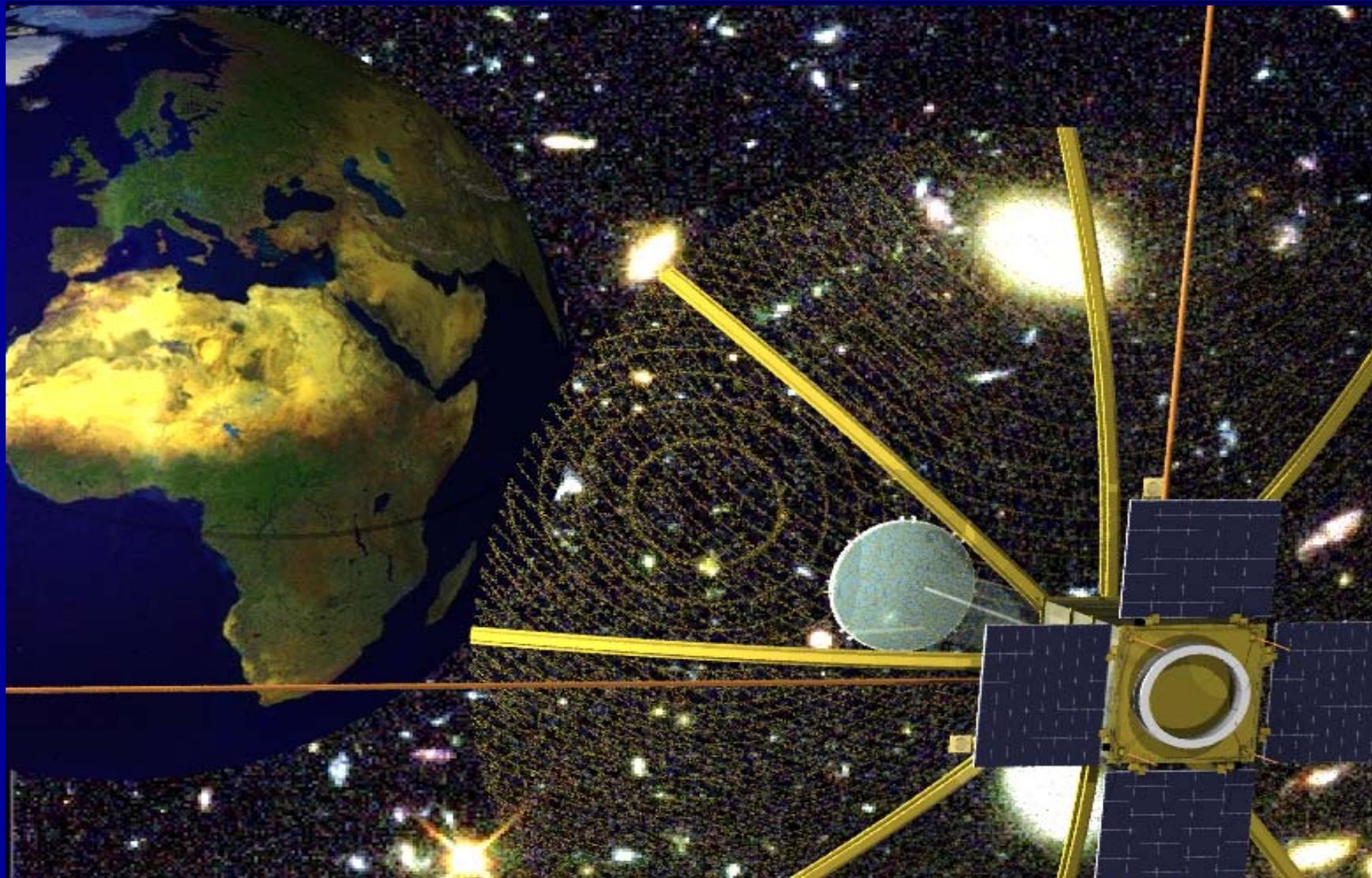


# Gli esperimenti di radioascolto, interferometria (SB-VLBI) e 'sounding ionosferico' del progetto scientifico-amatoriale AstroSat-SkyWave



Gli esperimenti di radioascolto, interferometria (SB-VLBI) e 'sounding ionosferico' del progetto scientifico-amatoriale AstroSat-SkyWave

**ICARA 2007**

**Brasimone, Novembre 2007**

**Ing. Giorgio Perrotta**

# Finalità del Progetto AstroSat\_SkyWave

- Realizzare un programma basato su microsatelliti con finalità scientifiche, amatoriali e didattiche
- tramite la cooperazione di:
  - ricercatori scientifici
  - astrofili e appassionati di radio-astronomia
  - radioamatori
  - studenti universitari
  - Piccola e Media Impresa (PMI)
- con il supporto economico ed in natura (beni e Servizi) di Sponsor provenienti dal mondo industriale e/o di Enti governativi

# Obiettivi della missione

- **Scientifici:** contribuire alla conoscenza di fenomeni fisici localizzati nello spazio cis-lunare e nello spazio profondo. Condurre sperimentazioni non convenzionali nel campo delle radiocomunicazioni e della radio-astronomia;
- **Amatoriali:** dare nuove prospettive alle attività degli astrofili e dei radioamatori rendendo disponibili mezzi satellitari evoluti ed accessibili in modo facilitato ai fini di sperimentazioni innovative;
- **Educativi:**
  - Promuovere e diffondere la conoscenza della astronomia e delle telecomunicazioni;
  - contribuire alla formazione professionale di laureandi e neolaureati in discipline scientifiche e /o tecnologiche
  - Attraverso l'esperienza in un progetto importante ed impegnativo;
- **Ingegneristici:** contribuire alla dimostrazione in orbita di tecnologie sviluppate in Italia
- **Promozionali:** contribuire alla diffusione del contributo dello Spazio alla conoscenza scientifica

# Missione Scientifica

- Il progetto riunisce, in un sistema satellitare integrato, le aspirazioni spaziali della UAI e della AMSAT-IT motivate dalla spinta di dare maggiori opportunità di ricerca innovativa agli astrofili e radioamatori;
- Allo stato attuale il progetto considera due microsatelliti: il primo reca strumenti basati su tecnologie elettro-ottiche; il secondo porta in orbita strumenti basati su tecnologie a radio-frequenza.
- I due microsatelliti non verrebbero necessariamente realizzati e lanciati contemporaneamente

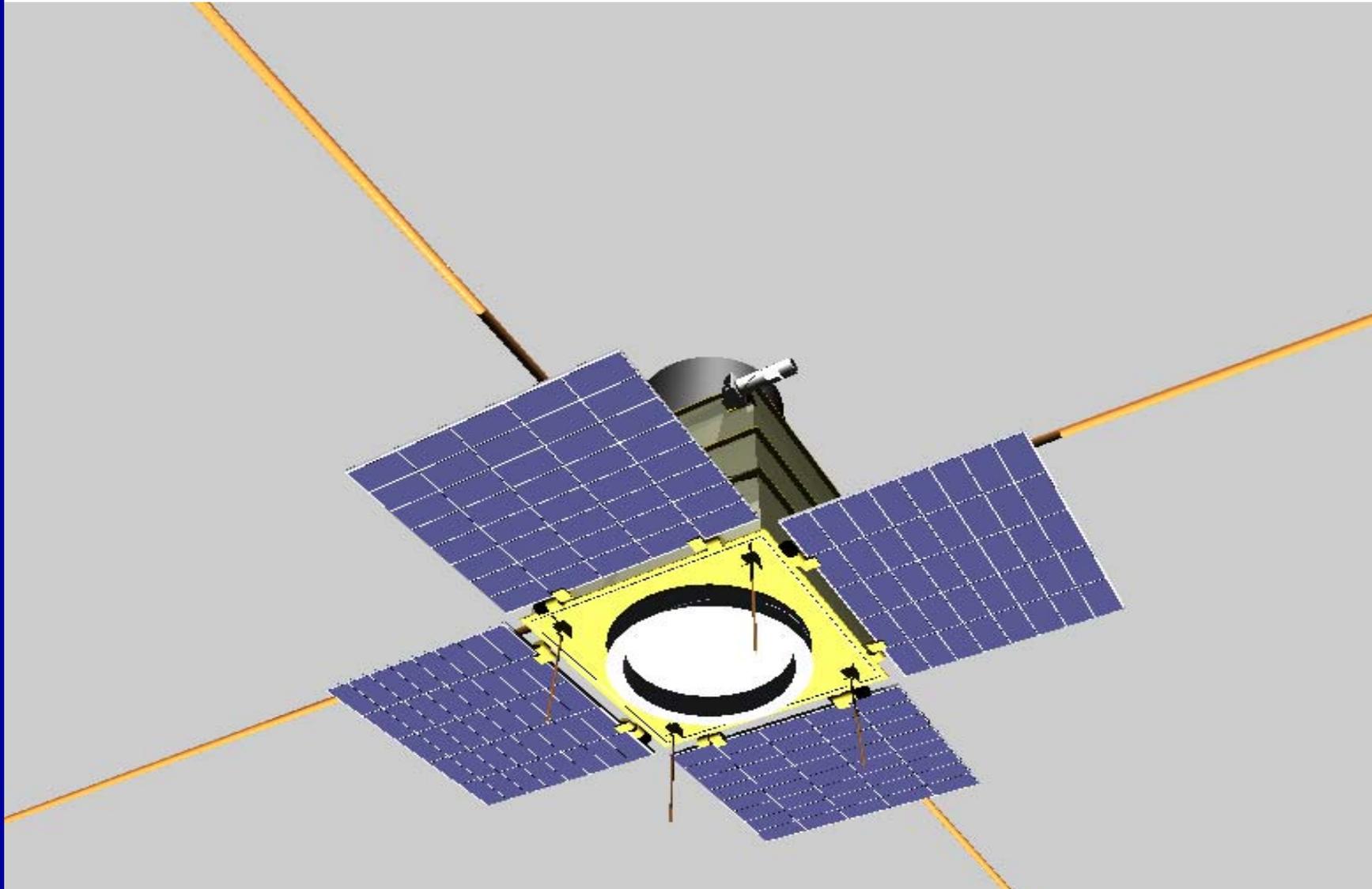
# Caratteristiche principali dei microsattelliti

- Orbita: LEO , polare (o circolare inclinata) a 800 km di altezza
- Propulsione: non necessaria ai fini della missione
- Puntamento : anti-solare verso il disco della galassia con una inclinazione, rispetto al piano dell'eclittica, di  $\pm 40^\circ$  per il satellite ottico;  $\pm 90^\circ$  per la radio-astronomia
- Dimensioni del corpo principale : circa 35 cm x 35 cm x 50 cm
- Massa : 40 kg per satellite 'ottico'; 50-60 Kg per satellite della missione radio-astronomica
- Lanciatore: varie alternative allo studio
- Vita utile: 3 anni

# La Missione di radio-ascolto (1)

- La Missione ha per obiettivo il radio-ascolto di emissioni solari e gioviane nella banda 10-50 MHz
- Il payload consiste di un'antenna quadrifilare di 7-10 m di lunghezza tip-to-tip, estendibile in orbita; un ricevitore a larga banda , una sezione IF (70 MHz c.f.) canalizzata con 3 canali da 12 MHz ; detectors con due uscite video (I,Q ) per canale. I canali video sono poi campionati a 40 Msamples/sec, 10 bit/sample. I canali dati sono elaborati a bordo per ridurre il carico della memoria di lungo termine e il datarate di trasmissione durante gli overpasses delle stazioni di terra per il downloading dei dati utili

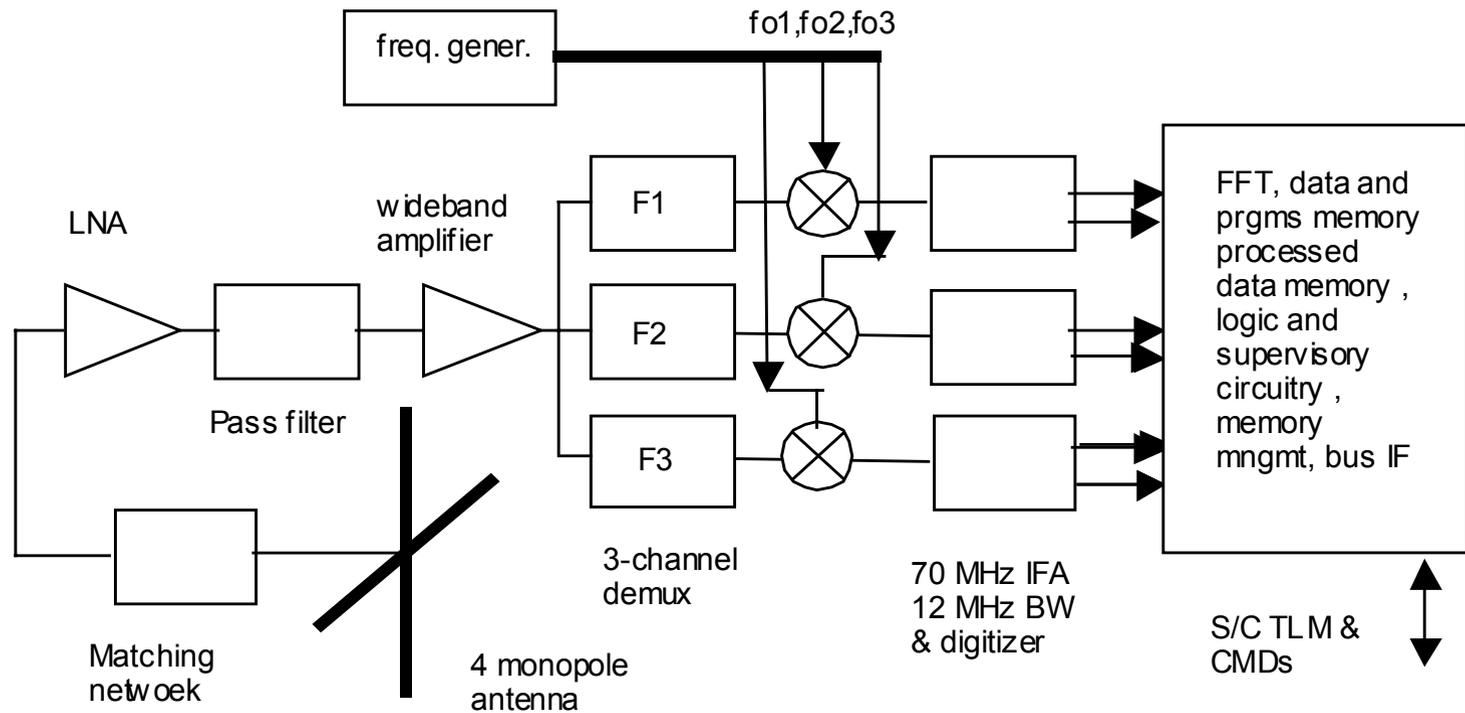
# Il primo microsatellite con l'antenna quadrifilare per il radio-ascolto (2)



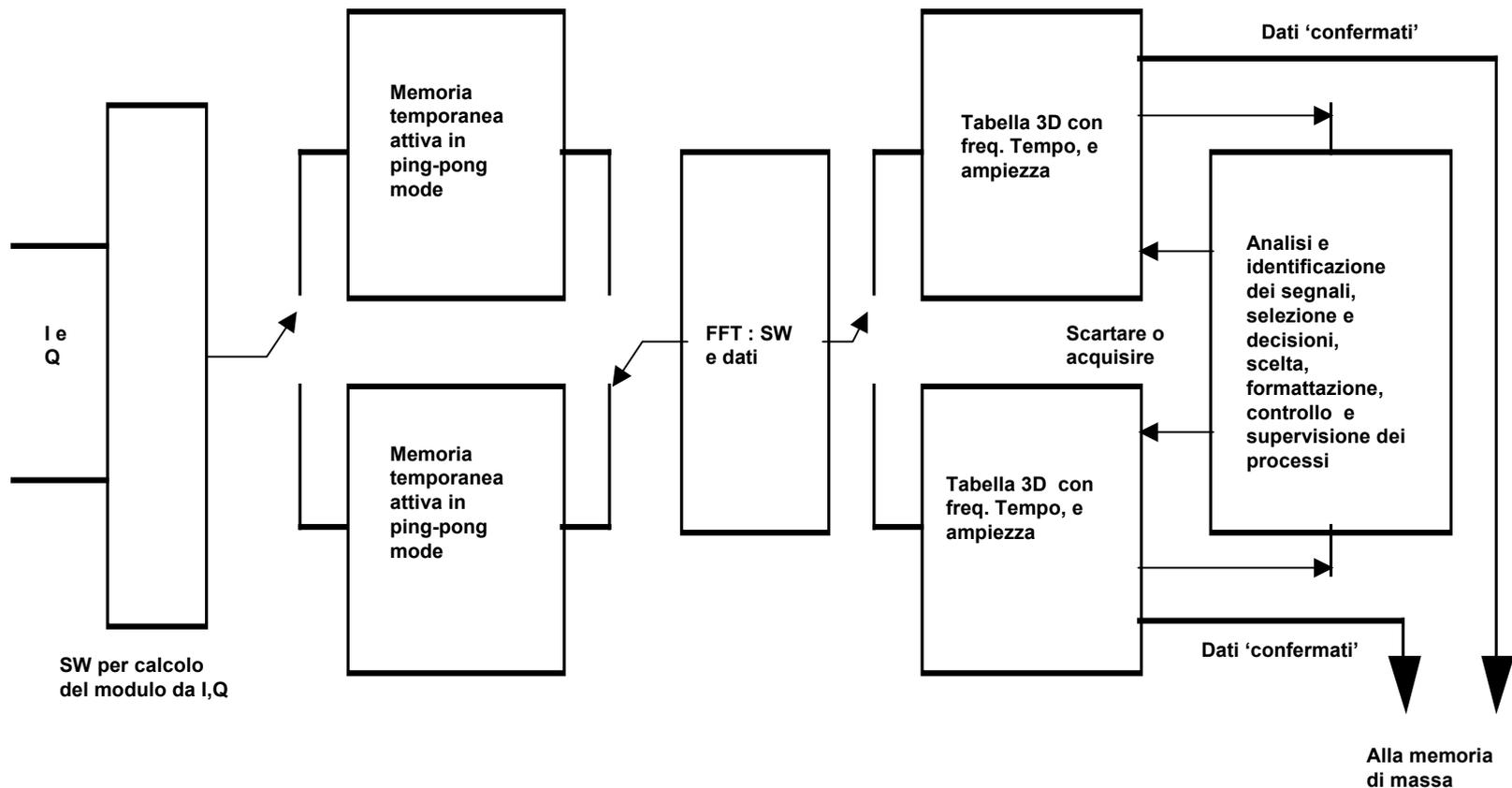
## La Missione di radio-ascolto (3)

- L'elaborazione a bordo prevede memorie temporanee, che lavorano in ping-pong, per l'immagazzinamento di sequenze temporali di dati dell'ordine di 1-10 msec; elaborazioni FFT su questi spezzoni di dati per creare tabelle virtuali tempo-frequenza; l'elaborazione intelligente delle tracce per individuare la presenza di radiosegnali caratterizzanti le radioemissioni gioviane o solari; processi decisionali per stabilire se la sequenza temporale in esame va immagazzinata nella memoria a lungo termine oppure scartata; e la memorizzazione dei dati scientifici, insieme a dati ancillari, in una memoria con capacità di alcuni Gbit.

# Il diagramma a blocchi del Payload per il radioascolto (4)



# Schema a blocchi del processing (5)



**Il Payload include tre di questi blocchi funzionali**

## Missione radioascolto: aree di problemi (6)

- scarsa o nulla direttività dell'antenna
- Interferenze involontarie man-made : l'atmosfera schermo poco nel campo di frequenze 10-50 MHz
- elaborazione efficace a bordo per discriminare i segnali interessanti da rumore, segnali spuri e interferenze 'man-made' e fenomeni impulsivi naturali : discriminazione necessaria per ridurre il volume di dati scientifici da immagazzinare a bordo tra due 'data-dump'
- cooperazione con gruppi scientifici ed osservazioni 'ground-based' per convalida o supporto all'interpretazione dei dati raccolti;
- necessità di una migliore caratterizzazione dei requisiti scientifici
- compatibilità della missione 'radioascolto' con la missione osservativa ottica ( l'antenna può indurre instabilità fini nel puntamento dell'asse ottico del telescopio). In caso di problemi il 'radioascolto' potrà migrare sul 2° satellite ed essere associato alla missione 'topside sounder ' per la caratterizzazione della ionosfera.

# La Missione Space-based Very Long Baseline Interferometry (SB-VLBI) (1)

- La missione scientifica realizza, in unione a un network di stazioni di terra pre-esistenti equipaggiate con antenne da 3-6 m di diametro o più, una configurazione del tipo Space Based-Very Long Baseline Interferometry (SB-VLBI).
- Il satellite sarà equipaggiato con una antenna parabolica da 3 m di diametro, apribile in orbita, con riflettore realizzato in dacron metallizzato; ed un ricevitore pluribanda per ricevere segnali emessi da radiosorgenti stellari nella banda da 1.4 a 24 GHz.

# La Missione Space-based Very Long Baseline Interferometry (SB-VLBI) (2)

Il Payload può operare in due modalità:

- a) Modalità 'antenna singola' : il payload, propriamente orientato verso una radiostella, ne riceve i radiosegnali ed effettua su questi misure radiometriche (total power, doppler relativa, spettro della radioemissione...)
- b) Modalità 'interferometro': il payload e uno o più terminali terrestri sono orientati verso una radiosorgente e ne ricevono simultaneamente i segnali : tutte le frequenze di conversione sono agganciate al clock del GNSS e le doppler relative si possono compensare. L'elaborazione dei segnali si effettua a terra, per correlazione.

In entrambi i casi la ritrasmissione a terra dei segnali (preprocessati a bordo) avviene in differita . Nel solo caso b) si può considerare anche un data relay in tempo reale

# La Missione Space-based Very Long Baseline Interferometry (SB-VLBI) (3)

Gli elementi caratterizzanti la Missione sono i seguenti:

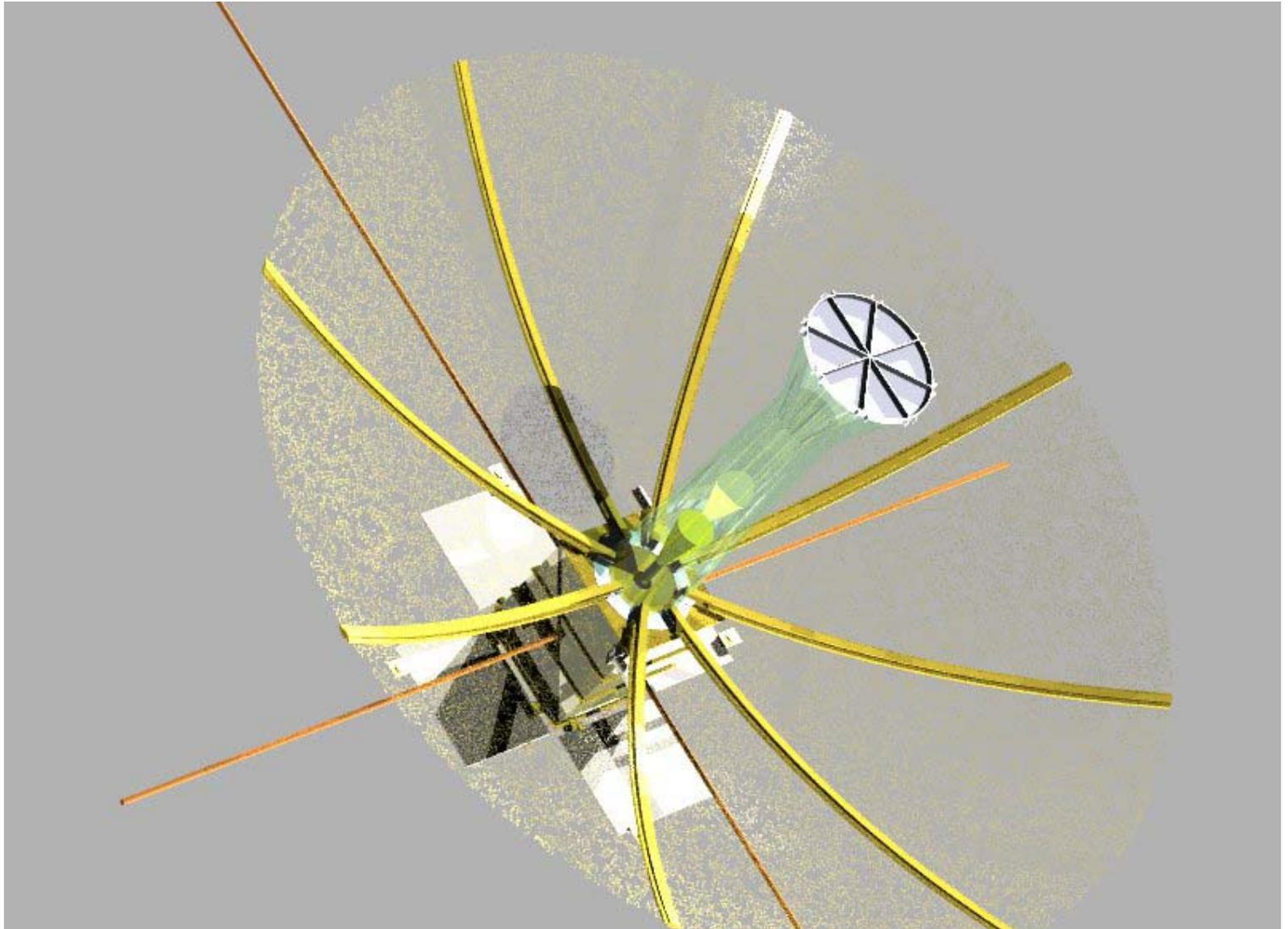
- baseline interferometrica dell'ordine delle migliaia di km
- capacità di puntare l'antenna in tutto l'angolo solido e di mantenere il puntamento per tempi di osservazione molto lunghi
- capacità di entrare in contatto con stazioni a terra per esperimenti interferometrici ovunque queste siano situate;
- tre bande di frequenza all'interno delle quali si possono selezionare specifiche finestre di osservazione a banda stretta (ordine dei 200 KHz) con capacità di doppler tracking :
  - a) 1370-1730 MHz
  - b) 12150-14600 MHz
  - c) 22100-24150 MHz
- pre-elaborazione (parziale) dei dati a bordo

# La Missione Space-based Very Long Baseline Interferometry (SB-VLBI) (4)

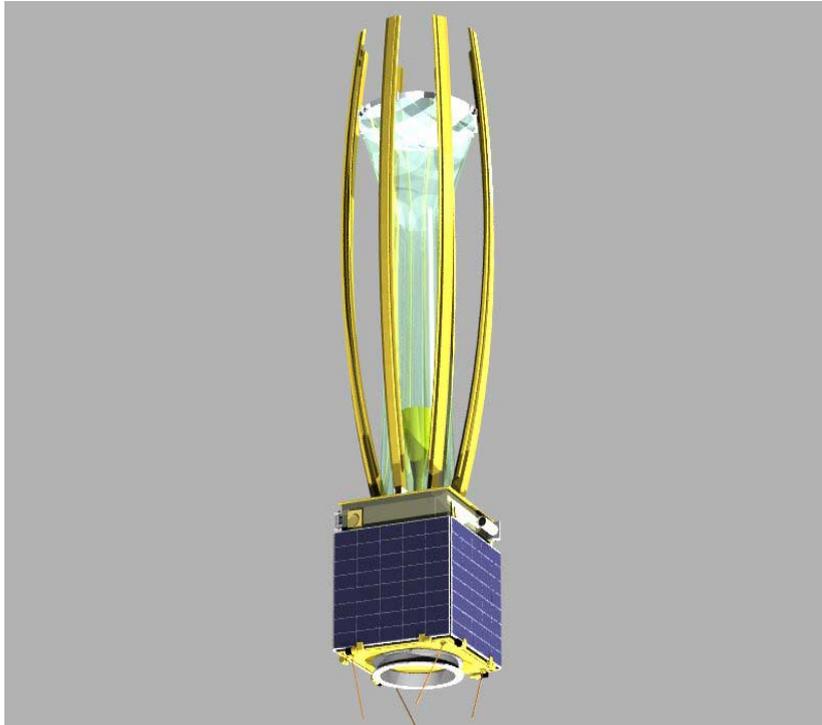
Gli elementi tecnologici di rilievo per la Missione sono i seguenti:

- l'antenna Cassegrain , superleggera , con riflettore primario a rete da 3 m di diametro, apribile in orbita
- l'illuminatore multibanda con funzioni di demultiplexer
- l'uso di LNA raffreddati con celle Peltier per la banda Ka
- un ricevitore pluricanale selezionabile e con grande dinamica;
- elaborazione a bordo dei dati raccolti per verifica e compattamento dati da ritrasmettere a terra;
- memoria di bordo di grande capacità
- velocità di trasmissione dati a terra: compatibile con antenne di terra di grandi dimensioni (modalità interferometria) o modeste dimensioni (modalità 'antenna singola) ;

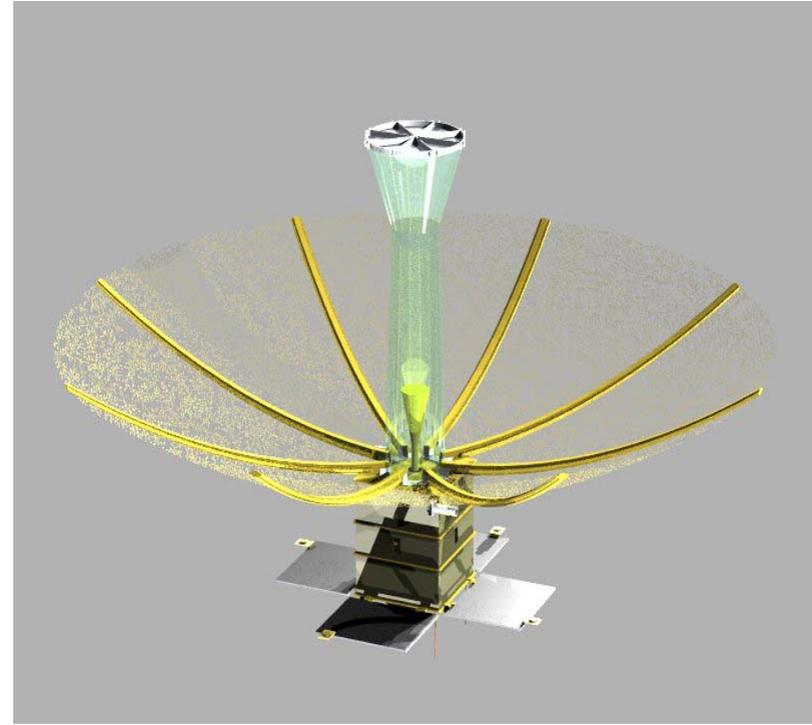
# La Missione Space-based Very Long Baseline Interferometry (SB-VLBI) (5)



# La Missione Space-based Very Long Baseline Interferometry (SB-VLBI) (6)

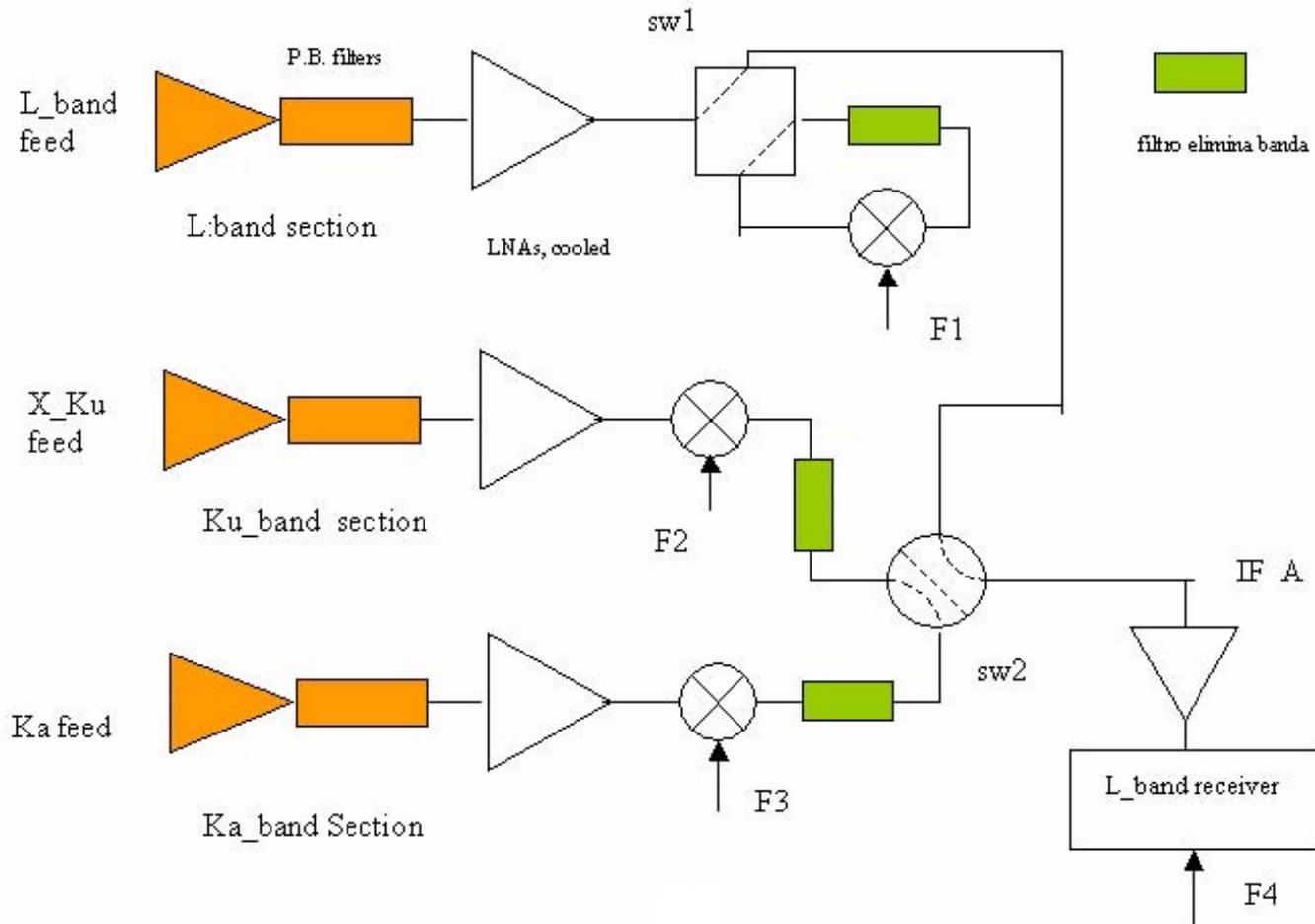


**Antenna chiusa prelancio**

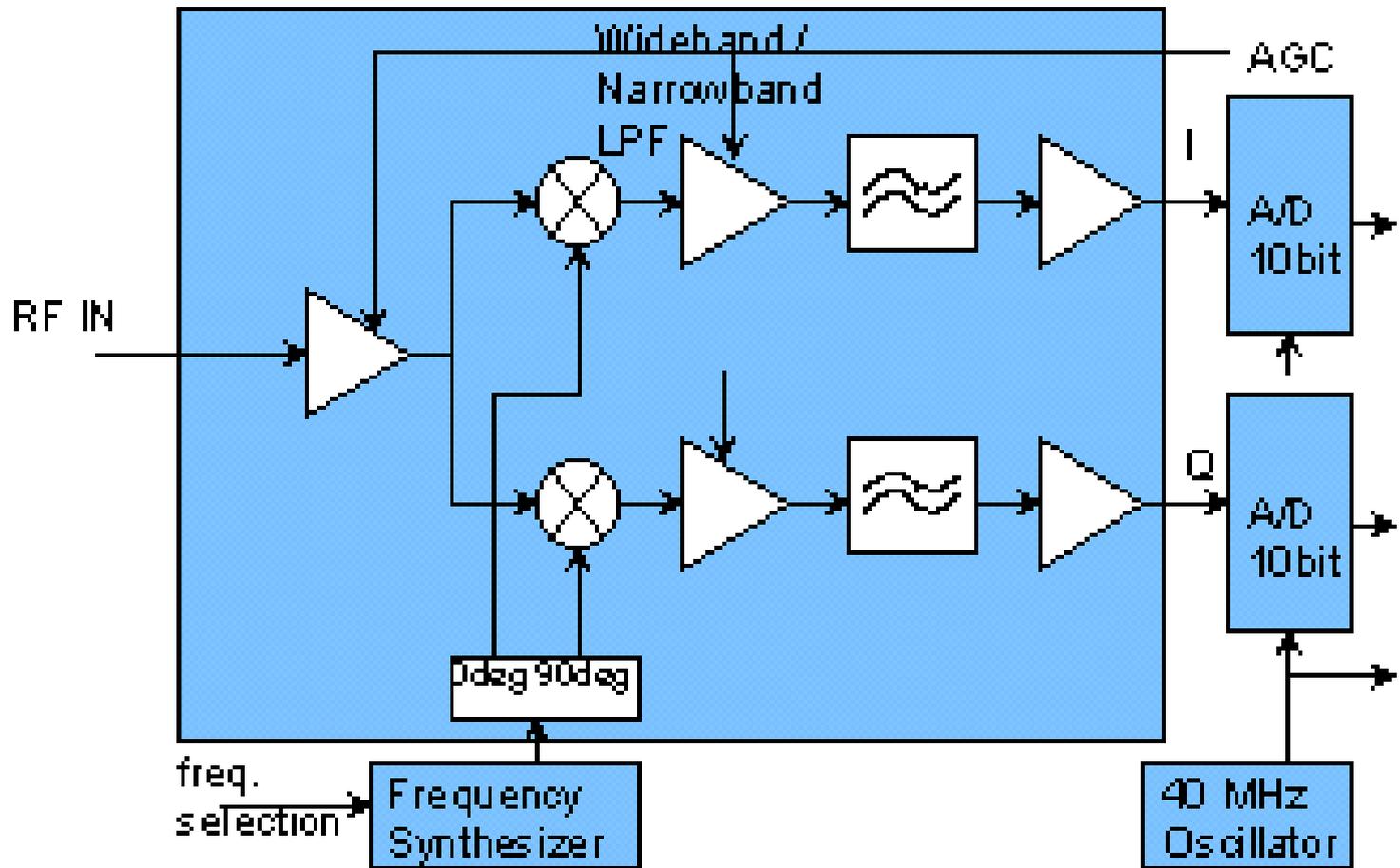


**Antenna aperta, in orbita**

# Schema della parte RF del ricevitore pluribanda (7)



# Schema del ricevitore in banda L, rivelatore e A/G converter (8)



# Missione SB-VLBI: processing a bordo (9)

- precompensazione del doppler -dovuto al moto relativo della radiostella rispetto al satellite in orbita circolare- mediante controllo delle frequenze di conversione del ricevitore che comunque sono agganciate al clock del GPS/GNSS
- la larghezza di banda video- post precompensazione del doppler - è di circa 50-100 KHz per accomodare doppler residui e lo spettro della radioemissione stellare;
- nel modo 'antenna singola' l'elaborazione a bordo non sarà molto diversa da quella prevista per la missione radioascolto
- Nel modo 'interferometria' si campiona e digitalizza il video grezzo e lo si immagazzina a bordo per trasmetterlo a terra in differita. Tuttavia i requisiti del sistema trasmissivo e di immagazzinamento dati risultano eccessivamente 'challenging' per un microsatellite.
- Si puo' tuttavia realizzare un modo 'interferometro' in cui il video grezzo viene ritrasmesso in tempo reale alle stazioni di terra in visibilità.

# Missione SB-VLBI: processing a bordo (10)

- limitandoci alla ritrasmissione diretta del segnale ricevuto dalla radiosorgente avremo intervalli multipli di trasmissione dell'ordine di 8-10 minuti ogni 12 ore circa, *per ogni stazione ricevente presente nel network*. Per una banda video di 150 KHz la data rate di trasmissione potrà essere di circa 6 Mbps , ricevibile a terra con antenne di 3 m di diametro
- la presenza nel network di più stazioni riceventi moltiplicherebbe il tempo totale giornaliero di ricezione dati trasmessi da satellite relativi ad una singola radiosorgente
- nel caso migliore, la massima distanza a terra tra due stazioni che possono simultaneamente ricevere i dati trasmessi in 'real time' dal microsatellite, è di circa 3500 km, ed il tempo utile per la ricezione simultanea è di 4-5 minuti
- la geometria spaziale del satellite e delle stazioni coinvolte nell'esperimento di interferometria sarà comunque rapidamente variabile e ciò può rendere più complessa la sua attuazione;

## Missione SB\_VLBI: aree di problemi (11)

- approfondimento dei requisiti di osservazione sia nella modalità 'antenna singola' che nella modalità 'interferometria';
- sensibilità del sistema
- come utilizzare l'incremento del tempo di osservazione realizzabile da satellite, in presenza di vincoli sul sistema trasmissivo e nel tempo di visibilità simultanea della radiostella dalla stazione terrestre e dal satellite;
- come gestire al meglio la variabilità continua della doppler dovuta al moto (veloce) del satellite in presenza di segnali ricevuti molto deboli;
- verifica della protezione offerta dal fascio direttivo dell'antenna nei confronti di emissioni spurie e disturbi di origine terrestre
- come ripartire al meglio tra bordo e terra le funzioni di elaborazione implicite nel modo operativo 'interferometria'
- dimensionamento realistico del sistema terra-bordo per la ritrasmissione dati grezzi in tempo differito nel modo operativo 'interferometria' .

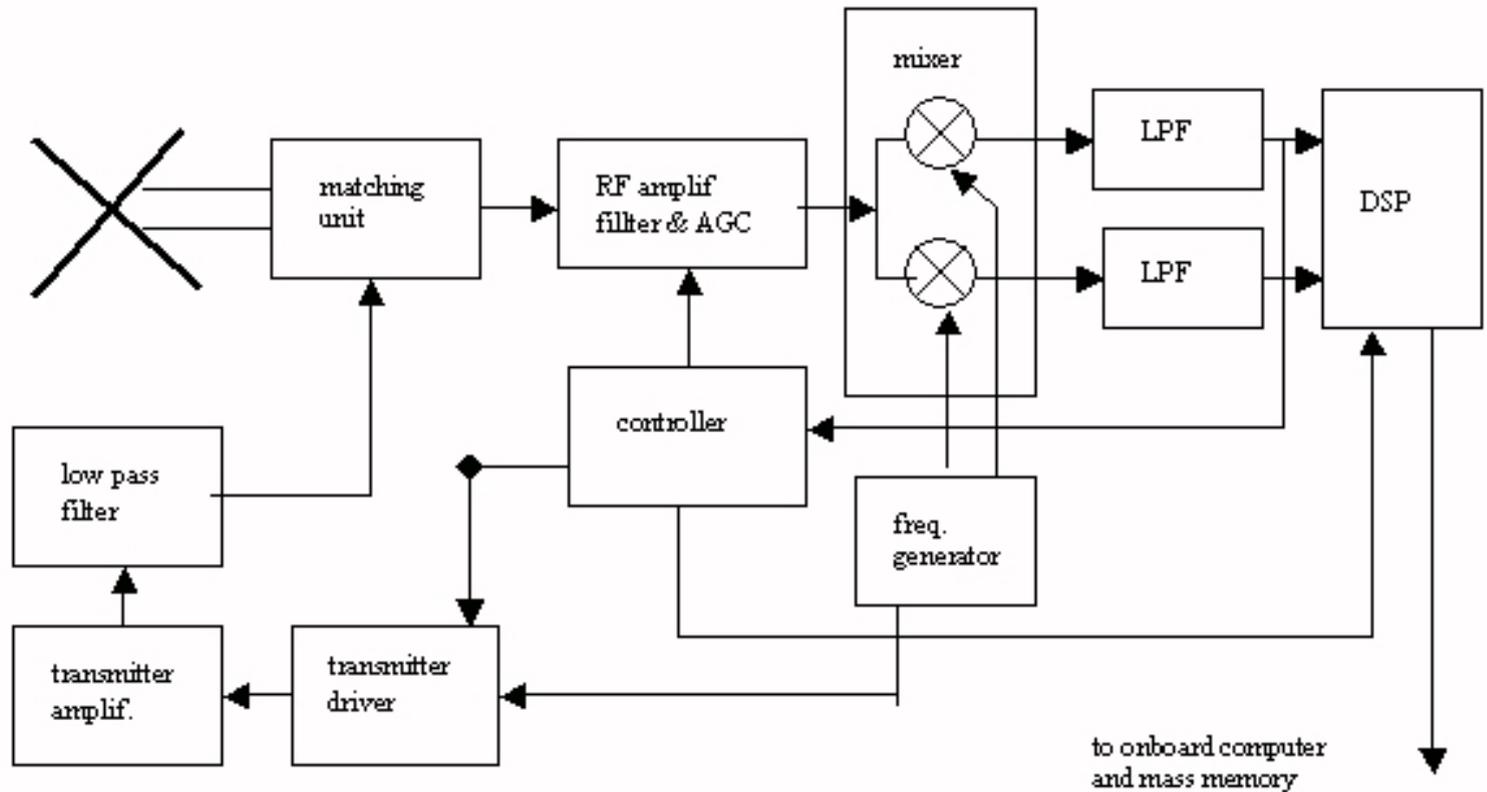
# La Missione SkyWave e il topside sounder (1)

- La missione ha per obiettivo la ‘mappatura’ in termini temporali e spaziali della ionosfera terrestre, ai fini di un miglioramento delle previsioni sulla propagazione ionosferica in banda HF e come supporto sperimentale alla tematica generale dello ‘space weather’ che ha un grande impatto sulle attività industriali ed economiche in generale
- La missione prevede l’impiego di un ‘topside sounder’ : un radar pulsato operante in banda 0.3-10 MHz, per la caratterizzazione della ionosfera tramite i ritorni nello spazio-tempo degli echi indotti dalla concentrazione elettronica e ionica nell’atmosfera terrestre
- In pratica è un ‘repeat’ in chiave moderna degli esperimenti di sounding ionosferico realizzati oltre 20 anni fa dalle missioni canadesi Alouette e ISIS;

## La Missione SkyWave e il topside sounder (2)

- L'obiettivo di sperimentare la fattibilità di un 'mapping' sistematico della ionosfera terrestre è collegato al tema dello 'space weather' che influisce su:
  - a) la presenza umana nello spazio
  - b) la tecnologia: comunicazioni e navigazione; sistemi e tecnologia spaziale; il drag atmosferico; la circolazione di correnti nello spazio
  - C) i cambiamenti del clima su scala globale

# Schema a blocchi del Topside Sounder (3)



## La Missione SkyWave e il topside sounder (4)

- Il Sounder usa un'antenna quadrifilare simile a quella ipotizzata per la missione del Radioascolto, ma poiché la banda di frequenze utilizzata (1– 15 MHz) è più bassa di quella del ricevitore di radioascolto (10-50 MHz), l'antenna a filo dovrebbe essere più lunga.
- Un ambizioso obiettivo considera la possibilità di progettare la quadrifilare in modo da renderla utilizzabile nell'intera banda di frequenze da 1 a 50 MHz.
- L'attuazione di quanto sopra con reti di adattamento (matching) solo passive è un ulteriore obiettivo

# Il processing a bordo del sounder (5)

- L'obiettivo minimo del processing è di realizzare gli ionogrammi direttamente a bordo del satellite, come mappe tridimensionali della densità degli echi (ampiezza-frequenza) per incidenza quasi verticale ad intervalli temporali discreti cui corrisponde un rettangolo – di coordinate note- dello spazio sottostante il satellite
- Gli ionogrammi verrebbero immagazzinati a bordo – eventualmente comprimendo i dati- o trasmessi direttamente a terra se il satellite e la stazione di raccolta dati sono in visibilità mutua.
- Un ulteriore obiettivo, che tuttavia può essere realizzato più comodamente ed efficacemente a terra, è la derivazione- dai dati grezzi- di predizioni ionosferiche nello spazio-tempo. Questa caratteristica potrebbe tuttavia richiedere la realizzazione di una costellazione di satelliti operativi, dedicati, e quindi fuoriesce dal contesto di questo programma dimostrativo-sperimentale

## La Missione SkyWave e il topside sounder (6)

- Il Topside Sounder volerebbe sul secondo satellite insieme al payload per l'interferometria (SB-VLBI)
- Vi è la richiesta che il sounder sia predisposto con l'asse ortogonale al piano dei dipoli allineato con il nadir, ma la missione VLBI richiede di puntare il 'boresight' dell'antenna parabolica verso la radiostella di cui si vuol raccogliere il segnale.
- Queste esigenze possono implicare un time-sharing del tempo complessivo di missione, ma la quasi omnidirezionalità dell'antenna del sounder potrebbe render compatibile la sua funzione indipendentemente dall'assetto del satellite

# Topside sounder: Aree di problemi (7)

- I problemi che si prospettano sono in parte di natura tecnologica in parte legati al software di modellizzazione
- a) realizzazione 'autarchica' dell'antenna a filo estendibile in orbita per svincolarci da un 'buy' in USA;
- b) rete di adattamento 'passiva' a banda larga ( 1-15 MHz come obiettivo parziale e 1-50 MHz come 'target' per usare l'antenna anche per la funzione di ascolto in banda HF-VHF)
- c) amplificatore pulsato di alta efficienza
- d) elaborazione SW degli echi per la costruzione degli ionogrammi
- e) possibilità di compressione degli ionogrammi
- f) possibilità e limiti di una ulteriore elaborazione di sequenze di ionogrammi a bordo del satellite per derivare informazioni predittive di tipo sintetico su base almeno regionale.

# Caratteristiche principali dei microsatelliti

Sistemi di comunicazione per TLM e CMD : in banda UHF. Per il trasferimento dei dati scientifici: banda S

Calcolatore di bordo: con memoria di diversi GB

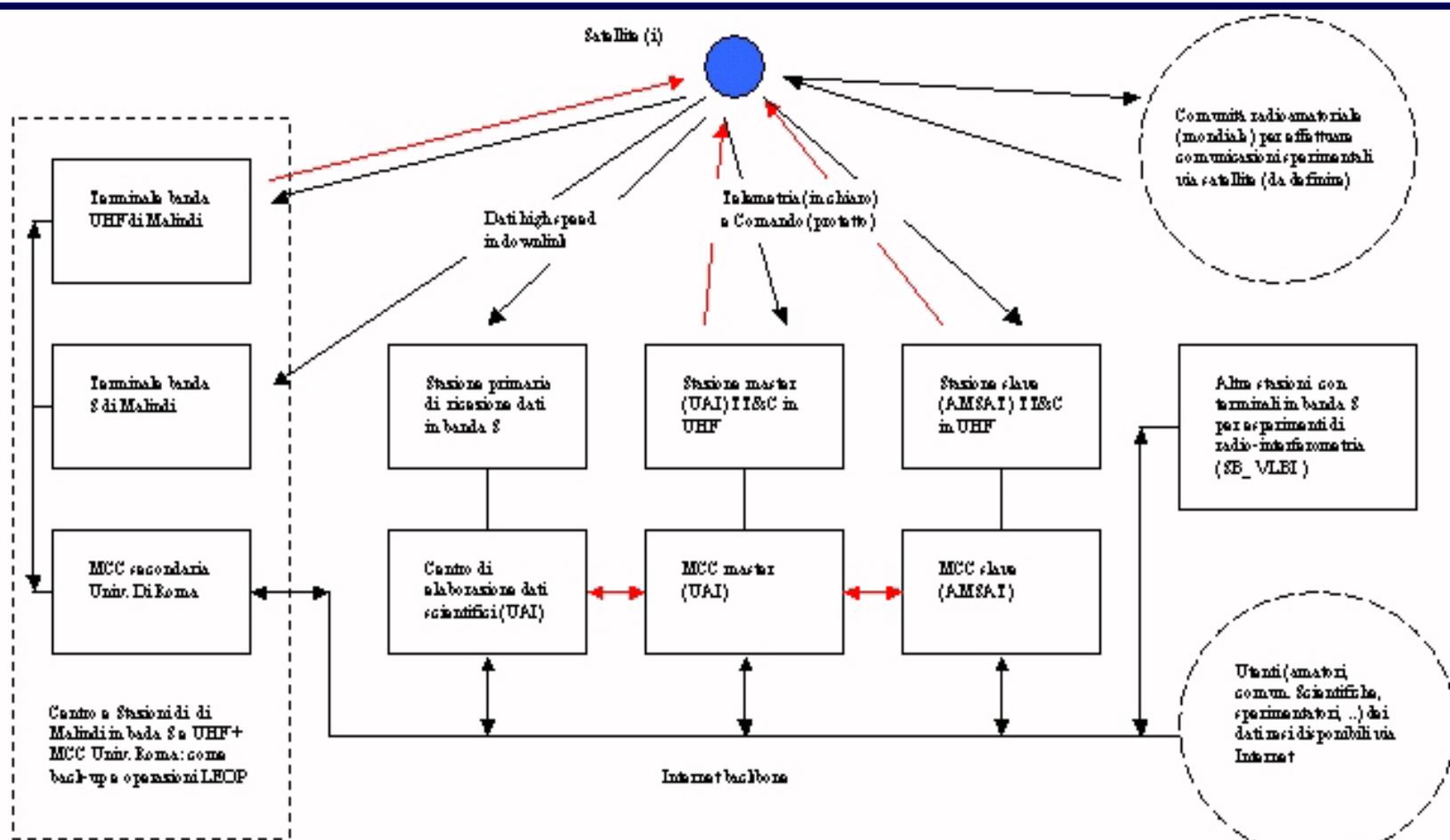
Controllo di assetto: a tre assi , di precisione

Navigazione e timing: basato su ricevitore GPS a bordo

Tecnologie realizzative: COTS, componenti per uso terrestre opportunamente setacciati; supercomponenti industriali selezionati; manufatti realizzati in ambito amatoriale-professionale

Testing: intensivo a livello unità e sottosistema, prove di compatibilità e funzionalità a livello di sistema;

# Il Segmento Terrestre del Sistema



Schema semplificato del Segmento Terrestre del Progetto ASTROSAT-SKYWAVE

# Centro di controllo

## ■ Funzioni:

- Gestione telemetrie e telecomandi satellite
- Gestione TLM e CMD payloads
- Ricezione dati scientifici
- Distribuzione dati scientifici a centri distribuiti di elaborazione

## ■ Realizzato con:

- PC equipaggiati con software COTS
- antenne in banda UHF e S dinamicamente ripuntabili
- Smistamento dati scientifici a gruppi di utilizzatori: via Internet

# Ricezione dati scientifici e comunicazioni amatoriali

## ■ Funzioni:

- *Ricezione dati relativi ai payloads scientifici:*
  - Osservatorio astronomico
  - Radioascolto in banda HF-VHF
  - Radioastronomia: SB-VLBI;
  - Ionosfera: Topside sounder
  
- *Ricezione dati per scopi educativi e amatoriali*
  - Ricezione telemetrie
  - Ricezione comunicazioni tra radioamatori una o due vie
  - Mediante piccoli terminali in banda UHF / VHF e banda S disseminati sul territorio nazionale

# Vantaggi e benefici

## ❑ Per gli Enti di Ricerca

- Partecipazione a sperimentazioni e realizzazioni con contenuto scientifico

## ❑ Per le associazioni amatoriali (astro e radio)

- Ottenere dati di grande valore dagli esperimenti di bordo
- Contribuire alla realizzazione di missioni scientifiche e dispositivi tecnologici ;
- Valorizzare il contributo degli Astrofili e dei Radioamatori alla ricerca scientifica

## ❑ Per l'Università

- Contribuire alla formazione 'sul campo' di nuovi ingegneri e ricercatori mediante partecipazioni ai teams di lavoro
- Valorizzare esperienze precedenti con la partecipazione alla realizzazione di microsatelliti