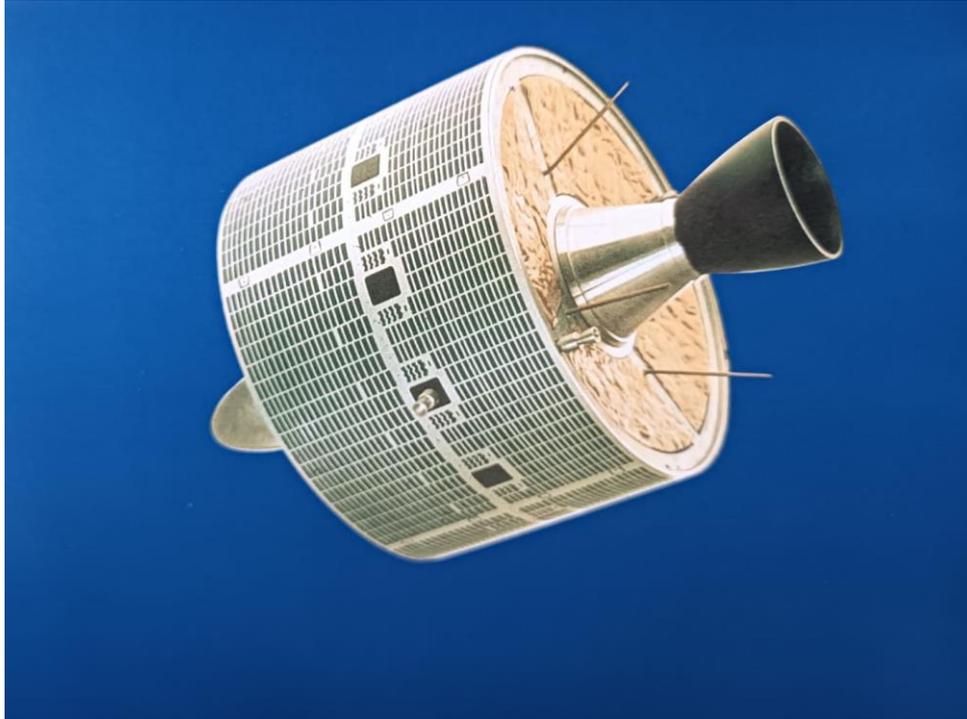


SATELLITI PER TELECOMUNICAZIONI, DAL SIRIO AD OGGI, UNA LUNGA MARCIA



Dott. Ing. Gabriele Peraldo Bertinet

Aprile 2024

PREMESSA

“Sutor, ne ultra crepidam!” “ciabattino, limitati a parlare di scarpe”.

Questo, secondo Plinio il Vecchio, disse Apelle, il più grande pittore dell’antichità, ad un ciabattino che voleva commentare un suo dipinto.

Il detto latino si adatta, ancor oggi perfettamente a quanti, pur incompetenti nel merito delle TLC via satellite per gli aspetti industriali e tecnologici, approfittano di internet (è uno dei danni collaterali della Rete) per esprimere giudizi negativi non fondati sul ruolo avuto dal SIRIO prima e successivamente da Italsat nello sviluppo delle Telecomunicazioni Spaziali.

Le considerazioni che seguono, basate sulla mia diretta esperienza in questo settore, esaminano quello che è stato lo sviluppo fino ad oggi di questi sistemi e cercano di ristabilire un giudizio obiettivo su SIRIO e Italsat che occupano due importanti gradini nella scala evolutiva dei satelliti per telecomunicazioni.

1 IL RUOLO DEL SIRIO

Prima del Sirio per le TLC satellitari si utilizzavano le frequenze fino alla Banda C (4-6 GHz) che risente marginalmente di attenuazioni e distorsioni causate da fenomeni atmosferici.

La scarsità di banda disponibile a quelle frequenze e la necessità di larghezze di banda sempre più ampie, per le applicazioni ed i servizi, ha imposto di esplorare e sperimentare l'utilizzo esteso di iperfrequenze SHF (3-30 GHz) ed EHF (30-300 GHz).

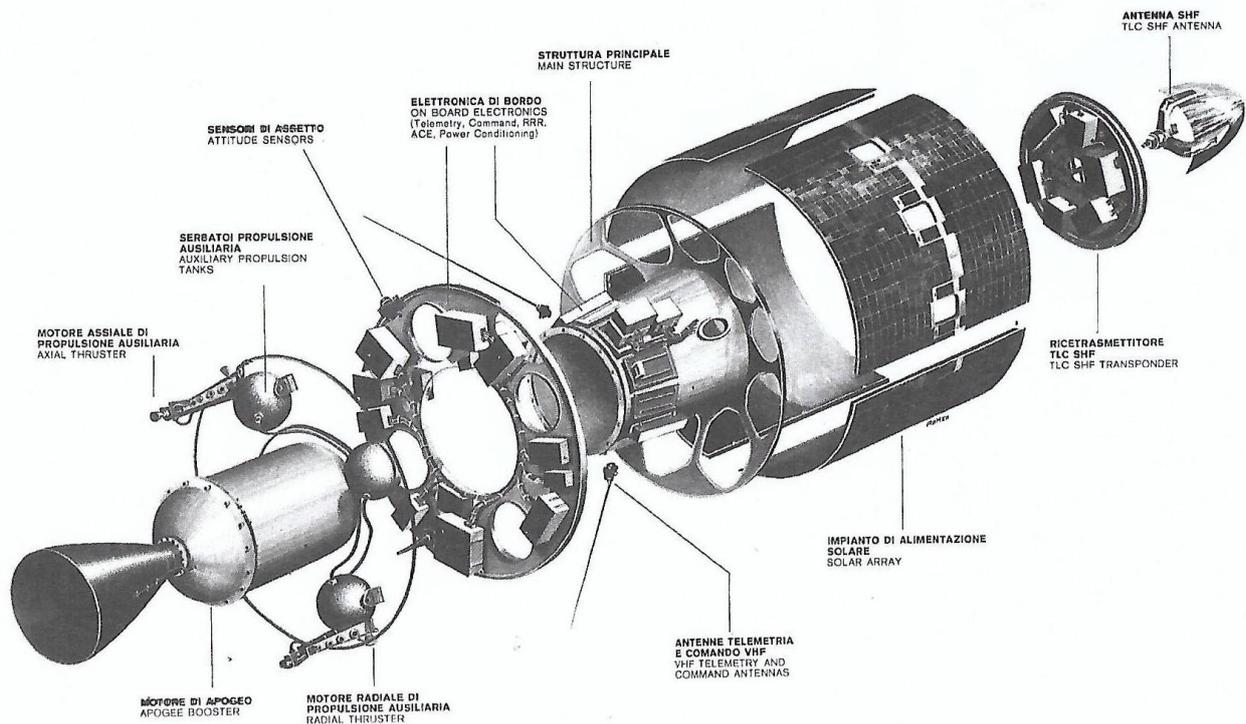
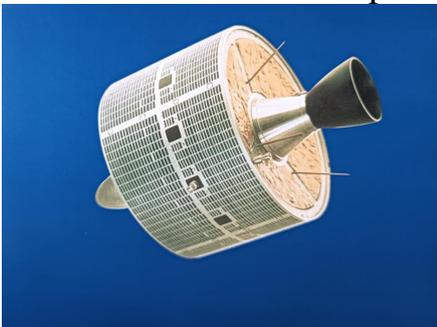


Fig. 1 Satellite Sirio spaccato

Il SIRIO è stato uno dei precursori di questi sviluppi.



Gli esperimenti di Propagazione in Banda Ku (11-186 GHz), Attenuazione assoluta e relativa, Distorsione di Polarizzazione, non sono stati solo un esercizio accademico del prof. Carassa, ma hanno consentito importanti risultati pratici. Hanno creato la

“*knowledge base*” per realizzare reti di stazioni di terra in grado di assicurare i livelli di diponibilità richiesti dai servizi di TLC.

In particolare, attraverso le misure effettuate nelle diverse zone di globo coperte, implementare strategie di “*Space diversity*” nella localizzazione delle antenne di terra per ovviare alle severe attenuazioni e distorsioni introdotte, a queste frequenze, dalle celle temporalesche.

Gli esperimenti di Comunicazione a Banda Larga e Banda Stretta di SIRIO hanno validato l’utilizzo delle frequenze SHF per Televisione, Trasmissione dati, Telefonia.

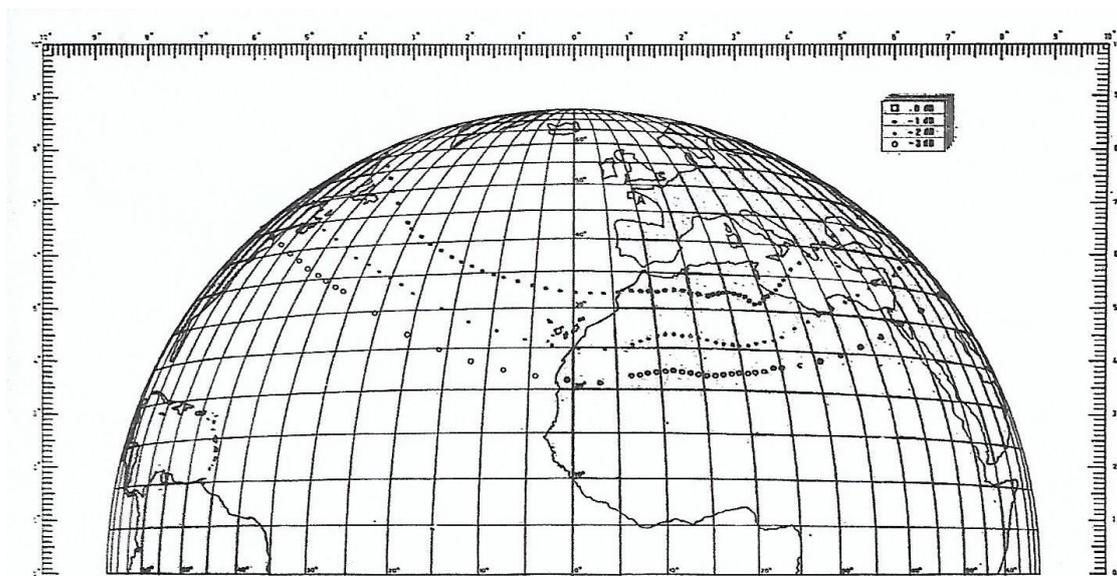


Fig. 3. - SIRIO coverage area. Pointing A

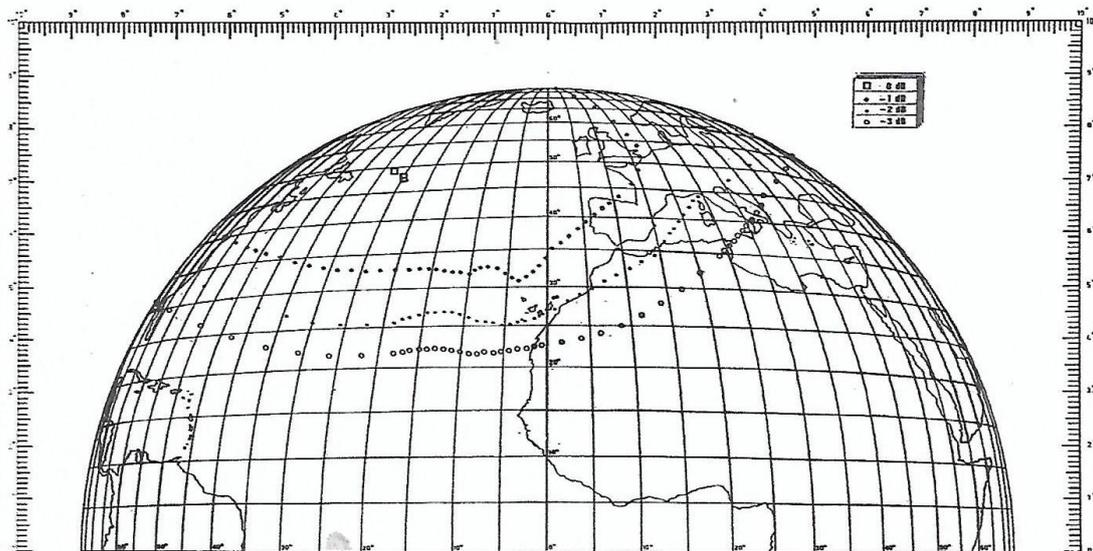


Fig. 4. - SIRIO coverage area. Pointing B

A mia conoscenza, SIRIO è stato il primo satellite al mondo a utilizzare in up-link la frequenza di 17,8 GHz per il segnale televisivo, ancora oggi usata per la TV Diretta da Satellite (Sky ed altri).

Alla sperimentazione SIRIO hanno partecipato alcuni tra i più importanti operatori ed enti di ricerca satellitari in Europa ed America del Nord.

Approfondimenti:

<https://apps.dtic.mil/sti/pdfs/ADA267914.pdf>. Per SIRIO, pag.38-40; Per ITALSAT, pag. 237-238

La Cina mostrò grande interesse a partecipare alla sperimentazione; per consentire di utilizzare il satellite e garantire la copertura del suo territorio, alla metà degli anni '80 SIRIO fu spostato sopra l'Oceano Indiano. Un mio collaboratore passò tre anni a Pechino per operare una stazione di terra fornita ai cinesi da Telespazio. Ricordo che all'inaugurazione del collegamento satellitare Fucino-Pechino via SIRIO, allo scambio dei convenevoli di rito intervennero le massime autorità da parte della Repubblica Popolare Cinese.

Il risultato a mio avviso incontrovertibile del progetto SIRIO è di aver consentito all'industria spaziale nazionale manifatturiera e dei servizi di acquisire le competenze di base, a livello sistemistico, necessarie per realizzare e gestire Sistemi di TLC via Satellite.

Questo sia per quanto riguarda la costruzione del segmento spaziale e del segmento terreno, che per lo svolgimento delle operazioni di controllo in orbita in tutte le fasi della missione di un satellite.

Le competenze sistemistiche, successivamente implementate con la partecipazione a progetti sempre più complessi e tecnologicamente avanzati, come Italsat, hanno permesso di consolidare la posizione dell'industria nazionale ai vertici mondiali del settore.

2 SUCCESSIVI SVILUPPI DEI SATELLITI DI TELECOMUNICAZIONI

L'impiego delle frequenze nelle Bande Ku (11-18 GHz) e Ka (20-30 GHz) ha consentito di realizzare a bordo dei satelliti antenne a più elevato guadagno e di utilizzare a terra terminali con antenne di dimensioni sempre più ridotte.

Questo ha provocato una "rivoluzione copernicana" nelle modalità di erogazione e fruizione dei servizi di TLC via satellite.

Prima di allora, con la Banda C (4-6 GHz) utilizzata e condivisa con i ponti radio terrestri, i servizi satellitari venivano terminati in grandi antenne (30 mt.) come quelle del Centro Spaziale del Fucino, localizzate in siti remoti protetti e liberi da radio-

interferenze terrestri. Si rendeva necessario l'impiego di lunghe code terrestri di ponti radio e cavi per il collegamento ai *Broadcaster* TV ed alle Società di TLC.

Con l'uso della Banda Ku è stato possibile, con antenne più piccole, fornire direttamente presso le sedi di questi Operatori ed in alcuni casi all'utilizzatore finale, i servizi di TLC via satellite. Le antenne da 80 cm diffuse sul territorio per la TV diretta da satellite e le V-Sat per Servizi all'utenza affari sono l'esempio più rilevante di questo fenomeno.

Qui di seguito vorrei riportare alcuni degli esempi, a mio avviso più significativi, per il successo di mercato conseguito o per i risultati tecnologici raggiunti di questi sviluppi successivi al SIRIO.

2.1 SATELLITI GEOSTAZIONARI IN BANDA KU PER SERVIZI TELEVISIVI

Tra le TLC spaziali questo settore applicativo può essere considerato il più importante sia per la rilevanza economica, che per l'influenza esercitata sulla nostra società dell'informazione. L'impiego del satellite ha facilitato e determinato la *deregulation* del comparto radiotelevisivo, in Italia e altrove, modificandone l'assetto con l'insorgere di nuovi operatori televisivi (*Broadcaster* e Fornitori di contenuti) privati a livello nazionale, regionale e globale, che ha caratterizzato l'affermarsi della TV commerciale.

Il satellite ha inciso profondamente sul mondo dell'informazione modificandone i processi e le modalità di erogazione e fruizione con importanti risvolti politici. Ha avuto un grosso impatto sui mondi dell'*entertainment* e dello sport, allargandone il mercato di riferimento con importanti ritorni commerciali.

Dal punto di vista tecnologico i satelliti per la TV non hanno comportato salti significativi, ma rappresentano la naturale evoluzione di quanto precedentemente sperimentato (SIRIO, OTS, ECS etc.).

Vi sono sostanzialmente due tipologie di satelliti:

I. Satelliti per servizi di trasporto del segnale TV per conto dei Broadcaster

Questi satelliti (Eutelsat ed Intelsat ad esempio) vengono utilizzati per realizzare reti per collegamenti punto-punto, punto multipunto tra antenne fisse e mobili autotrasportate sia per le contribuzioni agli studi, sia per la distribuzione del segnale TV dagli studi ai trasmettitori circolari di diffusione a terra¹.

¹ L'impiego di una rete satellitare con le funzionalità soprariportate, fornite assieme al segmento spaziale da Telespazio, ha determinato il successo di Mediaset che, pur priva di una rete terrestre di ponti-radio e cavi, ha potuto in questo modo sin dall'inizio coprire l'intero territorio nazionale con un'offerta diversificata di servizi TV in tempo reale.

II. Satelliti DVBS per televisione diretta

Rientrano in questa categoria i ben noti satelliti Hot Bird di Eutelsat e quelli di Astra oggi nel mercato. A copertura europea, con una offerta da parte di operatori come Sky o TV-Sat, di centinaia di canali in chiaro o a pagamento.

Come *case study* è interessante ricordare che i precedenti tentativi di satelliti domestici per televisione diretta come TV-Sat (Germania), TDF (Francia) e Olympus erano miseramente falliti per il loro approccio *technology-driven*.

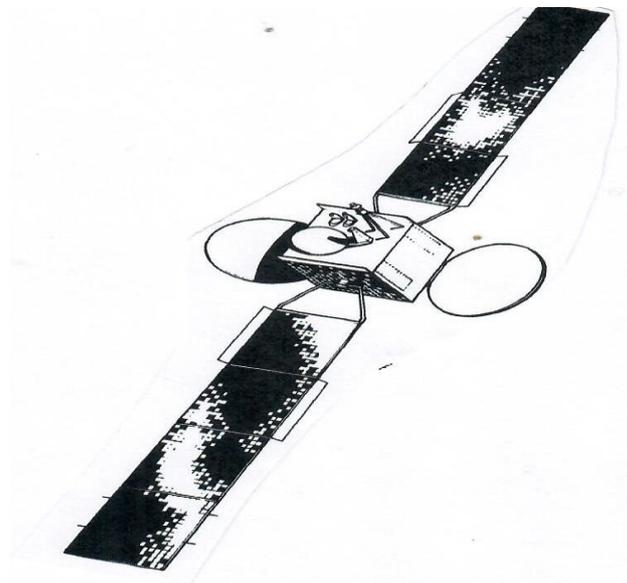
L'approccio *market-driven* di Eutelsat ed Astra ha avuto un grande successo: "*the content is the king*".

Per avere un'idea della rilevanza di questi servizi vi sono attualmente in Italia 20 milioni di utenti, 200 milioni in Europa, miliardi nel mondo.

Il valore di servizi ed applicazioni abilitati dalla tecnologia satellitare è di oltre un ordine di grandezza superiore al costo del segmento spaziale.

Il fatturato di Eutelsat per il 2022 è stato 1,1 miliardi di euro, quello di Sky Europa 18 miliardi di euro.

2.2 ITALSAT UNA STORIA ITALIANA



Nasce con gli studi finanziati nel 1978/79 dal CNR per rispondere alla necessità di dare un seguito al SIRIO consolidando l'esperienza sistemistica dell'industria spaziale italiana.

La scelta di rimanere nel settore delle telecomunicazioni fu quasi obbligata dall'emergere di quel mercato in campo internazionale e dall'assenza di alternative in campo applicativo: i satelliti di telerilevamento erano agli albori in Europa (esistevano i Landsat USA, Spot 1 è del 1986). Operante in Banda Ka (20-30 GHz) Italsat era, quando è stato lanciato nel 1991, il più avanzato satellite TLC a livello

mondiale con rigenerazione (demodulazione/modulazione), commutazione del segnale in banda base, riconfigurazione del traffico (BB-SS-TDMA-DAMA); tra i primi a sperimentare la Banda V (40-75 GHz) con il *payload* di propagazione, effettivamente ai limiti dello stato dell'arte.

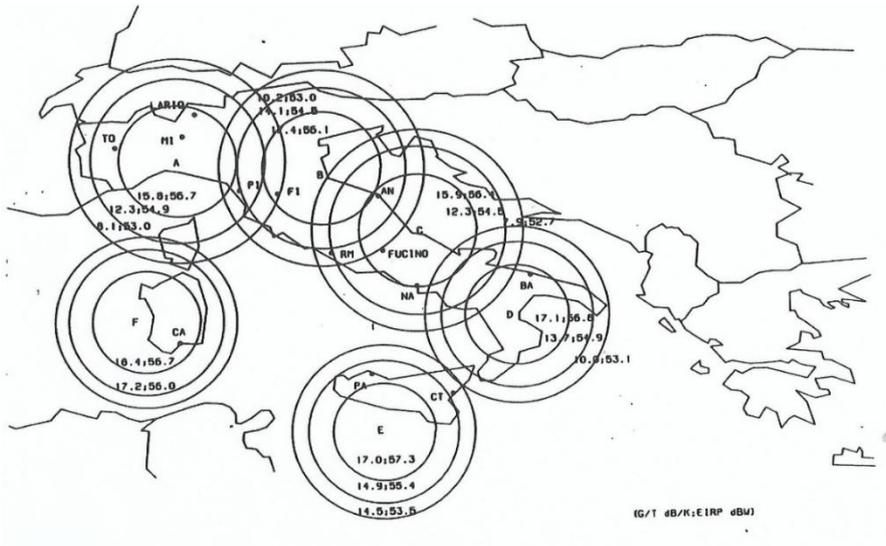


Fig.5. Copertura *Payload* Multifascio



Fig. 6 – Copertura *Payload* Globale

Un satellite con caratteristiche e missione simile ACTS (Advanced Communication Technology Satellite) è stato lanciato da NASA-DARPA nel 1993.

Italsat è stato una rivoluzione copernicana nell'uso del satellite: prima come un ponte radio nel cielo, dopo come una rete di TLC nello spazio. Nella situazione di monopolio delle TLC nazionali vigente in Italia fino al 1999, la definizione dei

requisiti della missione e la fornitura dei servizi sono state di competenza SIP. SIP che vedeva nei satelliti una minaccia alla propria rete terrestre, come possibile strumento di deregulation dei servizi, accettò “*obtorto collo*” di partecipare al progetto per pressioni politiche e su sollecitazione della capogruppo STET proprietaria anche di Telespazio (e fino al 1983 di Selenia), contribuendo al finanziamento del progetto con i costi del lancio di Italsat2 e delle stazioni di terra, ma assegnando al satellite un ruolo marginale di “*network oriented*”.

Nella Rete Gerarchica PSTN SIP le sette stazioni Italsat furono integrate solo nel *backbone* a livello dei Distretti SGT (Stadi Gruppo di Transito) tra i quali i collegamenti in fibra ottica erano già sovrabbondanti, limitando l’uso del satellite allo smaltimento del traffico di trabocco e a funzioni di *back-up* in caso di emergenza.

Con queste premesse non si è riusciti a giustificare l’utilità e sostenibilità economica di una missione, come quella concepita per il multi fascio, che creasse le premesse per successivi sviluppi ed Italsat è rimasto un’operazione sterile “*oneshot*” senza ricadute per i servizi TLC nazionali.

Nel campo delle ipotesi, una maggior penetrazione di Italsat ai livelli inferiori della Rete SGU (stadi di gruppo urbani) e LE (*Local Exchange*), avrebbe avuto un maggior impatto e prospettive, ma con una sostenibilità economica tutta da verificare per l’alto numero di stazioni richiesto e la capacità di adattarsi ai requisiti di disponibilità richiesti dall’evoluzione della rete e dei servizi verso la ISDN e IP (*Internet Protocol*).

Bene altra sarebbe stata, a mio avviso, l’utilità di un satellite “*user oriented*” con accesso diretto mediante piccoli terminali degli utilizzatori finali, che fornisse una rete completa, a tutti i livelli, interfacciata ed interoperabile con la rete terrestre. Avrebbe consentito di risolvere i problemi e le carenze dell’*ultimo miglio* ancora presenti nella rete italiana di oggi.

Purtroppo SIP era ideologicamente ostile, non disposta ad accettare una soluzione “*user oriented*” ed uno scenario di questo tipo che bypassava la sua rete.

L’estensione delle coperture a livello regionale Europeo, il *time to market* possibile allora, tenuto conto della carenza di collegamenti terrestri nell’Europa dell’est, avrebbe potuto garantire la sostenibilità economica dell’impresa non conseguibile con un satellite solo domestico. Vi furono tentativi di promuovere sviluppi in tale direzione, ma risultarono infruttuosi.

Nel corso del programma Italsat, nel 1999, si è completata la privatizzazione delle TLC in Italia.

Olivetti (Colaninno) e successivamente Pirelli (Tronchetti Provera) sono subentrati come azionisti di riferimento della SIP, diventata Telecom Italia, con un’operazione

che il Financial Times definì “una rapina a cielo aperto” perpetrata a danno dei risparmiatori, piccoli azionisti, ma che detenevano complessivamente il 65% delle azioni.

I nuovi amministratori, in una logica puramente speculativa hanno smesso di fare investimenti significativi e strategici per la rete, ivi incluso il satellite.

Telecom Italia è uscita dal settore satellite vendendo anche tutte le partecipazioni azionarie nei Consorzi Internazionali Intelsat, Immarsat ed Eutelsat, precedentemente in capo a Telespazio, che avevano assicurato al Paese importanti ritorni industriali e finanziari, nonché un ruolo di operatore del segmento spaziale.

I nuovi azionisti di riferimento per far fronte ai debiti, contratti con le banche per il controllo di Telecom Italia, hanno svenduto anche tutti gli *asset* possibili: patrimonio immobiliare e partecipazioni detenute in società di TLC in tutto il mondo.

Il risultato finale: Telecom Italia da sesto operatore a livello mondiale è retrocesso oggi al ventesimo posto. Il fatturato rispetto al 1999 si è ridotto, in termini reali, a quasi un terzo, i dipendenti sono scesi da 120.000 a meno di 40.000, il valore delle azioni deprezzato.

In questi giorni Telecom Italia, diventata ora TIM, sta vendendo a KKR (fondo americano) la propria rete per poter sopravvivere:

“Sic transit gloria mundi”.

Per l’ASI Italsat resta comunque un grosso successo tecnologico per aver consentito all’industria nazionale di consolidare le competenze sistemistiche e porsi al vertice del settore, anche nel ruolo di *prime contractor* in programmi sempre più impegnativi (SICRAL, Artemis, Iridium Next, ecc., per restare nelle sole TLC).

2.3 COSTELLAZIONI LEO, UN CASE STUDY: IRIDIUM

L’impiego di costellazioni LEO (*Low Earth Orbit*) nasce dalla necessità di soddisfare tre requisiti:

1. Poter utilizzare i servizi di TLC mobili via satellite terminali portabili di piccole dimensioni e con caratteristiche simili ai cellulari terrestri in virtù della minor attenuazione di tratta rispetto ai GEO;
2. Ridurre la latenza connessa all’utilizzo dei satelliti GEO a valori prossimi a quelli delle reti terrestri, rendendo possibili numerose applicazioni quali telemedicina IOT (*Internet of Things*), *gaminge* più accettabili i servizi voce;
3. Coprire anche le zone polari e ad elevata latitudine sopra i 60°, precluse ai satelliti GEO.

Rispetto ad una costellazione GEO, che con tre satelliti a 120° l'uno dall'altro copre teoricamente l'intero globo, le costellazioni LEO richiedono, per fornire servizi globali, l'impiego di molti satelliti il cui numero sale in funzione delle dimensioni dei *footprint* delle antenne di bordo e, in sostanza, delle larghezze di banda offerte. Questo porta a dover sostenere costi di investimento, per la soluzione LEO, di un ordine di grandezza superiore rispetto a quella GEO, rendendo impegnativo il *break even* economico e critiche le scelte di mercato.

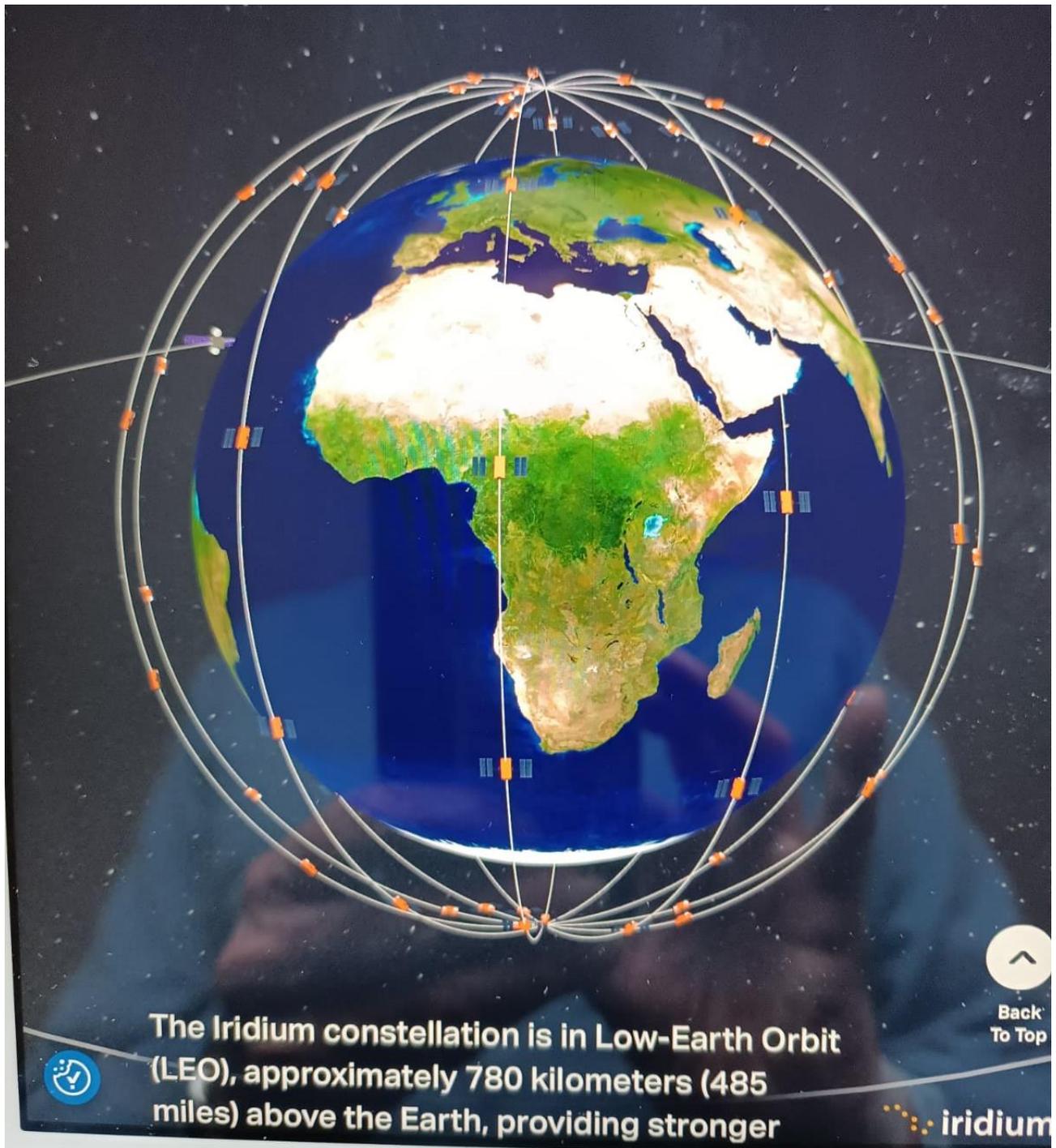


Fig. 7 – Orbital Planes

Iridium è una costellazione di 66 satelliti ripartiti in sei piani orbitali polari equispaziati ed interconnessi tra di loro.

È nato per fornire una rete satellitare per telefonia mobile interoperabile con quella terrestre.

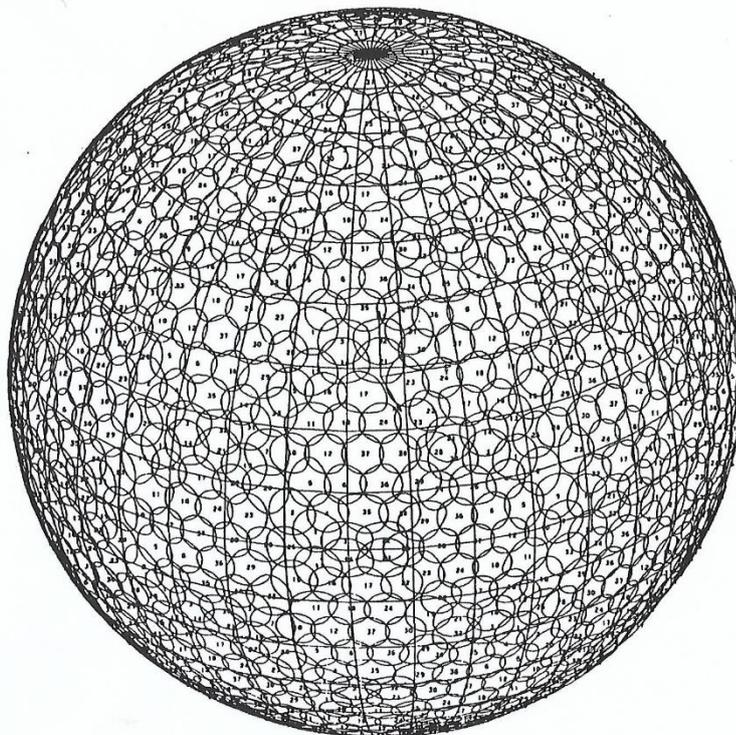


FIGURE V-2 GLOBAL SPOT BEAMS

Fig. 8 – Copertura Globale Iridium

- 51a -

Impiega la Banda L (1-2 GHz) per i terminali e la banda Ka (20-30 GHz) e l'*Intersatellite Link*² utilizza un *payload* con rigenerazione e commutazione a bordo del segnale in banda base (v. Italsat).

Il progetto è stato un grande successo tecnologico, il sistema più avanzato di allora (1997), i suoi satelliti hanno perfettamente funzionato per venti anni.

Dal punto di vista industriale, le imprese nazionali sono state significativamente coinvolte: Telespazio per lo sviluppo del segmento terreno e le operazioni in orbita della prima generazione, Thales Alenia Space per la fornitura dei satelliti della attuale seconda generazione Iridium Next.

L'investimento per realizzare Iridium era stato di ben 5 miliardi USD e la situazione economico-finanziaria diventò sin dal principio insostenibile. Un "*time to market*" con

²Ogni satellite è collegato ai 4 satelliti contigui 2 dello stesso piano orbitale 2 nei piani orbitali adiacenti.

un ritardo di circa 5 anni rispetto al previsto, con le operazioni che iniziarono solo nel 1998 e l'affermarsi, nel frattempo dello standard terrestre GSM come servizio globale di telefonia mobile, grazie agli accordi di roaming tra gli operatori TLC, misero in crisi il progetto.

Il mercato indirizzabile si era ridotto a quello delle aree non coperte dalle reti terrestri.

Il numero di utenti dopo due anni dall'inizio delle operazioni risultò di 10.000 invece dei 50.000 previsti.

Di fronte alla situazione economicamente insostenibile l'azionista di maggioranza e gestore Iridium SSC (Motorola) fece ricorso al "Chapter 11" della legge USA e dichiarò fallimento.

A quel punto Iridium avrebbe dovuto chiudere, ma intervenne il Pentagono USA che ne ritenne il servizio irrinunciabile. L'US Army risultò il maggior cliente per tutte le sue operazioni a livello globale, non strettamente belliche, dominio dei satelliti militari, e per l'impiego da parte del personale militare in tutte le zone del mondo anche se prive di infrastrutture.

Il DOD USA finanziò il prosieguo delle operazioni e fece in modo che una nuova società Iridium Communications subentrasse a Motorola rilevando, a un costo stracciato (circa 500 milioni di USD) tutti gli *asset* e assicurasse la resa dei servizi.

La nuova società, attualmente quotata al NASDAQ con una capitalizzazione di 2 miliardi di USD, oltre a proseguire con le operazioni è riuscita ad aggregare interessi e raccogliere capitali per 3 miliardi di USD per realizzare la seconda generazione Iridium Next entrata in esercizio nel 2017. Il governo della Francia, attraverso le sue banche ha assicurato un finanziamento di 1,8 miliardi di USD: il segmento spaziale di Iridium Next è stato affidato a Thales Alenia Space.

Iridium Next fornisce servizi internet a media velocità, servizi per il controllo degli aerei dell'aviazione civile e spinge sulle nuove applicazioni D2D (*Device to Device*) IoT (*Internet of Things*). Attualmente conta su 2,2 miliardi di utenti ed Iridium Communications prosegue l'attività con un bilancio economicamente positivo.

Il caso Iridium è una riprova della validità del satellite e della sua strategicità ed utilità al di sopra di mere considerazioni economiche.

2.4 LE NUOVE COSTELLAZIONI LEO PER INTERNET A BANDA LARGA, OSSERVIAMO DALLA TRIBUNA

A differenza dei precedenti, questo capitolo è "in negativo": non su quello che abbiamo fatto, ma su cosa non stiamo facendo. L'industria nazionale ed europea non

è più tra i *players* di questi sistemi, ma si limita ad osservare dalla tribuna la partita in gioco, sperando forse che le nuove iniziative falliscano.

Le costellazioni LEO cui si fa riferimento sono Starlink e Project Kuiper.

Della prima sono disponibili ampie informazioni di mercato, i servizi iniziati nel 2022 sono accessibili anche in Italia tramite la filiale Starlink-Italia S.r.l.

Le informazioni tecniche a disposizione sono molto limitate per cui dobbiamo limitarci ad aspetti di carattere generale.

2.4.1. STARLINK

Di proprietà di SpaceX (Elon Musk) ha come obiettivo il mercato globale di internet a larga banda non servito dalle reti terrestri.

Internet conta, a livello nazionale, 5,3 miliardi di utenti pari al 65% della popolazione, che si riducono a molti meno di 1 miliardo per quanto riguarda l'accesso alla larga banda³. Si può parlare di “*broad band divide*”.

L'offerta è articolata per vari segmenti di mercato che vanno dal residenziale consumer, a business, a *enterprise* per vari settori di *industry*: Marittimo, Aviazione, Cantieristica, oltre a tutto il comparto *Government* ed Emergenze.

Starlink fornisce le antenne ed i terminali per i diversi tipi di servizi, fissi e mobili, con una gamma di offerte a prezzi variabili in funzione della velocità di collegamento. I prezzi sono comparabili con quelli delle reti terrestri.

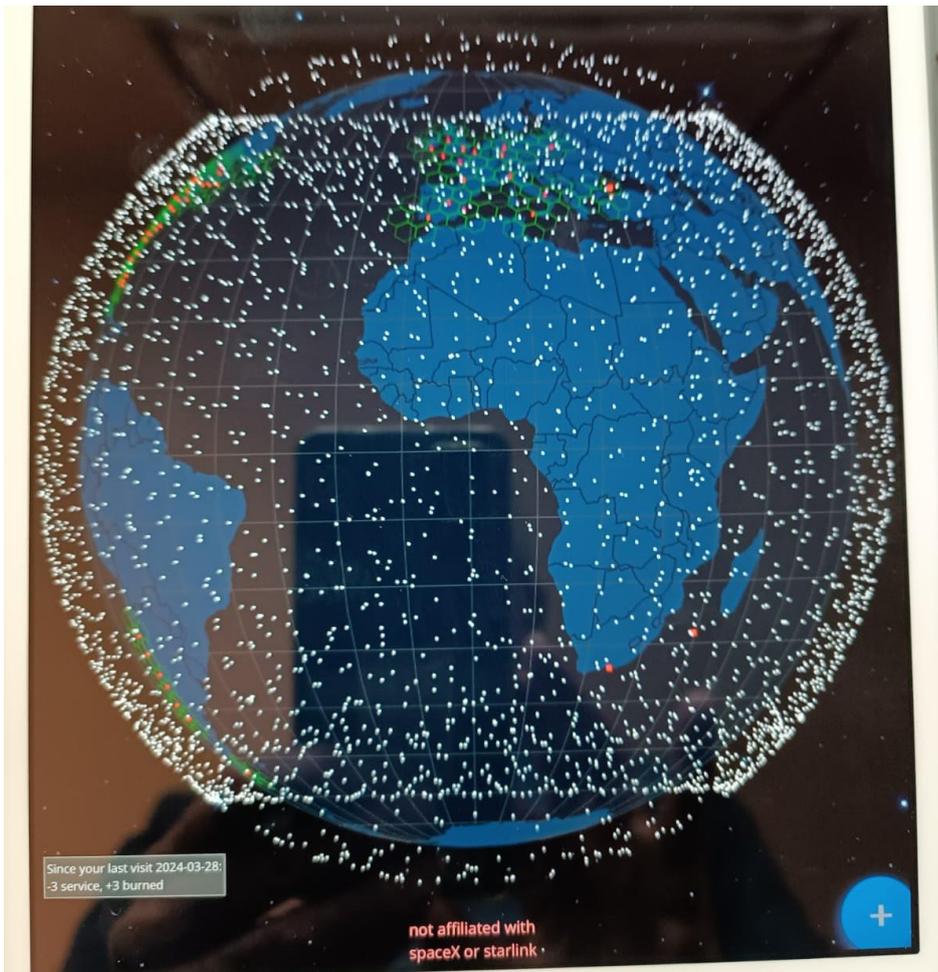
Elon Musk prevede un investimento di 20-30 miliardi di USD. L'elevato numero di satelliti in orbita, attualmente più di 6000, previsto crescere a 12.000, pone seri problemi di condivisione dello spazio extraterrestre; per citarne alcuni:

1. Affollamento delle orbite basse, non si tratta di “*space debris*”: i satelliti Starlink sono controllati nella loro posizione orbitale, dotati di propulsione elettrica, a fine missione vengono deorbitati e fatti rientrare in atmosfera⁴.
2. Rischio di collisione tra satelliti con i razzi lanciati da terra nello spazio, in particolare nel caso del volo umano. Questo richiede un continuo ed accurato controllo orbitale delle migliaia di satelliti con eventuali manovre di riposizionamento.
3. Interferenze con le osservazioni astronomiche: radio emissioni dei satelliti riflesso del sole sui pannelli solari, entrambi non facili a controllare⁵.

³In Italia più di 9 milioni di abitazioni non sono ancora connesse alla larga banda.

⁴Comunque alla quota orbitale di 540 km, come 60 anni fa ci ha insegnato la Bilancia Broglio dei satelliti San Marco, il drag della ionosfera è notevole ed un satellite non rientra in atmosfera prima di 5 anni.

⁵In futuro per operare tranquilli forse gli astronomi dovranno andare sulla faccia nascosta della luna.



Starlink realizza una rete 5G globale via satellite, che non si posiziona come alternativa o in competizione con quelle terrestri, ma ad esse interconnessa tramite i gateway, complementare ed interoperabile per fornire servizi *seamless* tra terminali terrestri e terminali satellitari, tra i partner di Space X vi sono alcuni dei principali operatori di TLC a livello mondiale⁶.

Dal punto di vista tecnologico con Starlink prosegue la corsa verso la parte alta delle iperfrequenze EHF e le frequenze ottiche: oltre alla Banda L, Ku, Ka, vengono utilizzati le bande V (40-75 GHz), W (75-111 GHz) e LISL (*Laser Intersatellite Link*). Si fa ricorso alle tecniche più avanzate di rigenerazione e commutazione del segnale in banda base a bordo e di riuso delle frequenze. SpaceX provvede al lancio e alla messa in orbita di satelliti. Riesce a lanciare fino a 60 satelliti con un unico razzo.

La non partecipazione della nostra industria spaziale a programmi di questa rilevanza può scavare un gap non recuperabile sia tecnologico che sul piano delle conoscenze e competenze necessarie per la gestione e l'esercizio di sistemi complessi come le reti satellitari⁷.

⁶Gli *smartphone* di ultima generazione come Iphone 15 possono direttamente accedere ai nuovi Starlink per messaggi SMS in caso di emergenza.

⁷V. Appendice

2.4.2. Project Kuiper

Di proprietà Amazon (Jeff Bezos) è il competitor di Starlink.

Il progetto è in fase di *deployment* e se ne prevede l'operatività entro il 2026. La costellazione è costituita da 3236 satelliti a quote di 590 Km, 610 Km e 630 Km.

La copertura di servizi sembra sia limitata alla zona sferica della Terra, compresa tra le latitudini 56°N e 56°S; le zone prossime ai poli non sono considerate interessanti come mercato.

Viene offerta una velocità di download fino a 1 Gbit/sec, superiore a quella di Starlink (220 M bit/sec).

I dati a disposizione su Project Kuiper sono estremamente limitati per cui è impossibile fare raffronti.

Jeff Bezos prevede un investimento di 10 miliardi USD.

Si completano così queste brevi considerazioni sulle costellazioni LEO per internet a banda larga. Altri sistemi attualmente sul mercato non sono, a mio avviso, paragonabili e competitivi per prestazioni e capacità offerta.

Tutto verrà a giocarsi sulla sostenibilità economica e redditività delle due iniziative esaminate.

Elon Musk e Jeff Bezos non sembrano degli sprovveduti su questo campo e si contenderanno un mercato che, nei prossimi cinque anni, è previsto raggiungere il valore di 19 miliardi di USD all'anno.

A circa due anni dall'inizio delle operazioni Starlink ha superato i 2 milioni di utenti; molti meno di quanti inizialmente previsti nel 2015, per cui i prezzi dei servizi offerti sono stati ultimamente notevolmente abbassati; l'esperienza Iridium deve insegnare.

Elon Musk prevede di raggiungere il *break even* economico nel 2024 e di procedere quindi all'IPO con la quotazione al Nasdaq.

5.CONCLUSIONI

Gli avvenimenti bellici in corso in diverse parti del mondo stanno ridando centralità e importanza strategica ai satelliti di TLC.

I satelliti, Starlink in particolare, vengono ampiamente utilizzati in queste situazioni in cui le infrastrutture terrestri sono le prime ad andare in crisi,

Gli operatori tradizionali di TLC dopo il 2000 hanno progressivamente marginalizzato l'impiego del satellite affidandosi, quasi esclusivamente, ai cavi a fibra ottica, che stanno anche dimostrando la loro vulnerabilità (attentato degli Houthi ai collegamenti sottomarini nel Mar Rosso).

Fino agli anni 2000 il traffico internazionale di TLC era ripartito equamente tra fibra ottica e satellite, successivamente hanno prevalso considerazioni solo economiche, anche a scapito della qualità dei servizi.

Da quanto emerge dai precedenti capitoli, il ruolo dell'industria spaziale di Europa ed Italia rischia di diventare marginale o inesistente nello sviluppo di nuovi sistemi/costellazioni di satelliti.

Il valore globale della *space economy* ha raggiunto nel 2022 il valore di 469 miliardi di dollari.

Nel 2022 i finanziamenti pubblici per tutto il settore spaziale sono stati di 103 miliardi di USD, 60% USA, 15% Europa (per metà ESA), come riporta il saggio "Europa in the Global Space Economy".

Le Telecomunicazioni via satellite sono scomparse praticamente dall'agenda di ESA ed ASI dopo il 1990 (Italsat). Ha prevalso la vulgata dei professori di fisica: "le telecomunicazioni sono un settore maturo, devono pensarci gli Operatori TLC commerciali". Da qui l'attuale irrilevanza di questi enti per il settore delle telecomunicazioni.

In Europa non esiste la capacità di aggregare interessi e competenze per proporre investimenti al livello USA per decine di miliardi di dollari⁸.

Non ci sono in Europa gli "*animal spirits*" (Keynes) dell'economia USA che assicurano a quel sistema la supremazia nel mondo.

La Commissione Europea ha affidato al prof. Mario Draghi l'incarico di redigere, entro giugno 2024, un rapporto sulla "competitività dell'industria Europea". Penso che dovrà riguardare anche l'industria spaziale. Dalle prime anticipazioni emergono anche le modifiche, auspicabili della stessa UE, sul piano delle attribuzioni dei compiti e degli strumenti finanziari necessari per rispondere alle nuove sfide globali. Come tutti quelli che hanno dedicato la loro vita lavorativa a questo settore, mi auguro che per la nostra industria possa continuare la *lunga marcia* iniziata con il SIRIO nei lontani anni '70.

Guardando ad un futuro prossimo i satelliti di TLC sono destinati a svolgere un ruolo importante anche nelle esplorazioni dello spazio extraterrestre vicino alla Terra e, successivamente, dei pianeti del sistema solare. Le costellazioni da "globali" sono destinate a diventare "planetarie".

Supporteranno le attività umane e robotiche, assieme a sistemi satellitari di navigazione e telerilevamento, sul suolo lunare e dei pianeti.

La *lunga marcia* è destinata a proseguire ed espandersi anche oltre gli attuali confini.

Ci saremo anche noi europei?

⁸Gli Operatori TLC in Europa, polverizzati in 45 soggetti, sono in crisi di redditività ed hanno perso la capacità di investimento del passato

Connection *Handover* in LEO Constellations

Questa funzionalità del Centro di Controllo TLC è paradigmatica della complessità ingegneristica e *knowledgebase* richiesta per la gestione di una costellazione LEO di satelliti.

L'*Handover* è quella funzionalità presente anche nelle reti terrestri di cellulari: consente di mantenere la continuità di una chiamata quando l'utente mobile si sposta da una cella a quella contigua; avviene in modo semplice ed inavvertito.

Con i satelliti che a differenza dei radiobase di Terra fissi si spostano ad una velocità di circa 30.000 Km/h nello spazio, le cose si complicano.

I satelliti LEO come si dice con un termine aulico, sono occidui: sorgono e tramontano.

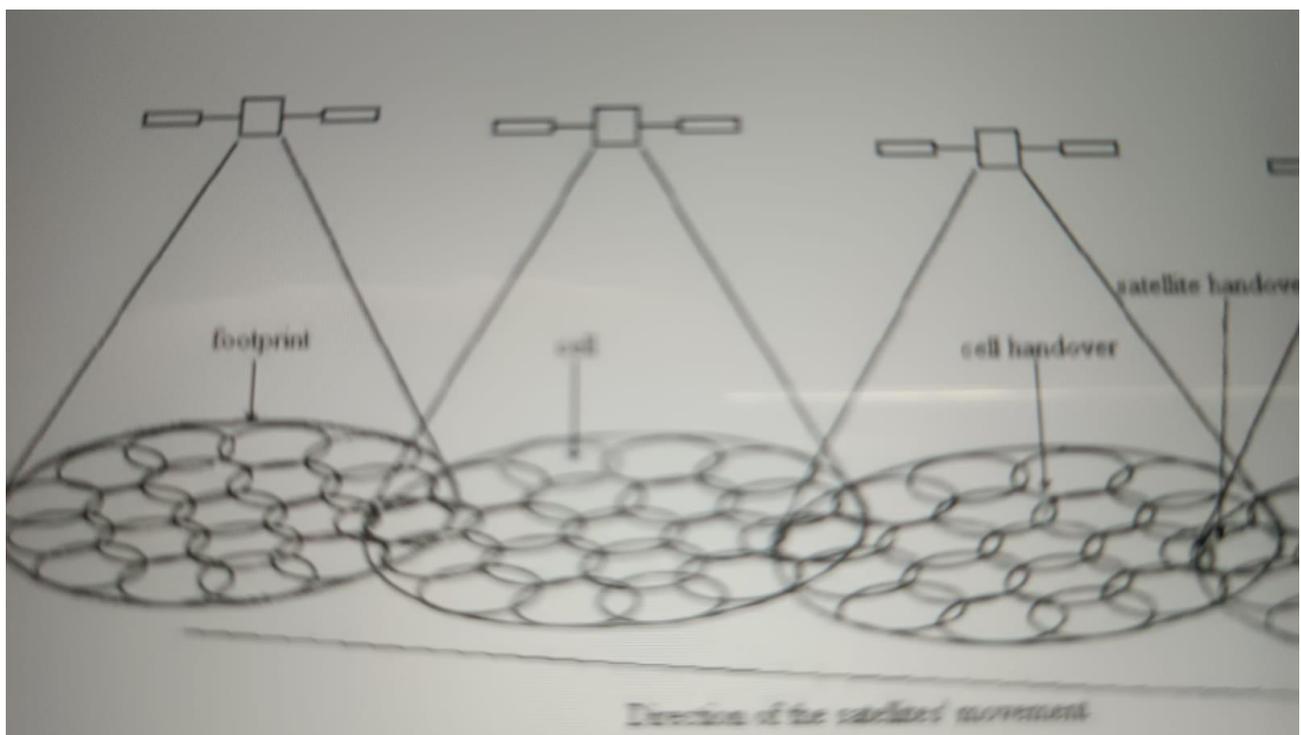


Fig. 9

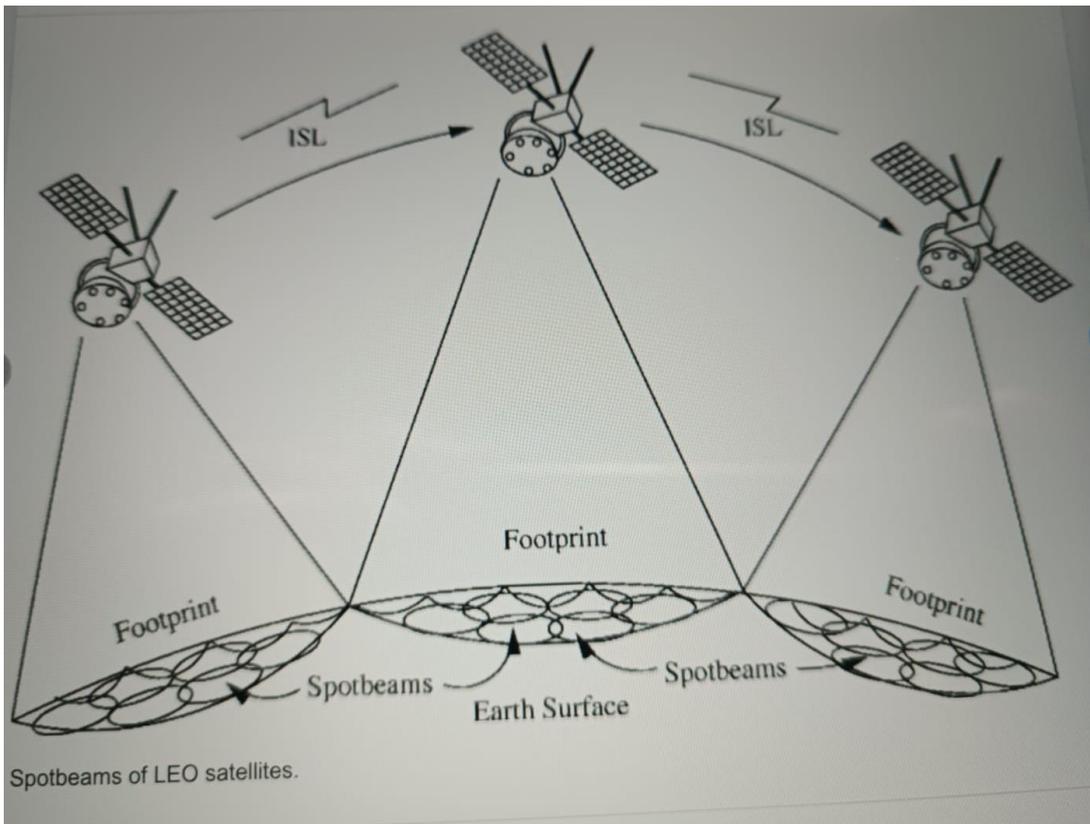


Fig. 10

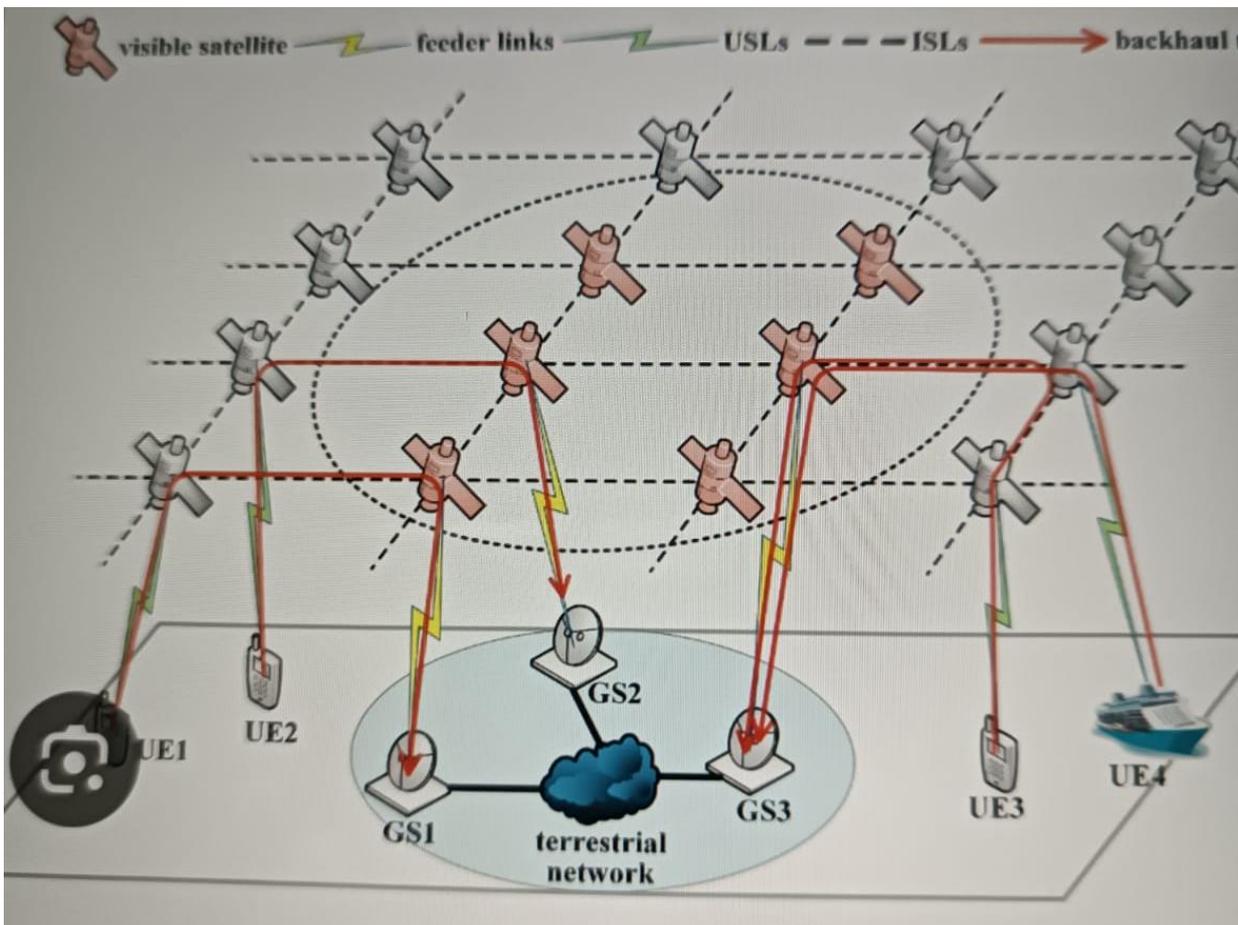


Fig. 11

Ogni satellite copre un utente fisso a terra per un periodo limitato: 10 minuti nel caso di Iridium (11 satelliti per piano orbitale), 5 minuti circa nel caso si Starlink (22 satelliti per piano orbitale). Prima che tale intervallo di tempo termini tutte le chiamate originate dal *footprint* di questo satellite vanno trasferite al satellite che segue nello stesso piano orbitale.

Tutte le catene di collegamenti originati da quel *footprint* fino agli utenti terminali attraverso gli *intersatellitlinks* con gli altri satelliti ed i gateway, devono essere dinamicamente riconfigurate.

La soluzione del problema di notevole complessità computazionale, richiede la concorrenza di sistemi software di networking, di *Flight Dynamics* di Teoria dei Giochi applicata alle TLC, con un utilizzo importante nei più recenti sviluppi del *Machine Learning* (AI) per la realizzazione dei modelli di controllo del processo.