'vecchia' piattina bifilare a 300 Ohm, presenta una struttura asimmetrica perché il polo caldo è contenuto ad adeguata distanza, all'interno del conduttore che funge da schermatura esterna.

La transizione tra la necessaria alimentazione simmetrica e l'alimentazione asimmetrica del cavo avviene attraverso il dispositivo bal-un, che prende il nome dall'abbreviazione balanced-unbalanced cioè bilanciato-sbilanciato. Nel caso di dipolo ripiegato, il bal-un compie una doppia funzione: la prima è quella di trasformare l'impedenza con un rapporto 4 a 1 da 300 a 75 Ohm e la seconda, appunto, è quella di bilanciare la tensione di alimentazione a radio frequenza proveniente dal cavo. Normalmente il dispositivo per il bal-un in Banda televisiva IV-V (470÷860 MHz) viene realizzato con un circuito stampato a doppia faccia, dotato di una pista coassiale di lunghezza pari a $\lambda/2$ sulla frequenza media centrale. Per bal-un che necessitano di larghezza di banda superiori vengono usati trasformatori con ferrite.

Antenna logaritmica

Un'altra struttura adatta alla ricezione dei segnali televisivi distribuiti su di un ampio spettro di frequenze è l'antenna logaritmica.

L'antenna logaritmica ha avuto le sue prime applicazioni in campo militare; solo in un secondo tempo, quando il numero dei canali televisivi è andato progressivamente aumentando, le sue peculiarità l'hanno resa popolare agli antenisti.

Questo tipo d'antenna, in diversi casi, ha preso il sopravvento rispetto all'antenna Yagi canonica. I motivi del successo vanno ricercati nella maggiore larghezza di banda, nel migliore adattamento di impedenza e nella maggiore robustezza meccanica. L'antenna logaritmica, inoltre, non necessita di bal-un in quanto la simmetrizzazione viene ottenuta tenendo affiancato il cavo di alimentazione per tutta la lunghezza dell'antenna stessa.

Con un'antenna Yagi standard, su bande così estese non si riescono ad ottenere gli stessi risultati in termini di guadagno e adattamento d'impedenza.

Solo strutture più complesse, con un riflettore a corner sufficientemente dimensionato, alimentazione a onda intera e altre particolarità, possono superare le elevate prestazioni delle antenne logaritmiche.

L'aggettivo "logaritmica" è dovuto al fatto che gli elementi e le distanze dei medesimi vengono calcolate con una progressione geometrica di ragione τ (tau) minore di 1 e normalmente compresa tra 0,7 e 0,95.

Ogni elemento e ogni distanza vengono scalate di questo fattore partendo dall'elemento più lungo. La struttura a doppia culla supporta alternativamente i semi-elementi di lunghezza $\lambda/4$.

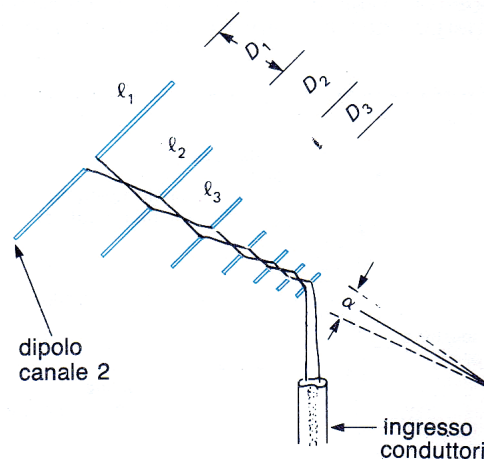
Il semi-elemento più lungo è calcolato per risuonare nella frequenza più bassa della banda da ricevere, mentre il più corto viene calcolato alla frequenza di circa 1,5 volte maggiore della massima da ricevere.

Naturalmente è importante il numero di elementi risonanti, compreso normalmente tra 5 a 20.

Il guadagno di questo tipo di antenne è quasi lineare su tutta la banda e su valori da 5 a 10,5 dBd.

La doppia culla collega elettricamente i vari elementi

Particolare di un'antenna logaritmica



I dipoli di un'antenna logaritmica sono collegati tramite una linea incrociata. Ogni elemento risuona ad una frequenza diversa

come fosse un cavo bifilare di appropriata impedenza. La grande larghezza di banda è dovuta al fatto che ciascun elemento risuona ad una frequenza diversa e sempre più alta, a partire dal primo.

Il punto di collegamento della linea di discesa di questa antenna è sul davanti, cioè in corrispondenza dell'elemento più corto.

In figura 8 e 9 sono riportati elementi caratteristici dell'antenna logaritmica dove:

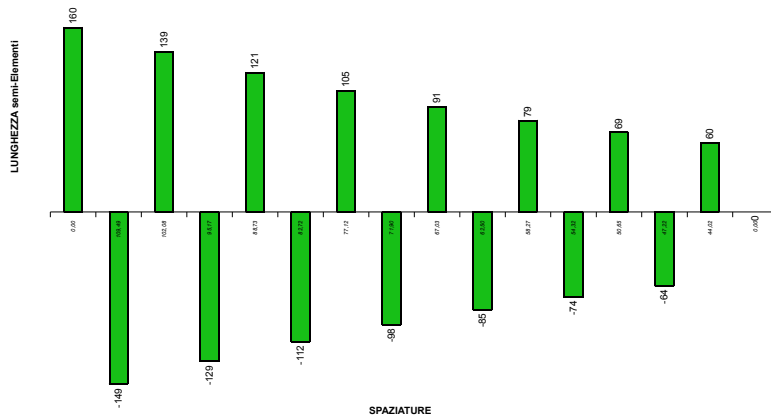
$$l_1 = \lambda/2$$

corrispondente alla minima frequenza desiderata. L'angolo di diffusione α è dato dalla relazione:

$$\alpha = \arctang (l_n / d_n)$$

Il guadagno cresce con all'aumentare del τ e decresce all'aumentare dell'angolo α .

Lunghezze a scalare degli elementi di una (semi) antenna Logaritmica



Lunghezza e distanza in cm a scalare, degli elementi di una (semi) antenna logaritmica banda IV-V

coefficiente di riduzione da 1 a 0 del segnale ricevuto. Il massimo guadagno è relativo e viene indicato con 0 nel caso di valori in dB oppure 1 nel caso di valori in rapporto. A titolo di esempio, viene riportato il diagramma di irradiazione dell'antenna Merak IV-V dove allo 0 dB corrisponde un massimo guadagno di 15,5 dBd. L'antenna, per un segnale che, ad esempio, la interferisse con un angolo di 40° rispetto all'asse principale, presenterebbe un guadagno di 5,5 dBd e non i 15,5 dBd dichiarati come massimo.

$$15,5 \text{ dBd} - 10 = 5,5 \text{ dBd}$$

Rapporto A/I e diagrammi di radiazione

Il rapporto A/I (avanti/indietro) o FBR (Front to Back Ratio) è il rapporto tra il massimo segnale ricevuto sul fronte dell'antenna (il picco del lobo principale) e il massimo segnale ricevuto ruotando l'antenna di 180°. Questo rapporto viene espresso in dB. Un rapporto FBR che supera i 20 dB è indice di una buona e ben costruita antenna. Un altro parametro importante, è l'angolo di apertura rispettivamente orizzontale o verticale dell'antenna identificato come l'angolo compreso tra le direzioni per le quali la potenza irradiata si riduce della metà (- 3dB) di quella corrispondente alla direzione di massima radiazione.

Diagramma di irradiazione

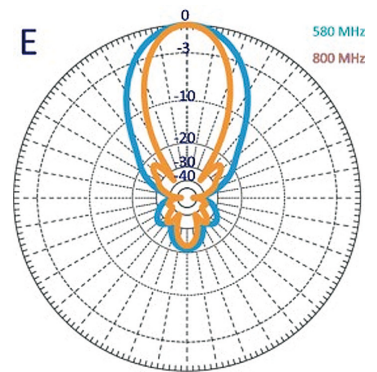
L'intensità del campo ricevuto da un'antenna reale dipende dall'angolo d'incidenza tra l'asse dell'antenna e la sorgente del campo da ricevere. Per una rapida valutazione delle peculiarità dell'antenna si ricorre al diagramma d'irradiazione, un grafico che ci permette di visualizzare e misurare il comportamento della medesima in tutte le possibili direzioni.

La presenza di segnali che provengono da sorgenti dislocate in posizioni diverse, con la conseguente necessità d'installazione di più antenne, rende necessario conoscere e interpretare questi diagrammi, per poter ottimizzare e prevenire alcune problematiche che potrebbero causare il cattivo funzionamento dell'impianto. I diagrammi d'irradiazione, sono normalmente rappresentati in coordinate polari, con linee radiali che suddividono i 360° di un cerchio in passi da 10°, e con una scala lungo il raggio che indica la direzione di massimo guadagno, per individuare le ampiezze dei segnali tarati in dB negativi o in

dove il valore -10 viene ricavato dal diagramma. Per diminuire ulteriormente questo guadagno così da ridurre gli effetti del segnale secondario, potrebbe essere necessario ruotare l'antenna di un certo angolo fino ad un compromesso tra la maggiore differenza tra il segnale principale e quello interferente. Accoppiando due antenne in posizione orizzontale, una sopra l'altra, si restringe il lobo in verticale, aumentando la direttività su tale

piano e quindi diminuendo eventuali disturbi provenienti dal basso. Viceversa, accoppiando le due antenne sul piano orizzontale, una di fianco all'altra, si restringe il lobo sul piano orizzontale. Per questi accoppiamenti è indispensabile che le lunghezze dei cavi che vanno all'accoppiatore siano uguali. Quindi, per aumentare guadagno o direttività in ricezione è possibile accoppiare due o più antenne (array di antenne) in configurazioni da valutare caso per caso. Trattandosi di accoppiamenti su bande con frequenze comprendenti quasi un'ottava, non sempre la complessità dell'accoppiamento premia il risultato. In teoria, due antenne accoppiate dovrebbero incrementare il guadagno di 3 dB e dimezzare l'angolo di apertura nel piano di accoppiamento.

Diagramma d'irradiazione dell'antenna RKB Merak IV-V



Con questo diagramma si può valutare con quali guadagni o attenuazioni vengono captati i vari segnali in antenna

Si ringrazia per il contributo **Grego Fidenzio** della società **RKB**, www.rkb.it