

# Antenne Professionali per sistemi UHF SATCOM

Flaminio Bollini

**L**e telecomunicazioni in campo militare rappresentano lo stato dell'arte della tecnologia, e sono caratterizzati da un elevato grado di affidabilità e di semplicità di utilizzo.

Tra questi, un esempio interessante è rappresentato dai sistemi di radiocomunicazione via satellite nella banda UHF: infatti in questa porzione di spettro esiste una banda dedicata alle comunicazioni spaziali, facenti capo ad una costellazione di satelliti geostazionari.

L'utilizzo di una banda intorno ai 300 MHz ha permesso di semplificare notevolmente gli apparati e le antenne necessari per acquisire questi satelliti sia da postazioni mobili (mezzi terrestri e navi), sia mediante stazioni portatili.

In questo breve articolo ne ripercorriamo la storia, andando a vedere le antenne utilizzate per questa particolare applicazione.



## 1. Le comunicazioni tattiche militari.

Il termine SATCOM (SATellite COMmunications) indica un sistema di comunicazione satellitare basato su una rete di satelliti artificiali geostazionari in grado di ricevere segnali radio dalla Terra, amplificarli e ritrasmetterli ad apparecchiature di bordo di navi, aerei e stazioni terrestri.

Le comunicazioni militari, in particolar modo quelle che vengono definite “tattiche”, cioè caratterizzate da un alto grado di importanza e segretezza, da anni ormai vengono affidate a sistemi di questo tipo, grazie ad una rete di satelliti militari dedicati, operanti su di una banda posta all’inizio dello spettro UHF, ovvero da 243-318 MHz.

Il motivo della scelta di questa banda, rispetto alle frequenze più alte, è da ricercarsi nella elevata capacità di penetrazione nell’atmosfera e nella trascurabile attenuazione da pioggia ed idrometeore, nonché nella possibilità di adottare apparati con caratteristiche d’impiego meno critiche e per questo più affidabili e di più rapido impiego.

Inoltre i sistemi SATCOM UHF presentano un’alta flessibilità nell’allocazione dei canali, grazie alla semplicità di impiego delle risorse a bordo satellite, dove ciascun canale in uplink è singolarmente filtrato e condizionato in ampiezza e livello di uscita verso gli stadi di amplificazione in trasmissione nella sottobanda di downlink, implementando così un trasponder del tutto trasparente al sistema di modulazione e codifica del segnale in transito.

Questa caratteristica ben si adatta alle comunicazioni militari, in particolar modo i servizi tattici ed operativi, in quanto, come ben noto, devono disporre di un’alta quantità di canali, ai limiti della disponibilità in questa sezione di banda.

I satelliti MILSAT presenti attualmente in orbita sono prevalentemente di proprietà degli Stati Uniti, precursori insieme ai Russi in questo campo.

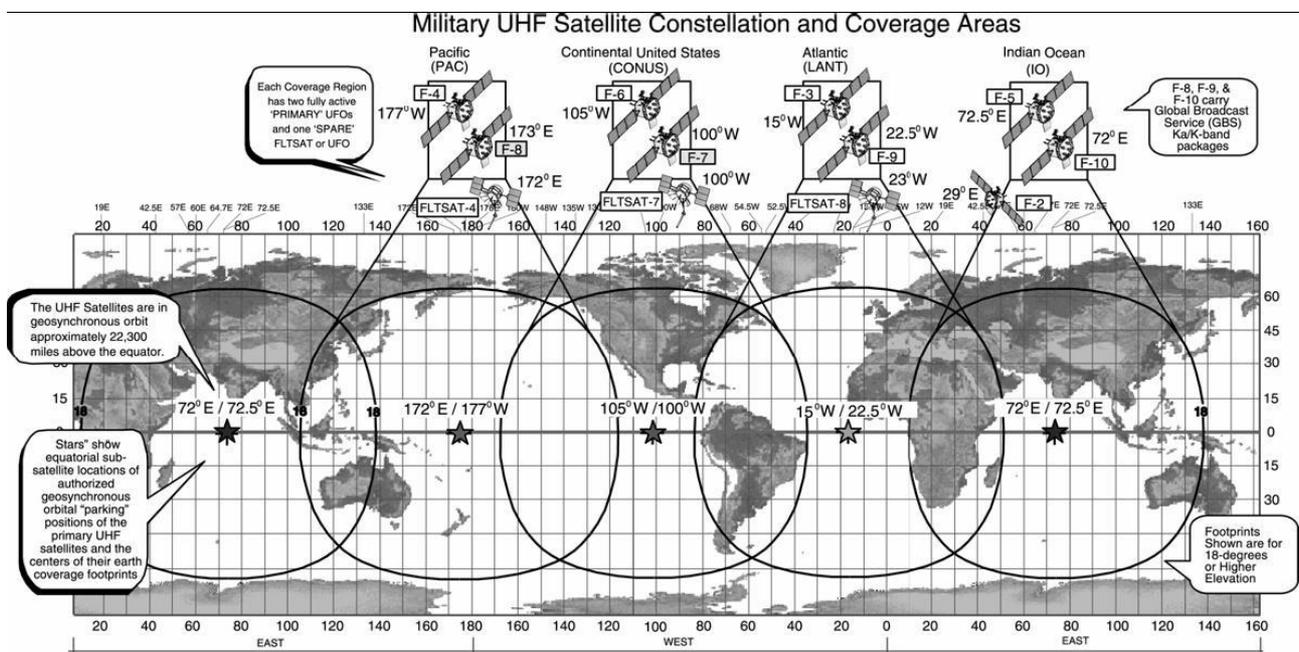


Figura 1

Costellazione dei satelliti MILSAT in banda UHF e relativi footprint.

Dopo un iniziale periodo di collaborazione in ambito NATO, anche le nazioni europee hanno optato per una rete di satelliti autonoma, comprendendo l'importanza della riservatezza in questo genere di comunicazioni. Sono stati così sviluppati ed inviati in orbita i vari Skynet (Regno Unito), Siracuse (Francia) e Sicral (Italia).

Le reti U.S.A., denominate FLTSAT e UFO, coprono praticamente tutto il pianeta, come è possibile vedere nella cartina riportata nella **Figura 1**.

Vediamo ora per quale motivo e come si è arrivati all'utilizzo di questa tecnologia.

## 2. Un po' di storia.

Per ragioni che non saranno certo difficili da comprendere, le comunicazioni militari hanno da sempre richiesto un alto livello di sicurezza ed affidabilità. Pertanto, sin dagli anni antecedenti la II Guerra Mondiale, sono state studiate alternative che potessero sostituire i sistemi HF, poco affidabili in quanto dipendenti dalle condizioni di propagazione, ed i cavi sottomarini, spesso soggetti a rotture o danneggiamenti da parte del nemico.

La prima soluzione alternativa ad apparire realistica nacque negli Stati Uniti negli anni '50 e fu denominata *Communication Moon Relay Project*.

I primi tentativi, chiamati *Passive Moon Relay*, sperimentati al fine di intercettare i segnali radar russi che accidentalmente rimbalzavano sulla Luna, avevano dato ottimi risultati e spinto gli americani a verificare la possibilità di effettuare comunicazioni bidirezionali facendo rimbalzare di proposito i segnali radio sul nostro satellite naturale.

Il *Moon Bounce*, detto anche *EME (Earth-Moon-Earth)* da tutti i radioamatori che ancora oggi lo utilizzano con intenti ben diversi da quelli militari, non era però esente da problemi: la distanza tra la Terra e la Luna comportava una forte attenuazione del segnale durante il lungo tragitto (circa 384000 Km sia in uplink che in downlink) imponendo l'utilizzo di amplificatori lineari in grado di erogare un *EIRP* di almeno 1,5 kW, decisamente poco adatti a stazioni mobili. Inoltre era necessario che la Luna fosse acquisibile contemporaneamente in entrambe i punti del collegamento che si voleva realizzare.

Nasceva così la necessità di utilizzare satelliti artificiali collocati in posizioni fisse ed in grado di ritrasmettere in maniera attiva il segnale verso la Terra. Tale soluzione, già ipotizzata da Arthur C. Clarke nel 1945, non era purtroppo attuabile in quanto la tecnologia del tempo non permetteva l'invio in orbita di oggetti voluminosi e la realizzazione di sistemi di alimentazione in grado di garantire ad un ipotetico satellite artificiale un tempo di operatività sufficientemente lungo.

In quegli anni si limitò pertanto l'utilizzo dei satelliti artificiali con trasmettitori a bordo, nel 1957 con il russo *Sputnik* e nel 1958 con l'americano *SCORE*, per soli scopi sperimentali, mentre per quanto riguardava gli aspetti pratici del progetto, ovvero le radiocomunicazioni bidirezionali, ci si affidò a riflettori passivi.

Il primo esperimento di questo tipo fu chiamato *Echo* e riguardava il lancio di un enorme pallone di poliestere metallizzato del diametro di 30 metri, rimasto in orbita dal 1960 al 1968. A questo fece seguito l'*Echo2*, un pallone di 40 metri di diametro, in orbita dal 1964 al 1968.

Un altro progetto dell'epoca fu quello denominato *West Ford*. Nel maggio 1963 fu lanciato in orbita un pacco da 20 kg contenente centinaia di migliaia di minuscoli aghi in rame, dimensionati per risuonare a 8 GHz. L'obiettivo era quello di creare uno strato di ionosfera artificiale, per riprodurre gli effetti di propagazione di segnali radio tipici di quella regione dell'atmosfera. Una volta nello spazio gli aghi cominciarono a sparpagliarsi, consentendo di ottenere risultati promettenti nelle comunicazioni di voce e dati. Gli aghi continuarono poi ad allontanarsi fino a formare un anello molto largo ma inutilizzabile e, nel giro di un paio di anni, si sono allontanati dall'orbita iniziale fino a bruciarsi al rientro nell'atmosfera. Il progetto prevedeva a quel punto la realizzazione di un anello più ampio e permanente, il quale avrebbe però impedito le attività radioastronomiche, trovando quindi l'opposizione della comunità scientifica.

Al di là di questo, il motivo principale dell'abbandono dei progetti *Echo* e *West Ford* furono i notevoli progressi che nel frattempo erano stati fatti nella costruzione dei satelliti artificiali, da sempre l'alternativa più promettente.

Tra il 1965 ed il 1971 fu infatti messa in orbita con successo una serie di 6 satelliti, denominata *LES (Lincoln Experimental Satellite)*, in grado di essere utilizzati da terminali portatili e funzionanti in banda X, con antenne horn, ed in banda UHF. I successi ottenuti spinsero il governo americano a dare il via libera ad un progetto di carattere operativo e non più sperimentale.

Nel 1976 furono quindi ufficializzati i piani finali per il sistema *MILSATCOM*, suddivisi in tre diverse categorie a seconda delle applicazioni:

- *Wideband*, utilizzati prevalentemente da stazioni fisse o trasportabili di grandi dimensioni, con la possibilità di trasmettere volumi medio alti di dati. In questa categoria sono compresi i satelliti *DSCS II*, *DSCS III* e i *GBS (Global Broadcast Service)*;
- *Mobili e Tattici*, utilizzabili mediante terminali di piccole dimensioni ed antenne dal guadagno non elevato, montate su navi, veicoli terrestri ed aeromobili. La velocità di trasmissione dati ottenibile non è elevatissima e la copertura è al massimo transoceanica. Di questa categoria fanno parte i satelliti *Fleet Satellite Communication*, *Leasat* e *UFO*;
- *Sistemi protetti*, sistemi mobili nei quali si accetta una ridotta banda passante in cambio di alta sicurezza contro minacce fisiche, nucleari ed elettroniche. In questa categoria troviamo i satelliti *AFSATCOM*, *FLTSATCOM EHF*, *MILSTAR I/II* e *UFO*.

I Paesi Europei del blocco atlantico hanno successivamente sviluppato una propria rete di comunicazione satellitare in modo tale da garantire l'interoperabilità con i sistemi NATO ed assicurare ridondanza in caso di guasti e maggiore disponibilità di canali quando necessaria.

Accanto alle reti *Skynet* (Gran Bretagna), *Siracuse* (Francia) e *Spainsat* (Spagna) anche l'Italia ha sviluppato un proprio programma, chiamato *SICRAL*.

Vediamo nel prossimo paragrafo un piccolo approfondimento sul sistema italiano.

### 3. Il sistema **SICRAL**.

*SICRAL (Sistema Italiano per Comunicazioni Riservate ed Allarmi)* è il sistema satellitare italiano per le comunicazioni militari avviato nel 1996. Il sistema è stato pensato e realizzato per garantire l'interoperabilità tra le reti della Difesa, della sicurezza pubblica, dell'emergenza civile e della gestione e controllo delle infrastrutture strategiche.

È composto da due parti: il segmento terrestre ed il segmento spaziale.

Il segmento terrestre è formato dal centro di gestione e controllo di Vigna di Valle (Roma) e dai terminali utenti.

Il segmento spaziale è formato dai satelliti *SICRAL1*, *SICRAL 1B*, *SICRAL2* e *OPSAT*.

Il *SICRAL 1* è il primo satellite militare italiano e fu lanciato nello spazio il 7 febbraio 2001. È tuttora in funzione nonostante una vita stimata operativa di 10 anni.

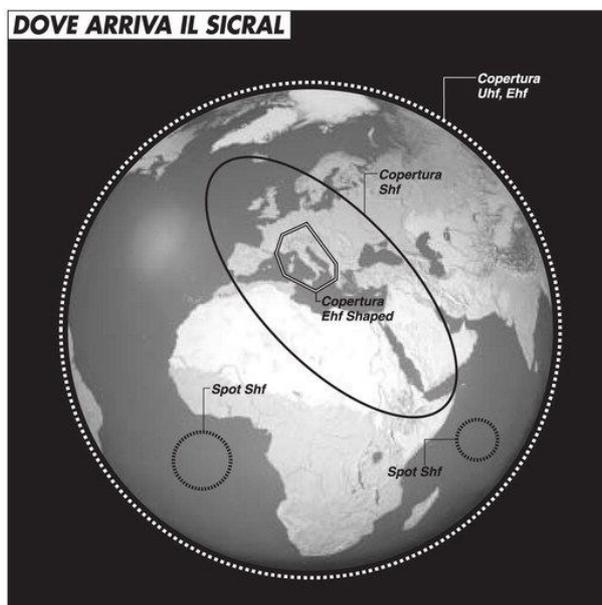
Il *SICRAL 1B* è stato lanciato in orbita il 20 aprile 2009. Ha una vita stimata operativa di 13 anni.

Il *SICRAL 2*, nato da una collaborazione italo-francese, è stato lanciato in orbita il 26 aprile 2015 ed ha una vita stimata operativa di 15 anni.

Il satellite *OPSAT*, anche questo frutto di una collaborazione italo-francese, è stato lanciato il 2 agosto 2017 e si prevede una vita operativa di 7 anni.

Questi satelliti comunicano con frequenze UHF (243÷318 MHz), SHF (7÷8 GHz) e EHF (20÷44 GHz) le quali garantiscono diverse coperture, come è possibile vedere nella **Figura 2**.

Vediamo ora quali sono le principali caratteristiche e tipologie delle antenne utilizzate nei sistemi UHF SATCOM.



**Figura 2**

Copertura sistema SICRAL.

### 3. Tipologie di antenna per le comunicazioni UHF SATCOM.

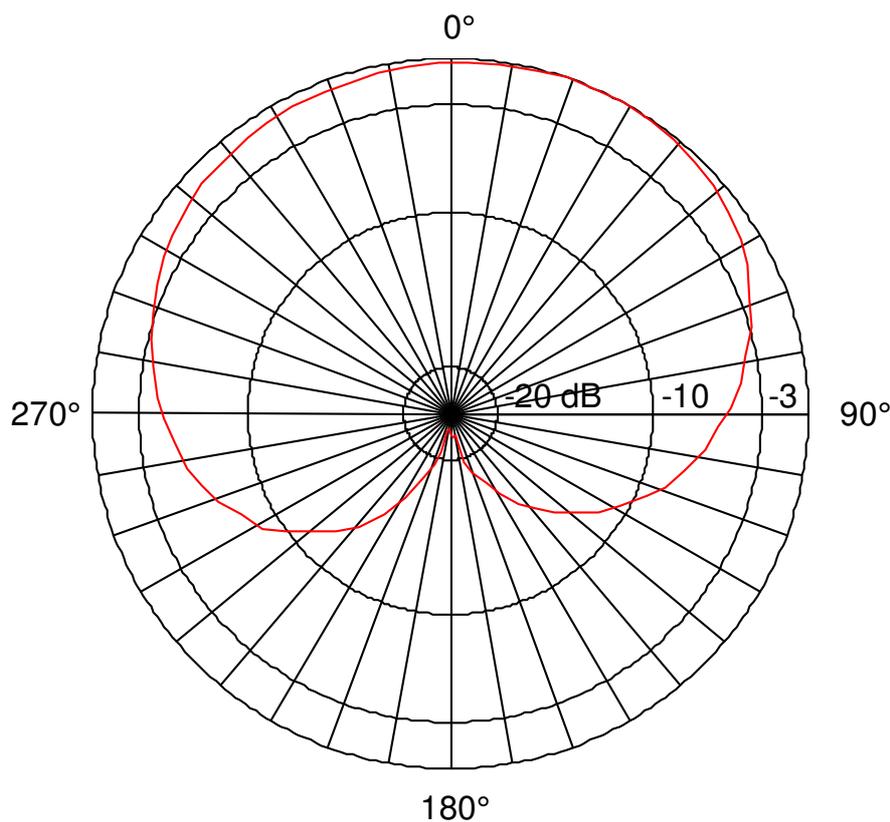
Una fondamentale caratteristica delle antenne SATCOM in banda UHF è legata alla necessità di garantire la copertura di un'ampia parte del semispazio superiore e tale esigenza può essere soddisfatta in due modi principali.

**Il primo modo riguarda la realizzazione di antenne omnidirezionali con diagramma di radiazione emisferico (teoricamente un cardioide, vedi un esempio in Figura 3),** le quali sono in grado di assicurare la copertura di una regione di spazio pari ad almeno  $150^\circ (\pm 75^\circ)$  rispetto allo zenit. Ovviamente, per ottenere un diagramma di radiazione così ampio, è necessario accettare valori di guadagno modesti.

Il vantaggio di questa tipologia di antenne riguarda senza dubbio le dimensioni ridotte ed il peso limitato, che ne permette l'installazione su mezzi mobili (HUMVEE) e su piccoli natanti, caratterizzati da un ridotto spazio a disposizione. Fanno parte di questa categoria anche le cosiddette "conformal antennas", ovvero quelle antenne che devono essere inserite all'interno di strutture predefinite. Si tratta quindi di vere e proprie antenne integrate, che vanno progettate e sviluppate tenendo conto dell'ambiente in cui dovranno essere installate.

**Un secondo approccio fa uso di antenne direttive (Figura 4),** con un guadagno maggiore ed una larghezza di fascio inferiore. In questo caso però la copertura del semispazio superiore viene raggiunta con l'utilizzo di un sistema di puntamento, che può essere sia di tipo manuale sia automatico, a seconda dell'applicazione.

Nel caso di antenne direttive, tipicamente delle Yagi incrociate, utilizzabili con apparati *manpack* e campali, il puntamento verso il satellite sarà chiaramente manuale, non essendo peraltro particolarmente critico.



**Figura 3**

Diagramma di radiazione misurato di un'antenna SATCOM omnidirezionale con diagramma di radiazione emisferico che ben approssima un cardiode.

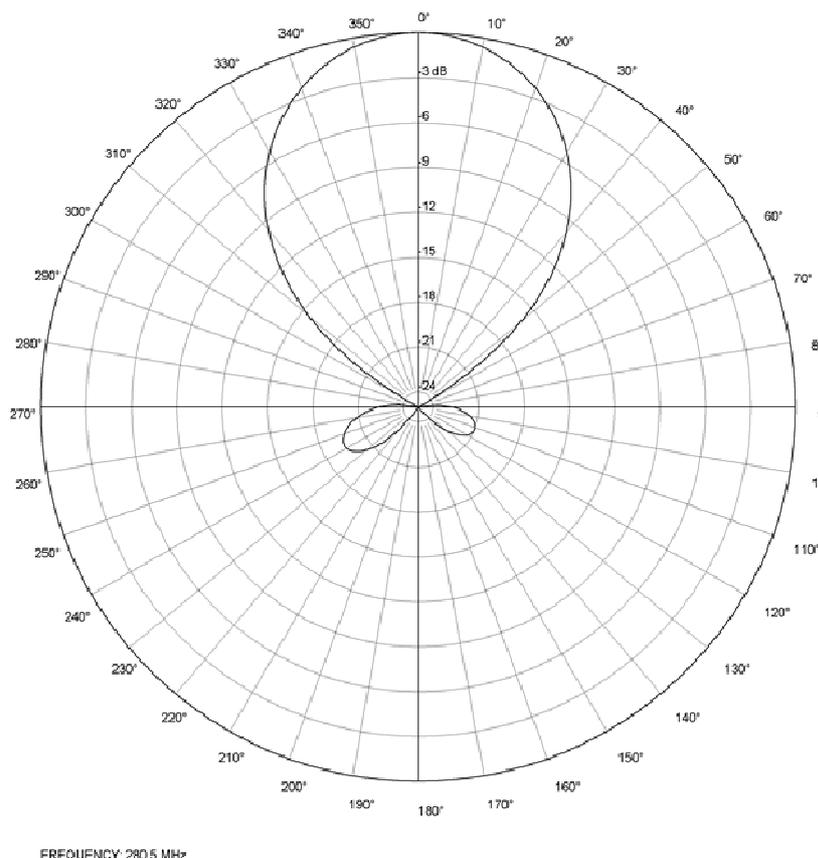
Quando invece è prevista l'installazione di questi sistemi su navi di grosse dimensioni, lo spazio a disposizione permette l'impiego di antenne più grandi, fortemente direttive, con un fascio di radiazione molto più stretto ed un sistema di brandeggio automatico che permette sia di orientare l'antenna verso il satellite, sia di compensare i movimenti dell'imbarcazione. Si tratta di impianti molto sofisticati e precisi, che permettono quindi l'utilizzo di antenne ad elevato guadagno.

La tabella di **Figura 5** riassume la suddivisione sin qui descritta, dando degli esempi di antenne utilizzati per questa applicazione. Una descrizione tecnica più approfondita di alcune di queste antenne sarà sicuramente oggetto di futuri articoli.

Per quanto riguarda le caratteristiche di radiazione, nei sistemi UHF SATCOM viene utilizzata la polarizzazione circolare destra (RHCP) per due principali motivi.

Innanzitutto, essendo queste antenne installate su veicoli mobili e mai in installazioni fisse, se impiegassimo antenne in polarizzazione lineare ci troveremmo spesso a fare i conti con il cosiddetto "disadattamento di polarizzazione" (*polarization mismatch*). Con la polarizzazione circolare questo problema non sussiste.

La polarizzazione circolare viene inoltre scelta per un motivo legato agli effetti della cosiddetta "rotazione di Faraday" su un segnale RF che attraversa la ionosfera. La ionosfera è la fascia dell'atmosfera che si trova tra 90 e 200 km e nella quale si riscontra un'elevata concentrazione di elettroni e ioni, prodotti dalla ionizzazione dell'aria da parte dei raggi ultravioletti e dai raggi X di origine solare. Quando un segnale radio attraversa questo strato dell'atmosfera ed interagisce con le particelle ionizzate, queste ne determinano una rotazione casuale, provocando un disadattamento di polarizzazione e quindi problemi di collegamento. La polarizzazione circolare attenua enormemente le conseguenze di questo effetto.



**Figura 4**

Diagramma di radiazione misurato di un pannello direttivo da 11 dBic, per applicazioni navali, che viene necessariamente installato su di un sistema di brandeggio.

È poi importante sottolineare la particolare attenzione che deve essere posta, durante la progettazione di queste antenne, all'aspetto meccanico ed ambientale. Lo standard di base a cui normalmente si fa riferimento è quello chiamato *STD-MIL-810G*, al quale spesso si aggiungono requisiti anche molto più stringenti dovuti alla particolare installazione. Durante la progettazione di queste antenne è quindi fondamentale adottare configurazioni elettriche compatibili con le particolari esigenze meccaniche tipiche di questo settore.

	APPLICAZIONE	ESEMPLI
<b>Antenne omnidirezionali</b> Gain < 5 dBic HPBW > 140°	Antenne per mezzi mobili	Turnstile (shaped dipoles or loops) Quadrifilar helices e derivate Dielectric loaded patches
	Antenne airborne	
	Conformal antennas	
<b>Antenne direttive</b> Gain > 5 dBic HPBW < 90°	Manpack (uso portatile) (puntamento manuale)	Turnstile (crossed dipoles w/ reflector) Crossed Yagi with foldable elements
	Installazioni fisse navali (puntamento automatico)	Broadside arrays (panel antennas) Cavity backed patches Axial mode helices

**Figura 5**

Tabella riassuntiva dei principali tipi di antenna per applicazioni UHF SATCOM.

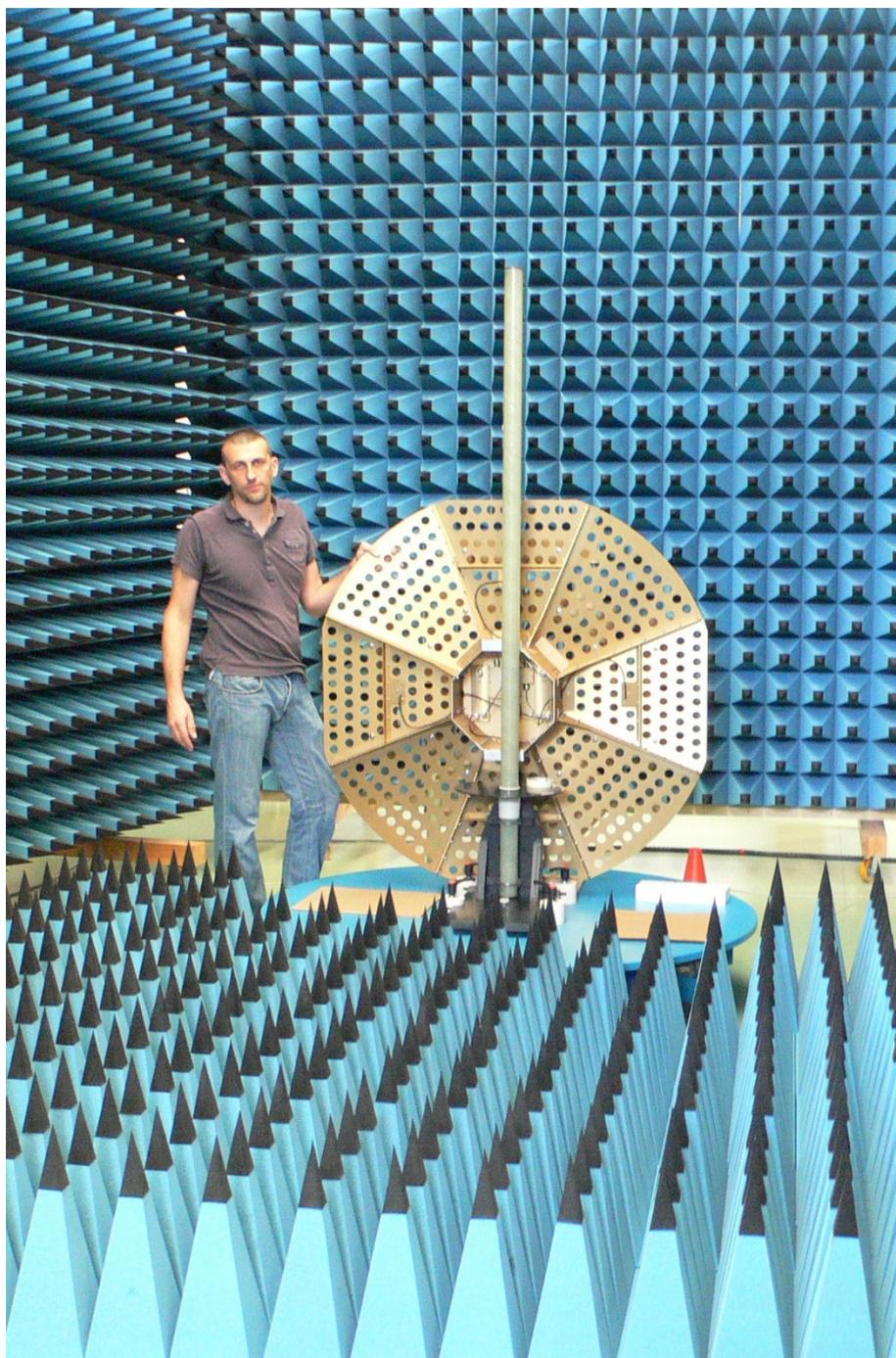
#### 4. Conclusioni.

Le comunicazioni militari hanno da sempre richiesto un elevato grado di sicurezza ed affidabilità. Fin dagli anni precedenti la II Guerra Mondiale si è cercato di individuare un sistema che potesse garantire queste particolari necessità, contribuendo ad uno sviluppo tecnologico repentino e costante.

Oggi, quando si affronta la progettazione di un'antenna per MILSATCOM, è necessario essere in grado di assicurare l'ottenimento sia di determinate caratteristiche di radiazione, che di ben precisi standard meccanici ed ambientali, che variano in base alla particolare applicazione che si deve soddisfare.

Per questo motivo, per progettare antenne di questo tipo è necessario aver acquisito sufficiente esperienza e know-how per riuscire ad identificare, sin dalle prime fasi del progetto, soluzioni in grado di garantire adeguate prestazioni dal punto di vista elettrico, che siano al contempo effettivamente realizzabili secondo i particolari standard richiesti dal committente.

È quindi utile, sin dai primi incontri, capire se il possibile fornitore ha una visione chiara di questo particolare settore e la capacità di individuare da subito strade effettivamente percorribili evitando così di perdere tempo e soldi in soluzioni che rischiano di rivelarsi adeguate dal punto teorico o elettrico ma non realizzabili dal punto di vista funzionale.



*Tutte le informazioni e le esperienze riportate in questo articolo sono frutto dell'attività di progettazione, sviluppo e realizzazione di antenne custom professionali svolta da **ElettroMagnetic Services Srl** con il metodo **AntennaSuMisura**.*

**Per domande, chiarimenti o approfondimenti in merito a questo o ad altri argomenti riguardanti le antenne professionali scrivi a [bollini@elettromagneticervices.com](mailto:bollini@elettromagneticervices.com)**

*Grazie per il tempo che hai dedicato alla lettura di questo articolo.*

*Trovi l'elenco completo delle nostre pubblicazioni tecniche cliccando qui:*

<https://www.elettromagneticervices.com/news>

**AntennaSuMisura**

by

**ElettroMagnetic Services**  
SRL

**Trasmetti la tua eccellenza!**