

Fotocopiato in proprio, distribuito gratuitamente, è gradita la collaborazione dei lettori - Il N. 18 è stato inviato a 39 lettori  
Redazione: Ezio Mognaschi, v.le Gorizia, 63 - 27100 Pavia PV, tel. 0382 539522, posta elettronica: mognaschi@fisav.unipv.it

=====

Hanno collaborato a questo numero: P. Castagnone, E. Mognaschi, A. Nardi, F. Traverso ed altri.

**Sommario:** □ Notizie □ Nuovi tipi di antenne: la *Crossed Field Antenna* (CFA) - Una piccola, ma efficiente antenna trasmittente p. 1; □ Modulazione, p. 3; □ Nuovi cavi sottomarini nell'era della comunicazione via satellite, p. 6.

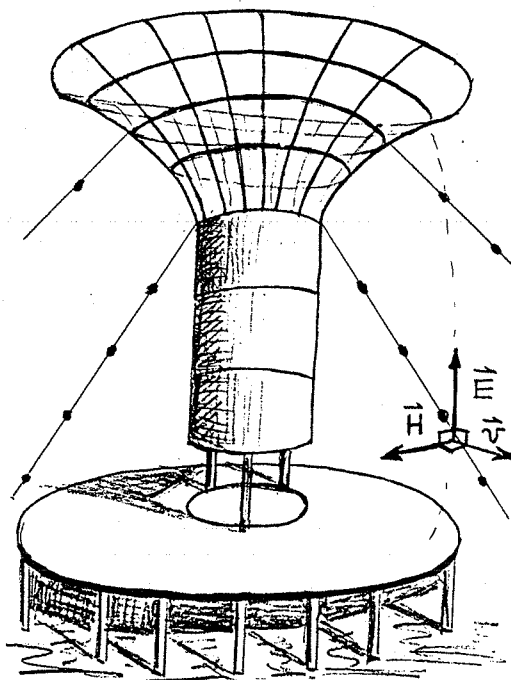
**Notizie:** \* Il 2 luglio, per celebrare i suoi 75 anni, la stazione SAQ sarà probabilmente attiva su 17.2 kHz, CW.  
\* La stazione G dell'ex Sistema Omega, situata in Australia, è nuovamente attiva da ottobre 1999 su 13 kHz con 10 kW irradiati. La stazione è passata alla *Royal Australian Navy* che la usa per trasmettere ai suoi sottomarini.  
\* A Novegro (MI), a pochi chilometri dall'aeroporto di Linate, il 3 e 4 giugno *Radiant*, rassegna del radiantismo. Si tratta di un'importante mostra-mercato di apparati e componenti per telecomunicazioni, ricetrasmissioni, elettronica, computer, corredi kit per autocostruzioni e radioantiquariato. Sarà presente l'AIR, l'ARI e l'AIRE.  
\* F. Traverso segnala il sito: <http://web.tiscalinet.it/vlfradio/> che è il sito di Renato Romero, già segnalato nel settembre 99 su *Radioonde* N. 16, che ha cambiato indirizzo.  
\* A. Nardi segnala che il proprio sito ha il nuovo indirizzo: <http://www.tiscalinet.it/G2000>

## Nuovi tipi di antenne: la *Crossed Field Antenna* (CFA) Una piccola, ma efficiente antenna trasmittente di E. Mognaschi

L'origine di questa nuova antenna risale al 1985-86 quando Maurice Hately, alla *Robert Gordon University* di Aberdeen, Scozia, diede inizio al progetto di produrre separatamente, e di comporre poi, i campi elettrico e magnetico che occorrono per generare il vettore di Poynting di un'onda elettromagnetica. L'idea base era che, nell'usuale progettazione delle antenne, come ad esempio nel programma per calcolatore NEC o MiniNEC, viene trascurata la corrente di spostamento, mentre egli voleva progettare un'antenna basata proprio su questa corrente e non sulle correnti di conduzione. A questo progetto si dedicarono Fathi Kabbary e Brian Stewart, due studenti che erano andati a studiare ad Aberdeen. Dopo tre mesi di difficoltà Kabbary ebbe l'idea giusta per realizzare una geometria di conduttori in grado di produrre separatamente il campo elettrico **E** ed il campo di induzione elettrica **D**, la cui variazione temporale produce il campo magnetico da comporre con **E** (si veda la scheda relativa alla teoria). I dottori Stewart e Kabbary lavorano attualmente al Dipartimento di Ingegneria dell'*Università della Caledonia* in Scozia e, nel 1999, hanno presentato una descrizione della loro antenna ad un convegno specialistico, svoltosi negli Stati Uniti, ove hanno incontrato notevole interesse per la loro ricerca, ma questo nuovo tipo di antenna ha suscitato anche un certo scetticismo sulle sue prestazioni.

In poco tempo venne realizzata un'antenna CFA e con essa vennero realizzati collegamenti con radioamatori di tutta Europa nelle bande dei 7 e dei 14 MHz. L'antenna era alta meno di un metro e mezzo. Una tipica antenna CFA ha una lunghezza di solo un quinto di lunghezza d'onda o meno, non abbisogna di un sistema di radiali come piano di terra ed occupa poco spazio, non avendo bisogno di lunghi stralli. La forma è simile a quella di un fungo del tipo lattario (p. es. *Lactarius piperatus*), con un grosso gambo e la parte superiore ad imbuto (v. figura). Non si conoscono altri dettagli costruttivi, per cui non si sa dove sia messo il dielettrico necessario per produrre il campo di induzione **D**, né di che dielettrico si tratti. Si può immaginare che stia nel grosso gambo, abbia elevata costante dielettrica e basse perdite dielettriche.

L'efficienza è superiore al 95%, simile a quella di un'ottima antenna verticale ed il guadagno d'antenna è di circa 9 dB,



Rappresentazione schematica di un'antenna CFA.

maggiore di quello di una verticale. Occorre però una speciale unità per l'adattamento di impedenza tra generatore ed antenna e per produrre lo sfasamento tra campo elettrico e magnetico.

La prima applicazione commerciale dell'antenna CFA è stata realizzata nel 1990 in Egitto a Barnis con un trasmettitore da 100 kW. Sempre in Egitto, nei prossimi due anni, tutte le antenne in onde medie verranno sostituite da antenne CFA. All'inizio di quest'anno dovrebbe entrare in funzione un'antenna CFA per la stazione da 500 kW su 279 kHz, situata nell'isola di Man, l'antenna sarà alta solo 26 m. Altre antenne CFA sono in costruzione a San Remo ed a Keil in Germania. Anche ad Alessandria d'Egitto ed in Brasile verranno installate antenne CFA l'anno prossimo.

L'idea di usare materiali dielettrici nelle antenne non è nuova, specialmente in UHF e bande superiori, ove le dimensioni delle antenne sono relativamente piccole. Un tentativo in HF venne fatto qualche anno fa da un radioamatore italiano (v. *Radiokit Elettronica*, n. 2/95). Tuttavia l'antenna proposta era sì di dimensioni ridotte (una spirale lunga circa 2 m); ma, alimentata in modo convenzionale, non sfruttava il concetto base della CFA, quello di comporre i campi elettrico e magnetico, generati separatamente.

### La teoria relativa all'antenna CFA

A questo punto, per capire, occorre andare indietro nel tempo e ricordare come nacque, nel 1873, la quarta equazione di Maxwell (scozzese, morto a soli 48 anni, di cancro addominale, nel 1879). L'intuizione fondamentale di J. C. Maxwell fu proprio quella di introdurre, accanto alle correnti di conduzione, rappresentate dal vettore densità di corrente  $\mathbf{J}$ , la corrente di spostamento, la cui densità è data da  $\partial\mathbf{D}/\partial t$ . Bisogna sottolineare che non c'era, allora, alcuna evidenza sperimentale dell'esistenza di questa corrente e che la sua esistenza, postulata da Maxwell, è indispensabile perché esistano soluzioni delle famose equazioni di Maxwell del tipo di onde che si propagano; onde la cui esistenza fu dimostrata sperimentalmente solo nel 1888 da H. Hertz (ebreo tedesco, di religione luterana, morto per avvelenamento cronico del sangue, forse a causa delle cure per una malattia maligna alle ossa, a soli 36 anni nel 1894). La quarta equazione di Maxwell, nel Sistema Internazionale di unità di misura, si scrive:

$$\nabla \times \mathbf{H} = \mathbf{J} + \partial\mathbf{D}/\partial t \quad (1)$$

ove  $\mathbf{H}$  è il campo magnetico e  $\nabla$  (nabla) è l'operatore differenziale il cui prodotto vettoriale con un vettore dà origine al "rotore" di quel vettore ed il significato dell'equazione è appunto che le sorgenti del campo magnetico possono essere sia le correnti di conduzione, sia quelle di spostamento.

Nel vuoto o, praticamente, nell'aria è

$$\mathbf{D} = \epsilon_0 \mathbf{E} \quad (2)$$

e siccome  $\epsilon_0 = 8.854 \times 10^{-12}$  F/m, il secondo termine nell'eq. (1) è di scarsa rilevanza a meno che.....1°) la derivata di  $\mathbf{D}$  rispetto al tempo sia molto grande, cioè a frequenze altissime, oppure, ed è il caso che interessa,.....2°) non siamo nel vuoto o nell'aria, ma in un materiale dielettrico, cioè polarizzabile. Per un dielettrico è

$$\mathbf{D} = \epsilon_0 \mathbf{E} + \mathbf{P} \quad (3)$$

ove  $\mathbf{P}$  è il vettore polarizzazione, cioè il momento di dipolo per unità di volume. Evidentemente nel vuoto, o nell'aria, è  $\mathbf{P} = 0$  e si torna alla (2). Ora, se introduciamo la (3) nella (1) otteniamo

$$\nabla \times \mathbf{H} = \mathbf{J} + \partial(\epsilon_0 \mathbf{E} + \mathbf{P})/\partial t = \mathbf{J} + \epsilon_0 \partial\mathbf{E}/\partial t + \partial\mathbf{P}/\partial t \quad (4)$$

e, per ottenere un importante contributo alla corrente di spostamento, occorre una grande variazione della polarizzazione  $\mathbf{P}$  nel tempo; il che si ottiene o ad alte frequenze (ancora caso 1°) oppure con grandi valori di  $\mathbf{P}$ . Essendo

$$\mathbf{P} = (\epsilon_r - 1) \mathbf{E} \quad (5)$$

ove  $\epsilon_r$  è la costante dielettrica relativa del dielettrico considerato. Grandi valori di  $\epsilon_r$  corrispondono a grandi valori di  $\mathbf{P}$  e, quindi, a sue grandi variazioni, tenendo conto che stiamo considerando grandezze elettriche con variazioni periodiche.

Infine è necessario tenere conto del fatto che, in un'onda elettromagnetica, i campi  $\mathbf{E}$  ed  $\mathbf{H}$  devono essere a 90° nello spazio, cioè ortogonali tra loro, e sfasati di 90°. È quindi necessario generare  $\mathbf{E}$  e  $\mathbf{D}$  con coppie di elettrodi indipendenti ed interporre, tra generatore ed antenna, un circuito sfasatore che ritardi, ad esempio, il campo magnetico rispetto a quello elettrico di 90°.

## Modulazione

di E. Mognaschi

### 4. Modulazione ad impulsi

Sono possibili diversi tipi di modulazione ad impulsi. Ad esempio si può variare l'ampiezza degli impulsi, mantenendo costante frequenza e durata degli stessi; oppure si può variare la durata, mantenendo fissa ampiezza e frequenza; oppure ancora si può variare la frequenza, mantenendo fissa la durata e l'ampiezza; infine si può variare la posizione degli impulsi, mantenendo fissa la loro durata. Le ultime tre tecniche si prestano bene per la ricetrasmisione di segnali digitali.

Esamineremo, in particolare, una recente tecnica basata su brevi impulsi tutti uguali tra loro, la trasmissione dell'informazione avviene modulando la posizione degli impulsi (*pulse position modulation*, PPM). La sue principali caratteristiche sono: densità spettrali molto basse; uso di impulsi ultra-brevi; banda di frequenze utilizzate tipicamente tra 650 MHz e 5 GHz; copertura di un raggio di alcuni chilometri con potenze inferiori al mW; eccellente immunità alle interferenze da altri sistemi radio.

Un prototipo, costruito dalla *Time Domain Corporation*, ha consentito comunicazioni in duplex a 1.3 GHz con una potenza media di 250  $\mu$ W ed una velocità di trasmissione tra 39 e 156.25 kb/s a distanza di oltre 16 km. Altri prototipi hanno operato a velocità da pochi bit al secondo sino a 1.5 Mb/s ed è stato provato, dal Dipartimento della Difesa Statunitense, che le trasmissioni ricevute a dieci chilometri di distanza, non potevano essere rivelate, da ricevitori convenzionali, neanche a 30 metri dal trasmettitore.

La trasmissione ad impulsi possiede un'ulteriore straordinaria caratteristica, quella di poter condividere lo stesso spettro di frequenza con altre emissioni senza interferenze. Inoltre è eccezionalmente immune da interferenze causata da percorsi molteplici, è relativamente semplice e poco costosa, impiega potenze considerevolmente inferiori a quelle usuali e può essere realizzata con un sistema di due circuiti integrati su chip, con pochissimi componenti esterni, se realizzata con la tecnologia dei circuiti integrati avanzati. Le principali applicazioni che si prevedono sono la comunicazione all'interno di edifici e l'uso nei sistemi per comunicazioni personali.

#### 4a. Come funziona

Larry Fullerton, inventore del sistema nel 1987, ha osservato che è possibile trasmettere singoli cicli di oscillazione e che, posizionando esattamente questi monocicli nel tempo ed usando un apposito ricevitore sincronizzato, è possibile ricostruire il segnale trasmesso.

Un trasmettitore operante nel dominio del tempo, anziché in quello della frequenza, emette brevi impulsi a ciclo singolo con intervalli tra gli impulsi controllati strettamente. L'ampiezza degli impulsi è solitamente tra 1.5 e 2 ns e l'intervallo tra gli stessi è tra un centesimo ed un millesimo di nanosecondo. Come conseguenza della brevissima durata degli impulsi la trasmissione è, necessariamente, a larghissima banda. Il sistema di modulazione utilizzato è quello della modulazione della posizione dell'impulso. L'intervallo tra gli impulsi viene variato sulla base di due componenti: l'informazione da trasmettere ed un canale di codifica. Questo fa sì che diversi canali di informazione possano coesistere sulla stessa banda di frequenze se utilizzano differenti codifiche. Il ricevitore converte direttamente il segnale a radiofrequenza in un segnale analogico o digitale. All'ingresso del ricevitore un correlatore incrociato converte, in modo coerente, il treno di impulsi elettromagnetici in un segnale a banda base in un solo stadio. Non esiste stadio a media frequenza e questo riduce molto la complessità del ricevitore.

Mentre le trasmissioni convenzionali sono facilmente individuabili con mezzi elettronici in quanto tutta la potenza è trasmessa in una banda piuttosto ristretta (per es. alcuni kW in pochi kHz), il sistema ad impulsi emette milioni di impulsi al secondo, non differenziati tra loro, ma con posizione codificata. Per un ricevitore non correlato con il trasmettitore questa trasmissione è indistinguibile dal rumore a larga banda ed il complesso costituisce quindi un sistema di comunicazione virtualmente non rivelabile da chi non possiede la chiave di codifica.

#### 4b. La teoria e le caratteristiche

L'elemento base della tecnologia radio nel dominio del tempo è il "monociclo gaussiano". Viene così denominato un segnale formato da un unico ciclo descritto, per comodità, dalla derivata prima temporale di una funzione gaussiana, rappresentata in Fig. 1a. La funzione gaussiana ha la forma di una campana e la sua espressione analitica è

$$V(t, f_c, A) = (A/2) \exp - (2\pi f_c t)^2 \quad (1)$$

Ove  $t$  è la variabile tempo,  $A$  l'ampiezza ed  $f_c$ , come vedremo, la frequenza centrale dello spettro del segnale. La derivata prima della funzione di Gauss (1) è

$$V'(t, f_c, A) = -(A2\pi f_c t) \exp - (2\pi f_c t)^2 \quad (2)$$

È questa l'equazione del "monociclo gaussiano" rappresentato in Fig. 1b.

Lo spettro in frequenza del monociclo gaussiano, ottenuto dalla trasformata di Fourier della (2), è dato da

$$S(f, f_c, A) = (A/2f_c) \sqrt{2/\pi} \exp[-1/2 (f/f_c)^2] \quad (3)$$

che è, di nuovo, una curva gaussiana a forma di campana, ma, questa volta, nel dominio della frequenza, con un massimo per  $f = \sqrt{2} f_c$ , vedi Fig. 1c. Esiste una relazione diretta tra la durata  $\tau$  degli impulsi (distanza temporale tra il massimo ed il minimo) e la frequenza centrale  $f_c$  dello spettro:

$$\tau = 1/(\pi f_c). \quad (4)$$

La larghezza di banda a metà potenza è data da  $1.16 f_c$  e poiché  $f_c$ , per mezzo della (4), è legata alla larghezza degli impulsi, questa, a sua volta, determina sia la frequenza centrale, sia la larghezza di banda. Per esempio, se la durata degli impulsi, cioè l'intervallo di tempo tra il massimo ed il minimo del singolo monociclo gaussiano è  $\tau = 1.6 \times 10^{-6}$  s, la frequenza centrale dello spettro è  $f_c = 2$  GHz e la larghezza di banda impegnata è di 2.32 GHz, cioè i segnali trasmessi occupano lo spettro di frequenza da circa 1 GHz a circa 3 GHz.

### Classificazione delle emissioni

Modulazione di ampiezza A; di frequenza (o fase) F; impulsi P. Emissione continua senza modulazione 0; telegrafia 1; telegrafia modulata ad audiofrequenza 2; telefonia 3; facsimile 4, televisione 5. Esempio: F 3 = telefonia in modulazione di frequenza.

L'emissione telegrafica è caratterizzata dalla velocità di manipolazione, espressa in baud, cioè dal numero di segnali elementari per secondo; la velocità di 100 baud corrisponde ad 1/100 di secondo per l'emissione del segnale elementare (punto del codice Morse). 1 carattere = 8 punti; una parola = 5 caratteri + spazio = 6 caratteri; 100 parole al minuto corrispondono a 600 caratteri al minuto cioè 80 baud. Il sistema Hell lento corrisponde a 122 baud; quello veloce a 244 baud.

Tipo di emissione		Larghezza di banda (Hz)	Note
Telegrafia ad onda persistente	A1	bK	b in baud; $K = 3 \div 5$
Telegrafia ad onda persistente modulata a frequenza audio	A2	bK + 2M	M frequenza del segnale modulante
Radiotelefonia	A3	M 2M	a banda laterale singola a doppia banda laterale
Facsimile	A4	KN/T + 2M	K = 1.5; N/T numero di elementi bianco + nero al secondo
Televisione	A4	KN/T	K = 1.5 ÷ 3
Telegrafia con onde smorzate	B1	teoricamente infinita	non ammessa
Telegrafia a spostamento di frequenza ( <i>frequency shift keying</i> )	F1	bK + 2D	$K = 3 \div 5$ ; $D = (f_m - f_n)/2$ $f_m$ = valore massimo della freq. istantanea $f_n$ = valore minimo della freq. istantanea
Radiotelefonia in modulazione di frequenza	F3	2M + 2DK	$D/M \cong 3$ K = 1 telefonia commerciale K > 1 telefonia alta fedeltà
Facsimile	F4	KN/T + 2M + 2D	K = 1.5
Impulsi	P	dipende dal tipo di modulazione (ampiezza, larghezza, frequenza, fase, posizione, ecc.) e dalla forma dell'impulso	

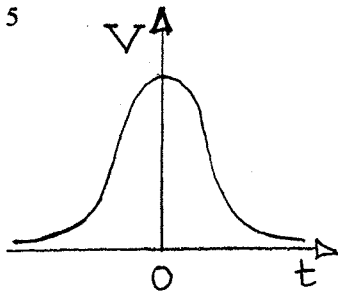


Fig. 1a - Funzione gaussiana.

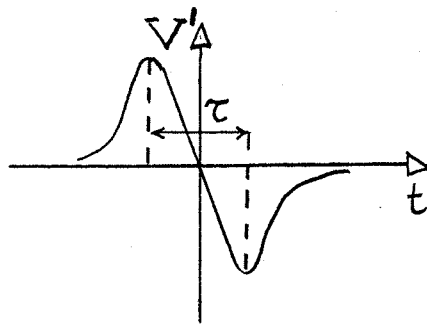


Fig. 1b - Derivata della funzione gaussiana o "monociclo gaussiano".

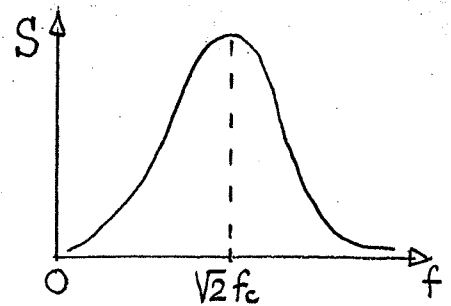
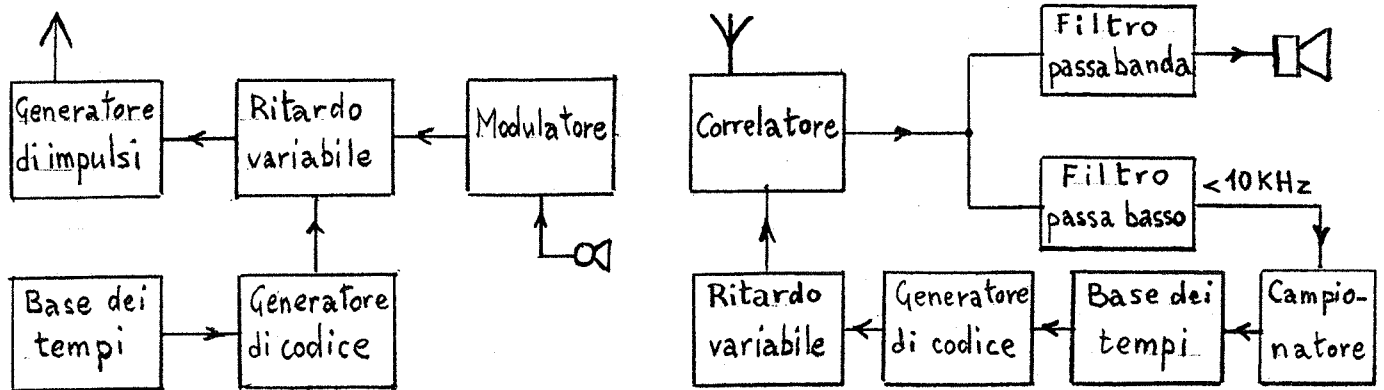


Fig. 1c - Spettro in frequenza del "monociclo gaussiano".

Nelle comunicazioni si usano però lunghe sequenze di impulsi e non singoli impulsi. I valori tipici vanno da 1 a 10 milioni di impulsi al secondo e lo spettro in frequenza non è più quello di Fig. 1c, ma più complicato, anche se comunque molto largo. La piccola potenza utilizzata, dell'ordine del mW come abbiamo visto, viene così distribuita su di un amplissimo spettro, con bassissime densità spettrali. Un treno di impulsi spaziatosi regolarmente non è però in grado di trasmettere delle informazioni: è necessario modulare gli impulsi per trasmettere l'informazione. Il sistema di modulazione nel dominio del tempo usa il metodo di modulare la posizione degli impulsi, rispetto ad impulsi di riferimento. È così possibile, nel ricevitore, estrarre l'informazione anche se il livello dei segnali è molto inferiore a quello del rumore elettromagnetico ambientale. A questo scopo, nel ricevitore, è presente un correlatore incrociato. Nella modulazione PPM viene variata in modo preciso la posizione di ciascun impulso, rispetto ad una posizione nominale, di riferimento. Per esempio, in un sistema che trasmette  $10^6$  impulsi al secondo, gli impulsi dovrebbero essere trasmessi ogni 100 ns. In questo sistema lo zero potrebbe essere rappresentato da un impulso trasmesso 100 ps prima della posizione nominale e l'uno potrebbe essere rappresentato da un impulso trasmesso 100 ps dopo. La modulazione distribuisce ancora di più l'energia a radiofrequenza nella banda ed appiattisce lo spettro del segnale, rendendo ancora meno rivelabile l'esistenza della trasmissione. A questo punto tutti i possibili treni di impulsi si somigliano e la trasmissione non è canalizzata. Però, spostando il tempo di trasmissione di ciascun impulso di una quantità grande e codificata secondo un codice predeterminato, si può canalizzare il treno di impulsi, cioè far coesistere e poter distinguere tra loro moltissimi treni trasmessi nello stesso spettro di frequenze. A questo scopo vengono usati codificazioni del tipo rumore pseudo casuale (*pseudo-random noise codes*). Per consentire un accesso multiplo a parecchi utenti, ciascuno di essi deve avere una propria sequenza caratteristica di rumore pseudo casuale, diversa da quella di altri utenti. Solo un ricevitore che operi con la stessa sequenza potrà decodificare la trasmissione a lui diretta. Se si ascolta una trasmissione così codificata con un ricevitore convenzionale il segnale, ammesso che sia più intenso del rumore di fondo, apparirà come rumore; quindi per accorgersi dell'esistenza di una trasmissione così codificata occorre essere molto vicini al trasmettitore e, anche in questo caso, non si riuscirà ad estrarre l'informazione senza possedere la chiave del codice. Si tratta quindi di un sistema di comunicazione intrinsecamente sicuro. Il sistema è inoltre immune dal radiodisturbo da parte di altri sistemi di comunicazione compresi gli altri sistemi di modulazione ad impulsi. Questo fatto è molto importante in quanto tutti i segnali presenti nella banda, molto larga, utilizzata, sono radiodisturbi per il sistema che stiamo considerando. Poiché non esistono bande libere dell'ampiezza di alcuni GHz, il sistema di modulazione nel tempo deve necessariamente condividere lo spettro con altri sistemi di trasmissione. Infine il sistema di modulazione a codice pseudo casuale consente di distinguere diverse trasmissioni simultanee.

La tecnologia della trasmissione ad impulsi permette non solo la comunicazione a corto raggio, ad esempio all'interno di un edificio o tra i componenti di una pattuglia di polizia o di soldati sul campo di battaglia, ma, grazie alla capacità delle onde impiegate di passare più o meno attenuate attraverso una parete e di essere riflesse da ostacoli, ha consentito di mettere a punto un radar che permette di localizzare, al di là di un muro, persone e cose con la precisione di pochi centimetri.



Schema a blocchi del trasmettitore e del ricevitore nel dominio del tempo.

## Nuovi cavi sottomarini nell'era della comunicazione via satellite

di E. Mognaschi

Il primo cavo sottomarino telegrafico venne posato nel 1858 e servì per collegare Londra con Chicago. Permetteva la trasmissione di 245 caratteri al minuto che, in linguaggio moderno, corrispondono a 33 bit al secondo. Il passo successivo nelle telecomunicazioni transoceaniche fu, nel 1901, la comunicazione radio transatlantica di Marconi. Il successo di questo esperimento aprì la strada ad una lunga serie di sviluppi tecnici nelle radiocomunicazioni ed alla concorrenza tra radio e comunicazioni via cavo. L'ultima novità nella comunicazione è consistita nell'uso, dagli anni '60, di satelliti artificiali che permettono collegamenti a microonde tra stazioni terrestri. Perché allora occuparci di cavi sottomarini? Sicuramente molti di noi usano, senza saperlo, i cavi sottomarini ad esempio quando navigano in Internet; infatti la capacità di trasmissione dei cavi è, di recente, cresciuta enormemente con l'introduzione delle fibre ottiche. Il primo cavo a fibre ottiche è stato posato nel 1988 ed ha consentito sia un aumento della larghezza di banda utilizzabile  $\Delta B$ , sia un risparmio in quanto le unità di ripetizione per l'amplificazione del segnale sono richieste, in questi cavi, solo ogni 100 km. Su distanze sino a 300 km si può anche fare a meno di ripetitori e quindi dell'alimentazione per gli stessi. Nei ripetitori di una volta il segnale doveva essere convertito da segnale ottico a segnale elettrico per essere amplificato e poi nuovamente in segnale ottico. Dal 1996, per i nuovi cavi, si usano solo ripetitori ottici che consentono facilmente l'amplificazione simultanea di parecchi segnali. La velocità di trasmissione dei dati è oggi di 20 Gbit/s e tra qualche anno salirà all'ordine del Tbit/s (1 Tbit/s = 1000 Gbit/s =  $10^9$  bit/s).

I cavi sottomarini superano i satelliti non solo in termini di velocità di trasmissione dei dati, ma anche in economicità. Mentre la vita utile di un satellite va da 10 a 15 anni, con il rischio sempre incombente della perdita totale del satellite, sia per cause accidentali, sia per azioni deliberate, quella di un cavo sottomarino è almeno doppia. Si deve questo alle moderne tecniche di localizzazione dei cavi ed alla possibilità di ripararli. I cavi sottomarini, solitamente posati alla profondità di un metro sotto il fondo del mare, possono infatti essere accidentalmente danneggiati dalle ancore delle grandi navi e, nei mari a fondo piatto, anche dalle reti da pesca. Una rapida localizzazione del danno è importante per l'affidabilità del servizio e per la sua economicità. La procedura comporta dapprima la localizzazione della sezione in avaria, tra due ripetitori consecutivi, poi il sollevamento del cavo al centro della sezione, il suo taglio ed il controllo dei due pezzi nelle opposte direzioni, per identificare la parte ove si trova il guasto e la sostituzione della parte in avaria.

### I nuovi cavi sottomarini

Nome	Tratta	Lunghezza (km)	Data	Velocità (Gbit/s)
TAT-12/13	Green Hill, RI, USA - Land End, GB - Penmarch, F - Shirle, New York, USA	6321	agosto 1996	$2 \times 5$
FLAG	Collegamento a fibra ottica attorno al mondo		1988	$2 \times 5$
Gemini	Manasquan, NJ, USA - Green Hill, RI, USA - Oxwich, GB - Portcurno, GB	12600	febbraio 1998 giugno 1999	$2 \times 10$ $2 \times 15$
SEA-ME-WE-3	Asia del SE - Medio Oriente - Europa Occ.	39000	1999	$4 \times 2.5$ $8 \times 2.5$
TAT-14	Manasquan, NJ, USA - Tuckerton, NJ, USA - Widemouth, GB - St. Valery en Caux, F - Katwijk, NL - Norden, D - Blaabjerg, DK	15428	2000	$16 \times 10$
Oxygen	Circuito mondiale con 99 punti in 78 paesi	168000 nella prima fase	2000-2003	1280 almeno
<b>Da confrontare con:</b>				$\Delta B$
TAT-1	Oban, Scozia - Clarenville, Terranova, Canada - Terrenceville, Terranova, Canada - Sydney Mines, Nuova Scozia, Canada	7802	1956-1978	(kHz) 144+144