

**Domenico Marini - 18CVS**  
via A. De Gasperi, 89 - Parco Merola  
80059 Torre del Greco NA

Parte prima

## Phase 3-D Un satellite per tutti

**I** disegni pubblicati nel presente articolo rappresentano la struttura del più favoloso satellite per telecomunicazioni attualmente in costruzione, che i radioamatori abbiano mai concepito e che sarà disponibile in orbita nel 1996.

Descrivere brutalmente in dettaglio cosa sono e come funzionano le apparecchiature rinchiuso dentro queste strutture non sarebbe efficace se i radioamatori non si rendessero conto sin da ora della potenzialità dei satelliti che oggi, magari senza saperlo, hanno già a disposizione nel cielo.

E' proprio con questo intento che, prima di presentare Phase 3-D, ci poniamo il primo interrogativo: Phase 3-D, un satellite per tutti? Sì ... ma in quanti lo useremo?

### Il satellite, questo sconosciuto

Da circa trent'anni i satelliti OSCAR orbitano nello spazio. Ciò nonostante il numero degli OM che li usa è molto limitato. Perché?

Eppure i satelliti di amatore offrono una copertura affidabile e prevedibile molto maggiore di qualunque rete di ripetitori, comunque estesa, e anche superiore alle possibilità offerte dalle HF.

Gli utilizzatori dei satelliti sono appena lo 0,5% dell'intera comunità amatoriale. I satelliti d'amatore offrono una copertura transcontinentale senza zone di skip e, nel caso di OSCAR-10 e 13, con essi è possibile collegare quasi tutto il mondo in tempi differiti.

Le frequenze usate da questi satelliti ad orbita ellittica con elevata eccentricità sono in VHF, UHF, SHF e quindi utilizzabili da tutti gli OM, anche da quelli con licenza speciale, ai quali si aprirebbero subito le porte del DX intercontinentale.

Questi satelliti sono particolarmente attraenti, considerando soprattutto la chiusura dell'attuale ciclo solare. Siccome le odierne condizioni di propagazione in 20, 15, 10 metri peggiorano continuamente, ecco che i cultori delle HF si precipitano nei 40 e negli 80 metri, ove devono competere addensandosi con migliaia di altri OM.

Oggi il satellite offre loro una favolosa alternativa. Con un oculato investimento in più e adatte antenne ed apparecchiature, è possibile modificare una preesistente stazione VHF/UHF adattandola al traffico satellitare per mantenere contatti bilaterali regolari in tempo reale con OM lontani migliaia di chilo-

metri, sparsi in tutti i continenti, a prescindere dalle condizioni di propagazione.

I satelliti offrono attualmente possibilità di collegamenti transcontinentali per decine di ore, senza QRM ed affollamenti, così, come ricordo, era possibile effettuare in HF negli anni cinquanta. Soprattutto, i satelliti a parità di copertura, non richiedono né impianti di antenne mostruose, alte fino a trenta metri, né l'uso di potenze elevate, come è spesso necessario avere in HF con propagazione non favorevole. La cosa migliore che si respira nel traffico via satellite è la sportività, la gran cortesia fra gli operatori, che suonano ormai in aria come cose d'altri tempi.

### Qual è dunque il problema?

Molti OM attrezzati in VHF e superiori rifiutano il satellite e lo considerano una forzatura delle possibilità offerte dalla propagazione "naturale".

Ciò non è esatto, perché al radioamatore satellitare non interessa affatto il collegamento di per sé, né la QSL della DX-pedition. Se questa gli perviene, ben venga, ma essa non rappresenta il raggiungimento dell'obiettivo. Nemmeno il superamento delle centinaia o migliaia di chilometri rappresenta la meta.

Collegare contemporaneamente via satellite un OM italiano del vostro stesso QTH od un australiano, rappresenta la stessa difficoltà tecnica.

E' dunque un fatto tecnico al comune denominatore che spinge gli OM a realizzare impianti sofisticati a frequenze sempre più elevate e scambiarsi comodamente i risultati degli esperimenti attraverso un mezzo che consente conversazioni di tipo telefonico.

E' anche la conoscenza di come il satellite si muove nello spazio a incuriosire l'OM incline alla meccanica celeste.

Perché la maggioranza degli OM è divenuta "fan" dei ripetitori FM e solo una piccola minoranza della totale popolazione amatoriale si dedica ai satelliti?

Questa minoranza di iniziati, è vero, impegna il satellite nel piacevole traffico operativo e tutto il resto del tempo libero viene dedicato a un radiantismo più che altro di studio e di ricerca nelle telecomunicazioni.

Ciò è confacente allo spirito con cui le amministrazioni dei vari paesi rilasciano le licenze ai radioamatori.

La ragione vera per cui tuttavia molti OM scartano a priori il satellite risiede nella falsa sensazione che sia una troppo difficile disciplina e il rifiuto viene giustificato con l'altrettanto inesatta convinzione che l'attrezzarsi per operare via satellite sia costosissimo. Queste difficoltà si ingigantiscono a misura che il satellite è lontano dalla Terra. Se si parla di satelliti tipo Oscar-10 e 13 a 36.000 km, si pensa che sia difficilissimo, mentre anzi, secondo tutti quelli che li lavorano, questi satelliti sono i più facili da acquisire ed operare. Ad aggravare le cose c'è l'uso della SSB e molti OM scuotono il capo quando scoprono che su questi satelliti non si opera in FM (modulazione di frequenza).

Esiste una ragione tecnica che giustifichi questa limitazione? Vediamo di chiarirlo.

La FM richiede una banda passante assai maggiore della modulazione SSB (a banda laterale unica): una ventina di kilohertz per canale, contro i 3 kHz per modulazione SSB - e meno ancora per la telegrafia (CW) -.

Siccome la banda utilizzabile sui traslatori lineari Modo-B di Oscar-10 e 13 è circa 140 kHz, se questa banda fosse utilizzata per collegamenti FM, potrebbe contenere soltanto nove canali da 15 kHz ciascuno.

Usando invece trasmissioni sia in CW che in SSB, lo stesso satellite può mantenere attivi più di una settantina di QSO contemporanei, più o meno quanti ce ne stanno insieme in qualche tipica banda HF.

Immaginatevi cosa succederebbe se in 20 metri ci fossero solo nove canali FM. Non parlerebbe più nessuno.

Col satellite esiste anche un problema legato alla sua potenza. Per alimentare questi ipotetici nove canali FM, Oscar-13 dovrebbe generare una potenza circa dieci volte maggiore di quanta ne occorre invece per traslare altrettante stazioni operanti in CW e SSB.

Quando poi i segnali sono molto deboli, la FM fornisce in ricezione un rapporto segnale/rumore molto inferiore a quanto ottenibile, a parità di potenza trasmessa, usando il CW o la SSB.

La FM, inoltre, consuma potenza con la portante anche nelle pause, quando non si parla, mentre la SSB ed il CW consumano potenza solo per l'informazione.

In conclusione, è proprio il risparmio di potenza non consumata inutilmente con la portante, che permette ai pannelli fotovoltaici e alle batterie del satellite di mantenere molti più QSO contemporanei che consumano energia solo quando l'informazione viene trasmessa.

La probabilità che tutti gli utilizzatori abbiano il tasto abbassato o stiano al picco della potenza in SSB nel medesimo istante è molto remota.

Se invece, e qui sta il punto, si usasse la FM, i segnali di tutti gli utilizzatori, parlino o stiano zitti, sarebbero sempre al picco di



## Satelliti

potenza del 100% per tutto il tempo a causa della loro portante, obbligando il satellite a generare una potenza impossibile per alimentare il downlink (cioè la tratta di ritorno a Terra della comunicazione).

Pretendere di costruire un satellite con le possibilità di Oscar-10 e 13, con lo stesso numero di OM, ma in FM, non sarebbe possibile, né per ampiezza di banda disponibile, né per potenza necessaria, dovendo essere il satellite anche molto più grande e costoso.

### Problemi degli apparecchi: FM o SSB?

Molti OM, vecchi e nuovi, vivono nella errata opinione che la FM sia l'unico modo operativo efficace e possibile oltre i 30 MHz.

Quando bisogna decidere sull'acquisto di un transceiver VHF e UHF non esitano a scartare i modelli che funzionano anche in CW e SSB, e lo fanno a priori, non per motivi economici, ma bensì perché a loro non piace la SSB, o la banda laterale come viene comunemente chiamata.

Giacché la differenza di prezzo fra un transceiver FM ed uno che funzioni anche in CW e SSB può determinare una netta differenza nel vostro futuro di radioamatori, perché non acquistate allora un transceiver All-Mode, uno solo e buono, anziché tre o quattro modelli diversi e tutti per FM?

Un transceiver All-Mode costa certo di più di uno per la sola FM, ma è anche vero, per esempio, che nessun accanito cultore del CW in HF comprenderebbe mai, ammesso che esistesse, un transceiver solo per CW anziché uno che funzioni, oltre che in CW, anche in CW/SSB.

La stessa cosa vale per FM e FM/SSB.

Un transceiver per sola FM priva l'OM del meglio che le VHF-UHF gli offrono; proprio come possedere un transceiver HF per solo CW impedirebbe all'OM di fare un tipo di traffico che è completo solo usando anche la SSB.

Certamente il CW in HF offre interessanti possibilità competitive sulla SSB e permette di coprire maggiori distanze con meno potenza, ma non rappresenta il solo modo di sfruttare appieno tutte le possibilità delle HF e per farlo ci vuole anche la SSB.

A maggior ragione, proprio come molti OM non sono appieno soddisfatti dal CW e cercano anche di parlare in SSB o viceversa, certi cultori delle VHF preferiscono stranamente accontentarsi di un mezzo di modulazione poco efficace, che occupa maggior larghezza di banda, consente di ottenere bassi rapporti segnale/disturbo se il segnale è debole e rifiutano mezzi veramente efficaci come il CW e la SSB.

La FM va bene per fare un comodo e chiaro QSO locale fra amici sparsi nel raggio dell'orizzonte ottico, o tramite ripetitore, ma il mondo del radioamatore non finisce qui.

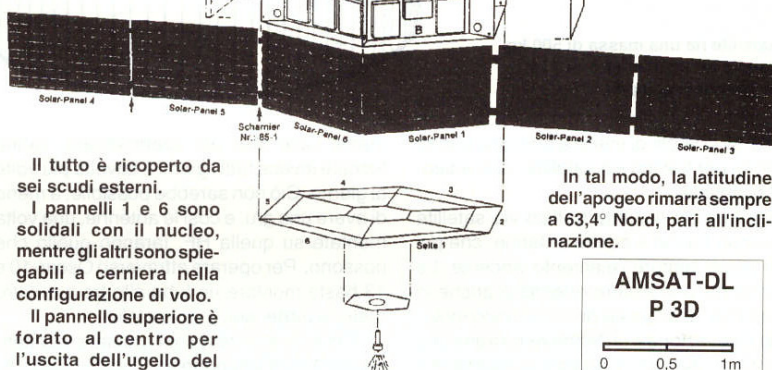
### Esplosione della struttura di AMSAT Phase 3-D.

Il nucleo centrale è costituito da un solido a forma di prisma retto a base esagonale. Questo è diviso in sei spicchi.

Nell'interno di ogni spicchio è montato un serbatoio sferico. I sei serbatoi contengono il combustibile e i combustibili dei due motori di apogeo.

All'esterno del nucleo sono montati quattro tubi (heat pipes), esagonali anch'essi, con la funzione di scambiatori di calore per mantenere costante la temperatura fra zone soleggiate e zone d'ombra, poiché il satellite non ruota e non è stabilizzato per spin.

All'esterno di ogni spicchio sono montati i trasponder e le apparecchiature di controllo, quali computer (IHU) e sensori di navigazione.



Gli OM, e soprattutto quelli dotati di licenza speciale, possono usare la SSB per allargare i loro orizzonti offerti dal ponte ripetitore mediante collegamenti a grande distanza "via tropo", via FAI, Meteoroscatter, Propagazione Transequatoriale (TEP) ed anche con l'uso dei satelliti e di tutte le tecniche avanzate.

Stranamente, guarda caso, il Packet è divenuto così popolare fra gli OM in VHF e superiori, non tanto perché tale sistema offre un modo diverso di fare QSO, ma perché lo si può fare soprattutto in FM.

Se il packet si potesse fare solo in SSB, non lo conoscerebbe nessuno, o pochi OM veramente.

Amici miei, quarant'anni orsono i due metri erano terra da pionieri e oggi sono terra bruciata, proprio per l'uso quasi esclusivo della FM, con buona pace del suo inventore, il maggiore del Signal Corp, Edwin Armstrong.

motore di apogeo da 400 newton, che serve a portare l'inclinazione da 10° a 60° in tre accensioni successive. Il motore è protetto termicamente in una camera a forma di prisma esagonale che lo isola dai serbatoi sferici.

Le antenne sono montate sulla faccia superiore, che funziona anche da superficie riflettente.

La superficie del lato inferiore è forata e permette la fuoriuscita dell'ugello del motore di apogeo di trimmaggio ATOS.

La miscela  $NH_3$  contenuta in due serbatoi sferici si accende spontaneamente nel vuoto e la spinta di ATOS serve a regolare finemente l'inclinazione da 60° a 63,4°.

A tale inclinazione, com'è noto, la rotazione della linea degli apsidi si annulla e l'argomento del perigeo resta costante per tutta la vita del satellite.

### Le nostre apparecchiature sono in orbita

La chiave del successo nel traffico via satellite è comprare o costruire le esatte antenne ed apparecchiature VHF/UHF che servono veramente.

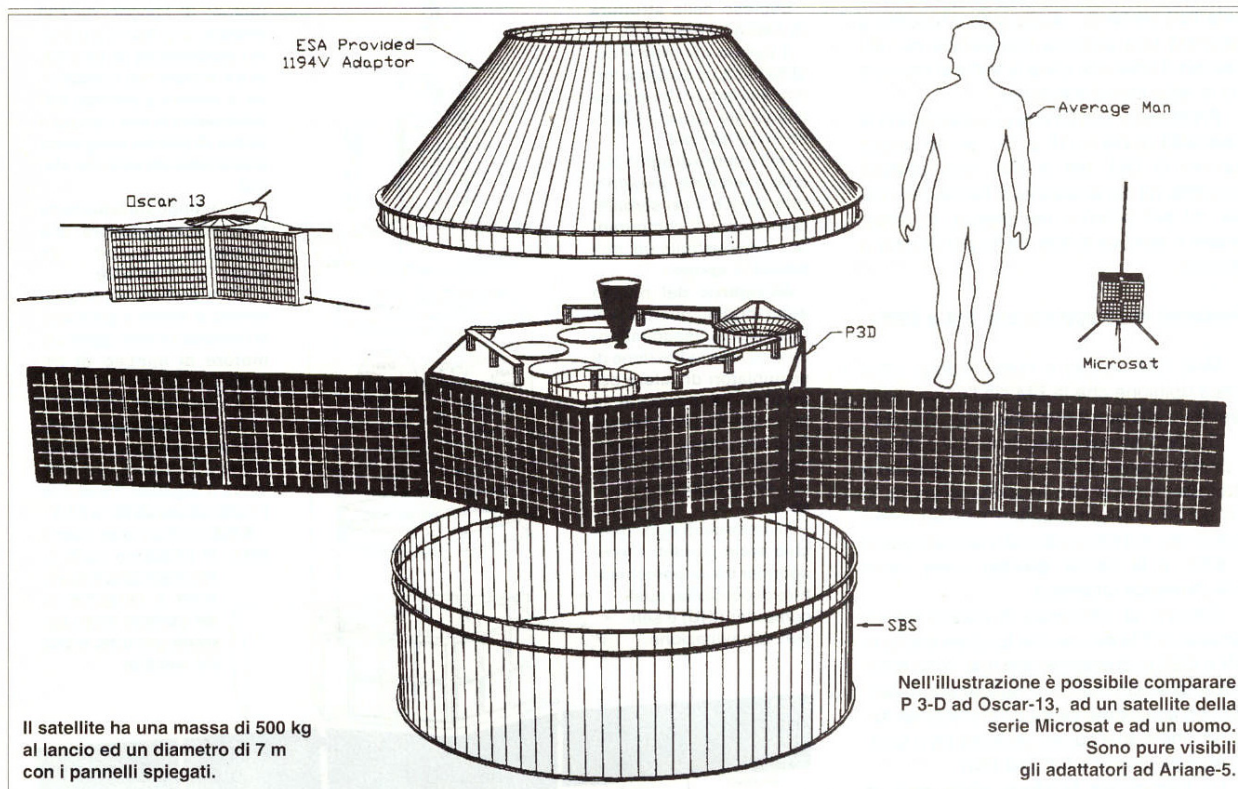
Sono poche cose, antenne, cavi coassiali, preamplificatori, modelli tutti ormai ampiamente sperimentati. Voler fare diversamente o senza informarsi su cosa veramente ci vuole, sarebbe come voler inventare l'acqua calda.

In genere, l'OM scopre veramente quello che gli è necessario solo quando si affaccia timidamente per la prima volta sul satellite e sente i segnali di quelli che arrivano più forte di lui, pur avendo speso di meno, ma meglio.

Questa è una esperienza che va pagata. Se un OM facesse i conti di quanto gli occorre per attrezzarsi bene in HF, si accorgereb-



## Satelliti



be che gli ci vuole di meno a farsi una buona stazione per traffico via satellite, vuoi analogico o digitale.

Per fare un decente traffico via satellite occorrono buone e adatte antenne, che poi sono come sempre l'elemento vincente. Le antenne devono essere orientabili anche in elevazione. L'acquisto di un secondo motore per l'elevazione è un fenomeno strano che provoca sensazioni di disagio comparabili a quella di voler fare solo FM e il radioamatore si giustifica subito col dire che non ha lo spazio o meglio che costa troppo.

Stranamente, tutti sono disponibili a spendere lo stesso prezzo del motore per comprare magari un accordatore di antenna per VHF o UHF (che non serve a nulla), anziché regolare il ROS delle antenne, od a comprare un rosmetro nuovo o un transceiver tasabile in più, ultimo modello formato pacchetto di sigarette, diciamo pure uno in più del necessario.

Pochi invece sono disposti a comprare un KR-500 per fare l'elevazione delle antenne, cosa questa che serve per davvero.

L'elevazione consente infatti di migliorare due cose insieme: la trasmissione e la ricezione dei segnali; ciò non è poco.

Il motivo vero del rifiuto psicologico è che tutti vorrebbero montare le antenne per i satelliti al di sopra di quella HF e un motore in più dà fastidio.

Montare le antenne in tal modo è un errore che vi impedisce di maneggiare facil-

mente cose che, per sperimentare, vanno toccate invece tutti i giorni e talvolta più volte al giorno. Ciò non sarebbe possibile, a meno di avere una gru, e così le antenne, una volta montate su quella HF, faranno quello che possono. Per operare attraverso Oscar-10 e 13 basta montare un tubo alto tre o quattro metri, a parte, solo per i satelliti.

Ciò è quanto basta per montare le antenne del "Modo" più popolare, ossia il Modo-B, dove bisogna trasmettere al satellite in 70 cm (435/436 MHz) e ricevere contemporaneamente in 2 metri fra 145,8 e 146,0 MHz.

Ciò significa che abbiamo bisogno di due antenne, una per trasmettere e l'altra per ricevere simultaneamente. Per evitare gli effetti del QSB dovuto alla posizione sempre variabile del satellite, ed alla rotazione del piano di polarizzazione causata dalla ionosfera, ci vorrebbe la polarizzazione circolare.

Per Oscar-10 e 13 la polarizzazione è circolare-destra, ma questa non è strettamente necessaria, visto che i due satelliti ricevono e trasmettono già loro in polarizzazione circolare.

In tanti anni di operatività e di sperimentazione su Oscar-13, ormai tutti ci siamo accorti che due modelli di antenna, una da 11 + 11 elementi a dipoli incrociati per i due metri ed una 21 elementi lineare orizzontale per ATV in 70 cm, permettono di ottenere da Oscar-13 le massime prestazioni possibili con un sistema di antenna così semplice e contenuto.

Chi invece vuole lavorare anche i satelliti digitali a bassa orbita, ha problematiche completamente diverse e, per evitare il QSB in ricezione 70 cm, gli occorre la polarizzazione circolare-destra anche sul downlink: diversamente si perderebbero i dati in ricezione.

Di norma, le due antenne vengono montate all'estremità di un tubo orizzontale lungo circa tre metri che passa attraverso il foro centrale del KR 500 di elevazione.

La tragedia dei più è reperire questo tubo, che dovrebbe essere in materiale isolante e che non si fletta come un salice piangente sotto il peso delle antenne. Se il tubo isolante c'è, parliamoci chiaro, tanto meglio, altrimenti pazienza, non essendo strettamente indispensabile, credetemi, se no polarizzazione circolare o lineare che sia, dovremmo costruire tutti i telai ad H, tutte le culle e le strutture metalliche di allineamenti tropo ed EME, con materiale isolante, il che in pratica non si fa mai.

Usate pure un tubo idraulico e le antenne funzioneranno ugualmente bene: non siate come chi, per far meglio, isola il tubo metallico con un tubo di plastica!

Per un buon QSO via Oscar-10 e 13 occorre una potenza di 100 - 120 W pep, quindi un buon transceiver per i 70 cm con SSB ed un buon lineare a transistor è quanto basta, a patto di bandire il cavo RG-213 dai 70 cm. A queste frequenze, per mandare quanta più potenza possibile in antenna, ci vuole il miglior cavo possibile.



## Satelliti

Ogni lira in più, spesa nel cavo, è meglio dei soldi in banca. Sponderete infatti di meno per rimediare all'insuccesso dovendo sostituire un cavo sbagliato. Molti ammirabili colleghi si fanno sentire bene solo con i 25 W pep del transceiver perché usano cavi Cellflex da mezzo pollice, o Aircor, o H-100, anche con lunghe discese.

I satelliti Oscar-10 e 13 sono i più facili da operare perché l'antenna a terra va orientata di nuovo solo ogni tanto, più o meno ogni mezz'ora. Coi satelliti a bassa orbita, RS e Microsat, invece bisogna fare un rapido inseguimento perché il satellite sorge e tramonta passandoci magari in testa in un tempo massimo di 18 minuti.

Se l'operatore è molto esperto, allora insegue il satellite a mano, senza neppure guardare spesso il computer perché egli è ormai abituato dagli anni '70 ad usare i sistemi grafici, ossia le mappe azimutali od i cerchi di acquisizione e le traiettorie orarie di buona memoria.

Egli sarà però in grado di prevedere già, sia a memoria che per fiuto, come si muoverà il satellite nello spazio e gli sarà facile manovrare in anticipo l'antenna. Se però l'OM deve operare coi Microsat alla tastiera del computer, avendo egli solo due mani, gli occorrerà il tracking automatico, anche se un buon operatore satellitare anni 70 riesce a fare entrambe le cose a mano, come faceva con Oscar-8.

Durante un'orbita di 15 minuti di questo satellite bisognava compensare anche l'effetto Doppler, che in banda 70 cm valeva anche 20 kHz, oltre che parlare con i corrispondenti, manovrare le antenne, segnare nominativi ed orari sul log, guardare orologio e traiettorie orarie disponendo soltanto di due mani e due piedi.

Questi sì che erano satelliti difficili! Oggi l'OM che opera via Oscar-13 ha un satellite che gli resta in testa per quasi dieci ore e

perciò, in questi casi, basta girare l'antenna anche a mano e talvolta anche senza motore, come fa per esempio, con quella dei 2 metri, ISTDJ da Firenze.

In ogni caso, alcuni OM degni di ammirazione, aspettano Oscar-13 al varco, nei giorni in cui il satellite è a circa 10 gradi sull'orizzonte, ma all'apogeo, e lo utilizzano almeno per un'ora al giorno anche senza avere il motore di elevazione.

Pare dunque che il dire "Operare via satellite è difficile", sia un alibi per non voler studiare l'argomento. La cosa essenziale per cominciare non è tanto leggere i libri, ma farsi amico di un OM satellitare che opera già con successo ed impadronirsi del suo mestiere. I libri, e ce ne sono tanti in inglese, verranno dopo ed in ultimo. Scusarsi col dire che non ci sono in giro libri o informazioni è solo una tenue scusa per non voler imparare l'inglese leggendo, perché è solo leggendo e parlando in radio che potremo imparare l'inglese.

### Perché abbiamo bisogno del nuovo satellite Phase 3-D

Supponiamo di aver comprato le giuste antenne e apparecchiature e che tutto sia stato montato a dovere.

Ora saremo in grado di collegare via Oscar-10 e 13 quasi tutto il mondo, ma senza skip o zone d'ombra, alla barba della propagazione. Potremo collegarci simultaneamente con un OM in Italia nel nostro stesso QTH ed uno magari a Sidney o New York e ciò per molte ore al giorno. Purtroppo, Oscar-13 rientrerà sulla Terra alla fine del 1996 e così ce ne servirà per forza uno di rimpiazzo.

Questa è una realtà, perché dal 1980 in poi, gli OM di tutto il mondo hanno avuto accesso ai due satelliti della Phase 3 (\*) Oscar 10 e 13, i quali certamente non avranno una vita eterna.

Purtroppo siamo stati abituati troppo bene per oltre un decennio; pensare ora che tutto finisca nel nulla è come pensare che il Creatore decida di chiudere la propagazione per sempre. Un guasto grave al satellite sarebbe come se all'improvviso un terremoto ci distruggesse la metà della nostra stazione.

E' proprio così, perché la metà più importante della nostra stazione è in orbita, nonostante che il primo satellite della Phase 3, Oscar 9, sia finito nell'Atlantico durante lo sfortunato lancio; il successivo Oscar-10 sta lavorando ottimamente, ed oggi, dopo ben dieci anni di attività, il vecchio non vuol saperne di morire.

Nonostante che le radiazioni delle fasce di Van Allen abbiano danneggiato le memorie del suo computer, rendendolo incontrollabile, e nonostante che le sue batterie siano ormai inservibili, Oscar-10 continua a funzionare egregiamente quando i sei pannelli fotovoltaici sono illuminati dal Sole.

La qualità della modulazione del suo traslatore lineare in Modo-B, l'unico che funziona, è anche migliore di quella di Oscar-13.

Le difficoltà future con Oscar-13 sono ancora più complesse. Il satellite gode oggi di ottima salute coi rimasti traslatori Modo-B e Modo-S, ma dato il tipo di inclinazione dell'orbita (57°), l'interazione esistente fra satellite, Terra, Luna e Sole, così come confermato da studi di professionisti della meccanica celeste, lo faranno rientrare e bruciare nell'atmosfera alla fine del 1996, se non prima. Questa è la notizia cattiva.

La notizia buona è invece che il rientro di Oscar-13 coinciderà con la messa in orbita di Phase 3-D, il più ambizioso satellite amatoriale mai concepito finora. Per averne un'idea basta guardare i disegni di cosa è già in costruzione in Germania ed USA e mettere a paragone le dimensioni del satellite con quelle di Oscar-13 o di un Microsat o l'altezza di un uomo.



**AMSAT- Phase 3-D** • I sei pannelli solari sono dispiegati nella configurazione di volo e con 4,3 m<sup>2</sup> di superficie forniscono 730 W all'inizio della vita. Al centro è visibile l'ugello del motore di apogeo da 400 newton a combustibile e comburente liquidi. Le accensioni saranno tre e porteranno l'inclinazione da 10° a 63°.

Le antenne della banda dei 10 metri (downlink) e quella dei 21 MHz (uplink) sono inserite lungo i pannelli solari. L'antenna dei 2 metri è costituita da tre dipoli lunghi circa un metro (confrontare con la scala) posti a 120° ed alimentati in modo da fornire polarizzazione circolare

destra. Il piano riflettente per le altre antenne è costituito dalla struttura del satellite, pari a 3,68 m<sup>2</sup>. Le antenne per 435 MHz, 1296 MHz, 2400 MHz, 5,6 GHz, 10 GHz e 24 GHz sono del tipo "patch" e "short-backfire", che si vedono disegnate come cerchi e che saranno descritte in seguito.

Dal 1987, quando fu concepito, il satellite ha subito tre cambiamenti di forma nella struttura per sopravvenute esigenze di spazio sul vettore Ariane-5 della ESA. La forma di prima retto a base esagonale è quella definitiva, per la quale è stato firmato il contratto con l'ESA.



## Satelliti

Questo nuovo satellite, su cui lavorano ormai decine di OM specialisti, rappresenta molto più di un semplice rimpiazzo di Oscar-10 e 13, bensì il satellite destinato ad aprire una nuova era operativa per tutti i radioamatori del mondo.

A questo proposito, leggere le didascalie delle varie figure.

### La potenzialità di Phase 3-D

Se dopo aver letto cosa ci vuole per lavorare Oscar-10 e 13 avete chiuso Radio Rivista, non sarete certamente i soli a esservi scoraggiati, perché non vi ho detto i modelli delle antenne da usare e le marche delle cose da comprare.

Lavorare via satellite, anche se gratificante, necessita, è vero, di un certo impegno che non tutti gli OM si sentono di avere e così si scusano dicendo di essere incompetenti per affrontare una così difficile e impegnativa disciplina, anche se ciò non è affatto vero.

Il satellite Phase 3-D è stato progettato proprio per rimediare a questa situazione psicologica e rendere l'uso del satellite molto più semplice a tutti gli OM del mondo, e per certi versi molto più difficile per quelli già iniziati. Non crediate comunque di poter usare la FM in futuro per accedere direttamente al satellite. Ciò sarà possibile con opportuni artifici. Sarà certo possibile, invece, accedere in SSB al satellite usando la stessa poca potenza di 5 W dell'attuale vostro palmare che usate sul ponte ripetitore.

Un comodo accesso sarà comunque possibile per esempio da una stazione portatile o mobile che abbia un TX VHF - UHF - SHF da 25 - 50 W pep. Tutto ciò che occorrerà sarà un'antenna verticale, od una coppia di dipoli incrociati, montati sull'imperiale della vostra automobile, per collegare la più ambiziosa DX-pedition o fare un comodo QSO col vostro amico a Honolulu. Immaginate di correre sull'autostrada mentre parlate con qualcuno a Tokio e di sapere che sarete in grado di rifarlo con assoluta certezza ad un certo orario domani, la prossima settimana o fra un mese.

Nello stesso modo, due OM dai loro rispettivi appartamenti, e con solo piccole antenne fissate ai ferri dei balconi, usando transceiver di media potenza, saranno in grado di comunicare col resto del mondo e fra loro, stando ciascuno in continenti diversi.

L'accesso diretto al Phase 3-D è solo una parte del futuro. Siccome i segnali ricevuti a terra saranno molto più forti di quelli di Oscar-13, essi potranno essere utilizzati per interconnettere anche una rete di ripetitori VHF/UHF terreni e formare così un "gateway" per interconnettere centinaia e forse migliaia di OM, lontani fra loro migliaia di chilometri mediante un comune ripetitore VHF in FM.

OM utilizzanti questi normali ripetitori terreni interconnessi dalla stazione "gateway" a Phase 3-D mediante SSB, potranno usare i

loro palmari FM per fare QSO con OM in altri continenti, i quali useranno altrettanti palmari FM. Questa tecnica "gateway" è stata già sperimentata su Oscar-13 e tecnicamente funziona anche se non incontra ovviamente il favore dei puristi.

L'unica limitazione al suo uso è stata riscontrata nella scarsa conoscenza dell'inglese da parte degli OM di paesi nei quali l'inglese non si parla correntemente e che non avevano acquisito una precedente esperienza operativa in HF.

Non potendosi intendere per differenze linguistiche, ne è derivata una inspiegabile scorrettezza operativa sui gateway, con disturbo di QSO, così come avviene sui ripetitori terreni. Non potendosi realizzare il connubio fra ripetitori terreni, gateway e satelliti, oggi nessun OM, di qualunque paese, si azzarda più a perder tempo per impiantare un complicato e costoso gateway.

Phase 3-D sarà posto in un'orbita più alta di quella di Oscar-10 e 13, fornendo così un maggior numero di ore di acquisizione. Tutte queste possibilità dovrebbero favorire negli anni avvenire una maggiore apertura linguistica e tecnico culturale fra gli OM che, non disponendo di licenza ordinaria per operare in HF, potranno comunque superare via satellite i limiti naturali imposti dalla propagazione in VHF e superiori, per effettuare QSO col resto del mondo.

Queste prerogative non sono gli unici pregi di Phase 3-D. Oggi, il Modo-B (70 cm uplink e 2 metri downlink) è il modo più popolare di Oscar-13 e anche l'unico modo in cui può operare Oscar-10.

Oscar-13, il 19 maggio 1993, ha perduto il Modo-JL per guasti al suo traslatore. Il Modo-J era l'inverso del Modo-B (2 metri uplink e 70 cm downlink). Il Modo-L aveva i 23 cm in uplink e i 70 cm in downlink.

Oscar-13, tuttavia, ha ancora un altro efficiente traslatore, il modo-S (70 cm uplink e 13 cm downlink) che, nonostante la potenza di appena 1 W pep, consente collegamenti col resto del mondo usando a terra una parabola in ricezione di soli 60 cm di diametro, poco più di uno scolapasta.

Le condizioni sempre più gravose in cui l'OM deve operare per ricevere i satelliti in 2 metri, da 145,8 a 146 MHz (vedere RR 2/94 e 3/94), a causa dell'aumento del numero di stazioni terrestri FM e delle alte potenze impiegate inutilmente per QSO locali, suggeriscono l'uso di traslatori a frequenze sempre più alte ed ancora poco congestionate.

Phase 3-D, come vedremo nella prossima puntata (che probabilmente sarà pubblicata in ottobre - NdR), imparerà una serie di traslatori lineari con frequenze uplink e downlink combinabili fra loro in modo flessibile mediante una programmazione a matrice ed a partire dai 10 metri saranno usate tutte le bande amatoriali VHF e superiori concesse al traffico di amatore via satellite, fino

ai 24 GHz.

Per una questione di popolarità, sarà ancora usato il Modo-B per facilitare ai nuovi arrivati l'approccio col satellite e ciò nonostante la diffidenza di alcuni paesi che ne sconsigliavano l'uso per la difficoltà di ricevere in 2 metri.

Il congestionamento e lo sconfinamento in banda satelliti è cosa comune, specialmente in Giappone. Fortunatamente, gli americani e gli inglesi sono riusciti a prevalere sulle decisioni, accollandosi l'onere di costruire il traslatore Modo-B, che nessuno voleva realizzare.

Nel 1996, con il lancio di Phase 3-D, a mezzo di un vettore Ariane-5, anche questo in fase di sviluppo presso ESA, ci dobbiamo attendere, se tutto andrà bene, non solo il rimpiazzo di Oscar-10 e 13, bensì una nuova era delle telecomunicazioni di amatore, sia analogiche che digitali.

Nella prossima ed ultima parte, dedicata a questo nuovo satellite, saranno discussi i traslatori, i subsistemi ed il tipo di orbita, in modo che ognuno conosca con due anni di anticipo le frequenze che saranno utilizzate e quali mezzi dovrà impiegare.

AMSAT P3-D, con un peso di 500 kg ed un diametro di circa 7 metri, una nuova orbita ed un miglioramento di 12 dB sul downlink, richiederà un'accurata preparazione per attivarlo su tutti i transponder.

Attrezziamoci in tempo!

Continua.1

### Bibliografia

Da vari numeri di *AMSAT-DL Journal* • Autori: Karl Meinzer DJ4ZC, Knut Brenndorfer DF8CA, Peter Gulzow DB2OS, Werner Haas DJ5KQ, Konrad Müller, Dick Jansson WD4FAB, Frank Sperber DL6DBN.

Da *QST* (maggio e giugno 1993) •

"Phase 3-D: A satellite for All" • Autori: Dick Jansson WD4FAB e Bill Tynan W3XO.

### Attenzione!

Per cortesia  
non trasmettete sulle frequenze

da 145,8 a 146,0 MHz,  
né da 29,3 a 29,5 MHz,  
né da 435,0 a 435,2 MHz  
né da 435,4 a 436,0 MHz.

Su queste frequenze  
si trasmette e si ascoltano i satelliti.  
Potreste - non volendo - entrare in  
Oscar-10, Oscar-13, Oscar-21 ed in altri,  
distruggendo esperimenti e QSO  
che OM come voi stanno facendo  
a costo di grandi sforzi e sacrifici.  
Grazie! Semmai cercate di unirvi a noi per  
meglio difendere le bande concesse al  
Servizio d'Amatore via Satellite.



**Domenico Marini - 18CVS**  
via Alcide De Gasperi, 89 Parco Merola  
80059 Torre del Greco NA

Parte 2<sup>a</sup>

## Phase 3D Un satellite per tutti

### Gli obiettivi della missione

**L**a prima parte di questa serie, pubblicata su R.R. 7/94, aveva lo scopo di dare un'idea di ciò che occorre per accedere ai satelliti in orbita ellittica ad elevata eccentricità, tipo Oscar-10 e 13, illustrando le più importanti prestazioni del futuro satellite Phase-3D.

Questo satellite, attualmente in costruzione, sarà immesso in orbita nel luglio 1996 e per accedervi occorreranno stazioni terrene notevolmente più semplici delle attuali, che perciò avranno bisogno di meno potenza uplink, e antenne a più basso guadagno di quelle necessarie per Oscar-13.

Vediamo ora nei dettagli le caratteristiche progettuali di Phase-3D, ossia, i transponder, il tipo di orbita, il tipo di stabilizzazione di assetto, le antenne, le frequenze usate, i pannelli solari e le finalità della missione.

Oltre a richiedere stazioni terrene modeste, Phase-3D aiuterà gli OM a conquistare frequenze sempre più alte.

Ciò è importante per dimostrare che avendo già in orbita un satellite che lavora su frequenze oltre 1,2 GHz, attualmente assegnate e concesse, ma usate solo per scopo

sperimentale, queste bande non ci possano essere tolte o assottigliate in futuro.

Lo spettro oggi maggiormente utilizzato con apparecchiature commerciali si ferma a 1,2 GHz ed è sfruttato malamente dalla FM.

Phase-3D, con tutti i modi di modulazione, meno la FM, ci spronerà a sperimentare di più in SSB, CW, e tutte le possibili modulazioni digitali, sui 2,4 GHz, 5,6 GHz e 10 GHz. Queste bande, tramite il satellite, rappresentano la nostra migliore risorsa e assegnazione per fare traffico transcontinentale di massa nei prossimi dieci anni.

Phase-3D è importante per evitare che in futuro i servizi militari, di Ministeri e privati ci possano assottigliare gli spettri VHF e superiori, oggi concessi, e che abbiamo il dovere di utilizzare per pretendere di mantenere.

Phase-3D, nel '96 occuperà di fatto tutte le bande VHF, UHF, SHF amatoriali assegnate internazionalmente, garantendo un diritto su frequenze oggi usate unicamente da pochi OM pionieri delle microonde, che le difendono a denti stretti per fare traffico Tropo e sperimentale, come ad esempio l'EME.

Questi OM da soli potrebbero anche soc-

combere di fronte alle pressanti richieste di banda del sempre crescente traffico commerciale via satellite se anche qui non si dovesse sviluppare una forte utilizzazione amatoriale di massa. Phase-3D, occupando tutte le frequenze, sarà dunque un incentivo per fare maggior uso e garantire la presenza degli OM sugli spettri UHF e superiori, il cui valore per i radioamatori è incalcolabile, e che in tutti i paesi è terra di conquista per molti altri servizi commerciali.

### I Transponder di Phase-3D

Il transponder non è un'invenzione dei radioamatori ma è frutto della ricerca bellica in ausilio al Radar durante l'ultimo conflitto mondiale. Il Radar di allora inviava un segnale che, riflesso dal bersaglio, ne determinava soltanto distanza, direzione e velocità di spostamento ma non l'identità.

Dopo il disastro di Pearl Harbor, per stabilire se il bersaglio era amico o nemico, gli americani nel 1942 installarono su tutti i propri aerei uno speciale ricetrasmittente denominato IFF (Identification Friend or Foe) che mediante un'antenna prelevava il segnale inviato dal Radar amico, lo convertiva su un'altra frequenza, e con la stessa antenna lo ritrasmetteva indietro, codificato segreto allo stesso Radar interrogante. Se l'aereo era amico, il Radar riceveva il segnale col codice giusto. Se era nemico la risposta mancava, scattava l'allarme e partivano le cannonate.

**Foto 1:** La struttura di Phase-3D durante il montaggio dello scambiatore di calore composto da quattro tubi che circondano ad anello i sei spicchi. Lo scambiatore, realizzato con tubi di calore (heat pipe) non necessita di alcuna pompa ausiliaria per far circolare il liquido refrigerante. Il liquido circola per capillarità in una serie di canali ricavati per estrusione sulla superficie interna dei tubi. Nei punti in cui il liquido è caldo questo evapora asportando calore.

I vapori caldi si condensano nelle zone più fredde riscaldandole mediante circolazione per capillarità, fino a stabilire un equilibrio termico, il cui gradiente termico sia il minore possibile.

La struttura si trova nel laboratorio dell'Università di Marburg.

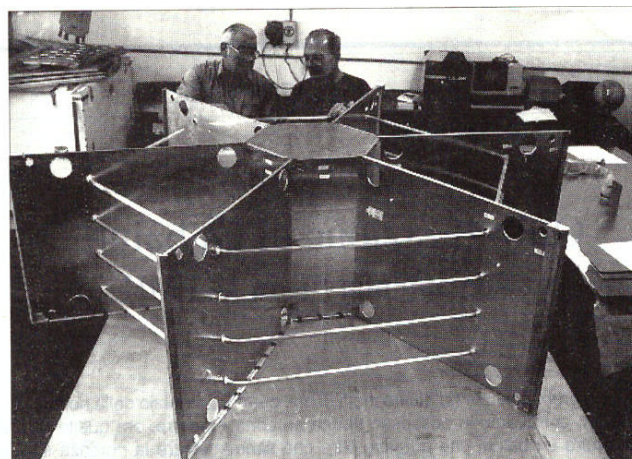
A sinistra Konrad Muller, DB7FDQ e a destra il progettista WD5FAB, Dick Jansson responsabile dei bilanci energetici e termici del satellite.

**Tabella 1 - Potenza dei trasmettitori e guadagno antenne di Oscar-13 comparati a quelli di Phase-3D**

Satelliti e bande	Potenza di uscita trasmettitori [W] pep	Guadagno di antenna [dBic]	Potenza effettivamente irradiata [W] erp	Rapporto ("") [dB]
<b>Oscar-13</b>				
VHF	50	5,5	180	-
UHF	50	9,5	450	-
S	1	9,0	8	-
<b>Phase-3D</b>				
V (VHF)	300	11,1	3860	13,3
U (UHF)	300	15,3	10170	13,6
S (2,4 GHz)	160	19,5	14260	32,5
C (5,6 GHz)	50	20,0	10000	-
X (10,5 GHz)	80	25,0	25300	-

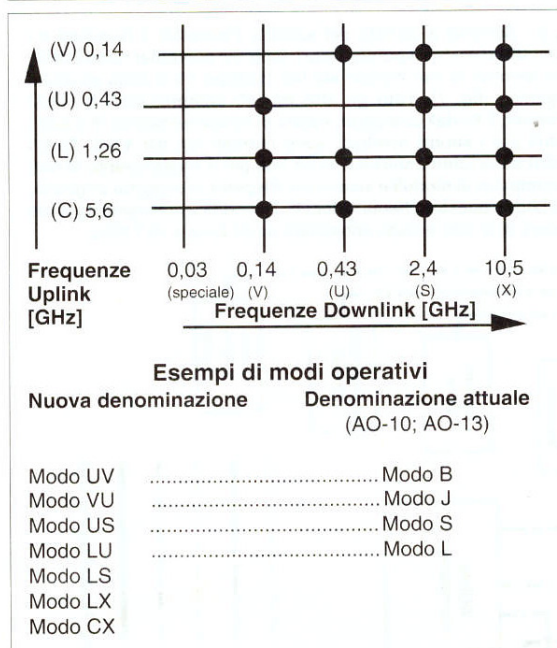
("") Il rapporto in dB rappresenta il miglioramento in rapporto S/N ottenibile ricevendo Phase-3D rispetto a Oscar-13 a parità di distanza e condizioni di ricezione della stazione terrena.

Esempio: in VHF 2 m:  $10 \log 3860/180 = 13,3$  dB. Se oggi con Oscar-13 usiamo un'antenna ricevente in 2 m con guadagno di 13,3 dB e riceviamo un segnale con un rapporto S/N = 15 dB, domani con Phase-3D usando in ricezione un semplice dipolo che guadagna 2,14 dB, riceveremo lo stesso segnale con un rapporto S/N di ben 17,14 dB. Si conclude che sarà possibile effettuare traffico in mobile e portatile con estrema facilità.





## Satelliti



**Fig. 1**  
Phase-3D: sistema di combinazione a matrice dei trasmettitori e dei ricevitori per funzionamento a transponder.

**Nota:**  
Il downlink in 0,03 GHz (10 m) non è un transponder.  
Phase-3D trasmetterà in 10 m, durante i perigei, degli speciali bollettini dedicati a informazioni sul traffico.  
Questo servizio broadcasting sarà irradiato a voce in modulazione di ampiezza con portante soppressa (DSB) e sarà diffuso in varie lingue a cura delle associazioni nazionali AMSAT interessate.

Preoccupazione dei piloti di allora era verificare che lo IFF funzionasse bene prima di decollare e lo IFF era importante quanto il motore e le armi di bordo.

Nel '42 gli americani fecero un notevole progresso tecnologico nelle UHF, basti pensare che i Radar installati alle Hawaii operavano a 110 MHz e il 7 dicembre 1941 gli incursori giapponesi su Pearl Harbor furono identificati come stormi di uccelli migratori.

Un anno dopo operava già il famoso IFF APX-6 che riceveva su 1020 MHz e ritrasmetteva su 1100 MHz. Ne furono prodotti decine di migliaia e i più vecchi fra noi ricorderanno di averli modificati per i primi esperimenti su 1296 MHz (vero, I1TEX?).

I satelliti per radioamatori negli ultimi venti anni hanno usato essenzialmente un'apparecchiatura molto simile al transponder IFF ma chiamata più propriamente traslatore. Questi traslatori lineari da satellite ricevono i segnali su una banda di frequenze e li ritrasmettono amplificati verso terra su una banda di frequenza diversa.

La differenza principale fra transponder e traslatore è che il primo, come lo IFF riceve un segnale su una certa frequenza, ne cambia il tipo di informazione, vi aggiunge dati di identificazione e lo ritrasmette su un'altra frequenza completamente diverso da quello in partenza, ma riconoscibile dall'interrogante che lo ha inviato e ora lo riceve. Il traslatore da satellite, invece, riceve un segnale da terra su una certa frequenza, lo converte linearmente così com'è su una frequenza diversa e lo ritrasmette verso terra come ripetizione esatta del segnale che qui è stato inviato. Questi traslatori hanno una banda passante molto ampia e possono traslare contemporaneamente più segnali diversi che

si dividono la potenza in modo direttamente proporzionale al loro livello in ingresso e per questo motivo sono chiamati traslatori a divisione di frequenza. Il traslatore ha un downconverter all'ingresso, che riceve i segnali da terra e li converte a un valore di media frequenza IF più basso. L'amplificatore IF fornisce selettività e guadagno al sistema.

La banda di segnali IF è amplificata di almeno 60 dB, dopodiché è inviata a un upconverter che la riconverte su frequenza più alta e dopo ulteriore amplificazione di potenza viene irradiata verso terra.

Le medie frequenze dei traslatori per satelliti amatoriali hanno avuto larghezze di banda variabili da un minimo di 20 kHz a un massimo di 800 kHz per il modo-L di Oscar-10. Per esempio, le IF (Intermediate Frequency) dei transponder modo-B di Oscar-10 e 13 sono larghe circa 140 kHz e usando

questo transponder a divisione di frequenza, si possono effettuare molti QSO simultanei via satellite anziché uno solo, come avviene invece su un ponte ripetitore terreno FM o addirittura sul satellite Oscar-21 che è un ponte ripetitore FM orbitante. Il modo-B ha un uplink in 70 cm e un downlink in 2 m. Il modo-L ha un uplink in 23 cm e un downlink in 70 cm. Il modo-J infine ha l'uplink in 2 m e il downlink in 70 cm. Questi transponder sono "dedicati", o ne funziona uno, o ne funziona un altro, oppure più di uno contemporaneamente, ma essendo questi dedicati, limitano la flessibilità del sistema perché non possono essere combinati fra loro per fare, ad esempio, un modo che abbia uplink in 23 cm e downlink in 2 m.

Il prossimo Phase-3D è strutturato in modo più intelligente e funzionale secondo l'architettura a matrice mostrata in **fig. 1**.

Il blocco a RF del satellite consiste in una serie di downconverter che ricevono in 2 m, 70 cm, 23 cm, 13 cm e 6 cm. Tutte le uscite di media frequenza sono a 10,7 MHz con livello circa -15 dBm e vengono inviate ad un unico blocco di amplificatori IF a 10,7 MHz da cui escono a livello circa +40 dBm (10 mW). Da qui le uscite IF sono inviate a vari upconverter che mescolano i 10,7 MHz con opportuni oscillatori locali per ottenere uscite downlink ad alta potenza e lineari in 2 m, 70 cm, 13 cm, 3 cm e 24 GHz.

I livelli di potenza di questi trasmettitori, paragonati a quelli di Oscar-13, sono riportati in **tab. 1**. Il funzionamento è rilevabile dallo schema a blocchi di **fig. 2** e si vede che i segnali a 10,7 MHz in uscita dai downconverter e in entrata agli upconverter sono rappresentati con dei bus tratteggiati.

La "IF unit" è controllata dal "Flight Computer", il cui programma caricato da terra può inviare l'uscita a 10,7 MHz di ciascun downconverter sull'ingresso a 10,7 MHz di qualunque upconverter, in modo da formare una combinazione di modi di traslazione secondo la matrice riportata in **fig. 1**.

**Tabella 2 - I nuovi modi operativi di Phase-3D**

Uplink	21 MHz	-A	KV	KU	KS	KC	KX	KKa
	145 MHz	-A	---	VU	VS	VC	VX	VKa
	435 MHz	-A	UV	---	US	UC	UX	UKa
	1,2 GHz	-A	LV	LU	LS	LC	LX	LKa
	2,4 GHz	-A	SV	SU	---	SC	SX	SKa
	5,6 GHz	-A	CV	CU	CS	CC	CX	CKa
29 MHz 145 MHz 435 MHz 2,4 GHz 5,8 GHz 10 GHz 24 GHz								
Downlink								

Queste sono tutte le possibili combinazioni di modi del satellite Phase-3D realizzabili componendo le frequenze uplink e downlink mediante una matrice programmabile dalle stazioni di comando. Rispetto alle frequenze già note è stato aggiunto un uplink a 21 MHz per realizzare i modi A e da KV a KKa Phase-3D utilizzerà tutte le bande radiantistiche da 21 MHz a 24 GHz soddisfacendo perciò le esigenze di tutti gli OM.



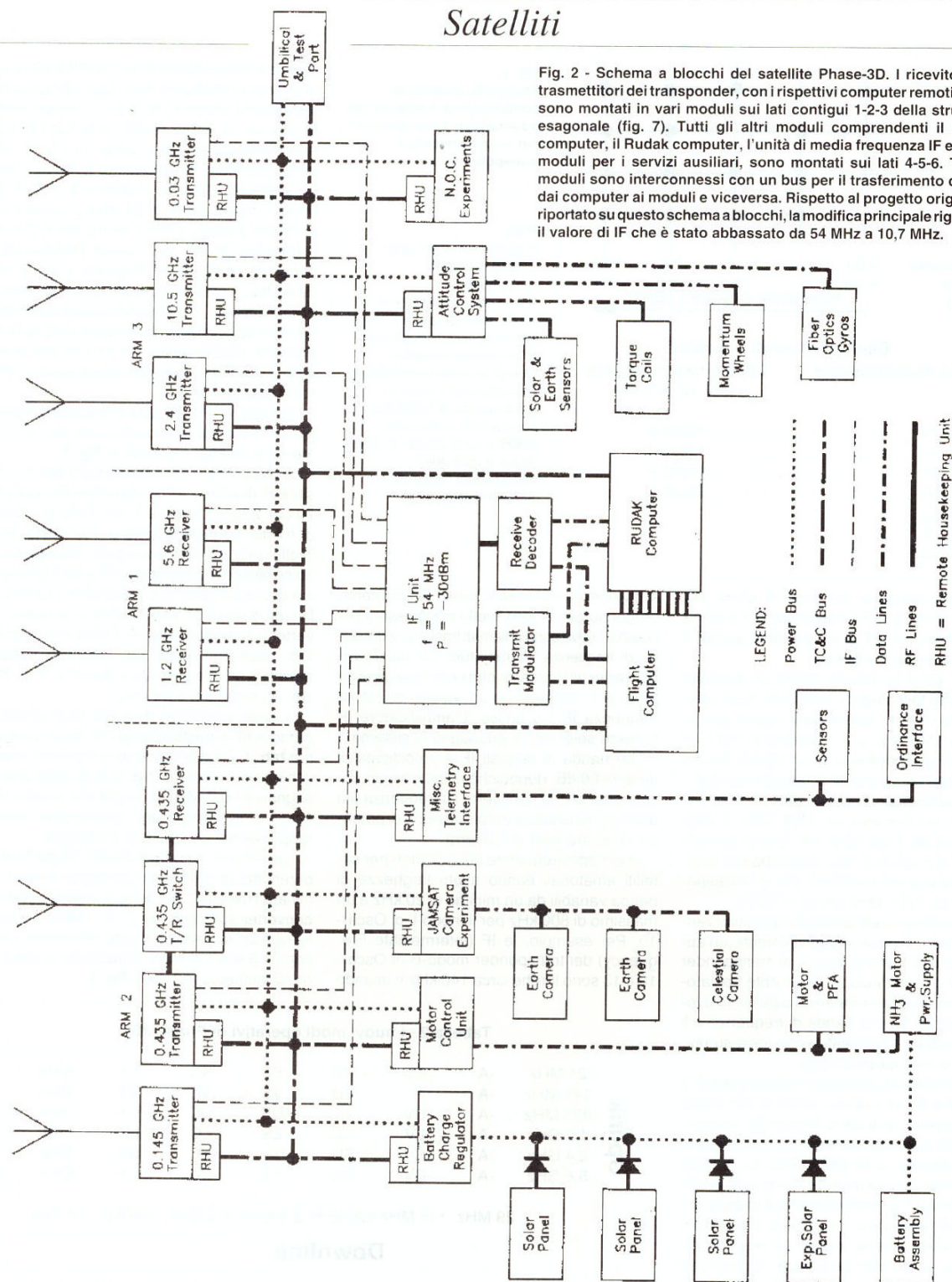


Fig. 2 - Schema a blocchi del satellite Phase-3D. I ricevitori e i trasmettitori dei transponder, con i rispettivi computer remoti RHU, sono montati in vari moduli sui lati contigui 1-2-3 della struttura esagonale (fig. 7). Tutti gli altri moduli comprendenti il Flight computer, il Rudak computer, l'unità di media frequenza IF e tutti i moduli per i servizi ausiliari, sono montati sui lati 4-5-6. Tutti i moduli sono interconnessi con un bus per il trasferimento di dati dai computer ai moduli e viceversa. Rispetto al progetto originale, riportato su questo schema a blocchi, la modifica principale riguarda il valore di IF che è stato abbassato da 54 MHz a 10,7 MHz.

Tutto il sistema di alimentazione e bus dati è collegato con il cordone ombelicale, in alto a destra, che unisce il satellite al razzo vettore e alla sala di controllo prima del lancio. Durante la trattazione dei vari settori a RF, Computer di navigazione e comunicazioni digitali Rudak, attitudine, fonti di alimentazione, circuiti ausiliari, saranno effettuati richiami a questo schema a blocchi che mostra quanto il satellite sia complesso e sofisticato rispetto ai precedenti Oscar-10 e 13. La legenda sullo schema spiega chiaramente il significato dei collegamenti fra i vari moduli e le loro funzioni.



## Satelliti

Ciò significa che si possono ottenere tutte le combinazioni di traslatori possibili per i quali a bordo esistono downconverter e upconverter. Anche la matrice, se occorre, può essere riprogrammata via software da terra e le varie configurazioni di modi realizzabili sono riportate in **tab. 2**.

Ciò è importante perché non è certo né stabilito su quali bande di frequenza gli OM avranno più spazio e più libertà di operare via satellite negli anni avvenire.

Nessuno sa per esempio cosa succederà

con le assegnazioni WARC fino al 2005, quando Phase-3D avrà circa dieci anni di vita e si pensa sarà ancora operativo. Modificando la matrice sarà possibile scegliere le bande più opportune dove operare.

Anche il modo di identificare i transponder è cambiato di nome.

Gli OM che operano via satellite comprendono benissimo che non ha più senso denominare modo-B un traslatore al quale bisogna trasmettere in 70 cm e che risponde in 2 m.

Meglio chiamarlo modo-UV e tutti capiranno le bande su cui lavora. La prima lettera U = UHF = 70 cm indica la banda uplink, mentre la seconda lettera V = VHF = 2 m, indica la banda downlink.

Essendo molte le combinazioni possibili di traslatori, è ovvio che questo sistema mnemonico di identificazione, formato da due lettere significative, anziché una non significativa, rende facile e immediata l'individuazione delle frequenze (**tab. 2**).

Così, ad esempio, il modo US indica uplink in U = UHF = 70 cm e downlink in S = SHF = 2.4 GHz.

Facile intuibile e intelligente, no? La disposizione meccanica dei transponder sui sei lati della struttura di Phase-3D è visibile nelle **figg. 6 e 7**.

### Stabilizzazione di Phase-3D

Data la maggiore potenza dei traslatori, l'uso di Phase-3D richiederà stazioni terrene meno sensibili e meno potenti delle attuali per Oscar-10 e 13. Inoltre, Phase-3D avrà un apogeo a 48.000 km anziché 36.000 km e ciò per aumentare l'area di copertura rispetto agli attuali Oscar-10 e 13. Per ottenere questi miglioramenti, che si traducono in servizio migliore, è stato necessario raggiungere tre obiettivi principali.

1) - I transponder saranno molto potenti e sensibili. Le differenze fra le caratteristiche degli RX e TX di Phase-3D e quelle di Oscar-10 e 13 sono riportate in **tab. 1**.

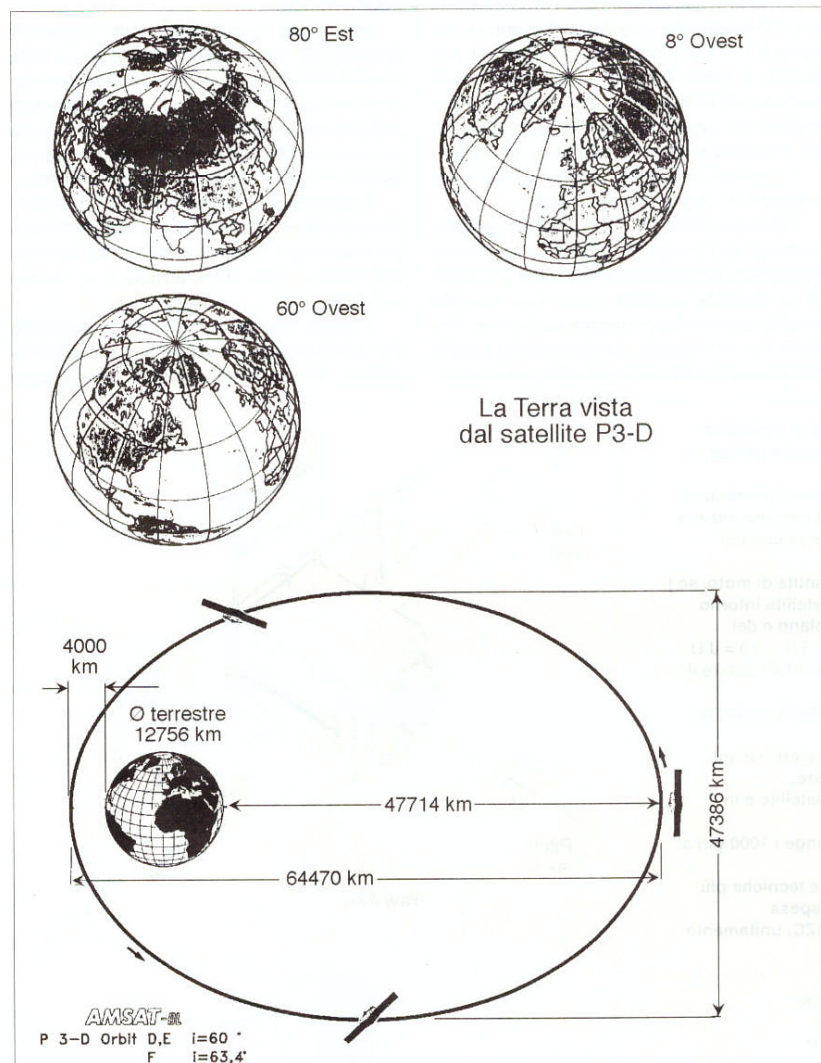
2) - Le antenne di Phase-3D avranno maggior guadagno di quelle su Oscar-10 e 13.

3) - Le antenne di Phase-3D saranno sempre orientate verso la Terra durante tutta l'orbita, com'è visibile da **fig. 3**. Siccome Oscar-10 e 13 furono progettati per essere stabilizzati per "spin", ossia per rotazione sull'asse Z, le antenne direttive di questi satelliti, montate sulla faccia +Z, sono orientate nominalmente verso Terra solo durante una parte limitata dell'orbita, all'apogeo.

Per tutto il resto dell'orbita le antenne direttive di Oscar-13 sprecano buona parte dell'energia a RF irradiandola verso lo spazio esterno e perciò in prossimità del perigeo è necessario commutare i transponder sulle antenne omnidirezionali. In ogni caso, la maggior parte dell'orbita non è ottimale né per le antenne direttive né per quelle omnidirezionali.

Il problema di utilizzare il pieno guadagno delle antenne, e quindi tutta l'energia dei transponder, può essere risolto facendo in modo che il satellite, anziché essere fisso inerzialmente sull'asse Z, come Oscar-13, orienti continuamente la faccia lato antenne, +Z, verso terra durante tutta l'orbita (**fig. 3**).

Muovere Phase-3D in permanenza e automaticamente sui tre assi X, Y, Z mentre orbita nello spazio puntando sempre il semiasse +Z verso terra, rappresenta un grosso problema di navigazione spaziale difficile, ma possibile da risolvere.



**Fig. 3 - AMSAT-Phase-3D: Orbita ellittica ad elevata eccentricità dopo l'accensione finale del motore di apogeo e raggiungimento di inclinazione = 63,4°. E' visibile la copertura da tre diverse longitudini di sub-point, 80° Est, 8° Ovest e 60° Ovest.**

Durante tutta l'orbita il satellite orienta la faccia lato antenne +Z verso la terra mediante un sistema attivo di regolazione di assetto che fa uso di tre volani di reazione (momentum wheels) il cui principio di funzionamento è discusso nel testo.

A differenza di Oscar-10 che è stabilizzato per "spin" sull'asse Z e punta le antenne nominalmente verso terra solo all'apogeo, Phase-3D essendo continuamente puntato verso terra in ogni momento dell'orbita, potrà usare tutti i transponder, anche quelli a frequenze elevate in qualunque punto di MA (mean anomaly). Ciò si traduce in minore potenza uplink e maggiore intensità dei segnali in downlink.



## Satelliti

Per prima cosa il satellite deve conoscere da solo il suo orientamento nello spazio e quindi determinare com'è disposto rispetto alla posizione della Terra e ciò in qualunque momento e in qualsiasi punto di MA (Mean Anomaly) lungo l'orbita ellittica. Per determinare l'orientamento dei tre assi nello spazio sono state analizzate diverse tecniche, tutte già ampiamente sperimentate con successo in astronautica.

Una possibilità è usare sensori per determinare la posizione di riferimento del sole, di alcune grosse stelle, come Canopo, e degli orizzonti terrestri. Un'altra tecnica, che rappresenta la soluzione prescelta, è l'utilizzo dei segnali trasmessi dai satelliti GPS (Global Positioning Satellites). Phase-3D riceverà e misurerà la differenza di fase tra i segnali che gli arrivano contemporaneamente da più satelliti GPS, ricevendoli con antenne installate in punti diversi del satellite stesso e sarà in grado di calcolare la sua esatta posizione e orientamento degli assi X, Y, Z, nello spazio e in ogni istante. Questo progetto viene diretto dal suo ideatore, Dr. Tom Clark, W3IWI, la cui opera nel campo dei satelliti Oscar è stata sempre decisiva, fin dal tempo di Oscar-10.

La determinazione dell'orientamento nello spazio è solo una parte del problema. Quando l'orientamento è noto, è necessario correggere il continuo disorientamento del satellite su se stesso. Tutte le derive "Roll" sull'asse X, "Pitch" sull'asse Y, e "Yaw" sull'asse Z, sono dovute al campo magnetico terrestre e alle perturbazioni causate dalla luna e dal vento solare (fig. 4).

Per capire come si fa a manovrare il satellite nello spazio facciamo una utile e necessaria digressione.

Il modo in cui, ad esempio, i grossi satelliti per TV effettuano questa correzione di assetto è l'uso di piccoli razzi a idrazina con spinta di pochi grammi, il cui getto viene azionato da terra e serve a correggere periodicamente l'assetto e compensare la deriva per mantenere l'esatta posizione in orbita.

Questa è una delle funzioni affidata per esempio a Telespazio nel Fucino.

Questi satelliti TV sono in orbita geostazionaria e il subpoint (SSP) deve essere mantenuto con estrema precisione per tenere le antenne puntate verso una ristretta calotta di superficie terrestre da servire. Per ottenere ciò bisogna compensare la deriva, ma quando i serbatoi di idrazina sono esauriti, il satellite avanza o arretra dalla sua

posizione e va praticamente fuori servizio. L'eventuale perdita o l'inevitabile esaurimento del gas è la causa principale di morte immatura di questi satelliti geostazionari, che vengono poi deorbitati dalla preziosa orbita geostazionaria con l'accensione di un potente razzo che li porta in un'orbita più esterna.

Oltre a ciò, questi satelliti TV (tipo Intelsat) ruotano sul proprio asse Z per evitare che la parte della loro superficie esposta al sole divenga troppo calda e quella in ombra troppo fredda.

Inoltre, per fare in modo che le antenne direttive restino sempre orientate verso terra con estrema precisione, queste sono montate su una piattaforma controrotante solidale con il nucleo interno del satellite e che ruota in senso contrario al mantello esterno ma alla stessa velocità mediante un motore elettrico.

Il sistema a servomeccanismo controrotante è paragonabile a un motore elettrico il cui statore è il mantello esterno del satellite che porta le celle solari e ruota in un senso per "spin".

Il rotore invece, che porta la piattaforma con le antenne, ruota in senso contrario allo statore, fino a restare fermo nello spazio

Fig. 4 - Ponendo in rotazione il volano, l'asse si stabilizza giroscopicamente senza che il satellite debba essere messo in rotazione (spin) come Oscar-13.

Per far ruotare il satellite intorno all'asse Z basta aumentare la velocità di rotazione del volano da  $\omega$  a  $\omega'$  e il satellite inizierà un moto di rotazione in senso inverso all'accelerazione del volano.

Per la conservazione del momento della quantità di moto, se  $j$  e  $J$  sono i momenti di inerzia del volano e del satellite intorno all'asse Z e  $\omega$ ,  $\Omega$  sono le velocità angolari del volano e del satellite intorno allo stesso asse Z deve essere:  $j(\omega' - \omega) = J\Omega$

Perciò accelerando e frenando il volano si può far ruotare il satellite in un verso o nell'altro.

Con altri due volani si può controllare l'assetto del satellite rispetto a tutti gli assi.

Il volano è costituito dal rotore di un motore elettrico sul quale si fissano delle razze e una corona circolare.

La massa del volano dipende da quella del satellite e in genere varia da 0,5 a 10 kg.

La sua velocità di rotazione nominale raggiunge i 1000 giri al minuto.

Per AMSAT Phase-3D saranno usati metodi e tecniche più moderne, ossia mediante una sfera ruotante sospesa magneticamente secondo il Ball Konzept di DJ4ZC, unitamente all'attuale sistema magnetorquing di Oscar-13.

### Principio di funzionamento

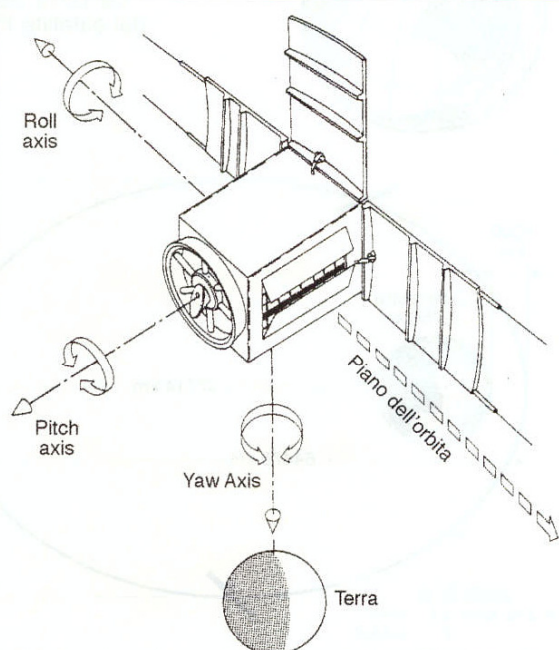
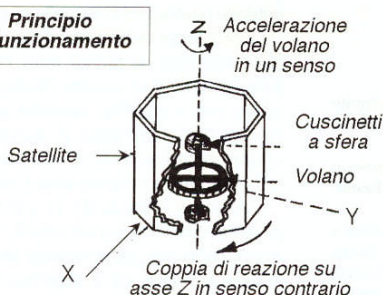
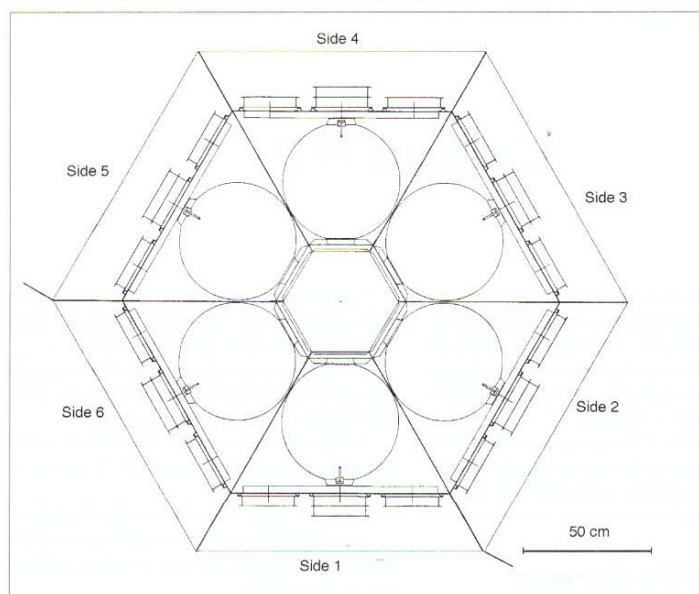


Fig. 5 - Classico sistema di stabilizzazione su tre assi che impiega volani di reazione (momentum wheels) in un satellite meteorologico della serie ITOS. Il volano a sei razze, visibile sulla sinistra, stabilizza il satellite lungo l'asse del moto, ossia il beccheggio (pitch axis). Altri due volani stabilizzano il rollio (roll axis) e la deriva (yaw axis). Lo stesso sistema di stabilizzazione sarà usato su Phase-3D con lo scopo di mantenere il lato antenne del satellite +Z sempre rivolto verso terra in qualunque punto dell'orbita.



## Satelliti



entro un errore angolare di  $\pm 0,1$  gradi, mantenuto costante dal servomeccanismo di "de-spin". In tal modo le antenne del satellite restano sempre orientate verso terra con grande precisione. Torniamo ora in argomento.

La situazione di Phase-3D è completamente diversa da quella dei satelliti TV e, per assicurare una lunga vita al nostro satellite, i due sistemi di stabilizzazione ora descritti sono stati scartati perché sono troppo complessi e inadatti.

Il sistema che invece sarà usato su Phase-3D impiega essenzialmente tre volani, uno per asse. I volani, che hanno una certa massa che dipende dal peso del satellite, sono tenuti in continua rotazione, ognuno da un proprio motore elettrico. Questi volani di reazione, usati anche sui satelliti meteorologici a bassa orbita (fig. 5), immagazzinano energia facendo ruotare la propria massa (in genere da 0,5 a 10 kg di peso che gira a circa 150 RPM).

Questa energia può essere restituita al momento opportuno variando la velocità del volano per creare un momento di reazione che fa ruotare il satellite intorno a ciascuno dei tre assi X, Y, Z (fig. 4).

Se infatti si aumenta accelerando, oppure si diminuisce frenando, la velocità di un motore, il rispettivo volano reagisce con una coppia motrice che in conseguenza fa ruotare nello spazio tutto il corpo del satellite intorno all'asse su cui il volano è impennato e, cosa importante, in senso contrario alla variazione di velocità (fig. 4).

Avete mai provato a tenere in mano una mola a disco e spegnere il motore mentre gira? La mano risente un brusco cambiamento di posizione o di assetto contrario al senso di rotazione del disco. Se invece si varia velocemente la posizione della mola

mentre questa gira, avvertiamo sul polso una coppia di reazione di senso contrario al movimento della mano, proprio come avviene in un giroscopio.

In altre parole, l'energia immagazzinata nel volano può essere restituita per creare una coppia di reazione al variare della sua velocità che sposta il satellite facendolo ruotare in senso contrario sull'asse del volano.

Queste variazioni incessanti di velocità dei volani, necessarie a spostare il satellite nello spazio, sono sotto controllo del computer di navigazione "Flight computer" (fig. 2) che va continuamente a paragonare la posizione raggiunta dal satellite con la fase data dai segnali dei satelliti GPS che costituiscono i segnali di riferimento del servomeccanismo di regolazione a loop chiuso.

Qualunque deviazione, fra il riferimento GPS e la posizione della Terra ove devono puntare le antenne, genera un "feedback". Questo segnale di errore, positivo o negativo, pilota il servomeccanismo di regolazione che cerca di rendere l'errore il più piccolo possibile mediante variazioni continue di velocità (accelerazioni e frenate), sui tre assi dei volani stabilizzatori e ciò in permanenza.

Da quanto detto è evidente che accelerando e frenando il volano si può far ruotare il satellite in un verso o nell'altro per il principio di conservazione del momento della quantità di moto. Conoscendo la geometria dell'orbita e la posizione della Terra rispetto a ogni punto di questa, è possibile scrivere un programma che attraverso il "Flight Computer" gestisca il servosistema affinché l'asse +Z, lato antenna, sia sempre orientato verso lo stesso punto dello spazio che ci interessa, ossia verso la Terra.

Un problema connesso ai sistemi di stabilizzazione elettromeccanici con volani e

Fig. 6 - La struttura esagonale di Phase-3D ospita sei moduli su ogni faccia, per un totale di 36 moduli, divisi fra ricevitori, trasmettitori, computer remoti RHU, sistemi di controllo attitudine, ed esperimenti vari come da schema a blocchi di fig. 2. Si vede che i moduli sono fissati sulle pareti interne della struttura lambita dai tubi dello scambiatore di calore di foto 1.

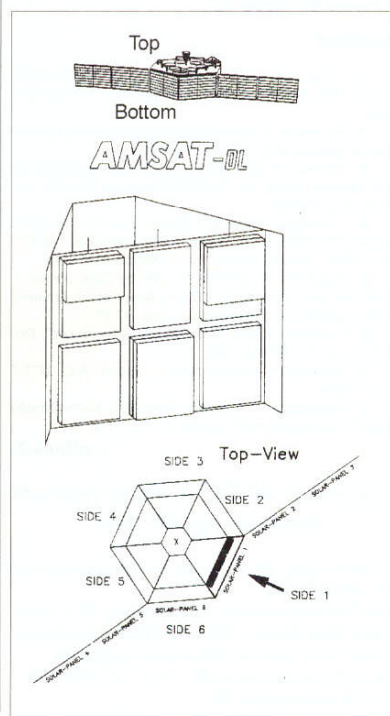
La vista di pianta mostra nell'interno i sei serbatoi sferici del comburente e combustibile per i due motori di apogeo. I vani di contenimento dei moduli sono poi chiusi da scudi esterni, due dei quali ospiteranno anche le celle solari.

La camera centrale esagonale contiene i motori di apogeo. Il motore lato antenne sulla faccia +Z è quello da 400 Newton e l'altro con l'ugello verso la faccia -Z è il motore di trascinamento ATOS.

La camera centrale esagonale è isolata termicamente dai serbatoi sferici che sono stati costruiti in Russia. La struttura attuale è quella definitiva per la quale è stato firmato il contratto di lancio con l'ESA.

Fig. 7 - Vista di prospetto di uno degli spicchi della struttura esagonale di Phase-3D.

Ognuna delle sei pareti porta montati sei moduli, tre inferiori e tre superiori. La parete della struttura è raffreddata da quattro tubi scambiatori di calore visibili in foto 1. Il disegno di pianta (sotto) mostra la vista superiore lato antenne. I lati 1 e 6 montano i rispettivi pannelli solari mentre i restanti quattro pannelli (2-3-4-5) sono montati sulle due grandi ali che al momento del lancio sono ripiegate. Tutto il satellite pesa circa 500 kg, ossia cinque volte in più di Oscar-13. La struttura di Phase-3D è stata modificata tre volte prima di arrivare alla configurazione attuale, definitiva, a causa di sopravvenute esigenze di spazio da parte del satellite primario. Il lancio, se i programmi saranno rispettati, avverrà nel luglio 1996 con il secondo volo del vettore Ariane-5 dell'ESA.





## Satelliti

giroscopi esposti all'ambiente spaziale è l'usura meccanica delle parti rotanti dovuta all'evaporazione dei lubrificanti dei cuscinetti a sfere nel vuoto. Questi cuscinetti devono durare almeno dieci anni in continua rotazione.

Per evitare queste complicazioni, Phase-3D avrà il minimo di parti meccaniche possibili e sarà stabilizzato sui tre assi non più da tre volani, bensì da tre grosse sfere metalliche di reazione tenute sospese entro un forte campo magnetico prodotto localmente, anziché su cuscinetti.

Tutto il sistema di stabilizzazione sarà alloggiato in un contenitore stagno e verrà costruito dalla British Aerospace Space System Ltd. che ne detiene il brevetto.

Come abbiamo visto, i satelliti per TV hanno il mantello esterno cilindrico che ruota in permanenza in un senso per mantenere costante la temperatura dovuta all'irraggiamento solare. Siccome Phase-3D avrà una struttura sostanzialmente fissa nello spazio, per mantenere la temperatura costante in ogni punto del satellite bisogna sottrarre il calore dalle parti soleggiate e portarlo nelle zone in ombra mediante scambiatori termici con tubi di calore a liquido "Heath Pipe", già descritti in dettaglio su Radio Rivista e illustrati in **foto 1**, mentre attraversano tutt'intorno la struttura del satellite.

Il progettista della struttura e della stabilizzazione termica di Phase-3D è Dick Jansson WD5FAB, un ingegnere dell'industria aerospaziale americana.

Nella prossima puntata saranno descritti il nuovo tipo di orbita, i pannelli solari e le antenne di Phase-3D.

### Bibliografia

- 1) - "The new shape of P3-D" by Dr. Karl Meinzer DJ4ZC; The AMSAT Journal Volume 16 n. 3 May/June 1993.
- 2) - "Phase-3D Project Planning Meeting"; The AMSAT Journal Volume 16 n. 3 May/June 1993.
- 3) - "Phase-3D Spacecraft Construction Activities" by Dick Jansson, WD5FAB; The AMSAT Journal Volume 17 n. 4 July/August 1993.
- 4) - "Revised Phase-3D Design Finalized" by Dick Jansson, WD4FAB; Dick Daniels, W4PUJ, Bill Tynan, W3XO. The AMSAT Journal Volume 16 n. 2 March/April 1993.
- 4) Phase-3D: A satellite for All; by Dick Jansson, WD5FAB; Bill Tynan, W3XO: Part-2 A new era in Amateur Radio Satellites: QST June 1993 pagg. 47-51.
- 6) "Fondamenti della locomozione nello Spazio": Robotti A.C. UTET Torino 1966.
- 7) "Missilistica e Astronautica"; Robotti A.C. UTET Torino 1964.
- 8) "Astronautica" di Aurelio Robotti e Michelangelo Fazio: Enciclopedia dell'Ingegnere. UTET Torino.

(continua.2)

## Calcolare gli EQX dai kepleriani Errata corrige RR 10/94

- A centro pag. 42, il risultato della moltiplicazione è: **99.4284648**.
- Alla fine della seconda colonna di pag. 43, il valore della Mean Motion, MM = **13.72337** orbite/giorno.
- Nella terza colonna della stessa pagina 43:  
la formula corretta è  $dW = A [(2 - 2,5 (\sin i)^2)]$ .
- A fine della pagina 43:  
Per. anom. = **1440** / MM = 104.9304945 minuti.



Domenico Marini - 18CVS  
via Alcide De Gasperi 89 - Parco Merola  
80059 Torre del Greco NA

Parte 3°

## Phase 3D Un satellite per tutti

**L**a prima parte di questa serie, pubblicata su RR 7/94 e la seconda, su R. R. 11/94, avevano lo scopo di introdurre l'OM alla conoscenza dei satelliti per radioamatori ad elevata eccentricità. Le puntate successive, più ricche di particolari, mirano all'approfondimento del satellite Phase-3D che sarà immesso in orbita nel maggio 1996. Si spera così di fornire in tempo debito tutte le informazioni necessarie per allestire una stazione terrena in grado di operare sui vari transponder. L'impegno richiesto all'OM è certamente notevole, ma siamo certi che volersi attrezzare quando il satellite sarà già in orbita significherebbe perder almeno due anni. Meglio dunque cominciare subito, con calma e senza lasciarsi trascinare dalla mania "finiscipresto" che invade spesso e volentieri noi OM frettolosi.

### Il nuovo tipo di orbita di Phase-3D

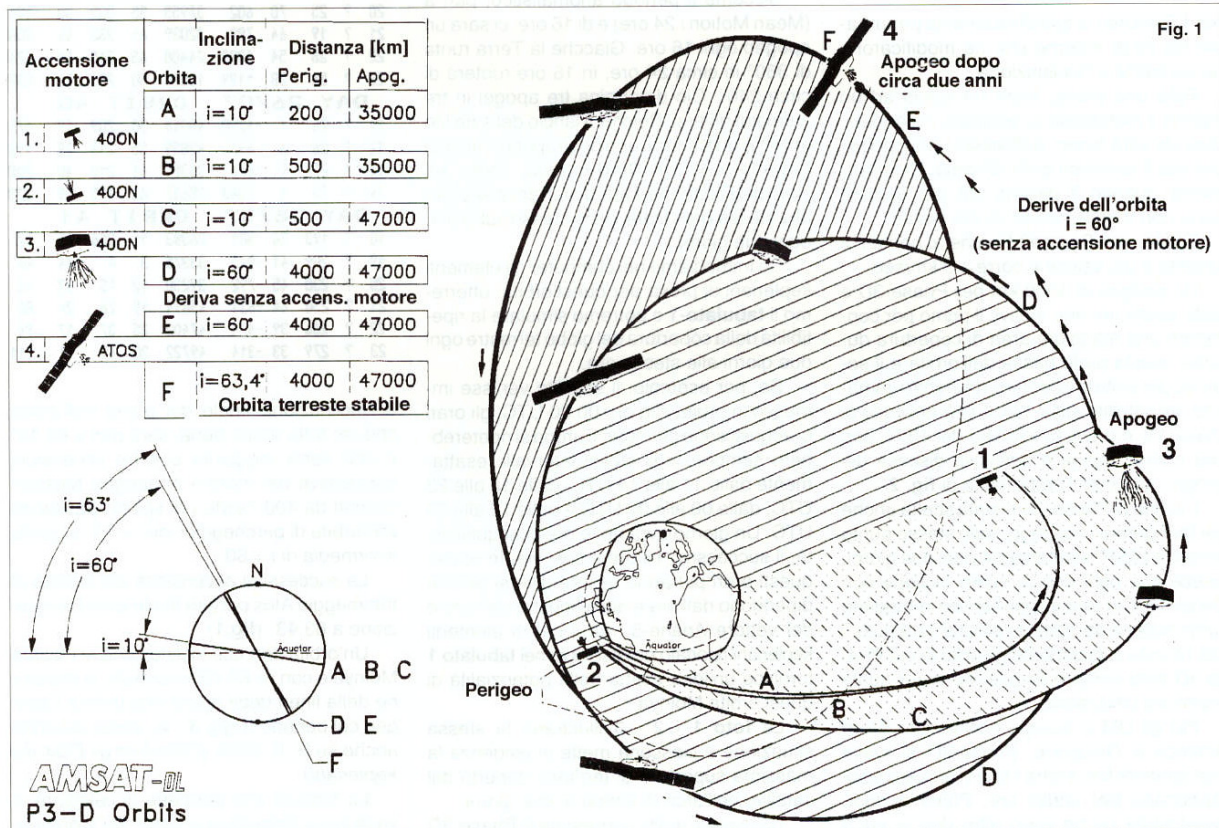
La scelta dell'orbita di Phase-3D riveste un ruolo fondamentale e, come per gli altri satelliti Oscar, è stata progettata per apportare i massimi benefici agli OM di tutto il mondo. Come Oscar-10 e 13, Phase-3D sarà immesso in un'orbita ellittica ad elevata eccentricità ma, al contrario di quelli, il suo apogeo sarà molto più alto, a 48.000 km

contro i 36.000 km (fig. 1). Anche il perigeo sarà più alto, a circa 4000 km. Il perigeo di Oscar-13 era inizialmente di 2000 km, ma nel 1993 questo è sceso ad un minimo di 600 km per risalire oggi a circa 800 km.

L'abbassamento del perigeo al disotto di 250 km provoca la frizione con le molecole dei gas rarefatti e determina un successivo decadimento dell'orbita fino alla bruciatura del satellite. Per Oscar-13 l'abbassamento è

**Fig. 1 • L'orbita ellittica di Phase-3D**  
Subito dopo il lancio, l'orbita di parcheggio (A) possiede inclinazione  $i = 10^\circ$ , perigeo = 200 km, apogeo = 35.000 km. All'apogeo in (1) il motore da 400 newton viene acceso per sollevare il perigeo a 500 km e siamo nell'orbita (B). Arrivati al perigeo, il motore da 400 newton viene acceso una seconda volta in (2) per sollevare l'apogeo a 47.000 km, e siamo nell'orbita (C). L'inclinazione resta invariata a  $10^\circ$ . Arrivati all'apogeo in (3), il motore da 400 newton viene acceso dopo aver manovrato il satellite con l'asse Z a  $60^\circ$  rispetto all'equatore terrestre. L'inclinazione cambia passando da  $10^\circ$  a  $60^\circ$ , e siamo nell'orbita (D). Vengono aperti i pannelli solari. Con  $i=60^\circ$  la variazione dell'argomento del perigeo è di  $0,0147^\circ$  ogni 24 ore. Se il satellite viene lasciato a  $i=60^\circ$ , dopo circa due anni l'argomento del perigeo sarà passato da  $220^\circ$  a  $230,73^\circ$ . La latitudine del Subpoint all'apogeo sarà di  $42^\circ$  Nord (vedasi le formule nel testo). A questo punto, per evitare che l'argomento del perigeo aumenti, si accende il motore di trimmaggio ATOS per aggiustare  $i=63,43^\circ$  e siamo in orbita stabile (F). I paesi dell'emisfero meridionale spingono per avere l'accensione di ATOS nell'orbita (E), intermedia fra (D) e (F). In tal modo l'apogeo sarà a latitudine più bassa, a loro favore. Tale fatto non ci dispiace.

avvenuto a causa di complesse interazioni gravitazionali col Sole e con la Luna nel momento più vulnerabile dell'orbita all'apogeo, quando il satellite aveva una velocità di





# Satelliti

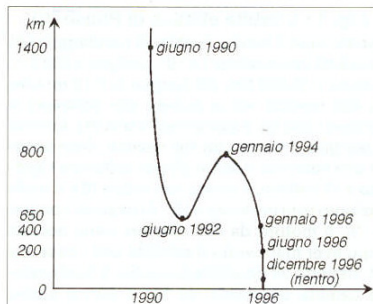


Fig. 2 • AO-13: distanze del perigeo dalla Terra negli anni dal 1990 al 1996

L'interazione esistente fra la massa di Oscar-13 all'apogeo ed i campi gravitazionali della Luna, Sole e pianeti ha determinato un progressivo abbassamento del perigeo fino a 650 km nel giugno 1992. Si è avuto poi un successivo rialzo e conseguente circolarizzazione dell'orbita a gennaio 1994. Le previsioni e le odierne osservazioni dimostrano che nella seconda metà del 1996 si dovrà osservare il rientro di Oscar-13 e conseguente bruciatura nell'atmosfera. Questo fenomeno, come descritto nel testo, è caratteristico delle orbite Molnya usate dai russi per i loro satelliti per telecomunicazioni che sono particolarmente sensibili alle perturbazioni dovute a grandi masse quando la loro velocità all'apogeo è molto bassa ( $\approx 1,9$  km/sec).

solì 1,9 km/sec, e quindi facilmente perturbabile da forze esterne che ne modificano l'eccentricità e l'inclinazione.

Fate una prova, tirate un calcio ad un pallone e mandatelo su verticale, in candela. Quando sarà fermo, soffiategli sopra: modificherete il percorso della discesa. Soffiategli invece quando il pallone sta per toccare terra, non modificherete un bel niente.

Facile, no? Perché? Perché al perigeo il satellite è più veloce e corre a 9 km/sec.

Un perigeo di 4000 km per Phase-3D è stato scelto per due motivi: il primo per consentire una maggiore area di copertura durante questa parte bassa dell'orbita e il secondo per evitare il ripetersi del rientro immaturo del satellite sulla Terra, che nel caso di Oscar-13, è previsto alla fine del 1996, con una nuova, rapida e definitiva discesa del perigeo secondo l'andamento di fig. 2.

L'orbita di Phase-3D è stata scelta anche per far ripetere i passaggi sullo stesso punto terrestre (SSP) esattamente ogni due giorni, invece che ogni undici, come avviene con Oscar-13. Ciò renderà più facile e immediata l'utilizzazione del satellite perché sarà possibile ricordarsi facilmente gli orari in cui Phase-3D sarà sempre acquisibile e per quale copertura utilizzabile.

Per gli OM in Europa occidentale, Nord America e Giappone, Phase-3D si eleva rapidamente fino a oltre  $75^\circ$  e vi rimane quasi stazionario per undici ore. Prima e dopo quest'orbita ce ne sono altre due in cui il

EPOCH YEAR	: 1994	S.W.A.	: 32219.89021
EPOCH DAY	: 181	ANOM.PERIOD	: 16
DATE MM/DD/YY	: 6/ 30/ 94	APOGEE	: 47714
TIME HH:MM:SS	: 0: 0: 0	PERIGEE	: 4000
INCLINATION	: 63.4344	BEACON	: 145.812
R.A.A.N.	: 225	ALAT.	: 1
ECCENTRICITY	: .6774378	ALON.	: 180
ARG. OF PERIGEE	: 220	SIDERAL TIME	: .27619018
MEAN ANOMALY	: 0		
MEAN MOTION	: 1.5		
DECAY RATE	: 0		
EPOCH REV.	: 1	10CVS & IV3IBX	

Tabulato 1  
Elementi kepleriani del satellite Phase-3D ed effemeridi (nella colonna accanto)

Gli orari di acquisibilità per lo stesso punto terrestre si ripetono sempre uguali ogni due giorni dalle 11 alle 14, dalle 18 alle 23, dalle 00 alle 07 e dalle 12 alle 23 UTC. Questi intervalli potrebbero essere diversi, dipendendo dalla finestra di lancio del satellite e sono basati su una RAAN più probabile di  $225^\circ$ .

satellite si presenta a bassa elevazione; la prima orbita è verso Nord-Est e la seconda è verso Nord-Ovest. Queste due orbite, a bassa elevazione, sono utilizzabili ovviamente per DX a lunghissima distanza, mentre il passaggio centrale, ad alta elevazione, è più indicato per collegamenti mobili o fra piccole stazioni terrene con antenne fisse e bassa potenza uplink.

Le coperture sono visibili nelle foto 1 - 2 - 3.

Siccome il periodo anomalistico, pari a (Mean Motion / 24 ore) è di 16 ore, ci sarà un apogeo ogni 16 ore. Giacché la Terra ruota di  $360^\circ$  in circa 24 ore, in 16 ore ruoterà di circa  $240^\circ$ . Ciò determina tre apogei in tre subpoint diversi. Poiché il lancio del satellite avviene da Kourou, uno degli apogei sarà sul Canada, uno sul Nord-Europa, l'altro sul Nord del Giappone e tutti avverranno sempre alla stessa ora locale, nello stesso subpoint, ogni due giorni.

Se immettiamo nel computer gli elementi kepleriani di prova per quest'orbita, otterremo il **tabulato-1** e potremo simulare la ripetibilità della copertura del globo terrestre ogni due giorni alle stesse ore.

Se, per esempio, il satellite venisse immesso in orbita alle ore 00.00 UTC, gli orari di acquisizione per noi in Europa si ripeterebbero sempre negli stessi intervalli, esattamente dalle 11 alle 14 UTC, dalle 18 alle 23 UTC, dalle 00 alle 07 UTC e dalle 12 alle 23 UTC. Un giorno avrà nove ore di acquisibilità, il successivo 18 ore e così via. In realtà, questi orari potranno essere diversi perché dipendono dall'ora e dalla finestra del lancio del vettore Ariane-5, ma il set di elementi kepleriani riportato dall'esempio nel **tabulato 1** fornisce un'idea esatta della potenzialità di quest'orbita Molnya.

Le foto 1 - 2 - 3 illustrano la stessa situazione e ciascuna mette in evidenza la massima superficie di territorio coperto dal satellite nell'arco di tempo di due giorni.

Un aspetto molto importante di Phase-3D

UTC	M	AZ	EL	DOPP	RANGE	LAT	LO	SE	PHASE
HH	#	deg	deg	Hz	km	W	deg	deg	(256)
<b>DAY 24/07 ORBIT 37</b>									
11	?	25	0	-6500	48105	50	207	19	175
12	?	25	6	697	42943	55	212	28	192
13	?	21	8	877	36446	61	210	40	208
14	?	13	4	1052	28655	63	193	59	223
<b>DAY 24/07 ORBIT 38</b>									
18	?	191	27	311	26352	-11	354	63	32
19	?	206	42	-941	33316	3	2	44	48
20	?	227	47	-787	39138	12	13	33	63
21	?	248	45	-628	43781	19	24	24	80
22	?	265	40	-466	47230	25	35	17	96
23	?	278	34	-318	49580	30	47	11	111
<b>DAY 25/07 ORBIT 38</b>									
00	?	289	28	-159	50754	35	58	6	128
01	?	299	23	11	50669	40	69	2	144
02	?	308	19	191	49254	45	79	6	159
03	?	317	17	393	46339	50	87	12	176
04	?	323	16	613	41796	55	93	19	192
05	?	328	19	873	35328	61	91	28	207
06	?	326	25	1190	26513	63	74	42	224
07	?	302	36	1569	14897	50	40	73	240
<b>DAY 25/07 ORBIT 39</b>									
12	?	80	-2	-3907	43813	12	253	30	64
13	?	81	11	-412	46861	19	265	22	80
14	?	83	24	-245	48669	25	276	15	95
15	?	84	37	-96	49376	30	288	9	112
16	?	83	49	37	49099	35	299	5	128
17	?	80	59	162	47893	40	310	8	143
18	?	69	68	300	45671	45	320	14	160
19	?	47	72	439	42417	50	328	21	176
20	?	25	70	602	37955	55	333	30	191
21	?	19	64	799	32039	61	332	41	208
22	?	28	54	1030	24408	63	315	58	224
23	?	56	28	1199	15526	50	281	96	239
<b>DAY 26/07 ORBIT 40</b>									
11	?	26	1	-4390	48018	50	209	19	175
12	?	26	6	697	42859	55	214	28	192
13	?	22	9	875	36381	61	212	40	208
14	?	13	4	1048	28617	63	195	59	223
<b>DAY 26/07 ORBIT 41</b>									
18	?	193	26	301	26383	-11	356	63	32
19	?	209	41	-945	33375	3	4	44	48
20	?	230	45	-792	39230	12	15	33	63
21	?	250	44	-631	43894	19	26	24	80
22	?	266	39	-474	47402	25	37	17	96
23	?	279	33	-314	49722	30	49	11	111

è l'inclinazione finale del piano dell'orbita che, se tutto andrà bene, sarà pari a  $63,43^\circ$  e che verrà raggiunta con tre accensioni successive del motore di apogeo Messerschmitt da 400 newton di spinta, passando dall'orbita di parcheggio con  $i = 10^\circ$  a quella intermedia di  $i = 60^\circ$ .

La successiva accensione del motore di trimmaggio Atos porterà finalmente l'inclinazione a  $63,43^\circ$  (fig.1).

Un'orbita con tale inclinazione si chiama Molnya e con  $i = 63,43^\circ$  si annulla la rotazione della linea degli apsi che unisce l'apogeo col perigeo (figg. 3 - 4), come descritto anche su R. R.10/94 (Calcolare gli EQX dai kepleriani).

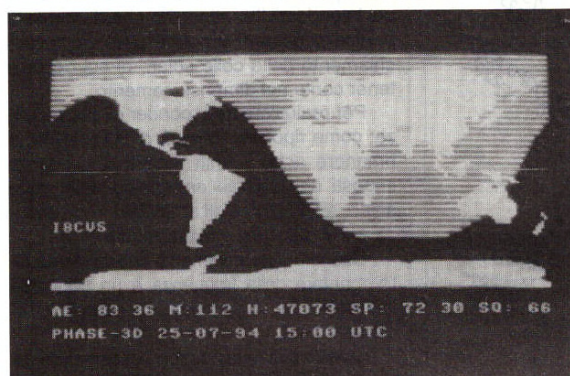
La formula che permette di calcolare la variazione giornaliera in gradi dell'argomen-



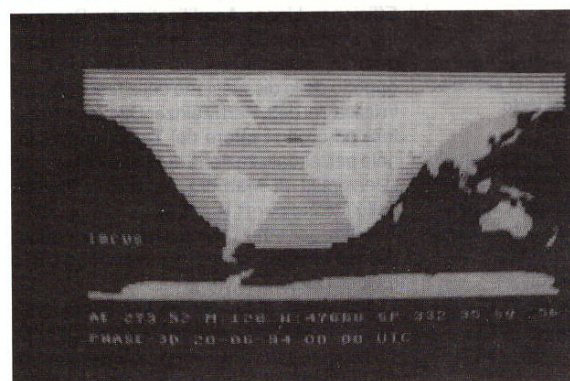
## Satelliti



**Foto 1 •** Alle ore 00 UTC Phase-3D raggiunge l'apogeo con SSP a 59° W e 35° N. Il territorio coperto da un'altezza di 47668 km comprende tutto il continente americano, l'Europa, la parte nord-occidentale dell'Africa e dell'Asia. E' possibile stabilire ad esempio un QSO contemporaneo fra OM residenti in quattro continenti diversi. New York, Rio de Janeiro, Roma, Mosca e Libreville sono collegabili fra loro: nessuna banda HF consente tali prestazioni (vedasi anche il tabulato 1, all'orbita 38).



**Foto 2 •** Rispetto alla foto 1, alle ore 15 dello stesso giorno la situazione si è capovolta e Phase-3D, quasi all'apogeo (MA=112), si trova ad un'altezza di 47073 km e copre tutta l'Europa, l'Africa, l'Asia e metà dell'Australia e la parte settentrionale del Nord-America. Durante due orbite consecutive, la 38 e la 39, Phase-3D consente la copertura quasi totale del globo, con eccezione appunto dell'Antartide e della Nuova Zelanda (vedasi anche il tabulato 1 all'orbita 39).



**Foto 3 •** Alle ore 00 UTC, venti giorni dopo la data simulata del lancio, Phase-3D si trova all'apogeo ad un'altezza di 47668 km sulla verticale delle Azzorre e copre quattro continenti ma non l'Australia. Questa orbita è adatta a collegamenti da mezzi mobili e stazioni di piccola potenza con antenne di modesto guadagno.

to del perigeo, in funzione dell'inclinazione dell'orbita è la seguente (fig. 3).

$$\Delta\omega / 24\text{ore} = \frac{5,0^\circ}{\left(\frac{a}{R}\right)^{7/2} \cdot (1 - e^2)^2} \cdot (5 \cos^2 i - 1)$$

dove:

$\omega$  = Argomento del perigeo

$a$  = Semiasse maggiore dell'orbita [km]

$R$  = Raggio medio terrestre all'equatore = 6378,388 km

$e$  = eccentricità dell'orbita

$i$  = inclinazione del piano orbitale [gradi]

Determiniamo il valore di  $i$  per cui  $\Delta\omega$  si annulla.

Poniamo:  $5 \cos^2 i - 1 = 0$ , da cui  $5 \cos^2 i = 1$

$\cos^2 i = 1/5 = 0,2$ ;

$\cos i = \sqrt{0,2}$ ;

$i = \arccos \sqrt{0,2} = 63,43^\circ$

Se il secondo termine dell'equazione è uguale a zero, tutta l'equazione è uguale a zero per  $i = 63,43^\circ$  ed a tale inclinazione la variazione dell'argomento del perigeo ( $\omega$ ) si annulla.

In tale modo l'apogeo rimane sempre ad un subpoint la cui latitudine è funzione dell'argomento del perigeo ( $\omega$ ).

Se al lancio ( $\omega$ ) viene fissato a  $220^\circ$ , il perigeo avrà il suo SSP (Satellite Sub Point) ad una latitudine pari a: (fig. 4)

Latitudine perigeo =  $\arcsin(\sin i \times \sin \omega)$

dove:

$\omega$  = argomento del perigeo [in gradi]

$i$  = inclinazione [in gradi]

per cui, se  $i = 63,43^\circ$  e  $\omega = 230,73^\circ$  (a due anni dal lancio):

$$\begin{aligned} \text{Latitudine perigeo} &= \\ &= \arcsin(\sin 63,43^\circ \times \sin 230,73^\circ) = \\ &= -43,8^\circ \text{ Sud} \end{aligned}$$

Ovviamente l'apogeo dovrà avere una latitudine di segno contrario, ossia  $43,8^\circ$  N, costante ed invariabile sulla verticale di Barcellona, Sofia, Lago Aral, Vladivostok, Sapporo, Chicago, Boston, tanto per dare un'idea del subpoint.

E' evidente che  $\omega = 230,73^\circ$  favorirà di più gli OM dell'emisfero settentrionale, ma ciò rappresenta un buon compromesso fra la densità di OM operativi via satellite nei due emisferi.

Questa scelta non è definitiva e ( $\omega$ ) potrà essere aumentato solo a favore dell'emisfero settentrionale e solo nel periodo intercorrente fra l'orbita di parcheggio con  $i = 10^\circ$  e l'accensione del motore di apogeo. Solo con  $i = 10^\circ$ , a bassa inclinazione, la linea degli apsi ruota velocemente di  $0,227^\circ / 24$  ore (fig. 3).

Dopo l'accensione del motore di apogeo, con  $i = 63,43^\circ$ , nessuna variazione dell'argomento del perigeo sarà più possibile.

Appare evidente che per favorire l'emisfero meridionale, già penalizzato dal fatto che l'orbita di parcheggio è di  $10^\circ$ , il motore di apogeo da 400 newton deve essere acceso pochi giorni dopo il lancio per lasciare  $\omega = 220^\circ$ .

Ciò eviterà che durante l'orbita di parcheggio con  $i = 10^\circ$  e  $\omega = 220^\circ$ , l'argomento del perigeo aumenti troppo rapidamente, come è facilmente intuibile e calcolabile con la formula riportata.

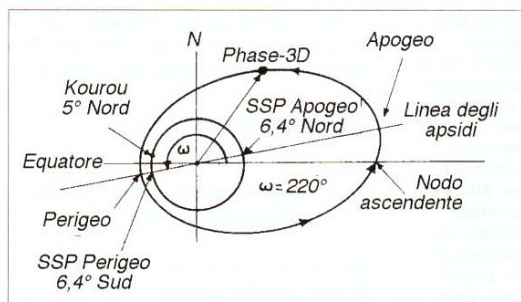
Se non ci saranno problemi successivi al lancio, l'emisfero meridionale sarà favorito; viceversa, dovendo trascorrere dei giorni per l'accensione del motore, la penalizzazione per l'emisfero meridionale sarà direttamente proporzionale al tempo trascorso. Se passerà un anno, come dai progetti, e con  $\omega = 230,73^\circ$ , l'emisfero meridionale sarà meno favorito.

### I pannelli solari

Un satellite come Phase-D, destinato al libero accesso da parte di stazioni terrene con bassa potenza uplink, deve avere trasmettitori ad alta potenza.



## Satelliti

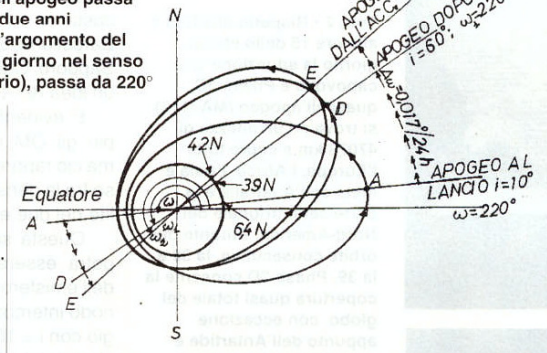


**Fig. 3 • Piano dell'orbita di parcheggio di Phase-3D subito dopo il lancio con  $i = 10^\circ$ , argomento del perigeo  $(\omega) = 220^\circ$ .**  
In queste condizioni, se il motore di apogeo non venisse acceso e se l'inclinazione restasse di  $10^\circ$ , la linea degli apsidi ruoterebbe nel senso del moto del satellite (antiorario) di una quantità calcolabile con la formula citata nel testo.

**Fig. 4 • Variazione dell'argomento del perigeo ( $\omega$ ) e della latitudine dell'apogeo al variare dell'inclinazione e del tempo.**

Con riferimento alla fig. 1, in A siamo all'orbita di parcheggio dopo il lancio con  $i = 10^\circ$  ed argomento del perigeo  $(\omega) = 220^\circ$ . Dopo la terza accensione del motore di apogeo da 400 newton, l'inclinazione (i) passa da  $10^\circ$  a  $60^\circ$  (D). L'argomento del perigeo resta  $220^\circ$ , ma la latitudine dell'apogeo passa da  $6,4^\circ$  N a  $39^\circ$  N. Dopo circa due anni dall'accensione (730 giorni), l'argomento del perigeo, variando di  $0,017^\circ$  al giorno nel senso del moto del satellite (antiorario), passa da  $220^\circ$  a  $230,73^\circ$  e la latitudine del subpoint dell'apogeo si porta da  $39^\circ$  N a  $42^\circ$  N (E), a tutto vantaggio dell'emisfero settentrionale. Per fermare la variazione dell'argomento del perigeo ed evitare che la latitudine del suo subpoint si porti fino ad un massimo pari all'inclinazione dell'orbita, bisogna accendere il motore Atos, portando

l'inclinazione da  $60^\circ$  a  $63,43^\circ$ . Con tale inclinazione, la variazione dell'argomento del perigeo si annulla ed il subpoint dell'apogeo resta ad una latitudine immutabile per tutta la vita del satellite. La formula che permette di calcolare la latitudine del subpoint del perigeo è citata nel testo.



Ciò crea il problema di un'adeguata generazione di energia elettrica.

L'unico mezzo economico per generare questa energia sui satelliti amatoriali è il classico uso dei pannelli solari a celle fotovoltaiche ad arseniuro di gallio ad elevato rendimento.

Al contrario, le sonde interplanetarie come Mariner e Voyager, che sono molto lontane dal Sole, viaggiando nello spazio interplanetario non riceverebbero energia solare sufficiente per alimentare i pannelli solari e così quelle sonde fanno uso di piccoli e potenti reattori nucleari dove un liquido surriscaldato produce vapore ad alta pressione che aziona una piccola turbina assiale con alternatore.

Phase-3-D userà sei pannelli solari, due fissi alla struttura esagonale del satellite e gli altri quattro spiegabili, due da un lato e due dall'altro, così come due grosse ali (vedasi R.R. 7/94 pag. 35 + 37).

Questa è la prima volta che un satellite amatoriale userà pannelli spiegabili nello spazio dopo il lancio. Ciò richiede servomeccanismi estremamente affidabili che durante il dispiegamento assicurino lo scorrimento regolare dei pannelli sulle cerniere, un'apertura com-

pleta, un'estensione di  $90^\circ$  ed un aggancio automatico con bloccaggio irreversibile delle cerniere a fine corsa per rendere la struttura dei pannelli rigida, solidale e priva di vibrazioni e risonanze o comunque effetti perturbatori della stabilità del satellite.

Fortunatamente l'odierna esperienza aerospaziale consente di simulare il comportamento dei pannelli mediante speciali software dedicati.

La generazione di energia elettrica, per il funzionamento di tutti i sistemi di navigazione, controllo e telecomunicazioni, richiede pannelli solari molto grandi.

Il progetto è basato su una superficie di  $4,3 \text{ m}^2$  di celle solari ad arseniuro di gallio prodotte dalla English Electric Valve Co. Ltd del tipo già usato da UoSAT-5, costruito dall'Università del Surrey nel 1993 ed ormai in orbita con successo da due anni.

Il rendimento sarà migliore di oltre il 50% rispetto alle migliori celle al silicio e potrà aumentare in funzione dei miglioramenti tecnologici verosimilmente realizzabili almeno entro il 1995.

Una delle maggiori difficoltà da superare con i pannelli è il compromesso ottimale fra rendimento delle celle, costo e grandezza

della struttura per supportare i sei pannelli solari, specie i quattro che formano le due grandi ali.

Le celle solari rappresentano uno dei costi più alti da tener conto nel budget preventivo di un satellite e sfiora i 200 mila marchi per Phase-3D. Qualunque restrizione o risparmio in questo settore energetico potrebbe rivelarsi fatale per la vita del satellite.

I pannelli solari di Phase-3D avranno una potenza di 600 W di picco e 300 W medi all'inizio della vita, con una riduzione del 40% dopo dieci anni in orbita.

Il Sole irradia una potenza di circa  $1000 \text{ W/m}^2$  sulla superficie terrestre, circa quanto basta per alimentare un paio di ferri da stiro, per intenderci. Il continuo bombardamento di particelle pesanti produce però un invecchiamento delle celle solari, di cui occorre tener conto nel dimensionamento.

Per realizzare trasponder di alta potenza, come riportato in fig. 2 di R.R. 11/94, e rimanere entro i limiti ristretti di consumo imposti dal bilancio energetico delle celle solari, bisogna che gli amplificatori di potenza a RF siano ad elevato rendimento.

Ottenere alto rendimento specialmente all'aumentare della frequenza è un traguardo impossibile da raggiungere con circuiti a RF convenzionali.

Queste difficoltà possono essere superate con l'uso di amplificatori Helaps (High Efficiency Linear Amplification by Parametric Synthesis). Questa tecnologia di avanguardia, sviluppata dalla ricerca USA, fu oggetto della discussione della tesi di laurea in fisica del dott. Karl Meinzer DJ4ZC, animatore ed organizzatore del Team internazionale per la realizzazione di Phase-3D presso l'Università di Marburg (vedasi l'editoriale dello stesso per R.R. 7/94).

L'uso dell'amplificatore Helaps ha già dato risultati affidabili sui trasponder modo-B, J ed L di Oscar-7, 8, 10 e 13.

Il principio di funzionamento è stato ampiamente discusso da Karl Meinzer DJ4ZC.

Queste tecniche Helaps consentono di costruire amplificatori di alta potenza modulari che, relativamente piccoli, saranno alloggiati sulle pareti dei sei setti di separazione della struttura del satellite, come illustrato nelle figg. 6 e 7 di R.R. 11/94.

Il progetto di amplificatori Helaps richiede una notevole esperienza in un settore poco conosciuto della RF allo stato dell'arte.

La costruzione, la ricerca dei punti di lavoro dei transistor e messa a punto di questi amplificatori esige grande perizia per garantire lunga durata e, virtualmente, immunità di guasti.

Bisogna considerare che in tanti satelliti Oscar finora realizzati, solo l'amplificatore del trasponder modo J-L di Oscar-13 è andato fuori servizio il 19 maggio 1993 e quindi la percentuale di affidabilità è altissima.

**Continua.3**