



Trasmissione dell'informazione con Onde Elettromagnetiche

Una rete di telecomunicazione tra i continenti

1. *L'invenzione di Marconi: un nuovo sistema per comunicare*

Il bisogno di comunicare a distanza è connotato con gran parte delle relazioni umane: la storia documenta come in ogni stadio di sviluppo delle civiltà siano stati concepiti mezzi più o meno rudimentali capaci di estendere la naturale capacità di comunicazione dell'uomo. Sfruttando soprattutto la capacità visiva, quella cioè che fra i sensi consente la migliore possibilità di captazione a grande distanza, molti metodi furono ideati per trasmettere informazioni elementari utilizzando, ad esempio, luce solare di giorno o luce artificiale di notte,.

E' interessante considerare come ciò abbia richiesto l'introduzione del concetto di codifica; infatti, perché una segnalazione comunichi informazione occorre che quest'ultima sia codificata, ovvero trattata sotto forma di alfabeto essenziale, adatto al mezzo che si intende utilizzare e noto ad entrambi gli operatori del "collegamento". Ciò vale per qualunque sistema di telecomunicazione, dai segnali di fumo utilizzati dai pellirossa del Nord America, ai lampi di luce ottenuti con specchi, ai vari sistemi semaforici inventati nel corso dei secoli.

All'inizio del 20° secolo non pochi pionieri dell'elettricità rivendicarono a sé la paternità dell'invenzione della radio, ma non c'è dubbio che solo a Guglielmo Marconi vada riconosciuta l'intuizione geniale che lo portò a realizzare, con le tecniche già disponibili al suo tempo, un sistema operativo ed effettivamente utile alla comunicazione. A questo proposito, vale la pena di ricordare la replica di Marconi a chi sosteneva che la priorità dell'invenzione toccasse al russo Popoff. *"L'apparecchiatura di Popoff, antecedente al mio brevetto – egli disse –, consisteva in un ricevitore capace di registrare l'elettricità atmosferica e l'effetto di temporali e fulmini. Ebbene, benché qualcosa nella natura sia in grado di mandargli impulsi – e questi impulsi non potranno mai giungere sotto forma di messaggi intelligenti –, io non vedo da dove egli avrebbe potuto ricevere segnali. Non credo che il suo ricevitore fosse capace di raccogliere segnali Morse. E' abbastanza facile registrare gli effetti dei fulmini, ma occorre una tecnica più evoluta e precisa per interpretare correttamente i simboli della telegrafia Morse"*. In altre parole, Popoff aveva inventato un apparato, ma non aveva intuito la possibilità di utilizzarlo per informazioni codificate.

L'invenzione della telegrafia senza fili di Guglielmo Marconi si inserì, non senza difficoltà, in un contesto nel quale sistemi di trasmissione telegrafica su lunga distanza già si erano affermati, su reti terrestri prima e sottomarine poi. Esistevano agguerrite Compagnie private che offrivano servizi di telecomunicazione non solo sulla rete terrestre, ma anche su lunghissime distanze transcontinentali, utilizzando cavi sottomarini. Marconi dovette superare l'ostilità dettata dalla percezione di pericolosa concorrenza che tali Compagnie percepivano nei confronti del nuovo sistema di comunicazione senza fili. Solo la sensazione delle difficoltà che tale sistema presentava nei confronti della tecnologia più matura dei cavi telegrafici, mitigava tale ostilità.

Sir John Wolfe-Barry, presiedendo a Londra nel 1907 una riunione degli azionisti della Western Telegraph Company, affermava: *"Io ritengo che il sistema wireless non rappresenti un serio competitore per i nostri cavi"*, e ciò a causa delle sue *"fondamentali difficoltà ed imperfezioni"*, dando poco credito alla possibilità che potesse venire migliorato. Vedeva in esso *"incertezze nella trasmissione e assenza di segretezza"*, come pure *"la confusione che deve accadere quando numerosi messaggi non vengono convogliati su un opportuno, diretto conduttore"*, ovviamente come nel caso del cavo telegrafico. Spiegava che i messaggi trasmessi dal sistema senza fili



“vengono proiettati con grande violenza nell’etere, in cui si irradiano in tutte le direzioni”, e subiscono pesanti disturbi atmosferici, mentre il cavo offre la certezza della trasmissione.

In realtà, i mezzi di comunicazione e la cultura popolare videro nella radio un sorprendente mezzo di evoluzione, capace di portare grandi benefici all’umanità, come dimostrarono gli eclatanti salvataggi di molte vite umane in occasione dei grandi disastri marittimi delle navi “Republic” (1909) e “Titanic” (1912). La giovane scienza della radio avrebbe avuto ancora molte cose meravigliose da dire all’umanità.

2. Reti di telecomunicazione: necessità e tendenze

Ad un secolo di distanza, si osserva che le telecomunicazioni sono state oggetto di un trend impressionante di crescita ed hanno raggiunto un’evoluzione, geografica e tecnologica, che non cessa di stupire anche gli addetti ai lavori. La società attuale si riconosce sempre più in un modello in cui l’accesso alle informazioni ed ai servizi forniti mediante le Tecnologie dell’Informazione e della Comunicazione (ICT) sono divenute basilari per le attività umane. Non c’è più angolo del mondo in cui non giungano le terminazioni della rete globale di comunicazione; e dove non arrivano i mezzi fisici – linee e cavi – la comunicazione può giocare la carta della mobilità, mediante collegamenti con onde radio offerti da sistemi terrestri e satellitari.

L’evoluzione tecnologia ha traghettato le telecomunicazioni dall’ambiente analogico a quello numerico, portando ad una convergenza i formati del traffico tipico delle diverse modalità di comunicazione: tramontati i sistemi telegrafici, la trasmissione telefonica della voce e quella televisiva delle immagini hanno assimilato quella forma di comunicazione utilizzata inizialmente solo dai calcolatori, che si scambiavano dati numerici; e oggi quindi qualunque sia il tipo di informazione da trasmettere, questa trova spazio nell’immensa rete capace di elaborare, gestire e trasmettere, con grande velocità e qualità, sequenze di numeri.

In questo scenario, l’avvento di Internet ha portato ad un progresso sconvolgente. Per sua natura, Internet richiede una rete globale, in quanto il suo valore più alto consiste nella disponibilità di banche dati distribuite su tutto il globo e accessibili, mediante l’interconnessione di un numero enorme di computers, da qualunque altro punto del pianeta. E’ stato calcolato che Internet offra, ad oggi, più di tre miliardi di documenti. Da ciò è immediato comprendere quanto estesa e capillare debba essere la rete che interconnette le banche dati. In aggiunta a ciò, il traffico prodotto da Internet presenta un trend di crescita impressionante, soprattutto da quando la grande rete è entrata nelle case per un’utenza domestica. Un numero crescente di utenti accede alla rete scaricando quantità sempre più elevate di contenuti, cosa che ha stimolato la necessità di larga banda. Mentre la telefonia vocale classica si accontenta di una velocità di cifra di 64 Kb/s, Internet ha provocato la richiesta di bit-rates crescenti fino a valori di migliaia di Kb/s. Le statistiche riferiscono che, per il solo servizio di e-mail, nel corso dell’anno 2001 è transitato in rete un traffico tra i 12.000 e i 20.000 terabyte, corrispondenti a oltre 610 miliardi di messaggi, scambiati da un totale di mezzo miliardo di caselle elettroniche.

Un fenomeno parallelo ha interessato l’ambito della diffusione televisiva, che si è espanso non solo in termini di quantità di informazioni distribuite, fenomeno legato alla comparsa di numerosi Operatori e di una concorrenza basata sugli indici di ascolto e sullo share; ma anche in termini di interscambio di immagini tra punti distanti del globo (servizi dall’Estero, grandi manifestazioni di importanza internazionale, ecc.), e quindi di lunghezza dei collegamenti. Queste due esigenze (la globalizzazione delle interconnessioni e la richiesta di banda) hanno pesantemente condizionato le reti di telecomunicazione terrestre, e favorito l’impiego di nuovi mezzi di trasporto, quali i **cavi sottomarini in fibra ottica** e i **satelliti artificiali**.

3. I cavi sottomarini

Con l'estendersi delle esplorazioni al di fuori del continente europeo, inteso nella fattispecie come culla della civiltà più desiderosa di conoscenza e di espansione, vennero raggiunte e colonizzate terre lontane, utilizzando la navigazione sugli oceani come mezzo basilare di trasporto; il bisogno di comunicare a grande distanza tra le colonie e la madrepatria era quindi soggetto ai lunghi tempi impiegati dalle navi per collegare i continenti. Lo sviluppo della fisica, nel secolo 19°, aiutò a concepire una importante soluzione tecnologica: la posa subacquea di cavi per telecomunicazione.

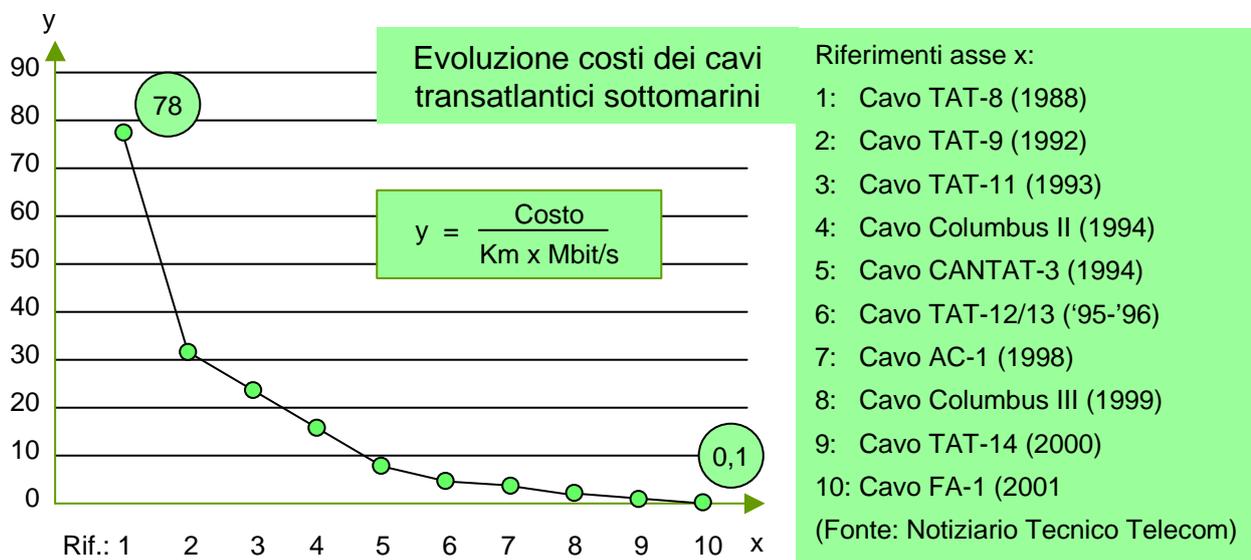
A seguito di esperienze positive su brevi distanze, nel 1850 il finanziere americano Cyrus Field propose il progetto di un collegamento transatlantico. Questo primo cavo, posato fra grandi difficoltà sul fondale dell'Oceano Atlantico tra l'Irlanda e Terranova su una distanza di 1600 miglia nautiche, era progettato per uso telegrafico, e la sensibilità dei ricevitori era affidata al galvanometro a specchio ideato dall'inglese Lord Kelvin. L'attivazione del collegamento, avvenne dopo alcuni tentativi infruttuosi, nell'anno 1866. Quella prima, rudimentale realizzazione, capace di trasmettere messaggi telegrafici a bassa velocità, mostrò comunque il valore della tempestività nella comunicazione a grande distanza, concetto che avrebbe portato alla rete globale che oggi avvolge il nostro mondo.

Negli anni seguenti molti altri collegamenti furono realizzati utilizzando cavi sottomarini, gestiti da Compagnie private che vedevano nella richiesta crescente di traffico telegrafico le basi per un consistente business. Nacquero Compagnie per l'esercizio e la manutenzione di cavi sottomarini che realizzarono collegamenti con Paesi d'interesse coloniale (Africa, India, ecc.) e anche per reti continentali, laddove la posa sottomarina risultava conveniente rispetto a quella terrestre, come avvenne in Sud America.

- 1843 La scoperta della guttaperca, materiale isolante di origine vegetale, permette di isolare in modo affidabile i conduttori di rame.
- 1854 E' avviata la posa di un cavo La Spezia-Corsica-Sardegna, facente parte di un collegamento Francia-Algeria.
- 1857 E' posato un cavo tra Cagliari, Malta e Corfù, che ha breve vita.
- 1859 I Borboni posano il primo cavo telegrafico in Italia tra Otranto e Valona.
Nel 1864 passa al governo italiano, e rimarrà in funzione fino alla fine del secolo.
- 1866 Entra in servizio il primo cavo transatlantico fra l'Inghilterra e gli USA.
- 1932 Sulla tratta Roma-Olbia si sperimenta il primo sistema amplificato ai terminali: il cavo di 270 Km è record di lunghezza.
- 1943 Primo sistema amplificato tra Inghilterra e Isola di Wight.
- 1950 Il polietilene, isolante sintetico, apre nuove prospettive ai fabbricanti di cavi.
- 1950 L'ATT posa un cavo tra Cuba e Florida con 3 amplificatori , con capacità di 24 circuiti, a 1800 m. di profondità.
- 1956 Primo cavo transatlantico, TAT-1, con 36 circuiti: rimane in servizio fino al 1979.
- 1984 Primo cavo ottico sottomarino, tra Inghilterra e Isola di Wight.
- 1988 Entra in servizio il primo cavo ottico transatlantico TAT-8, con capacità di 280 MB/s (2x1920 circuiti).
- 1993 Si sperimentano i primi amplificatori ottici EDFA
- 1995 Entrano in servizio i primi sistemi commerciali amplificati (totalmente ottici), il TAT-13 a 2,5 Gb/s e il TPC-5 (transpacifico su 9000 Km) a 5,3 Gb/s.
- 2001 Viene posto in servizio TAT-14, per una lunghezza di 15500 Km ed una capacità di 16 flussi SDH a 10 GB/s.

Quando alla fine del 19° secolo nacque la telefonia, si comprese immediatamente che la trasmissione su lunga distanza della voce avrebbe richiesto la soluzione di problemi assai più ardui di quello rappresentato dalla trasmissione telegrafica, che operava mediante lenti impulsi elettrici. Fu lo sviluppo della tecnologia nel settore dei materiali e in quello della telefonia terrestre che portò ad introdurre anche nei collegamenti sottomarini una migliore affidabilità ed una capacità di traffico in rapida ascesa, come documenta il soprastante box.

Il primo cavo transatlantico per telefonia, denominato TAT-1 (Trans Atlantic Trunk # 1), collegava i due continenti tra Oban (Scozia) e Clarenville (Terranova), su un percorso di 1600 miglia nautiche. Utilizzava la tecnica di multiplazione FDM su cavo metallico, con capacità di 36 canali da 4 KHz lordi, per una banda di 144 KHz; l'attenuazione del percorso veniva compensata con amplificatori bidirezionali (a valvole) equidistanziati con passo di 37,5 miglia nautiche.

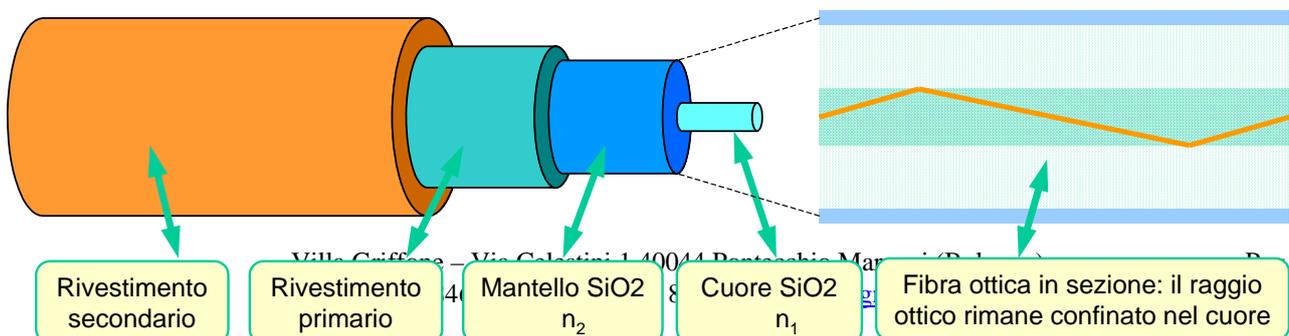


Il TAT-14, ultimo indicato nella tabella ma ormai uno dei tanti che affollano il fondo degli oceani, dà un'idea dello straordinario sviluppo raggiunto dai cavi sottomarini: la **tecnologia delle fibre ottiche** ha portato ad una crescita esponenziale della capacità di trasporto, che raggiunge alcuni milioni di circuiti per singolo cavo, superando di svariati ordini di grandezza la capacità del primo cavo telefonico transatlantico; ed ha portato ad una sostanziale **riduzione del costo complessivo** dell'impianto (vedi grafico).

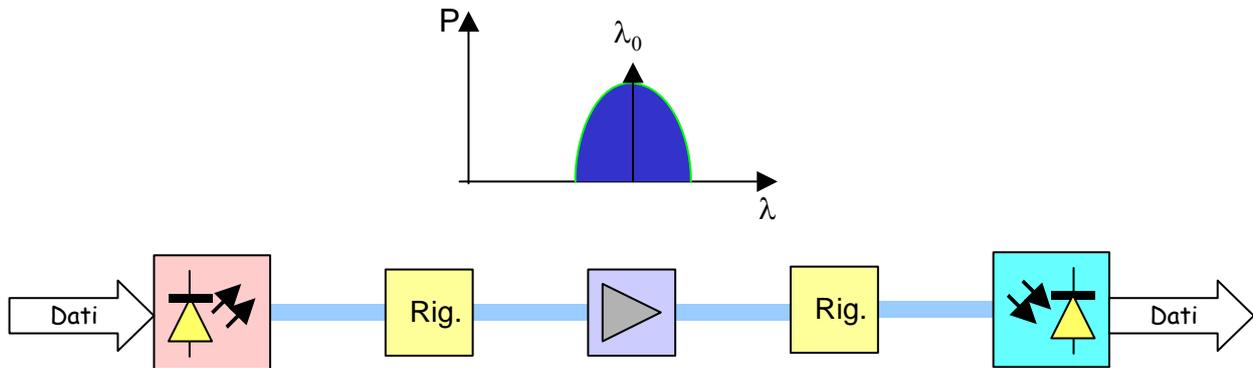
4. La tecnologia ottica

Tale ultimo fattore, essenziale per lo sviluppo della tecnologia dei cavi sottomarini, è strettamente legato con la tecnica ottica, che in sintesi offre le seguenti caratteristiche:

- la tecnica di modulazione numerica ha reso obsoleta quella analogica, offrendo consistenti vantaggi sulla qualità della trasmissione a distanza e su costi e compattezza degli apparati;

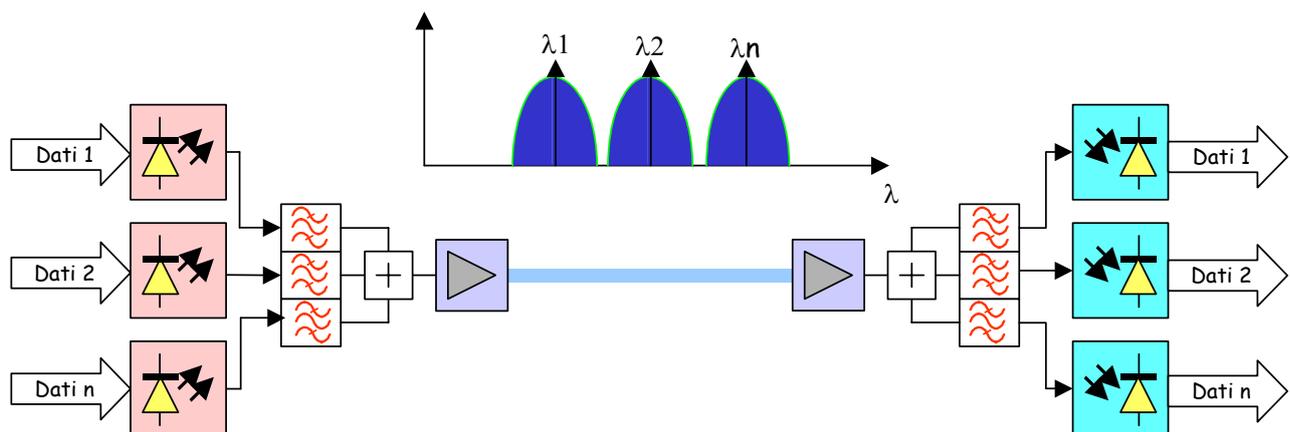


- il “conduttore” è un filo di vetro (SiO_2 , ossido di Silice) di diametro esterno pari a $125 \mu\text{m}$ ($125/1000$ di millimetro) capace di confinare e trasferire un segnale luminoso;
- i trasduttori elettro-ottici che interfacciano il mondo elettronico con quello ottico, sono realizzati da un lato (trasmissione) con un laser a semiconduttore, operante su lunghezze d’onda di circa 1500 nm ($1500 \times 10^{-9} \text{ m}$), e dall’altro lato (in ricezione) con un fotodiodo a semiconduttore;



Il fotoemettitore emette energia luminosa (P) su λ_0 (1550 nm), e viene modulato in intensità dal flusso dei dati numerici. Le perdite di energia lungo la linea sono recuperate da amplificatori e da rigeneratori. Il fotodiodo recupera, entro i limiti della sua sensibilità, i fotoni ricevuti e ricostruisce il flusso dei dati.

- l’attenuazione offerta dalla fibra è estremamente bassa (valori compresi tra $0,2$ e $0,4 \text{ dB/Km}$), cosa che consente lunghe tratte (qualche centinaio di Km). Al termine della tratta, il segnale ottico viene rigenerato, ovvero ogni elemento della trama viene riconosciuto e interpretato come simbolo del codice trasmesso (appartenente ad un alfabeto binario o ternario);
- in tempi relativamente recenti, sono state rese commercialmente disponibili tecniche di amplificazione totalmente ottica; in altre parole, esistono amplificatori (cosiddetti EDFA, cioè a fibra attiva drogata all’Erbio) che operano direttamente a livello ottico, amplificando il flusso di fotoni, senza necessità di passare al mondo elettronico, come avviene nel caso della rigenerazione;



Sistema ottico del tipo **WDM** (Wavelength Domain Multiplexing) che realizza la moltiplicazione di più portanti ottiche nel dominio delle lunghezze d’onda. Gli n fotoemettitori emettono su λ diverse, e ciascuno porta un distinto flusso di dati numerici. Grazie ad un insieme di filtri di branching, le diverse portanti possono coesistere sulla stessa fibra.

- in un sistema ottico sulla lunga distanza il recupero delle perdite per attenuazione è affidato agli amplificatori EDFA (che associano economicità ed affidabilità); mentre rimane necessario rigenerare periodicamente (un rigeneratore ogni 4-5 amplificatori) il segnale ottico per evitarne il degrado in termini di qualità (cioè mantenendo a livelli minimi il BER – Bit Error Rate);
- l'altissima frequenza di lavoro del sistema ottico consente una enorme larghezza di banda (si può stimare una capacità fino a 1000 Gigabit/s per singola fibra, con sistemi di multiplazione DWDM nel dominio delle lunghezze d'onda);

In definitiva l'introduzione della tecnologia ottica, con le sue eccezionali caratteristiche di minima attenuazione e di enorme larghezza di banda, che mette a disposizione flussi di dati a grandissima velocità di cifra, ha risolto brillantemente la necessità di interconnessione globale sull'intero pianeta.

5. L'idea del satellite artificiale

Fu nel 1945 che Arthur C. Clarke, uno scrittore inglese esperto in questioni scientifiche, avanzò la proposta di utilizzare satelliti artificiali per lo sviluppo delle telecomunicazioni su scala mondiale. Egli sosteneva che tre satelliti, posti in orbita sull'equatore a 36000 Km d'altezza in corrispondenza dei tre Oceani Atlantico, Pacifico e Indiano, avrebbero potuto offrire una connessione stabile tra i Continenti, garantendo una copertura planetaria. Ma solo nel Dicembre 1958 ebbe luogo l'invio in orbita terrestre bassa di un primo, piccolo satellite per TLC denominato "Score", operativo nella banda VHF con un ricevitore in grado di raccogliere e memorizzare su nastro un messaggio vocale, per ritrasmetterlo su comando da terra. Lo Score operò per 12 giorni, fino all'esaurimento delle batterie, e rimase in orbita fino al Gennaio '59, dopo aver vissuto 40 giorni.

La breve vita dello Score sottintende molti degli elementi che hanno rappresentato la sfida nell'impiego dei satelliti artificiali: la posizione orbitale e il "tracking" necessario alle antenne di terra per inseguirne il puntamento; la stabilità dell'orbita e le procedure per correggerne le variazioni; la scelta delle metodologie di comunicazione; l'affidabilità delle apparecchiature di bordo; il problema dell'alimentazione di queste ultime, che determina la vita utile del sistema. Tuttavia l'idea di comunicare via ripetitori spaziali fu subito accolta con molta attenzione - inizialmente negli USA, sotto la presidenza di J.F Kennedy - e a partire dagli anni '60 si avviò quella che fu chiamata "la corsa allo spazio".

Superata l'incertezza nella scelta sull'impiego di satelliti attivi (con transponder radio) e passivi (tipo Echo ad effetto riflettente) con preferenza per i primi, anche in questo campo la tecnologia ha fatto passi da gigante, giungendo a dominare le varie problematiche e a realizzare sistemi finalizzati alle più diverse esigenze. Oggi lo spazio è popolato da svariate centinaia di satelliti per telecomunicazioni, diversificati secondo:

- l'utilizzo (civile o militare);
- l'applicazione (per servizi fissi o mobili);
- il servizio fornito (voce, dati, televisione);
- l'area di copertura geografica (internazionale, domestica, a spot);

6. L'orbita del satellite

Il satellite si posiziona in un'orbita che risponde a semplici leggi della fisica. Su di esso infatti agiscono due forze, la forza centrifuga e la forza centripeta.

Centripeta è la forza che impone ad un oggetto un moto circolare. E' noto dalla fisica che un oggetto a cui sia stata impressa una forza si muove in linea retta, e la sua velocità rimane costante se il suo moto non è perturbata da attrito o da altre forze; l'oggetto percorre invece una traiettoria circolare, qualora il suo movimento sia perturbato da un'accelerazione centripeta. Se però esiste accelerazione, per la seconda legge di Newton deve esistere anche una forza nella direzione

dell'accelerazione, che è il centro della traiettoria circolare percorsa dall'oggetto: si tratta della forza centripeta F_c :

$$F_c = - m \cdot \omega^2 / D$$

dove m è la massa dell'oggetto, ω è la sua velocità angolare, D è il raggio del cerchio e il segno $-$ denota che il vettore punta al centro del cerchio.

Nel caso dell'orbita satellitare, la forza centripeta coincide con la **forza di gravità**. E' ovvio che, affinché il satellite non subisca gli effetti di questa forza, esso dovrà essere sottoposto ad una forza di pari intensità e di verso opposto: si tratta **della forza centrifuga**, determinata dalla rotazione del satellite attorno alla terra. Definito il valore D , cioè l'altezza orbitale, il valore di equilibrio tra le due forze si otterrà dando un opportuno valore alla velocità angolare ω del satellite.

Una volta che il lanciatore ha portato il satellite alla quota desiderata D , viene impressa a quest'ultimo una velocità V perpendicolare alla forza di gravità. Il valore minimo della velocità V_c che consente l'entrata in orbita può essere calcolato imponendo la condizione che in ogni punto dell'orbita la forza centripeta necessaria ad incurvare la traiettoria sia data dall'accelerazione gravitazionale G , secondo l'equazione:

$$V_c = r \sqrt{\frac{G}{D}}$$

dove $G = 9,81 \text{ m/s}^2$ e r è il raggio terrestre $= 6,37 \cdot 10^6 \text{ m}$. Essendo G e r costanti, risulta che V_c dipende solo da D e non dalla massa del satellite. Se $V = V_c$ risulta che l'orbita è circolare attorno al centro C della terra; negli altri casi è ellittica, con F_1 e F_2 i fuochi dell'ellisse. Per $V < V_c$ la traiettoria del satellite interseca la superficie terrestre, e ciò ne significa la distruzione.

Un'orbita circolare è caratterizzata da valori definiti e costanti dei parametri D e ω , in qualunque punto della traiettoria del satellite. Essa è però da considerare come caso particolare di orbita ellittica, caratterizzata da elevata velocità angolare nel punto più basso (D minima), detto **perigeo**, e da minima velocità angolare nel punto più alto, detto **apogeo**. L'orbita ellittica può essere utilmente impiegata nelle fasi di lancio: il satellite viene posto dal vettore in orbita bassa, ma poi, accelerando con motori di bordo la sua velocità angolare, raggiunge l'orbita definitiva, più alta; ma può anche essere una scelta di sistema, come avviene con determinati satelliti il cui perigeo corrisponde col territorio interessato alla relazione col satellite stesso.

Come scelta di sistema, il piano contenente l'orbita del satellite può venire progettato con angolo arbitrario rispetto all'asse di rotazione terrestre: i due casi estremi sono rappresentati dall'**orbita polare**, il cui piano contiene l'asse Nord-Sud terrestre, e dall'**orbita equatoriale**: in questo caso l'orbita è ortogonale all'asse terrestre, e quindi si sviluppa sul piano che contiene la linea dell'Equatore.

Un satellite che percorra un'orbita da Ovest verso Est e abbia periodo di 24 ore, è detto **geosincrono**: esso infatti si sposta in sincronismo con la rotazione terrestre, e ciò si verifica quando il parametro D vale 42.164 Km; in altri termini, la quota geostazionaria riferita al livello medio degli oceani deve essere pari a 35.790 Km. Un caso particolare si verifica quando la sua proiezione sul suolo (un punto definito **subsatellite**) cade esattamente sull'equatore: allora, da

qualunque punto della Terra il satellite viene visto come immobile nella sua posizione spaziale, e viene denominato **geostazionario**.

Lo spostamento di un satellite per telecomunicazioni non geostazionario nello spazio manifesta a suo modo una levata ed un tramonto, quando inizia a mostrarsi all'antenna terrestre e quando scompare all'orizzonte. Ciò implica che l'antenna terrestre lo acquisisca e lo segua per la durata della sua visibilità, applicando quindi una tecnica di inseguimento e aggancio, o **tracking**, ottenuta mediante motorizzazione dell'antenna gestita per lo più da controllo computerizzato.

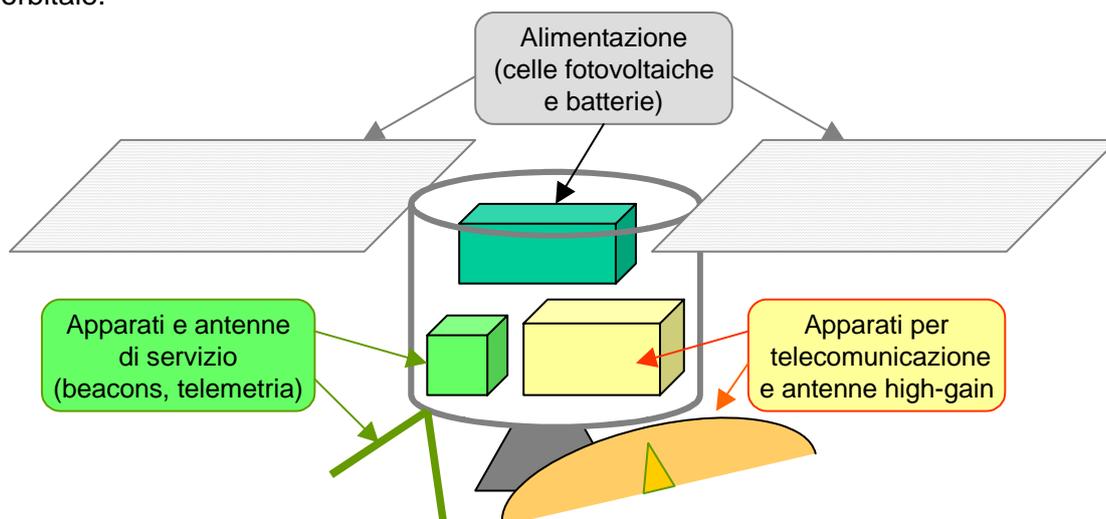
Si sottraggono a questo meccanismo proprio i satelliti geostazionari, che grazie alla loro "immobilità" in un definito punto dello spazio consentono all'antenna terrestre un puntamento noto e stabile. Si comprende facilmente che tale prerogativa rende questi satelliti estremamente interessanti per servizi DBS (Direct Broadcast Satellite), ovvero sistemi capaci di trasmettere in modalità broadcast verso una utenza molto numerosa ed estesa sul territorio, come nel caso della TV da satellite.

7. *Gli apparati di TLC a bordo del satellite*

L'elettronica che un satellite attivo ospita a bordo, deve rispondere ad almeno tre importanti funzioni.

L'**alimentazione** che "tiene vivi" gli apparati ricetrasmittenti viene per lo più fornita da celle fotovoltaiche. I moderni satelliti, una volta giunti in orbita, dispiegano grandi superfici che vengono automaticamente puntate sul sole e caricano le batterie di bordo, che a loro volta alimentano gli apparati. Al di fuori dell'atmosfera terrestre, il sole offre una potenza di circa 14.000 Watt per mq, e le celle fotovoltaiche presentano un rendimento di poco superiore al 10%. Nota l'energia assorbita a bordo, il progettista può calcolare la superficie richiesta alle celle.

Esiste poi una sezione "di servizio", che comprende i **beacons**, o radiofari che consentono di individuare con esattezza la posizione del satellite nello spazio, e gli apparati di **telemetria**, tramite i quali le stazioni terrene di controllo vengono aggiornate sul funzionamento dei sistemi di bordo; tramite la telemetria si possono inviare comandi per attuare operazioni riguardanti la manutenzione del satellite e del suo payload, ed anche per correggerne eventualmente l'assetto e la posizione orbitale.



Infine, il **payload**, o carico utile, rappresentato dagli apparati che realizzano le funzioni per cui è stata progettata la missione. Nel caso delle TLC, la soluzione adottata fino dai primi esperimenti è stata quella del transponder. Nella sua versione più semplice, il transponder applica la filosofia del ripetitore in modalità duplex: il ricevitore riceve il canale up-link e lo converte sul canale down-link, che viene trasmesso dopo opportuna amplificazione. Ai fini della capacità di comunicazione e della flessibilità del traffico, il satellite disporrà di numerosi canali, per il cui utilizzo ordinato vengono



utilizzate tecniche di accesso multiplo. Negli anni '70-'80 tali tecniche erano tipicamente di tipo FDMA, operanti cioè nel dominio della frequenza.

Il successivo passaggio dalle tecniche analogiche a quelle numeriche ha portato importanti innovazioni. Per l'accesso multiplo sono state introdotte le tecniche TDMA e CDMA, simili a quelle impiegate con successo per le reti radiomobili terrestri. La modulazione è realizzata secondo la tecnica QPSK, con demodulazione differenziale o coerente. Il segnale numerico ricevuto viene rigenerato prima della sua ritrasmissione. La tecnologia numerica ha permesso di introdurre nel settore spaziale molte altre tecniche, per lo più già applicate con successo sulle reti telefoniche terrestri come la codifica di canale e l'equalizzazione adattativa, l'interpolazione numerica della voce e la cancellazione degli echi, e non ultima, forme di commutazione a bordo del satellite.

8. L'integrazione tra rete terrestre – cavi sottomarini e satelliti.

Alla fine degli anni '70 esistevano 4 cavi transatlantici telefonici tra Europa e USA, con una capacità complessiva di 352 canali telefonici. Era in progetto una nuova importante realizzazione, il cavo TAT-5 MAT-1 che prevedeva 720 circuiti nella sezione atlantica (TAT) e 640 nella sezione mediterranea (MAT) che proseguiva dall'attracco di Estepona in Spagna, fino a Roma. Non stupisce l'immediato spirito di concorrenza che, all'epoca, si instaurò tra chi gestiva i cavi sottomarini e chi gestiva i satelliti artificiali per TLC. Le prospettive e gli entusiasmi suscitati da questi ultimi, avevano provocato una riflessione nei confronti dei notevoli investimenti di capitali ed energie richiesti dagli impianti sottomarini. In breve tempo, tuttavia, si comprese la possibilità di una loro pacifica convivenza, anzi, i benefici effetti di una loro integrazione, come era già avvenuto nel confronto tra i coassiali terrestri e i ponti radio, e prima ancora tra i cavi sottomarini telegrafici e le radiotrasmissioni in onde corte. E' chiara la maggiore vocazione del cavo per la trasmissione da punto a punto tra paesi costieri, orientato alla trasmissione di fonìa e dati, mentre il satellite geostazionario offre un traffico flessibile e diffuso, ideale per l'assistenza a aerei e navi, e adeguato alla trasmissione televisiva. Prevalse dunque il buon senso ed entrambe le tecnologie proseguirono nella loro evoluzione.

Tale concetto ad oggi è valido e vitale. I cavi sottomarini sono utilizzati prevalentemente per il traffico dati, e dalle stazioni costiere riversano flussi numerici verso le reti fisse terrestri. Attraverso queste, si svolge il traffico che è basato sulla connettività, concetto che definisce la capacità di creare tra due utenti un via di comunicazione loro dedicata, per tutto il tempo necessario ai fini dello scambio di informazioni. In questa visione, la connettività riguarda sia le reti telefoniche, fisse o mobili, sia la rete Internet.

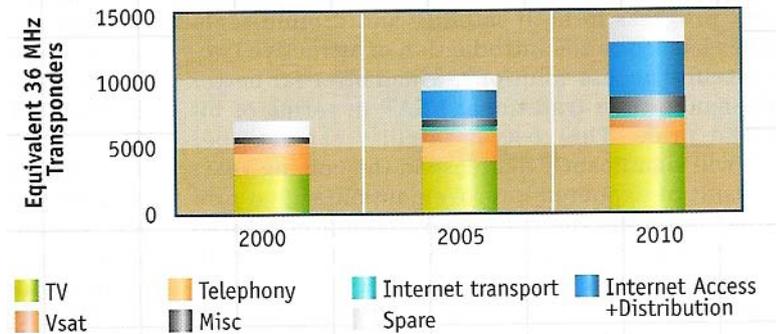
I satelliti, per la loro capacità di "coprire" con i segnali radioelettrici grandi porzioni del pianeta, offrono la migliore efficienza per particolari applicazioni, come:

- servizi di accesso telefonico; anche nel corso della navigazione, navi ed aerei possono accedere tramite satellite alle reti telefoniche terrestri, con piena connettività ed alta qualità;
- servizi di radiomobilità telefonica: in territori a bassa densità di utenza, non coperti dalle reti radiomobili terrestri, il servizio telefonico può essere distribuito da reti satellitari capaci di simulare le funzionalità di quelle terrestri;
- reti spaziali per l'acquisizione della posizione, come il sistema americano GPS o il futuro sistema europeo Galileo, che consentono sulla superficie terrestre l'acquisizione estremamente precisa delle coordinate spaziali (longitudine, latitudine, altezza slm) in un qualunque punto del pianeta;
- distribuzione da posizione geostazionaria di trasmissioni televisive direttamente all'utenza (DBS).

La ricezione diretta dei segnali televisivi dallo spazio, rappresenta un importante fattore di mercato e sta realizzando un notevole successo. Ciò è dovuto ad una serie di fattori:

- oltre al vantaggio del puntamento fisso dell'antenna, le rilevanti potenze emesse dal satellite (circa 250 Watt per canale) hanno consentito di ridurre le dimensioni della parabola ricevente a parità di segnale ricevuto, riducendo notevolmente i costi dell'impianto terrestre;

- la trasmissione numerica offre, rispetto a quella analogica, un implicito salto di qualità, esaltato dalle modalità di trasmissione dell'immagine;
- dallo spazio è possibile ricevere una quantità assai maggiore di segnali che non dalla rete terrestre; sono infatti numerosi i satelliti in orbita geostazionaria, che, appartenendo a nazioni diverse, trasmettono nella lingua nazionale canali che vengono comunque irradiati su un territorio ben più esteso rispetto a quello della Nazione proprietaria.



Il grafico sopra riportato (Fonte: Alcatel Telecommunications Revue) mostra efficacemente come le tendenze di utilizzazione dei satelliti sono orientate prevalentemente verso la TV DBS e Internet DBS.

Le onde elettromagnetiche, utilizzate nello spazio libero dai satelliti artificiali, dai ponti radio, dai trasmettitori broadcast, ma anche quelle utilizzate nello spazio confinato delle fibre ottiche, hanno rivoluzionato la società umana portando relazione e progresso, e realizzando le anticipazioni profetiche del primo uomo che le lanciò nello spazio, Guglielmo Marconi.

A.M.