

“Missioni e Strumentazione per lo Spazio”

Analisi dell'ambiente spaziale: studio del Sole, dell'atmosfera terrestre e della loro interazione; astrodinamica con studio particolareggiato delle orbite e delle caratteristiche di una missione spaziale (propulsione, trasmissione dati, ...)

Applicazioni in laboratorio con strumentazione e software.

Utilizzo di una missione particolare e relative applicazioni agli argomenti trattati durante il corso ([AtmoCube](#))

Anna Gregorio

anna.gregorio@ts.infn.it

tel. 040 558 3356 / 334 1258939

SOMMARIO

- Corso:
 - Programma, orario, materiale, esami, disponibilità
- Motivazioni & Storia
- Astrofisica
- Astronomia
- Fisica della Terra
- Programmi Commerciali
- Programmi Educativi: AtmoCube
- Conclusioni

PROGRAMMA DEL CORSO 1/2

1. INTRODUZIONE ALLA FISICA SPAZIALE

- Scopi dell'esplorazione spaziale
- Storia dell'esplorazione dello spazio

2. IL SOLE E L'AMBIENTE CIRCONSTANTE LA TERRA

- Il Sole
- L'atmosfera
- La ionosfera
- La magnetosfera
- Le fasce di radiazione di Van Allen

3. INTRODUZIONE ALL'ASTRODINAMICA

- Orbite kepleriane
- Generalità sulle orbite
- Cambiamenti d'orbita
- Scelta dell'orbita per un satellite astronomico

PROGRAMMA DEL CORSO 2/2

4. GEOMETRIA DI UNA MISSIONE SPAZIALE

- o Geometria sulla sfera celeste

5. PROPULSIONE E POTENZA NELLO SPAZIO

- o Caratteristiche dei motori per razzi
- o Sistemi di propulsione
- o Sistemi di potenza

6. SISTEMI D'ASSETTO

- o Guida e controllo d'assetto
- o Sensori d'assetto

7. ULTERIORI SISTEMI DI UN SATELLITE

- o Sistema termico di un satellite
- o Struttura di un satellite
- o Telecomunicazioni di un satellite

Orario & materiale

➤ Mattino:

- Lunedì' 11-13, *Giovedì' 9-11*, Aula T20

➤ Pomeriggio

- Lunedì' e martedì', 14:30 – 18:30, Aula Poropat

➤ Materiale

- Dispense (Italiano)
- Fotocopie trasparenze (Italiano)
- Libro di riferimento: "Space Mission Analysis and Design" (SMAD), J.R. Wertz and W.J. Larson, 3rd edition, Space Technology Library ([in biblioteca!](#)) (Inglese)

Esame & disponibilit 

➤ Esame:

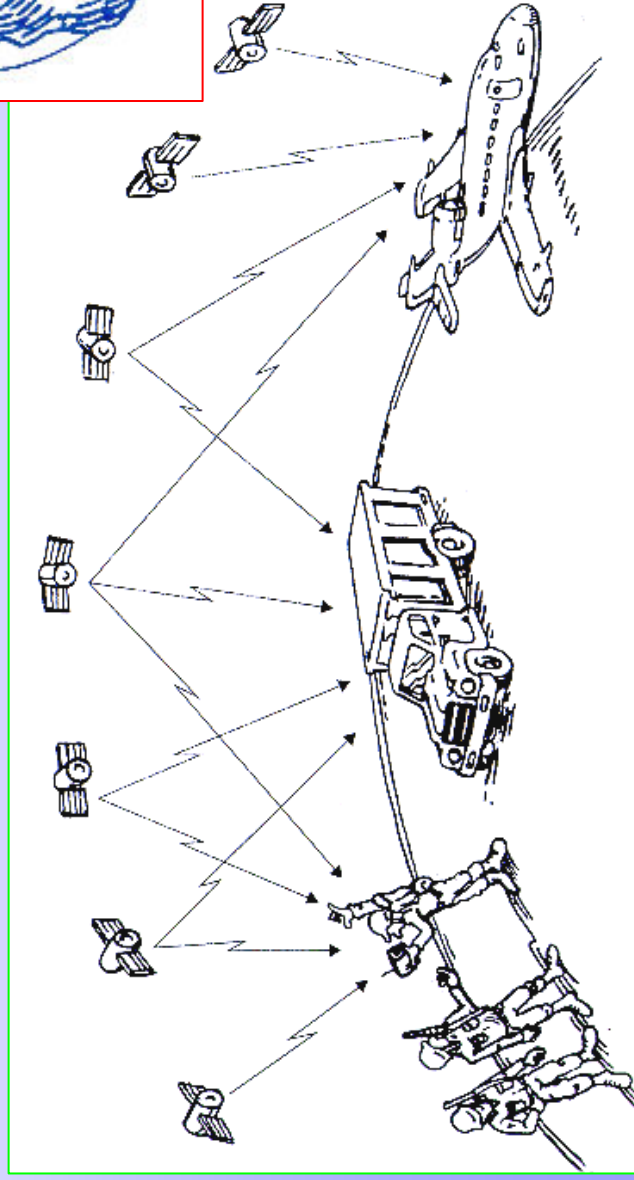
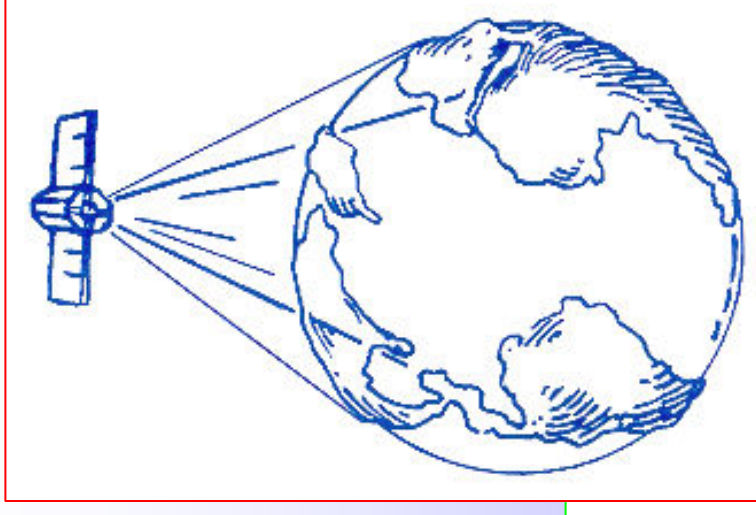
- Seminario di 20 minuti con un approfondimento di un argomento a piacere (consiglio: venite a parlarne prima)
- Due o tre domande sul programma
- Avvisare almeno una settimana prima

➤ Disponibilit 

- Stanza 217, tel. 040 558 3356, e-mail anna.gregorio@ts.infn.it, cellulare 334 1258939
- Richiesta: lista e-mail e un cellulare di (almeno) una persona di riferimento
- PC a disposizione?

MOTIVAZIONI 1/2

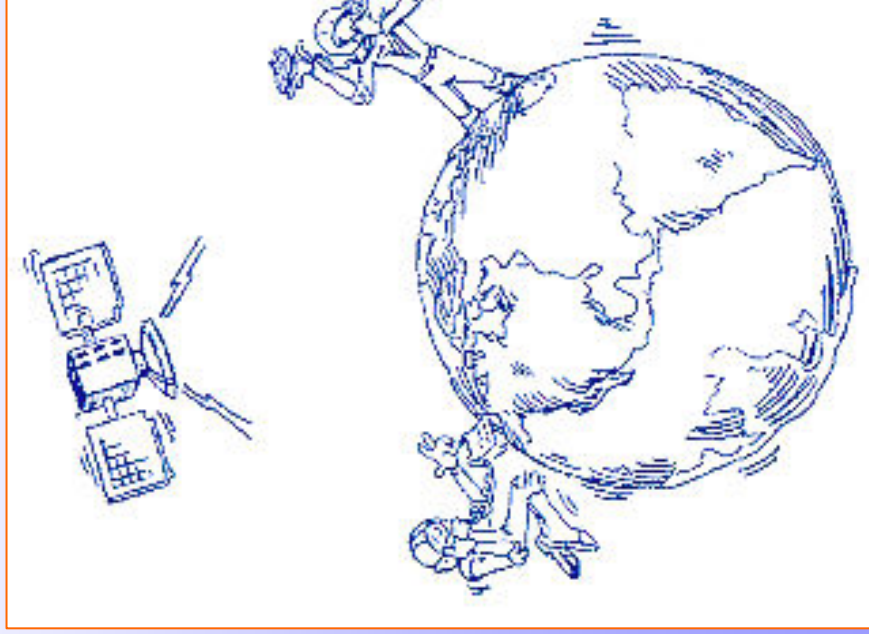
- Osservazioni della Terra
- Comunicazioni
- Navigazione



MOTIVAZIONI 2/2

➤ Scienza

➤ Esplorazione

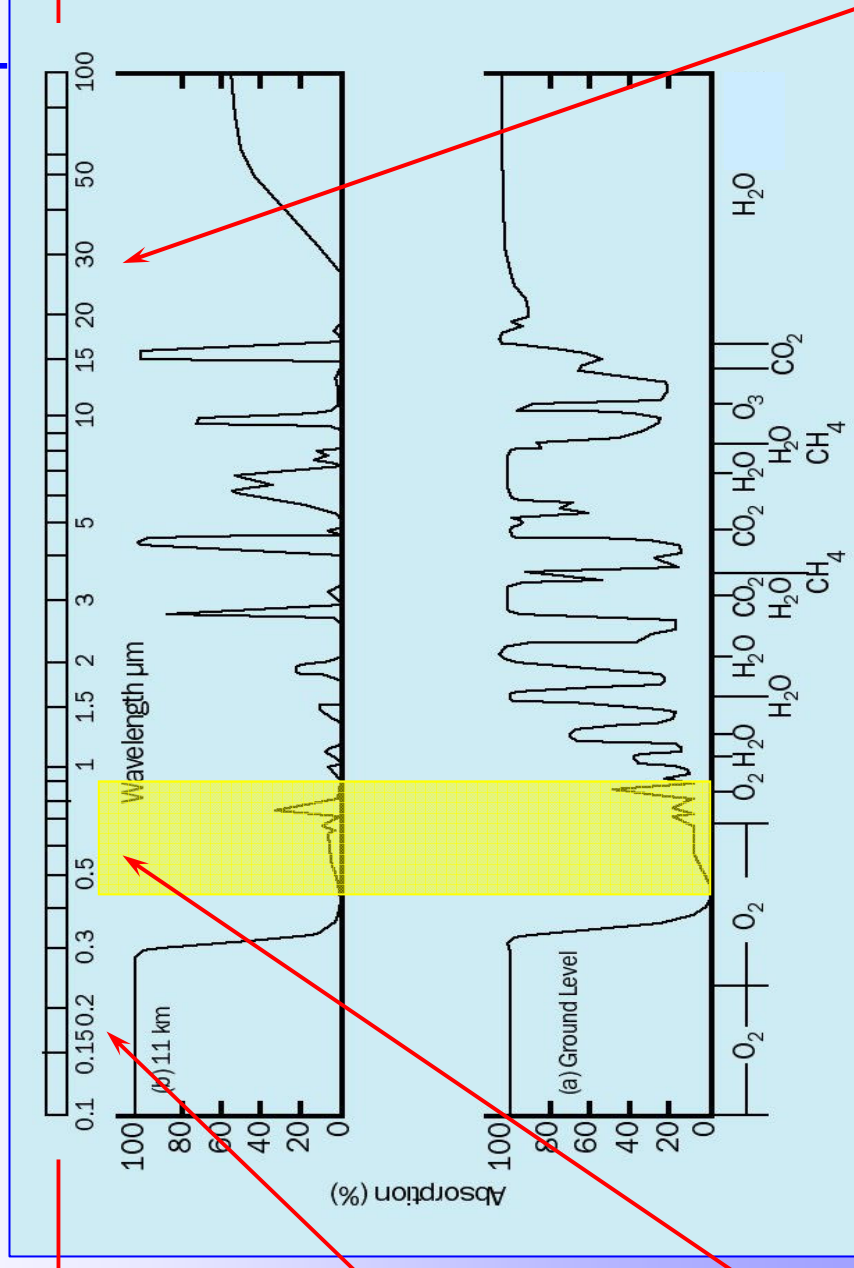


ATMOSFERA

Microonde / Onde Corte:

Raggi X / γ : gas intergalattico,
dischi accrescimento

fondo radiazione cosmica,
elettroni in campi magnetici

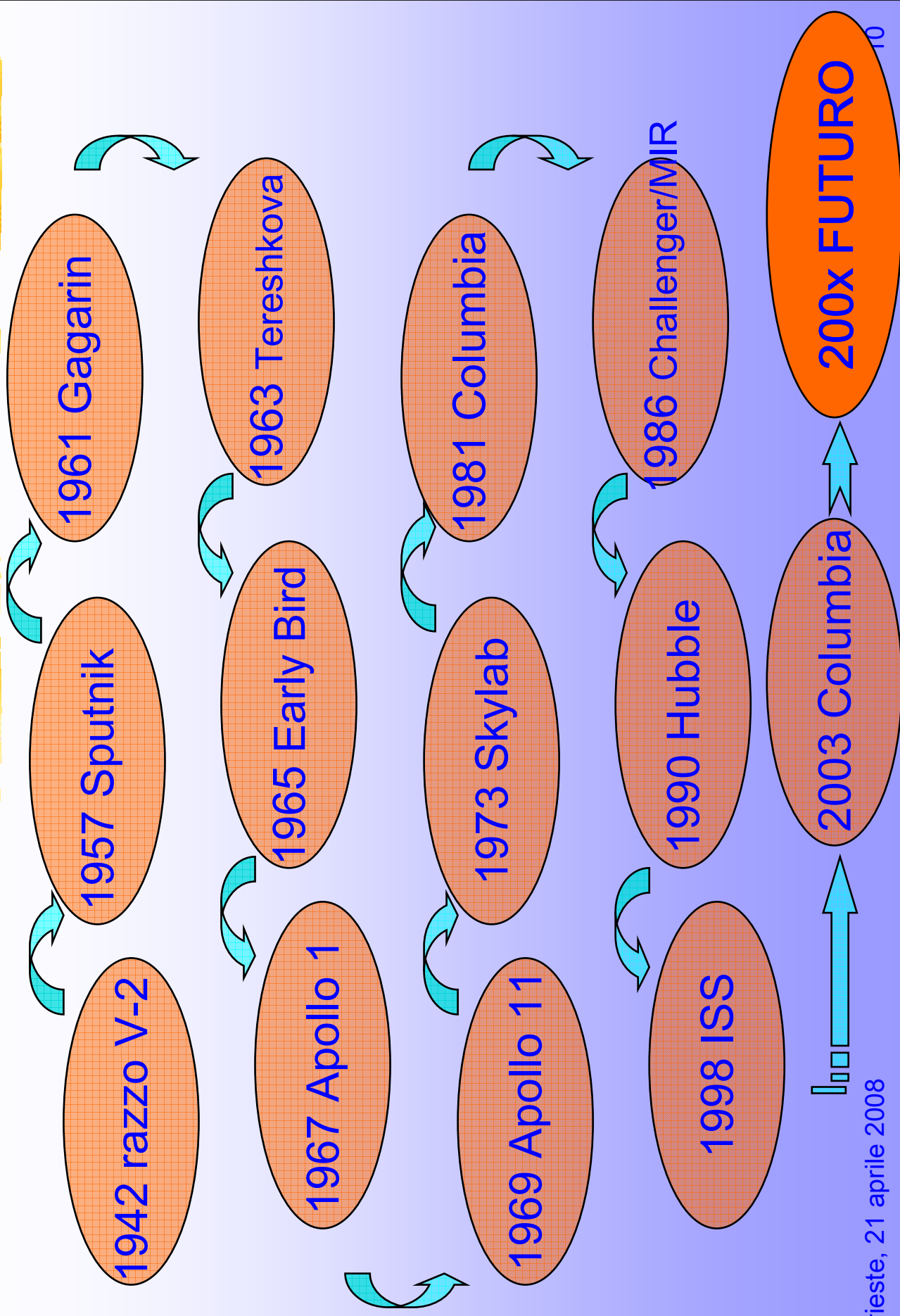


UV: stelle
calde

Visibile: stelle fredde

IR: polveri cosmiche, comete

STORIA



DIFFICOLTÀ TECNICHE 1/2

- Condizioni ostili ambiente spaziale:
 - escursioni termiche
 - vuoto
 - dosi di radiazione cosmica
 - particelle e frammenti
- Problematiche al lancio (vibrazioni)
- Strumentazione di dimensioni, peso e consumi ridotti

DIFFICOLTÀ TECNICHE 2/2

Radiazione nello Spazio (esempio)

Componenti Primarie

- Raggi Cosmici – particelle provenienti dallo spazio profondo
- Particelle Solari – particelle provenienti dal Sole
- Cinture di Radiazione – cinture di particelle energetiche che circondano la Terra

Componenti Secondarie

- Sciami Elettromagnetici – raggi cosmici nell'atmosfera
- Bremsstrahlung – elettroni attraverso un materiale/atmosfera
- Scintillazione (fluorescenza) particelle attraverso l'azoto atmosferico o componenti ottiche
- Radiazione Cherenkov – flash prodotti da particelle ad alta velocità attraverso materiali

STRATEGIA

Navette Spaziali (Shuttle)

- tempo in orbita breve
- recupero della strumentazione

Satelliti

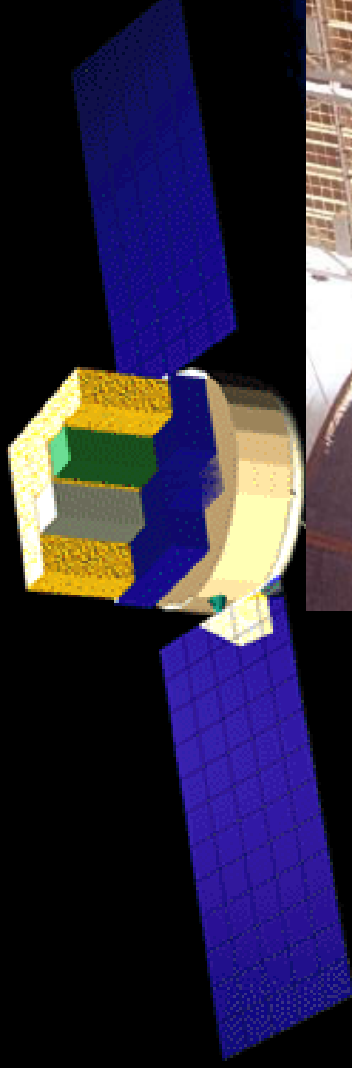
- tempo in orbita lungo
- impossibilità di recupero della strumentazione

Stazione Spaziale Internazionale (ISS)

- tempo in orbita lungo
- recupero della strumentazione

ASTROFISICA: XMM - GLAST - AMS

GLAST



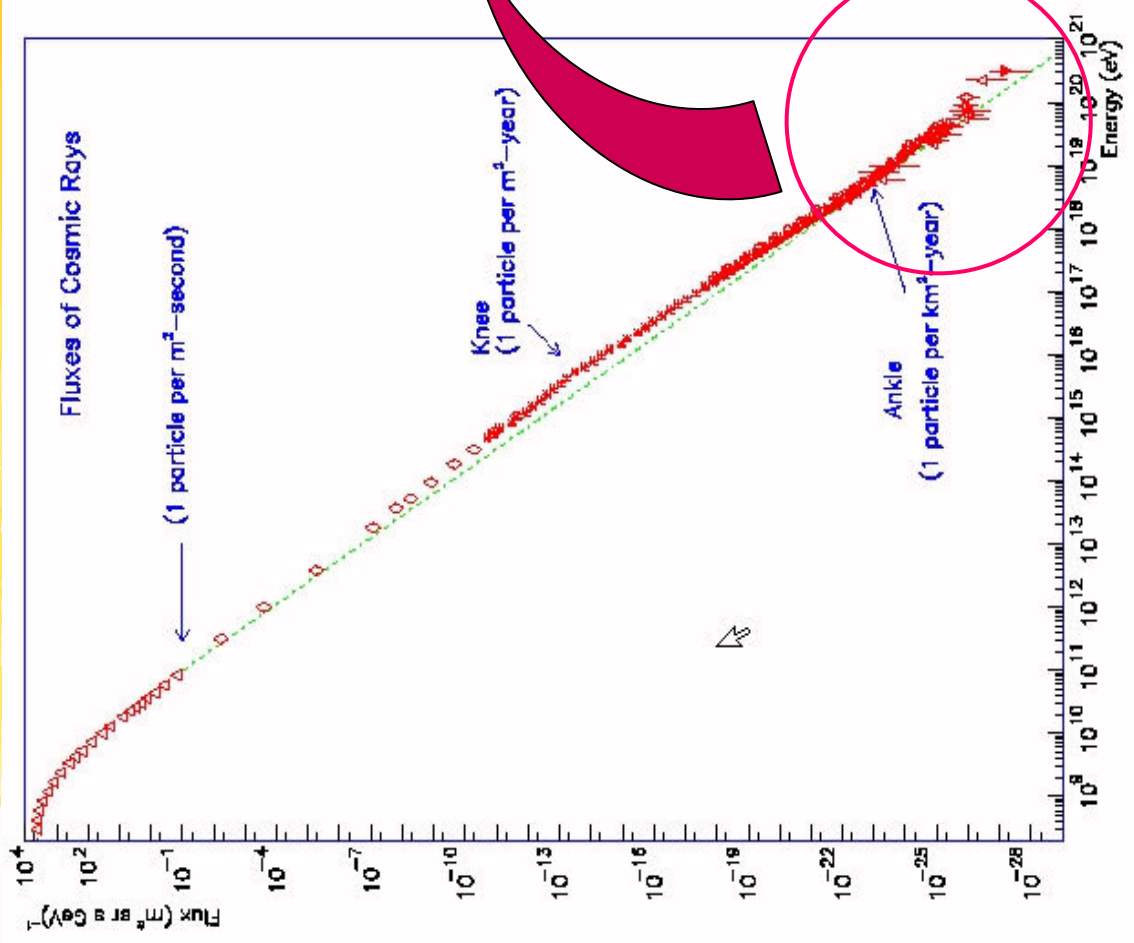
AMS



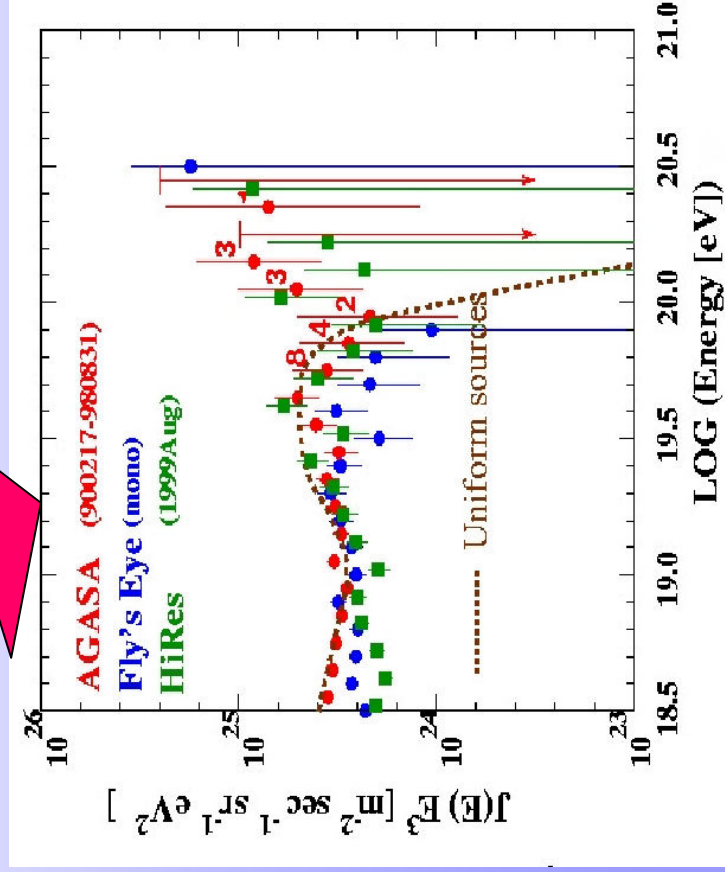
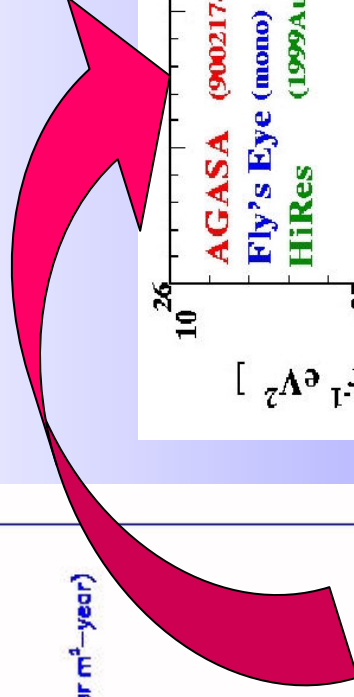
XMM



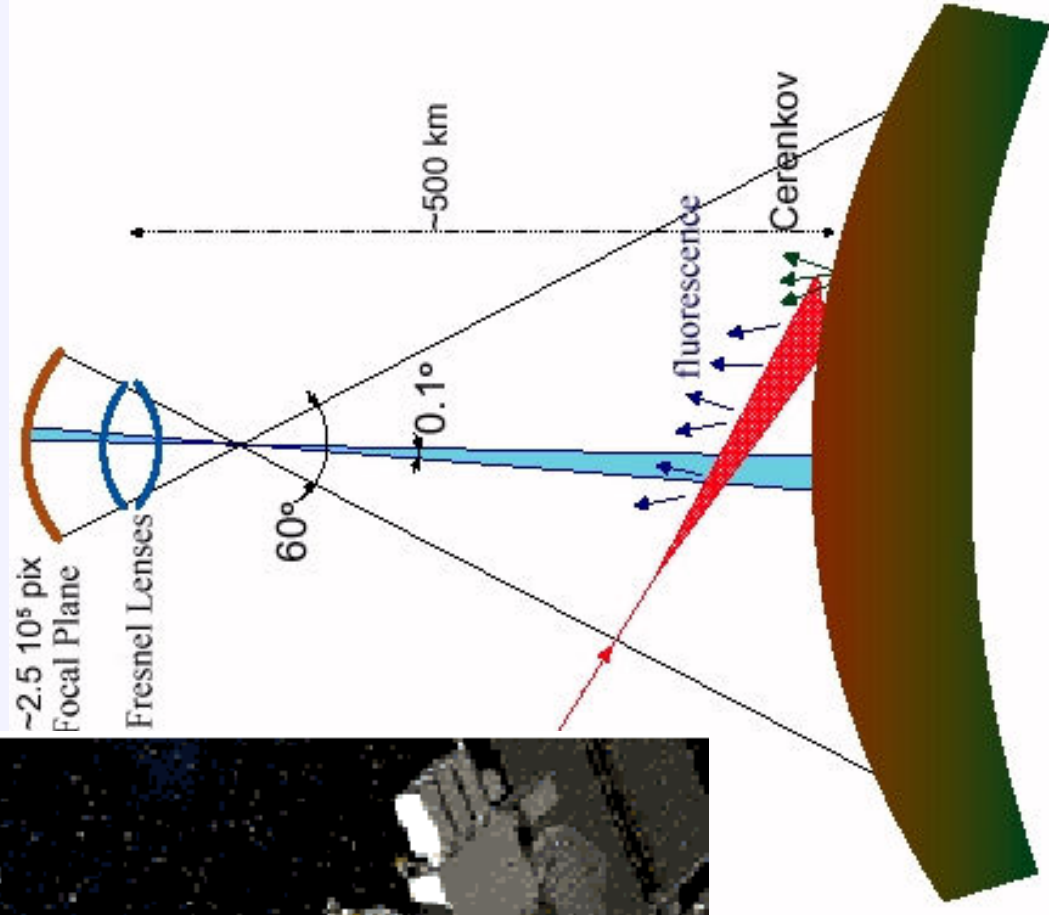
EUSO 1/2



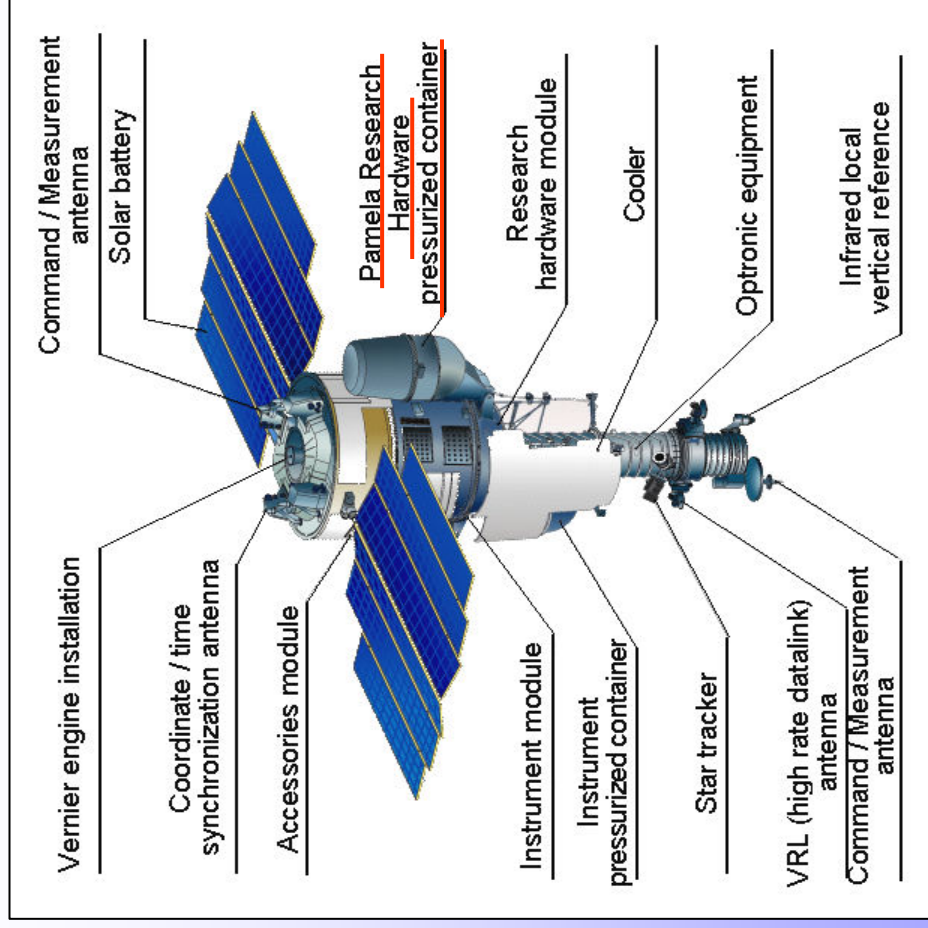
Flusso estremamente basso:
 ≈ 1 evento/sr/km²/secolo
 $\Downarrow$
 300 eventi



EUSO 2/2

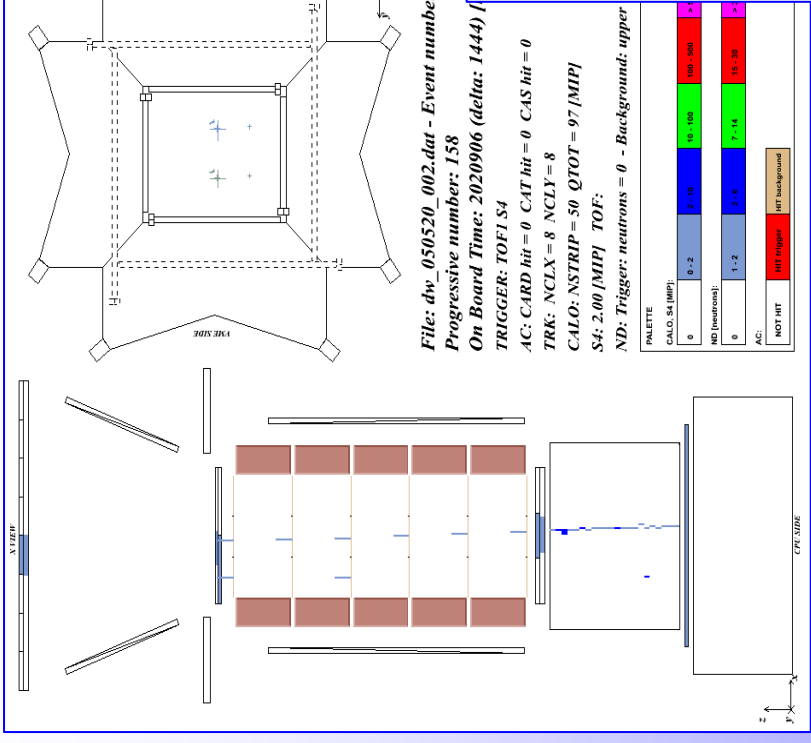


PAMELA 1/4

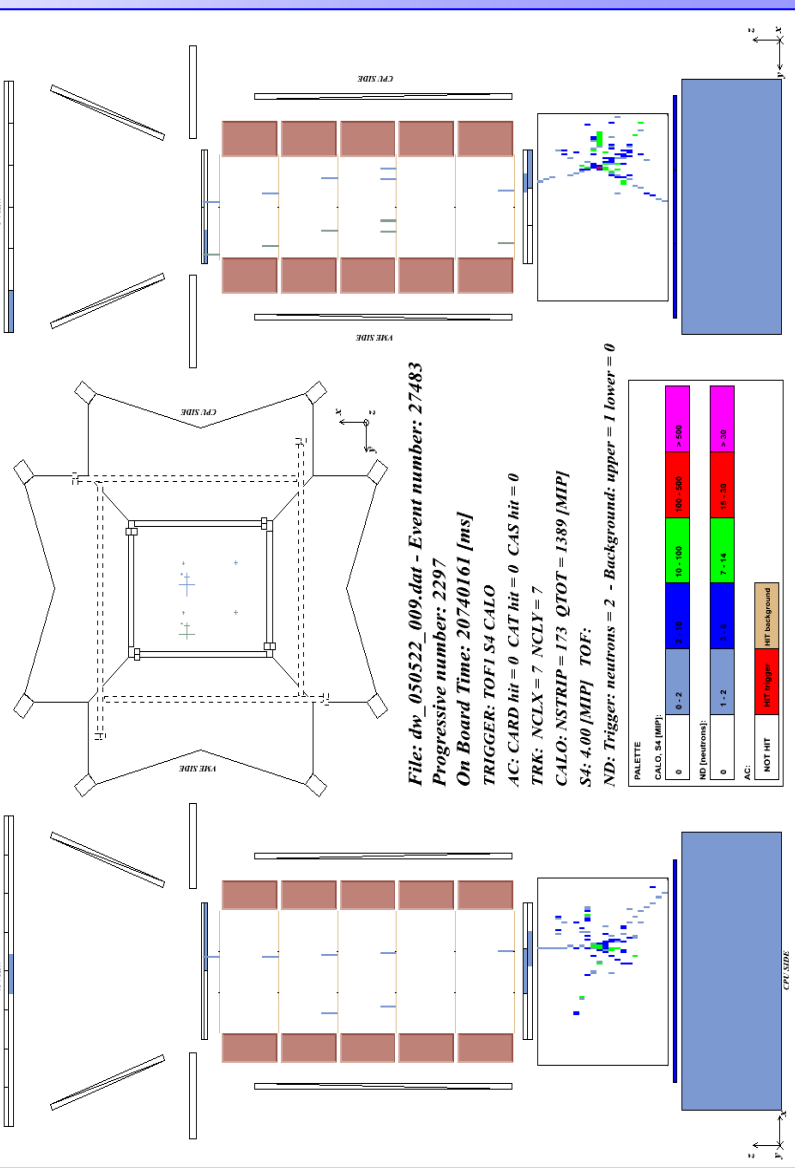
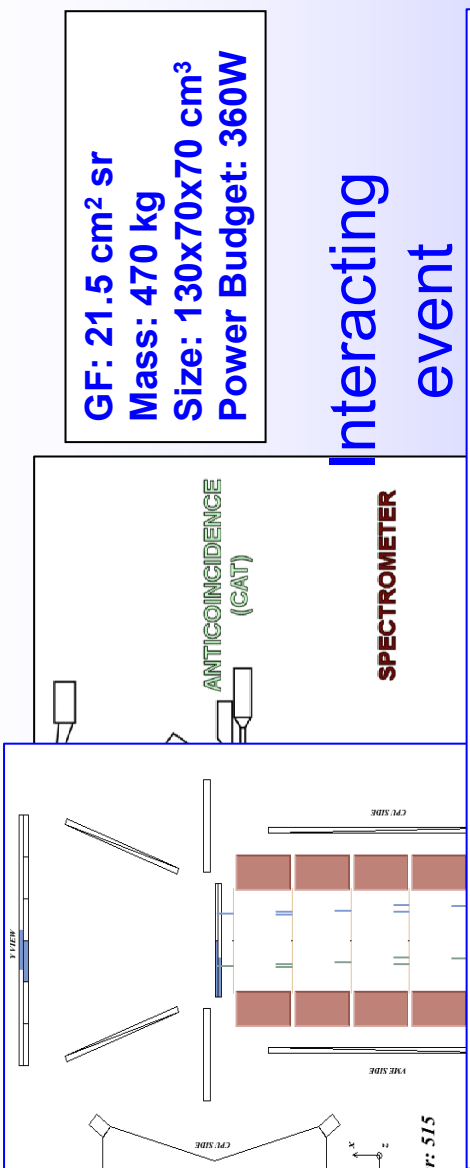


- Multi-spectral remote sensing of earth's surface
 - near-real-time high-quality images
- Built by the Space factory TsSKB Progress in Samara (Russia)
- Operational orbit parameters:
 - inclination $\sim 70^\circ$
 - altitude $\sim 360\text{-}600$ km (elliptical)
- Mass: 6.7 tons
- Active life > 3 years
- Data transmitted via Very high-speed Radio Link (VRL)

PAMELA 2/4



Non-interacting event

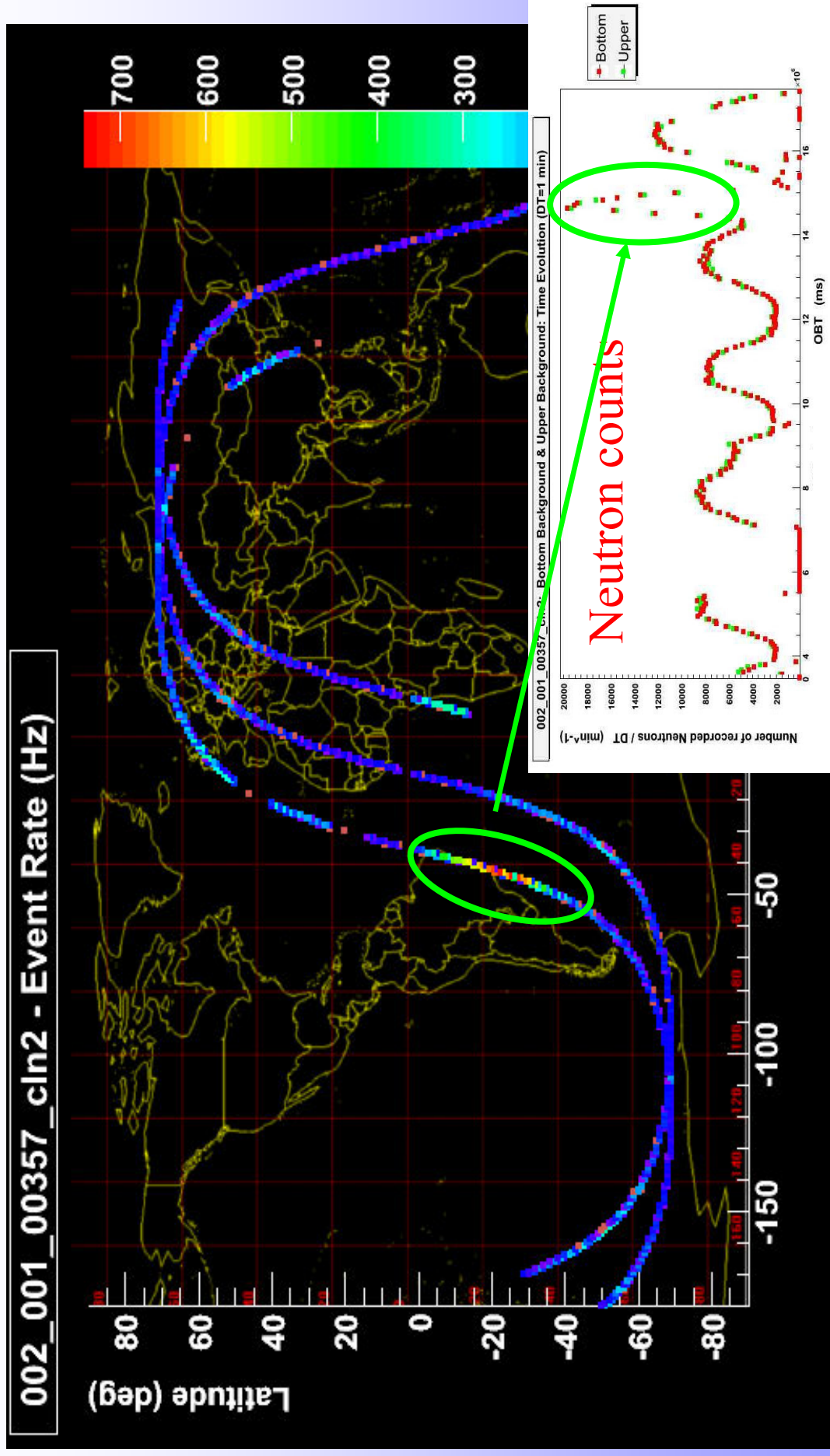


Interacting event

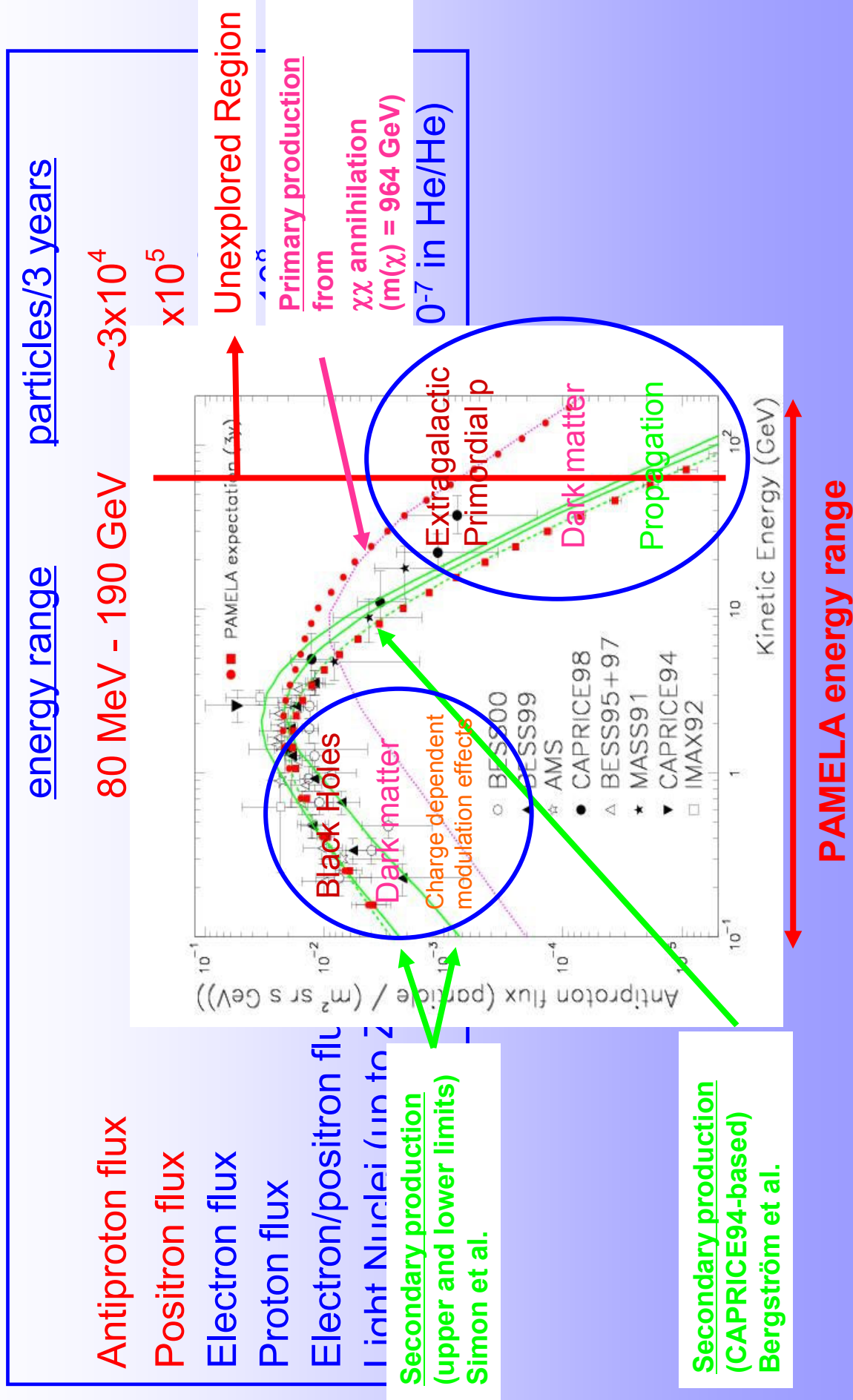
GF: 21.5 cm² sr
 Mass: 470 kg
 Size: 130x70x70 cm³
 Power Budget: 360W

ANTICOINCIDENCE (CAT)
 SPECTROMETER

PAMELA 3/4



PAMELA 4/4



AGILE 1/2

Astrorivelatore Gamma Immagini LEggero

- Missione dedicata all'astrofisica gamma
- Optimal imaging capabilities in both the gamma-ray energy range (30 MeV-30 GeV) and hard X-ray range (15-60 keV)
- Scientific Team: researchers and engineers of INAF-IASF, INFN, and several Italian Universities. The project is headed by M. Tavani (Principal Investigator) and G. Barbiellini (Co-Principal Investigator)
- Participation of several leading companies from the Italian space industry, including CARLO GAVAZZI SPACE, ALCATEL-ALENIA Space LABEN, OERLIKON-CONTRAVES Space, TELESPAZIO, and MIPOT



AGILE 2/2

Major topics are

- Active Galactic N
- Gamma Ray Bur
- Pulsars
- Gamma-Ray Un
- Supernova Rem
- Compact Object
- Gamma-ray Diffuse E
- TeV Sources
- Fundamental Physics



Gamma-ray Imaging Detector (GRID)	
Energy Range	30 MeV – 50 GeV
Field of view	~ 3 sr
Sensitivity at 100 MeV ($\text{ph cm}^{-2} \text{s}^{-1} \text{MeV}^{-1}$)	6×10^{-9} (5σ in 10^6 s)
Sensitivity at 1 GeV ($\text{ph cm}^{-2} \text{s}^{-1} \text{MeV}^{-1}$)	4×10^{-11} (5σ in 10^6 s)
Angular Resolution at 1 GeV	36 arcmin (68% cont. radius)
Source Location Accuracy	~5–20 arcmin $S/N \sim 10$
Energy Resolution	$\Delta E/E \sim 1$ at 300 MeV
Absolute Time Resolution	~ 1 μs
Deadtime	~ 200 μs
Hard X-ray Imaging Detector (Super-AGILE)	
Energy Range	10 – 40 keV
Field of view	$107^\circ \times 68^\circ$ FW at Zero Sens.
Sensitivity (at 15 keV)	~5 mCrab (5σ in 1 day)
Angular Resolution (pixel size)	~ 6 arcmin
Source Location Accuracy	~2–3 arcmin $S/N \sim 10$
Energy Resolution	$\Delta E < 4 \text{ keV}$
Absolute Time Resolution	~ 4 μs
Deadtime (for each of the 16 readout units)	~ 4 μs
Mini-Calorimeter	
Energy Range	0.3 – 200 MeV
Energy Resolution	~ 1 MeV above 1 MeV
Absolute Time Resolution	~ 3 μs
Deadtime (for each of the 30 CsI bars)	~ 20 μs

AGILE was successfully launched on April 23, 2007 by the Indian PSLV-C8 rocket from the Sriharikota base (Chennai-Madras).

The AGILE satellite was injected in the nominal equatorial orbit in agreement with the Scientific Requirements of the Mission. The satellite was tracked during its first pass over the ASI Malindi ground station in Kenya on Apr. 23rd. During its first orbit, its radio signal was also independently detected from the Sriharikota and Bangalore ground stations. The satellite is now in the initial Commissioning Phase. All test results are nominal.

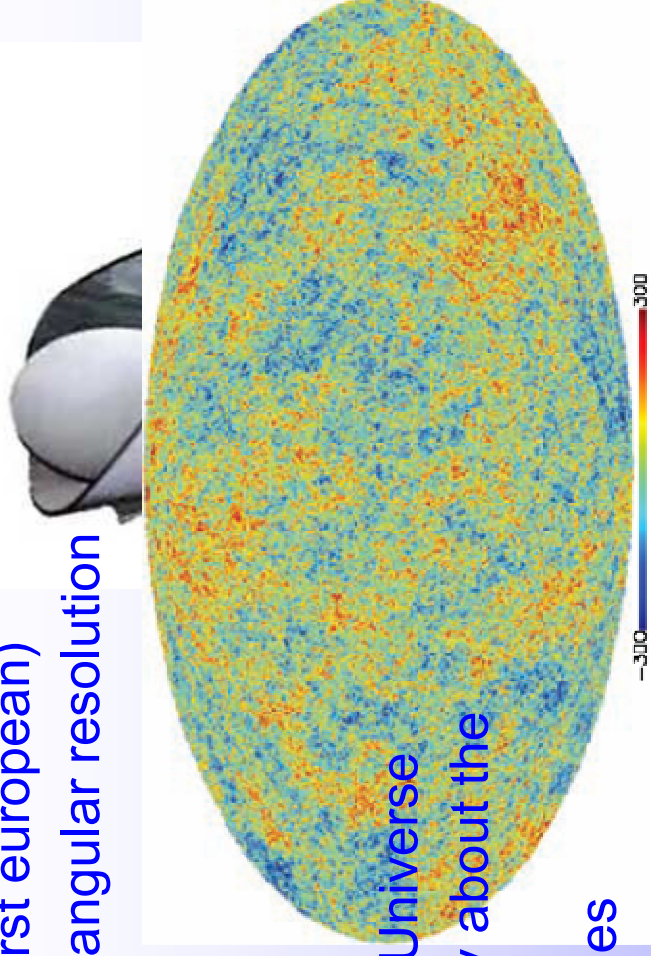
PLANCK 2/3

Planck is the third mission on CMB (first european)

- Better sensitivity ($\Delta T/T \sim 2 \times 10^{-6}$) and angular resolution (up to 5')
- Wider frequency range

Main scientific Objectives:

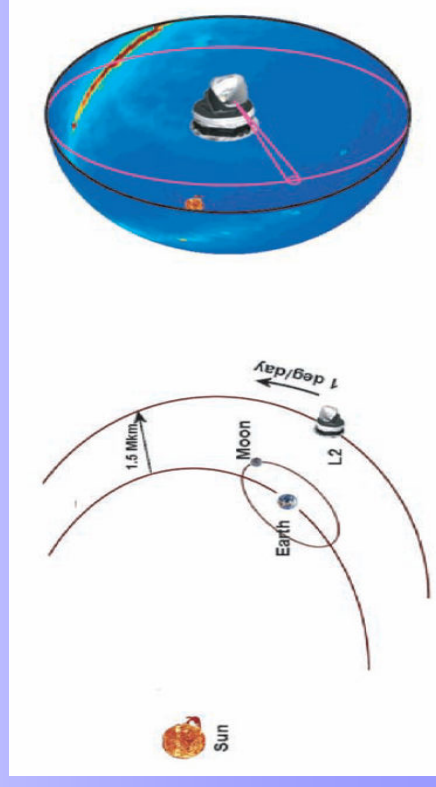
- Determination of geometry of the Universe
- Determination of the correct theory about the Universe origin and evolution
- Complete map of CMB anisotropies



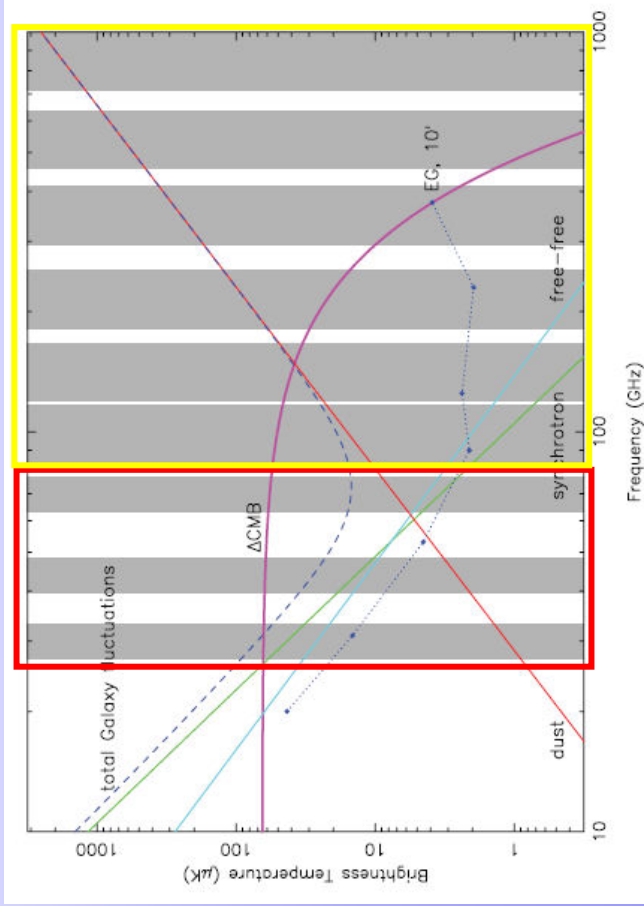
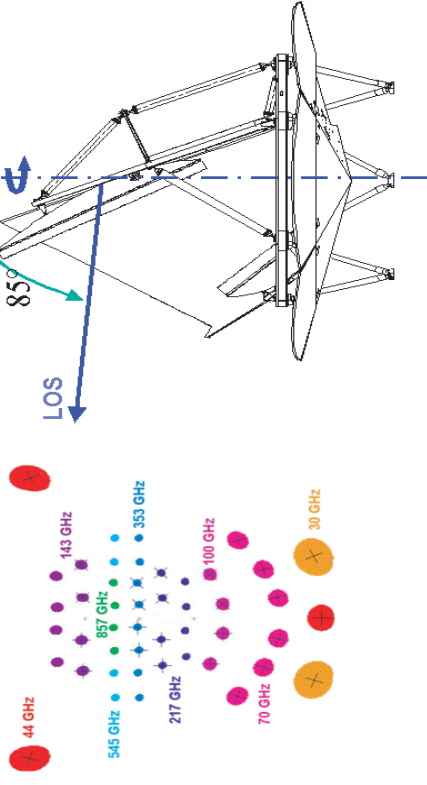
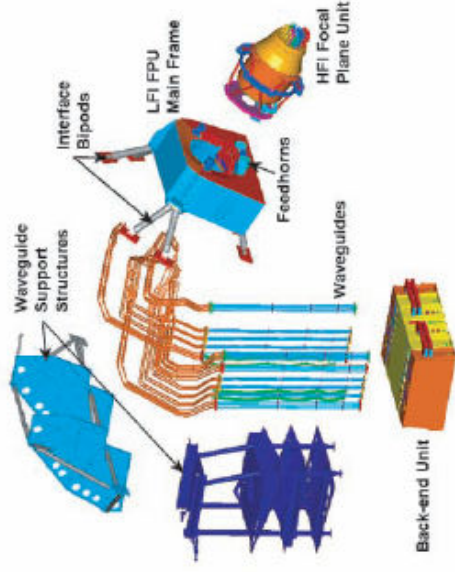
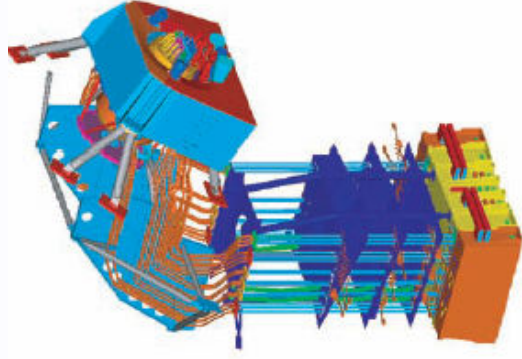
Orbit: Lissajous around Lagrangian point L2 of Earth-Sun-Moon system

Distance from the Earth: 1.5×10^6 km

Spin axis: opposite direction respect to the Sun

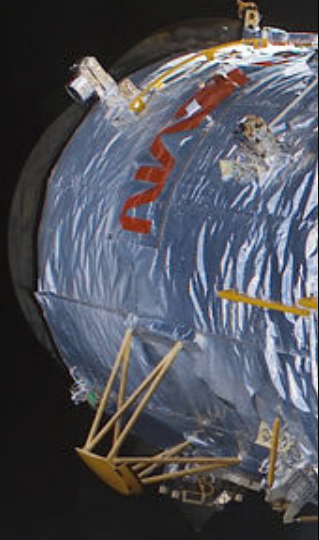


PLANCK 3/3



Centre frequency (GHz)	30	44	70
Bandwidth (GHz)	6	8.8	14
Angular resolution (arcminutes, FWHM)	33	24	14
Detector temperature (K)	20 K		
$\Delta T/T$ Intensity [$10^{-6} \mu K/K$]	2.0	2.7	4.7
$\Delta T/T$ polarization [$\mu K/K$]	2.8	3.9	6.7

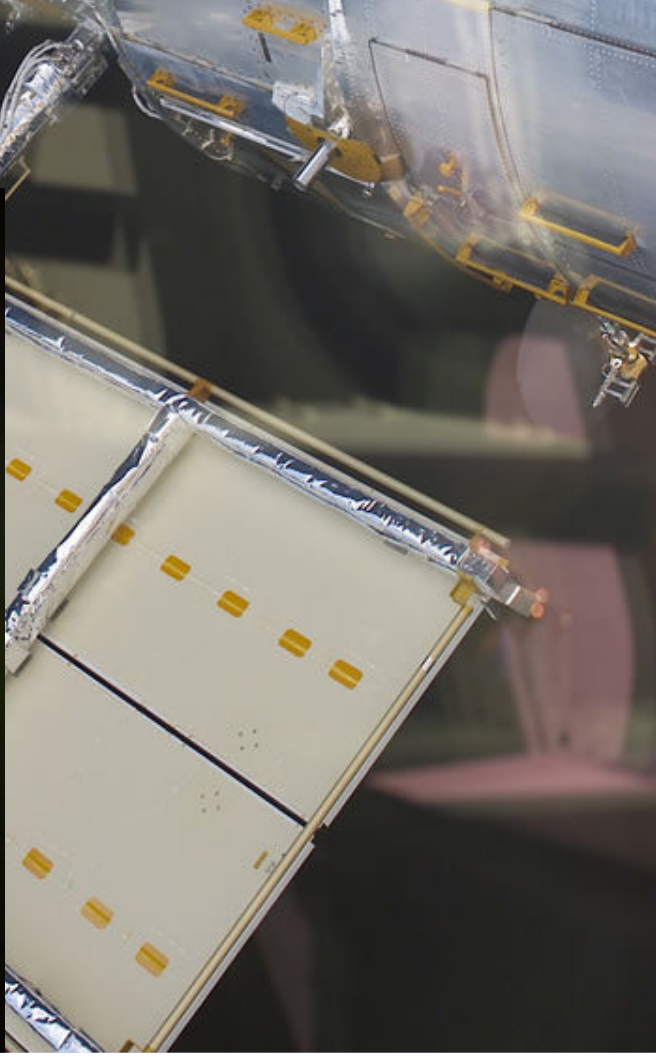
ASTRONOMIA: Hubble



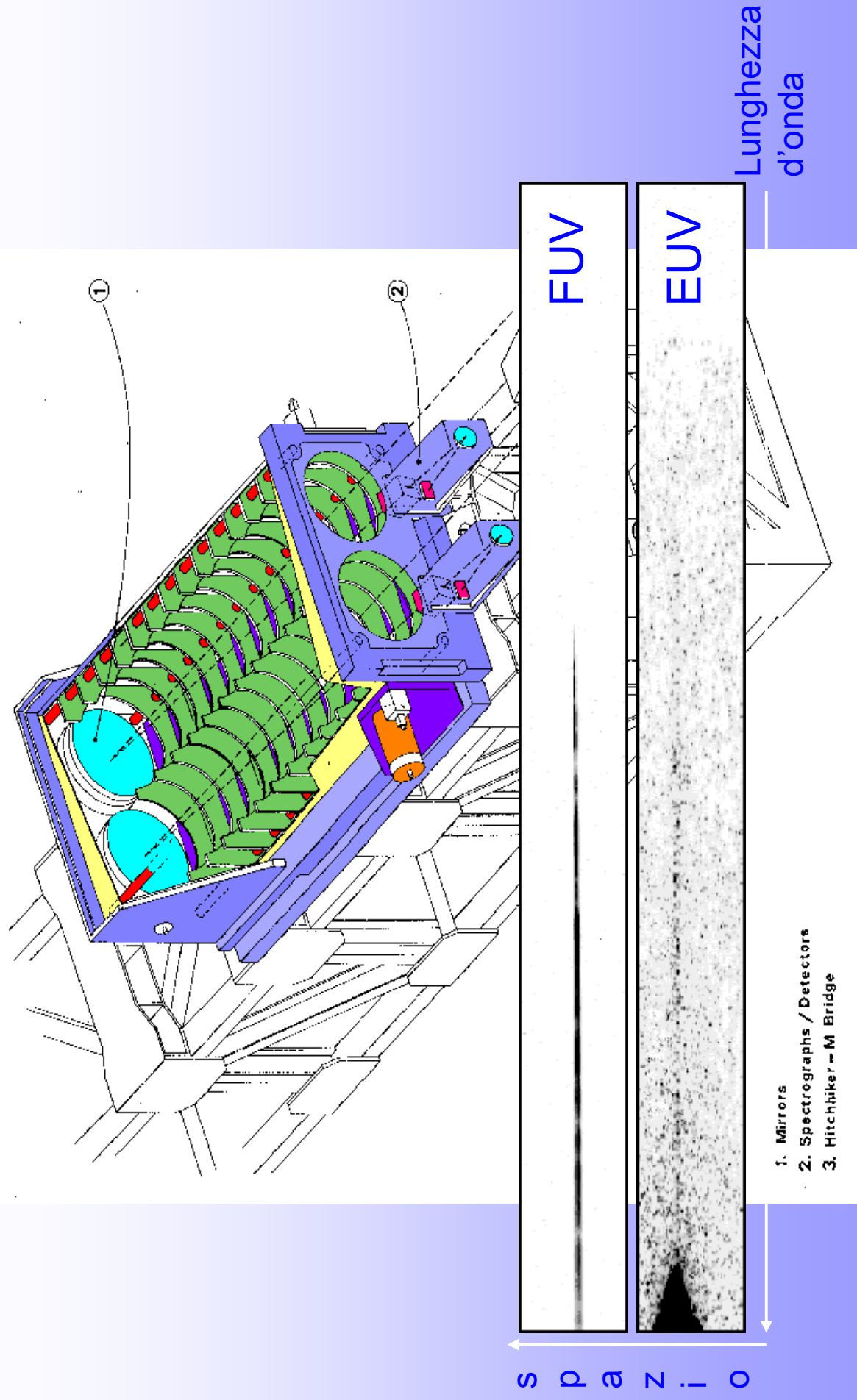
Distance: 1000-5000

Distant Supernovas in the Hubble Deep Field HST • WFFC2

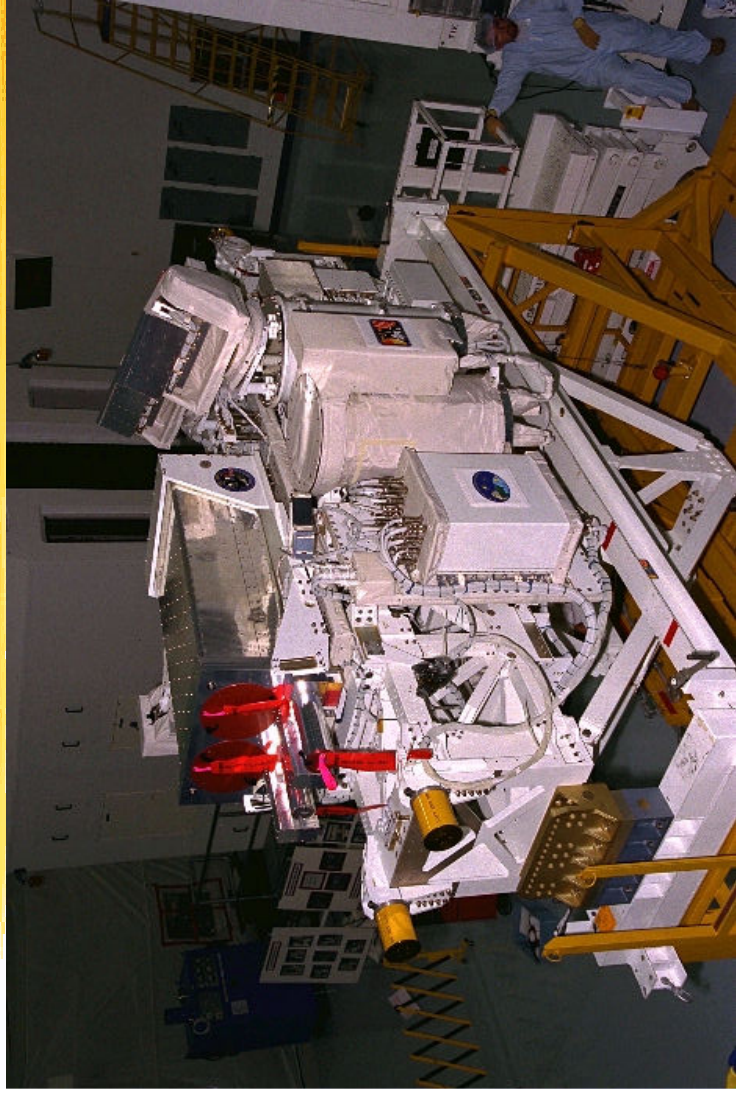
1996 and 1997 (left) • Smithsonian



ASTRONOMIA: UVSTAR 1/4



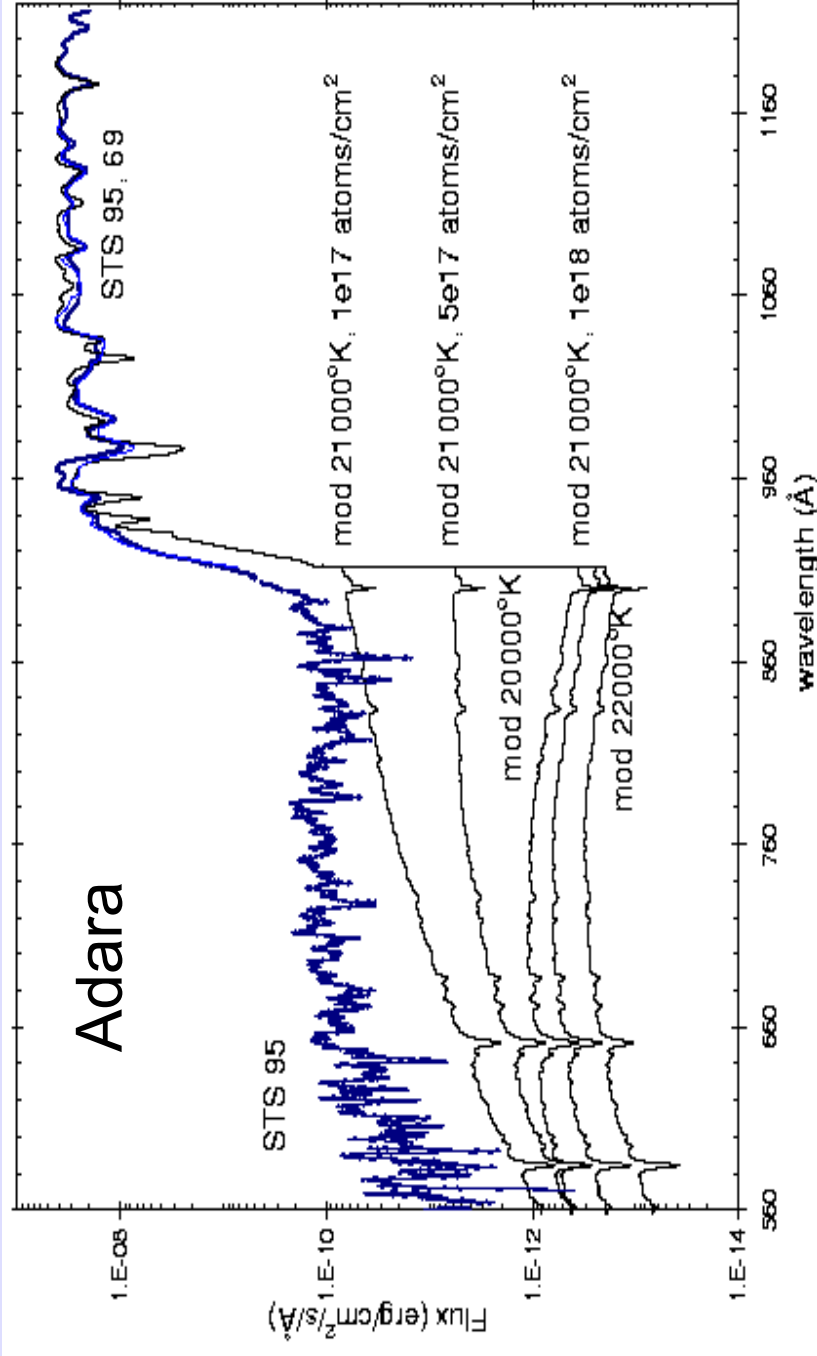
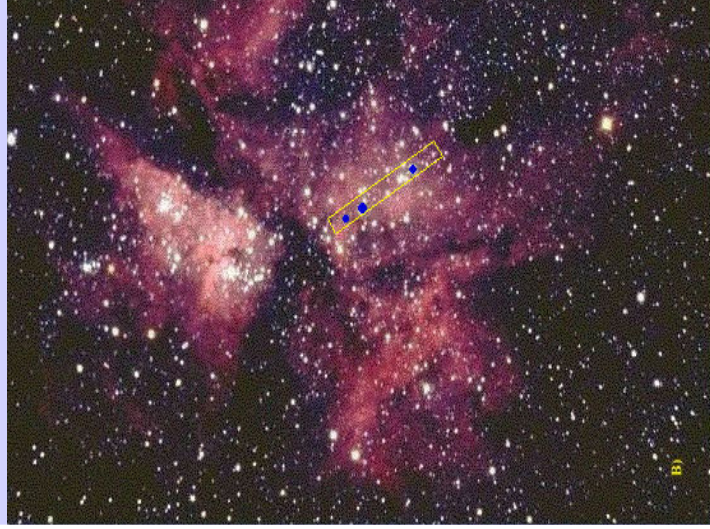
ASTRONOMIA: UVSTAR 2/4



Trieste, 21 aprile 2008

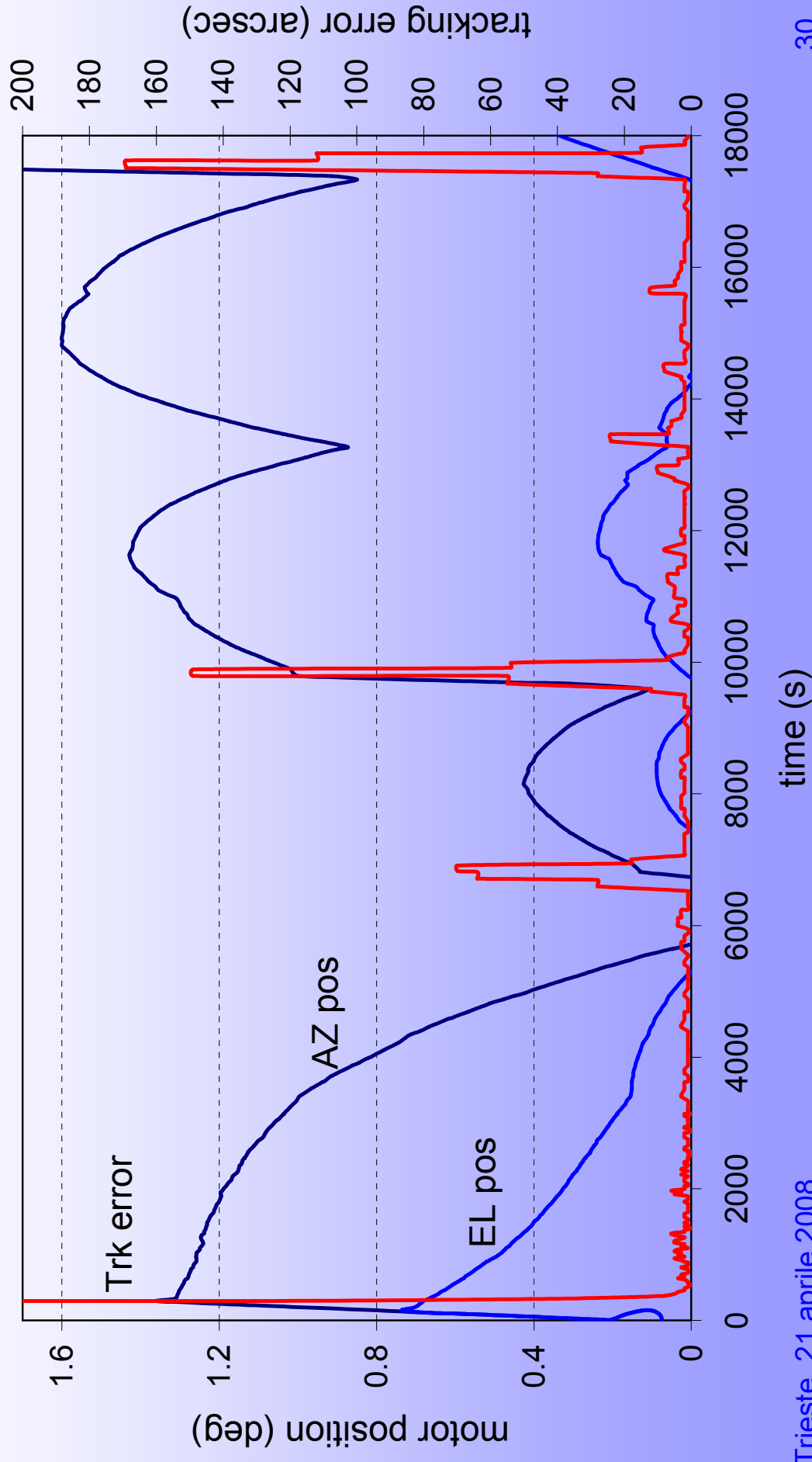
ASTRONOMIA: UVSTAR 3/4

- sistema di movimentazione autonomo munito di 2 telescopi ausiliari per la direzione di puntamento
- osserva atmosfere stellari, regioni HII, anelli di IO, comete
- analisi spettrale del flusso nelle varie componenti UV (FUV/EUV)

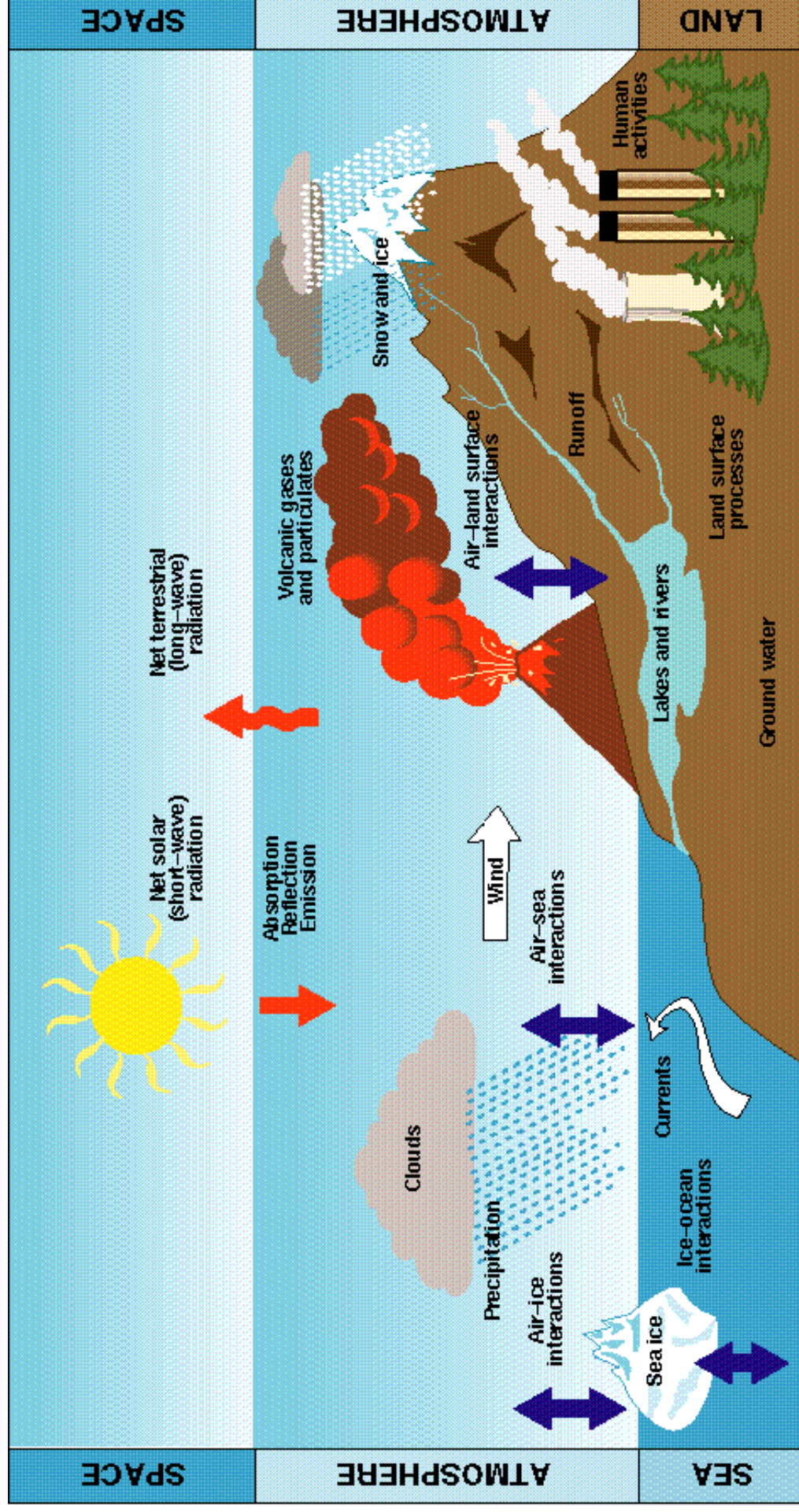


ASTRONOMIA: UVSTAR 4/4

Risultati tecnologici: sistema di puntamento



FISICA DELLA TERRA



OSSERVAZIONI DELLA TERRA

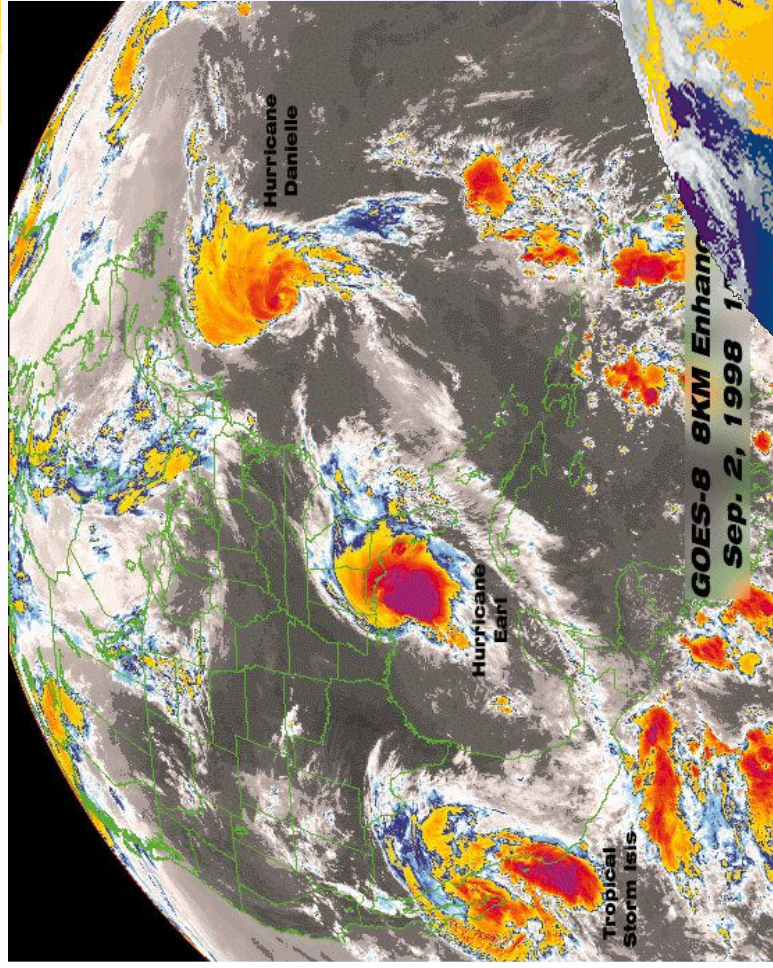
DORIS

(topex/poseidon)

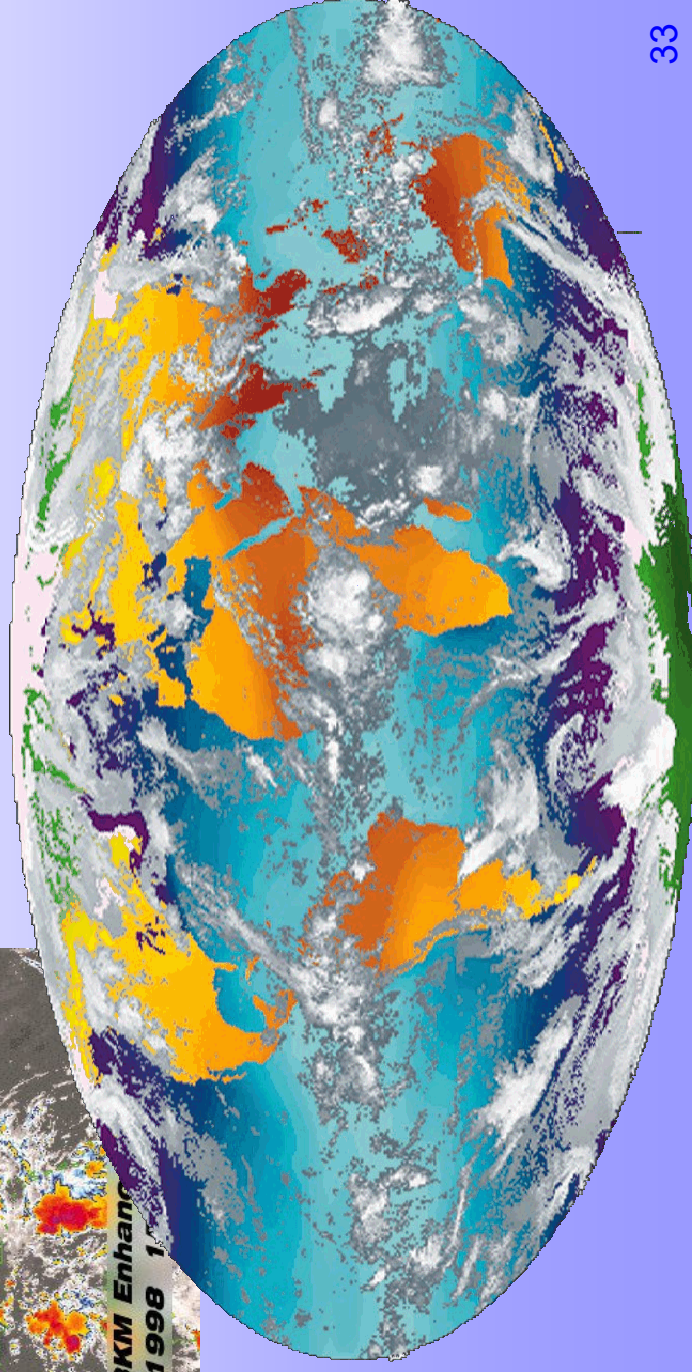
JASON

SPOT

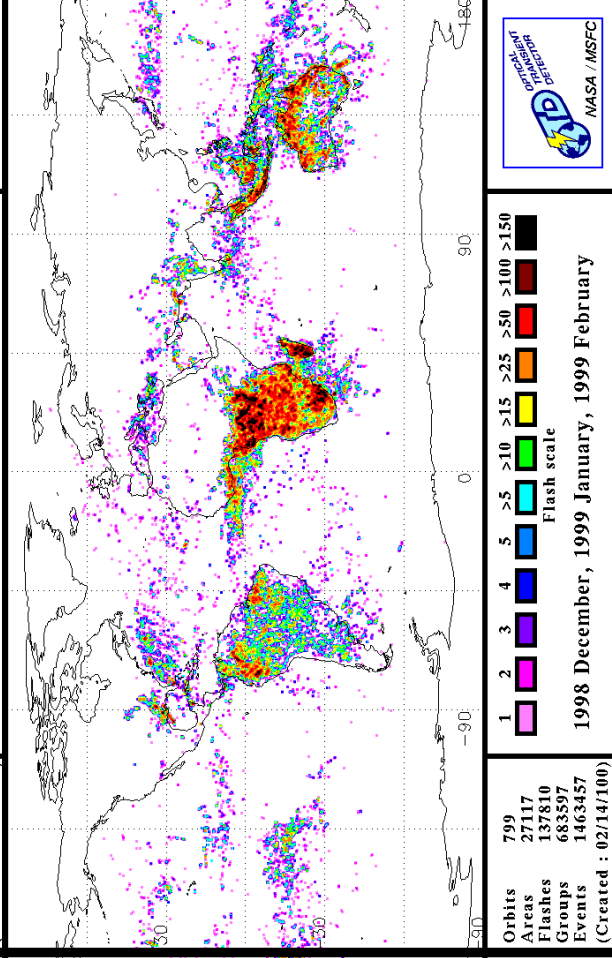
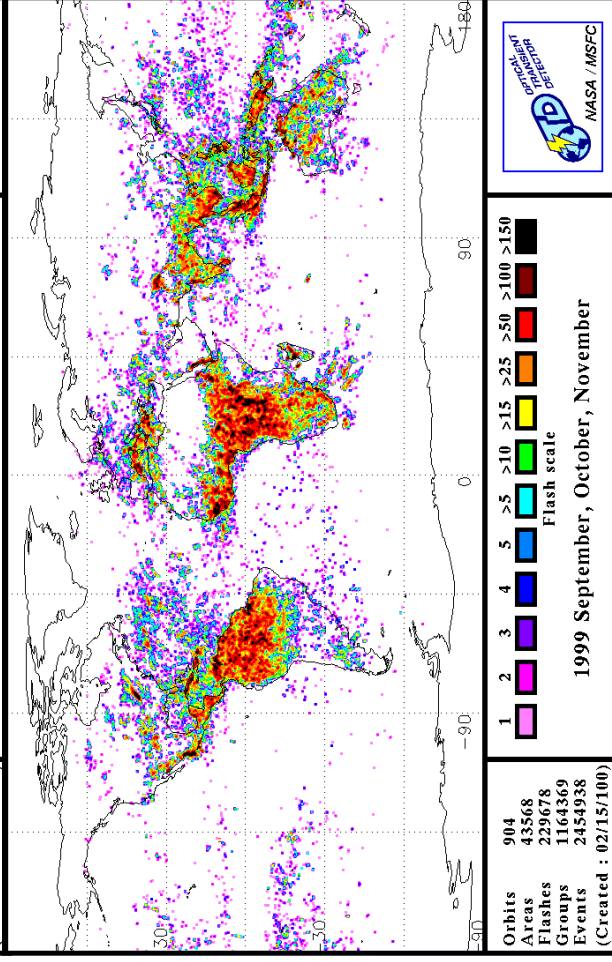
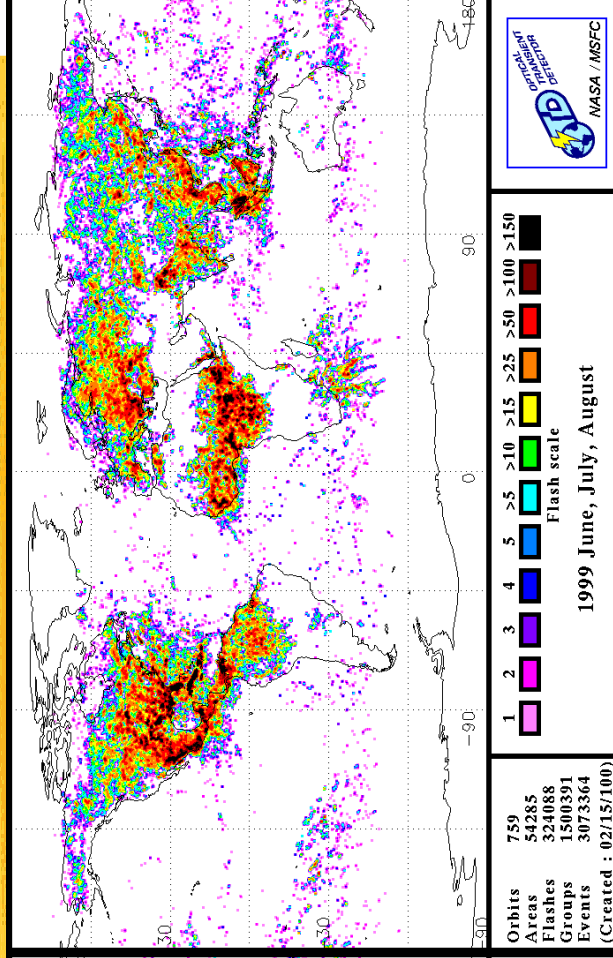
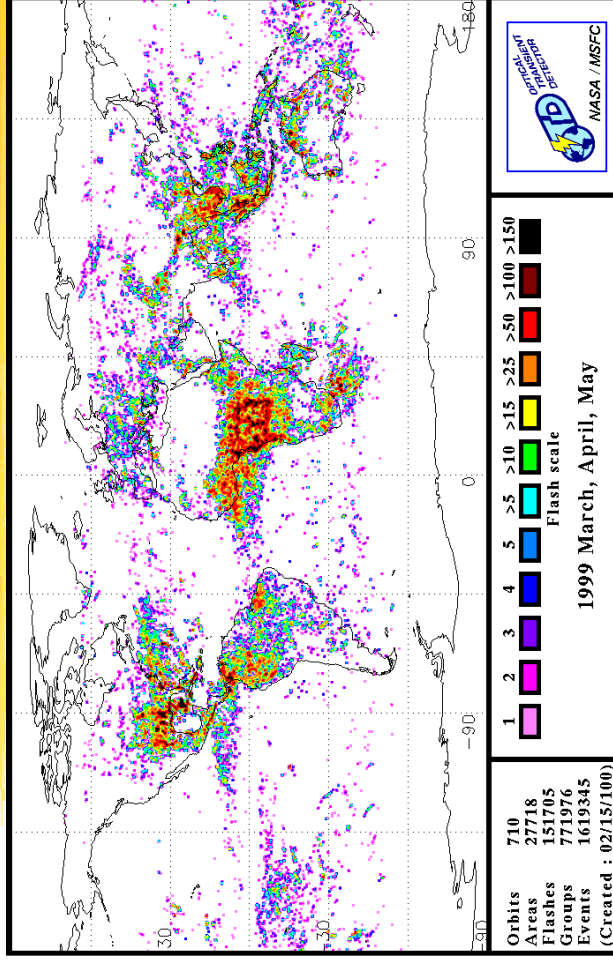
METEREOLOGIA



GOES-8 8KM Enhanced
Sep. 2, 1998 17:00



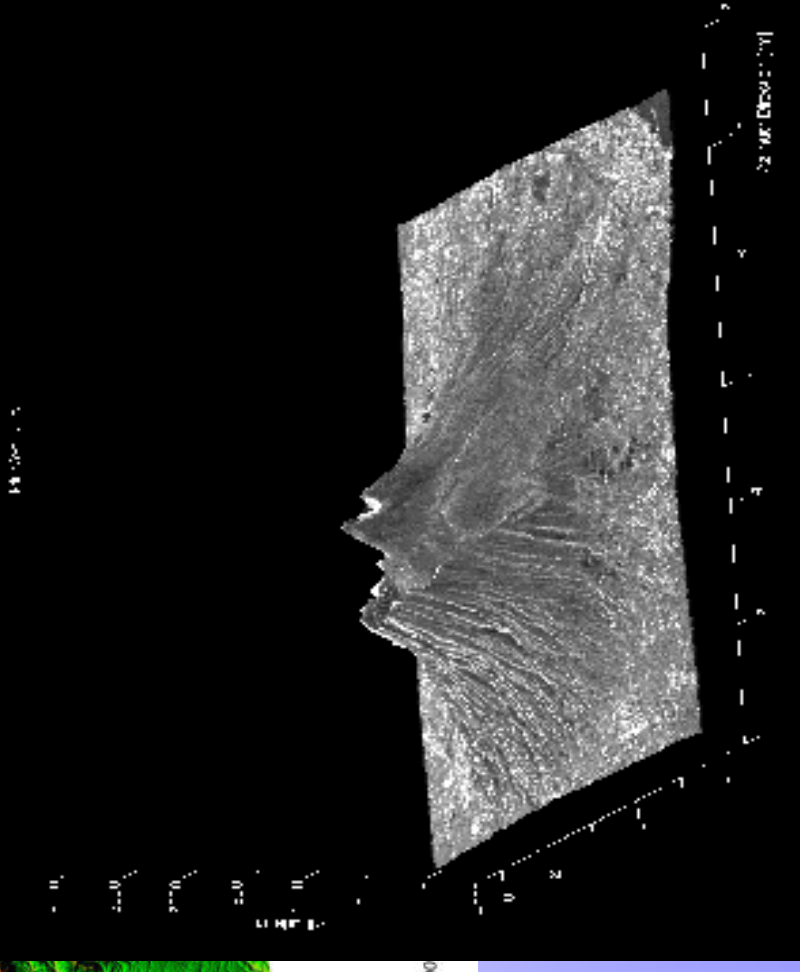
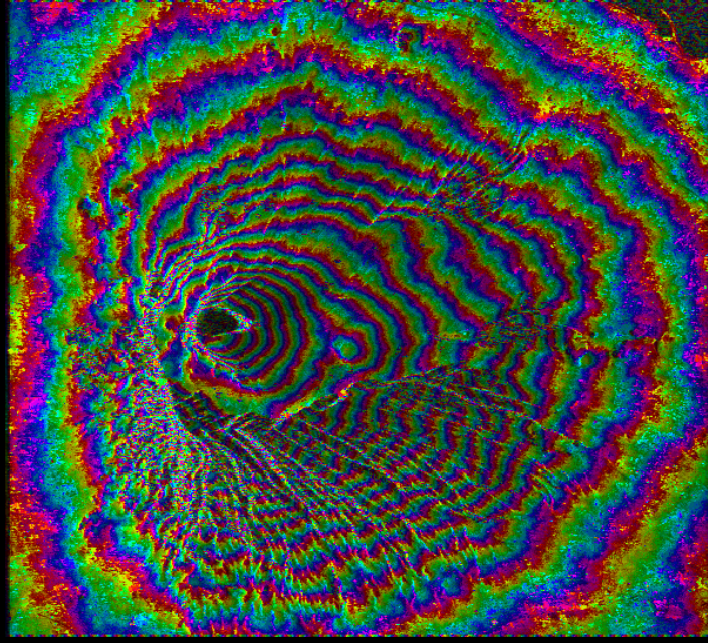
METEREOLOGIA



GEOLOGIA: Vesuvio



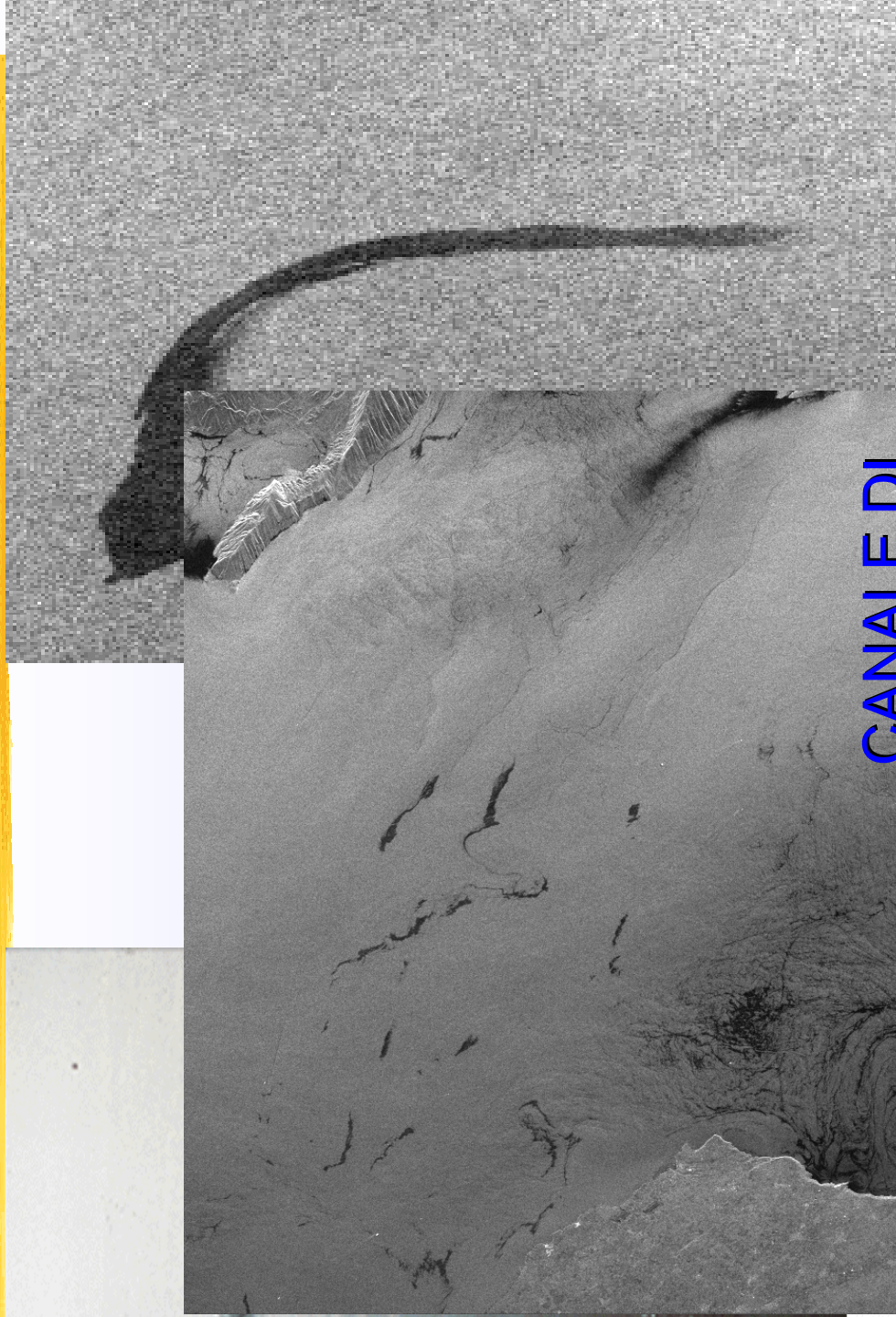
Mt. Vesuvius - SAR INTERFEROGRAM - Bn = 135 m



AMBIENTE: Inquinamento



Thames Water Authority dump
sewage in the North Sea.
Copyright Greenpeace / Morga



CANALE DI
OTRANTO

Synthetic Aperture Radar - SAR

Radio Signals

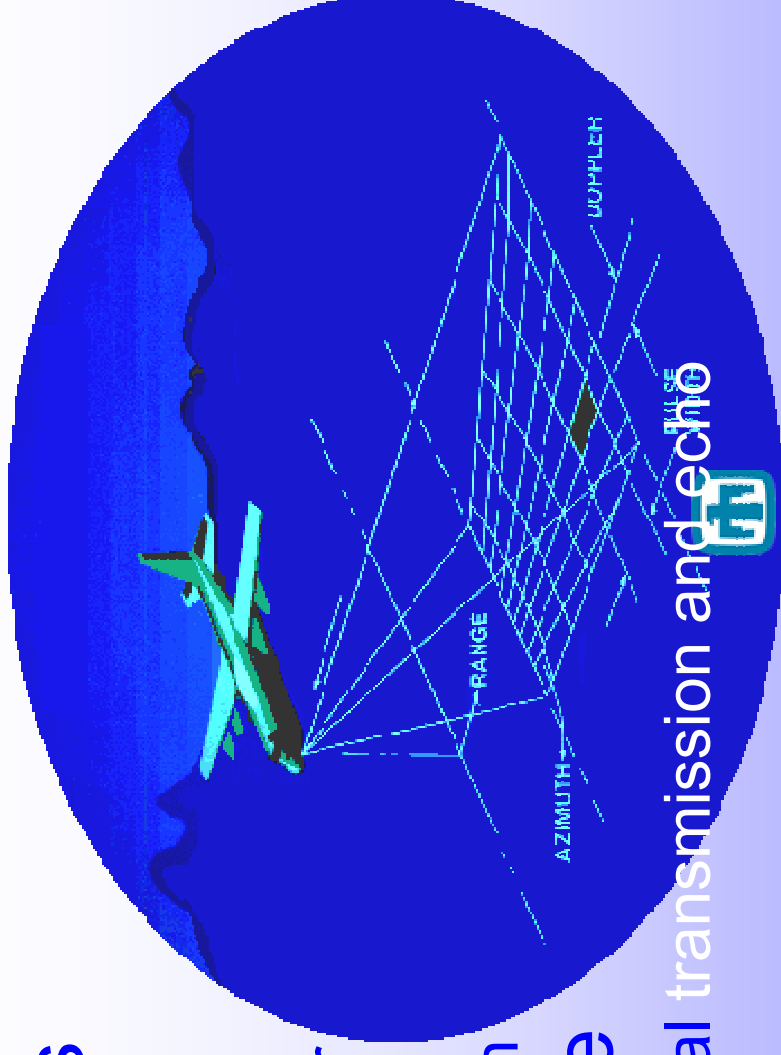
- Long range propagation characteristics
- Reduced effect of weather conditions
- Unique response of terrain

2-dim image

- Range: time between signal transmission and echo (resolution $\propto$ signal width)
- Azimuth: doppler shift processing (resolution $\propto$ beam dimension $\propto$ 1/antenna length)

- Resolution $\sim \lambda R/d$
- $R \sim 50$ km, $\lambda \sim 0.03$ m, resolution ~ 1 m $\Rightarrow d \sim 1.5$ km!

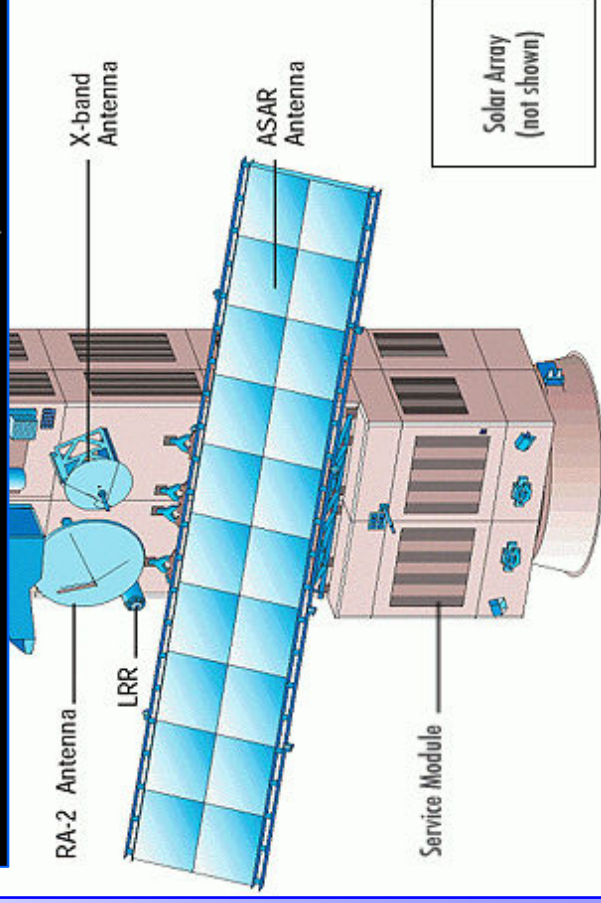
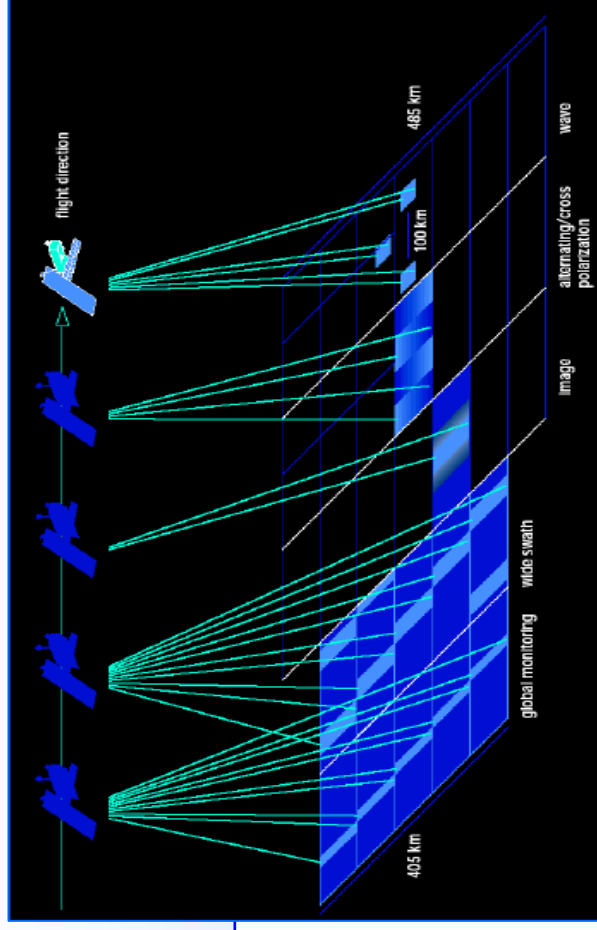
$\Rightarrow$ Synthetic Aperture !!!



Strumenti di Envisat

ASAR: Advanced Synthetic Aperture Radar

Immagini radar ad alta risoluzione dell'ambiente terrestre in qualsiasi condizione ambientale e di illuminazione



ENVISAT



Imaging Radar: riflessione della luce

Riflettanza

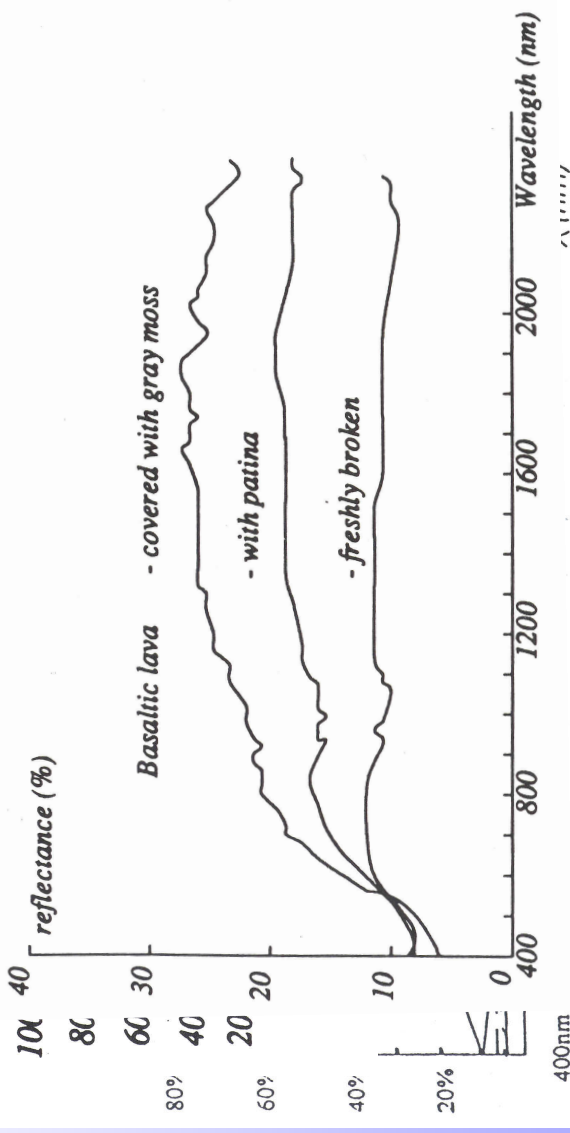
Natural surfaces have a wide range of spectral signatures (monospectral or multispectral)

- A : snow
- B : snow covered with ice
- C : calcareous
- D : clear water
- E : desert
- F : paved road
- G : deciduous forest autumn
- H : deciduous forest summer
- I : conifer forest summer
- J: conifer forest autumn

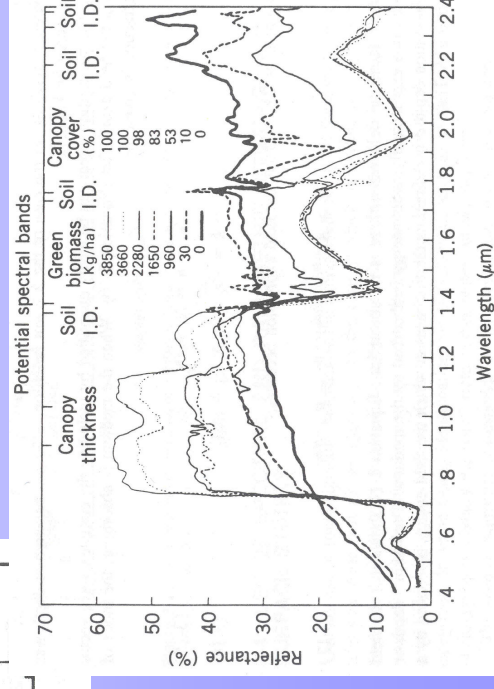
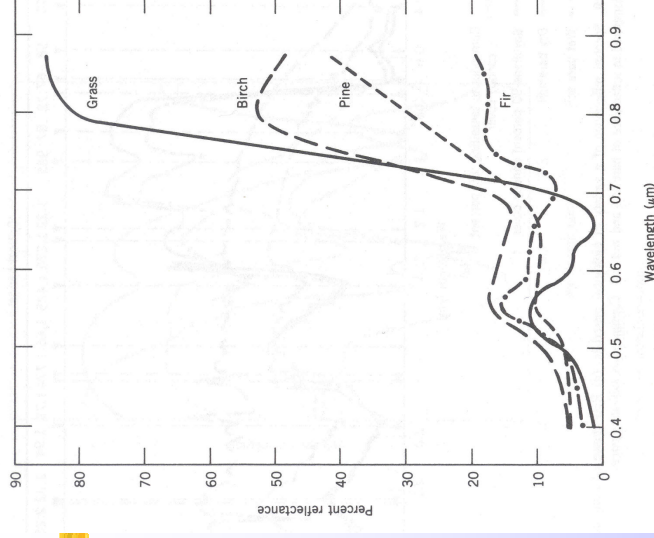
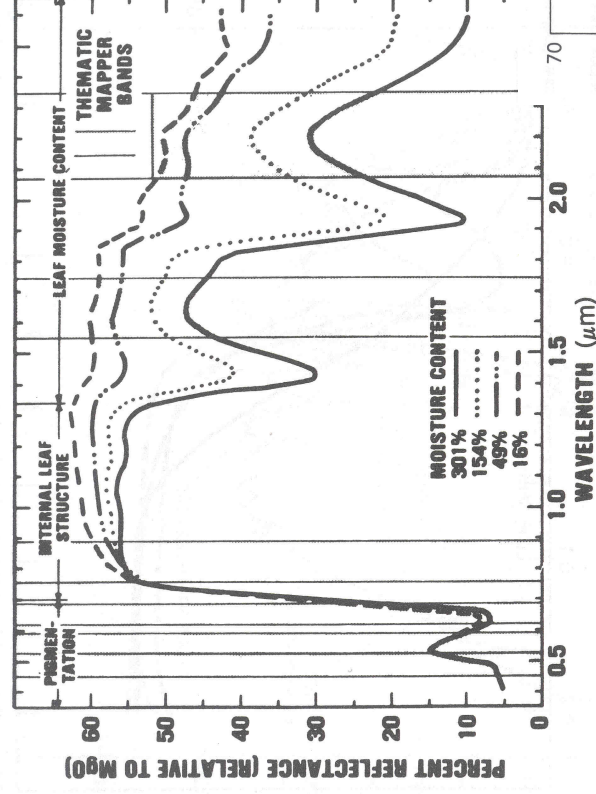
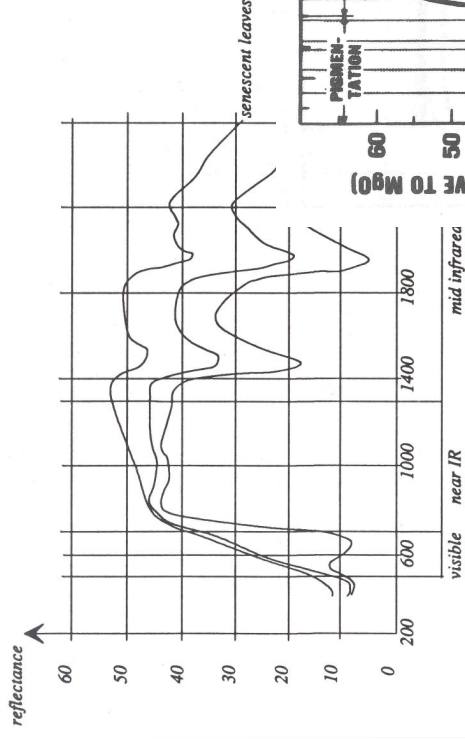
refle. Réflectance
(%)

Contrasto superficiale

↑



Vegetazione



Vegetation spectral signatures vary with

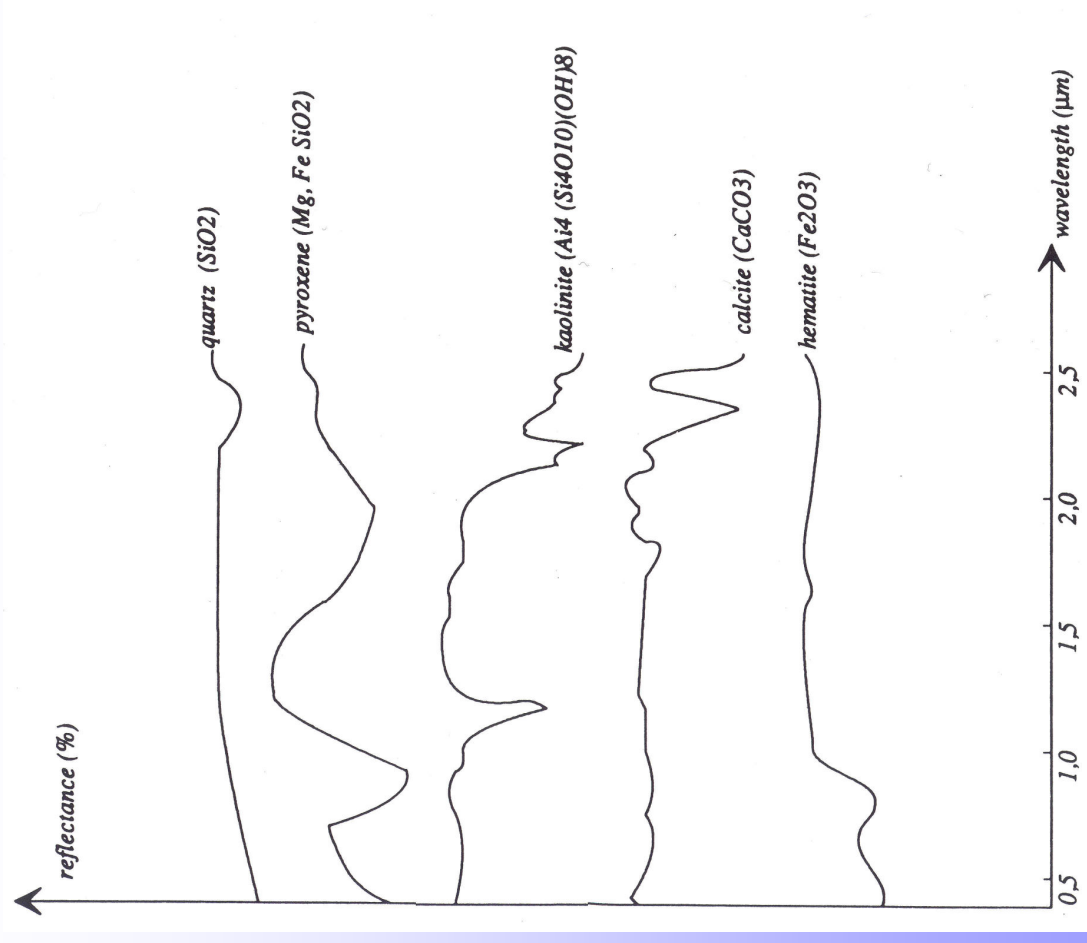
- leaf state
- canopy species

- leaf moisture content
- phenological stage

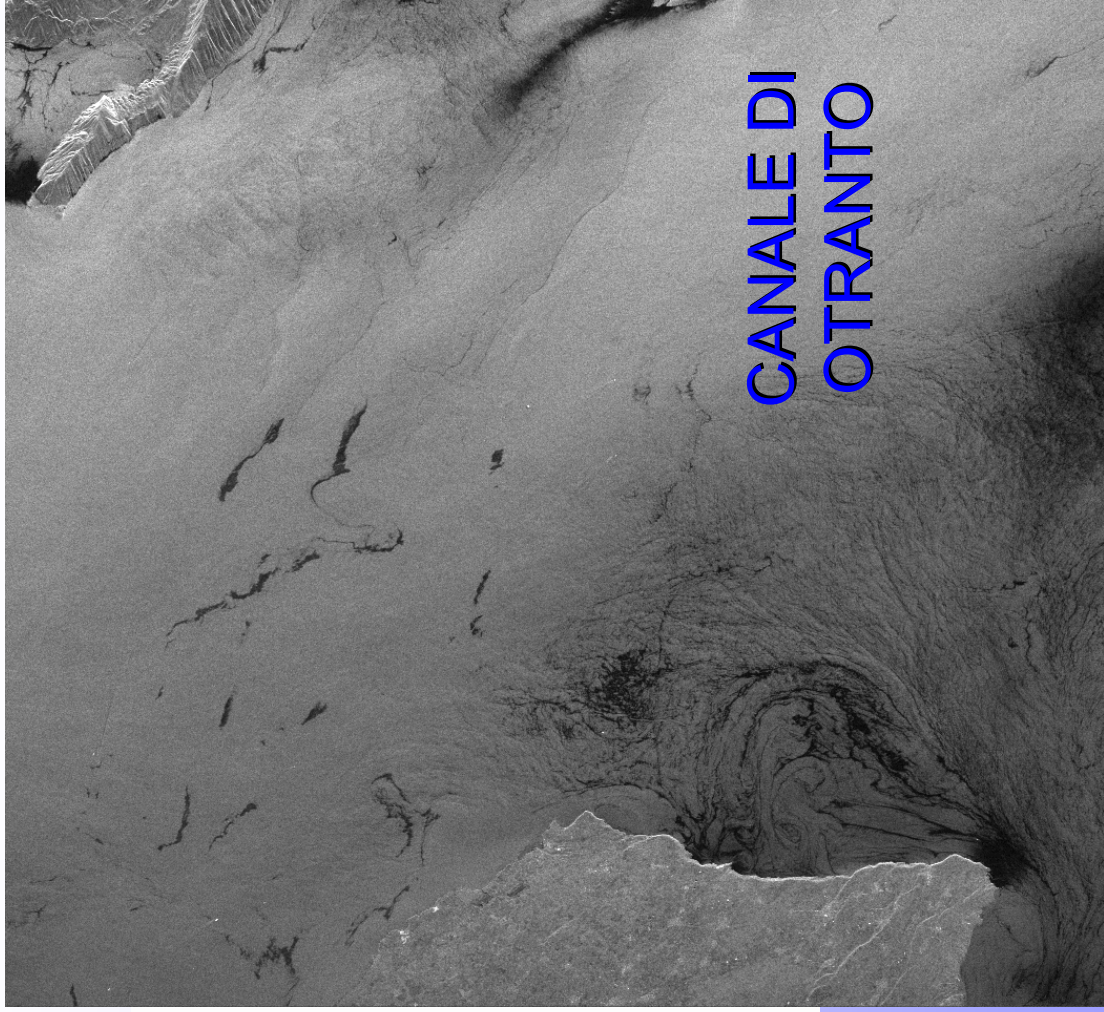
Trieste, 21 aprile 2008

Geologia

Soil spectral
signatures can be
identified with specific
absorption lines

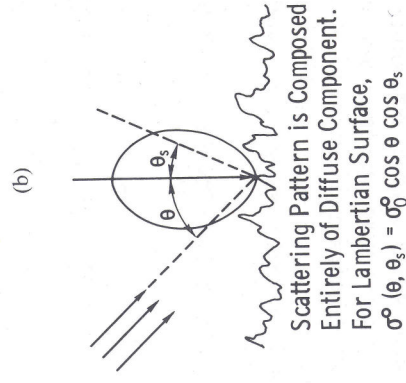
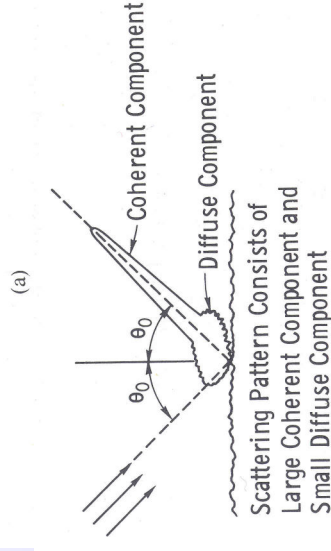
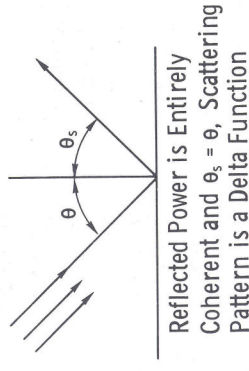
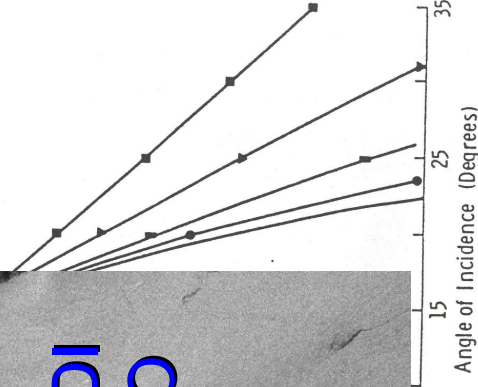
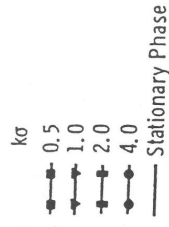


Back scattering: rugosità

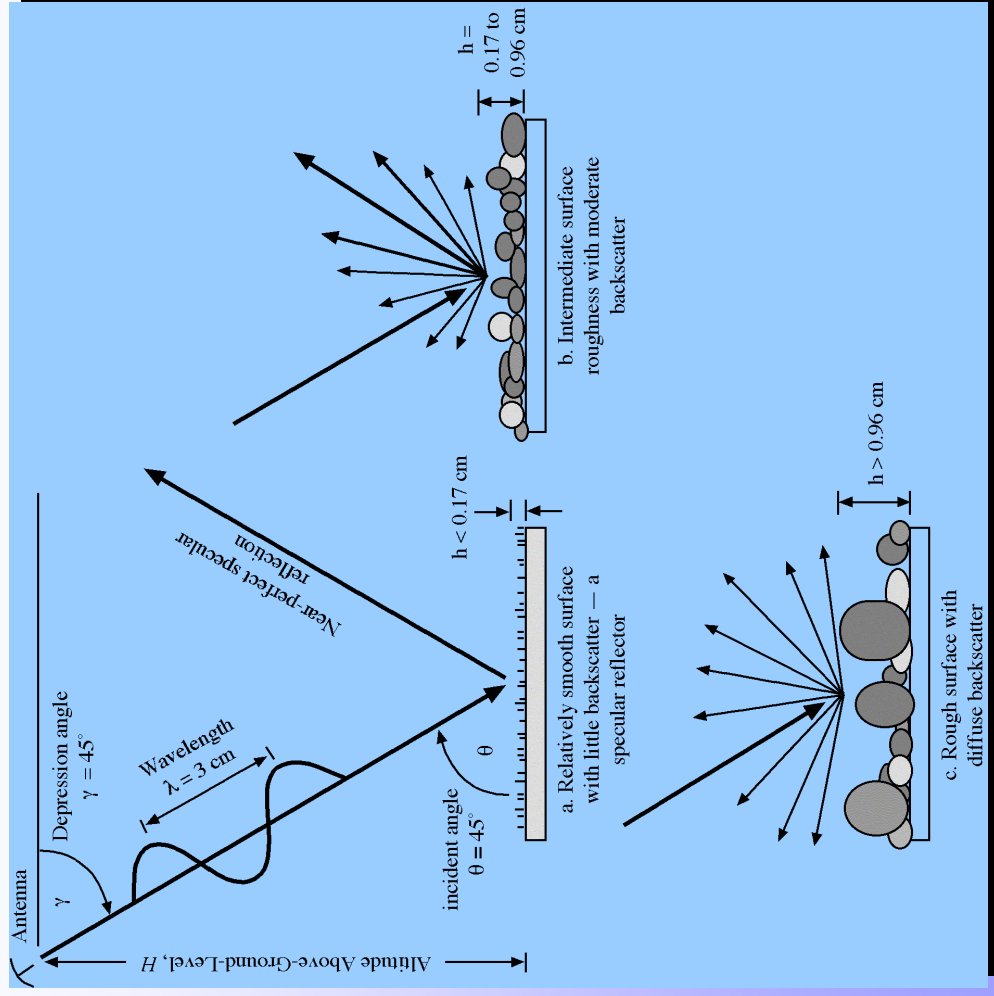


CANALE DI
OTRANTO

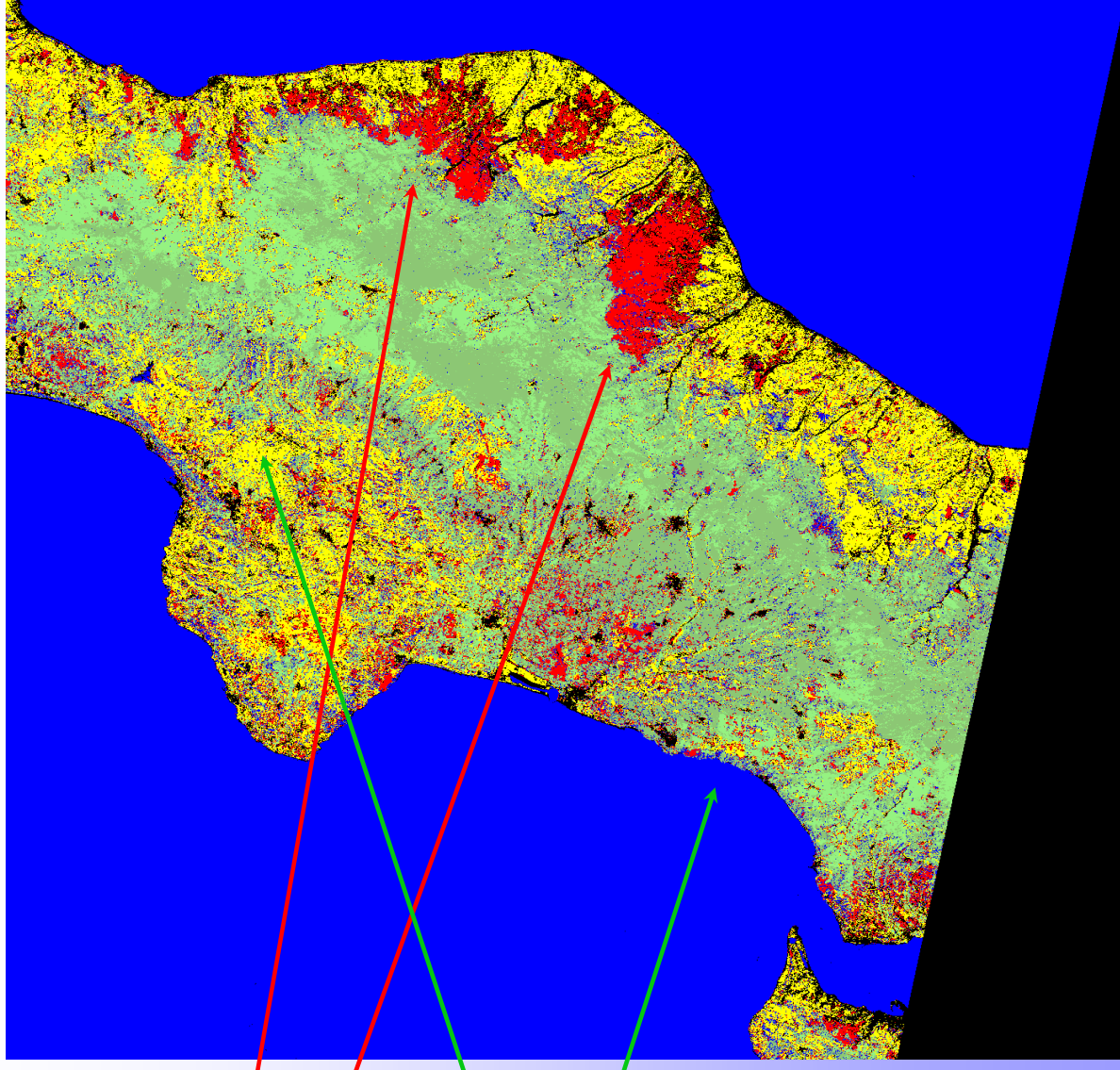
the second
star signature



Imaging Radar: riflessione della luce



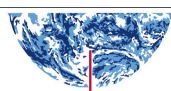
AMBIENTE: Controllo Incendi



incendi

zone calde

OSSERVAZIONI DELLA TERRA



S P O T
I M A G E

Trieste, 21 aprile 2008

TOPEX-POSEIDON: Studio degli Oceani



DORIS

The DORIS system uses a ground network of 50 orbitography beacons around the globe, which send signals at two frequencies to a receiver on the satellite. The relative motion of the satellite generates a shift in the signal's frequency (called the Doppler shift) that is measured to derive the satellite's velocity. These data are then assimilated in orbit determination models to keep permanent track of the satellite's precise position (to within three centimetres) on its orbit. (Instrument supplied by CNES)

LASER ST

TRSR

The Turbo Rogue Space Receiver (TRSR) uses the Global Positioning System (GPS) to determine the satellite's position by triangulation, in the same way that GPS fixes are obtained on Earth. At least three GPS satellites determine the mobile's exact position at a given instant. Positional data are then integrated into an orbit determination model to track the satellite's trajectory continuously.

LRA

The Laser Retroreflector Array (LRA) provides a target for laser tracking measurements from the ground. By analysing the round-trip time of the laser beam, we can locate where the satellite is on its orbit. (Instrument supplied by NASA).

POSEIDON-1 altimeter on TOPEX/POSEIDON, it is a compact, low-power, low-mass instrument offering a high

JMR

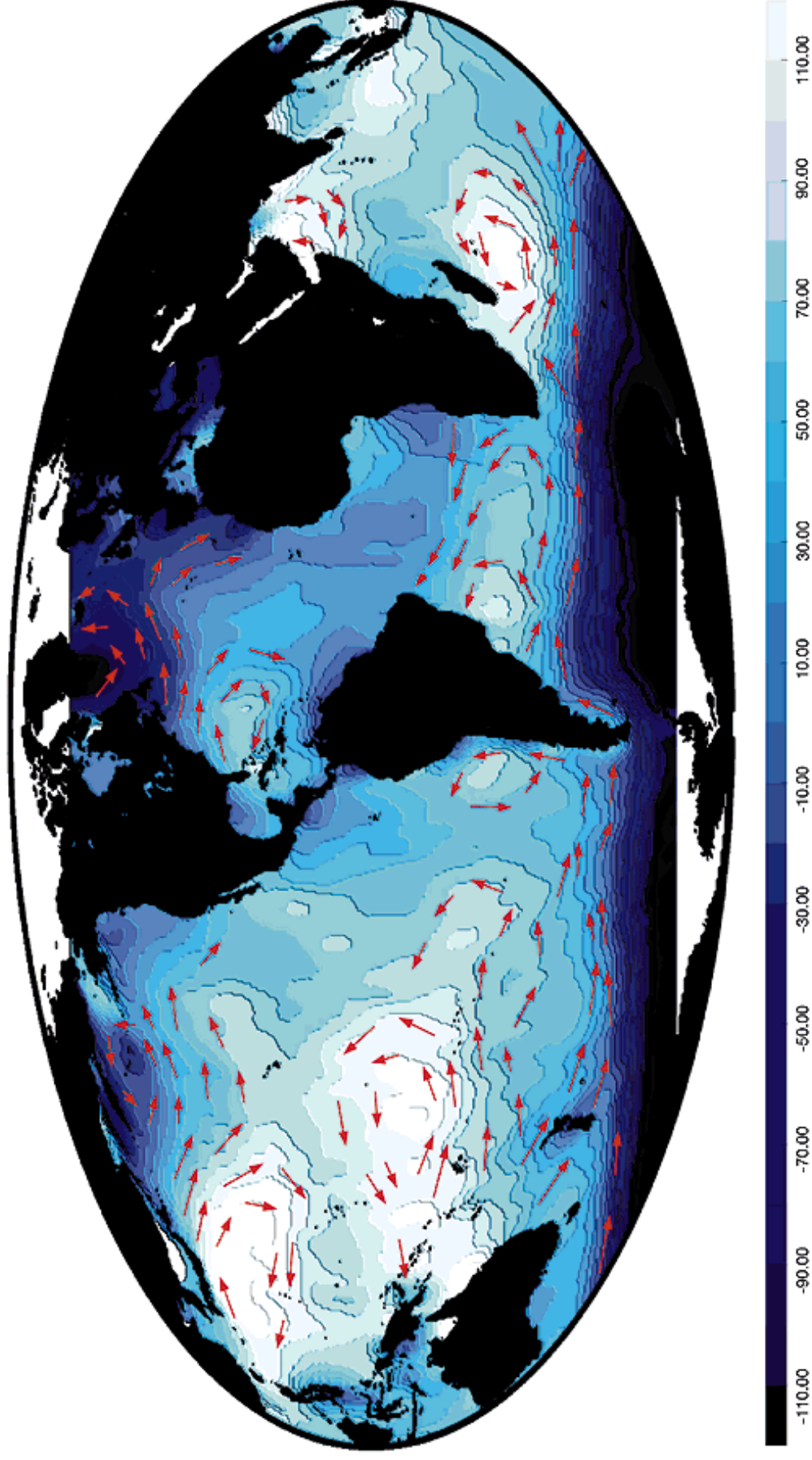
The Jason Microwave Radiometer (JMR) measures radiation from the surface at three frequencies (18, 21 and 37 GHz). Measurements acquired at each frequency are combined to determine atmospheric water vapour and liquid water content. Once the water content is known, we can determine the correction to be applied for radar signal path delays. (Instrument supplied by NASA).

■ No Valid Data



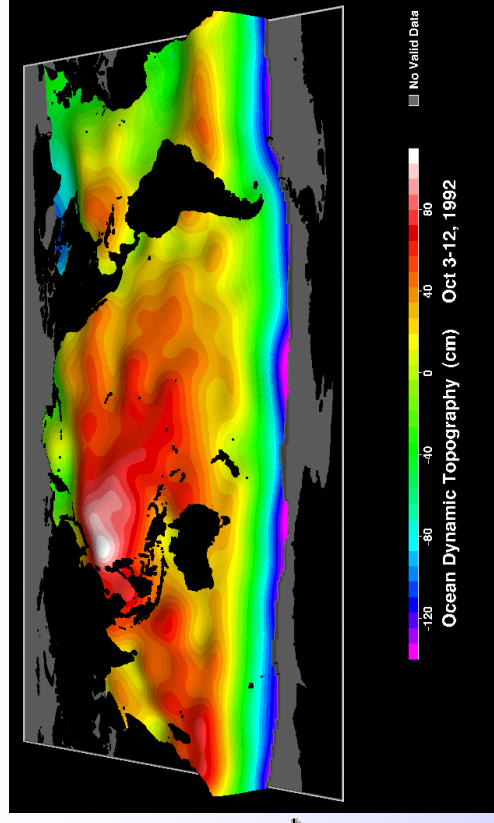
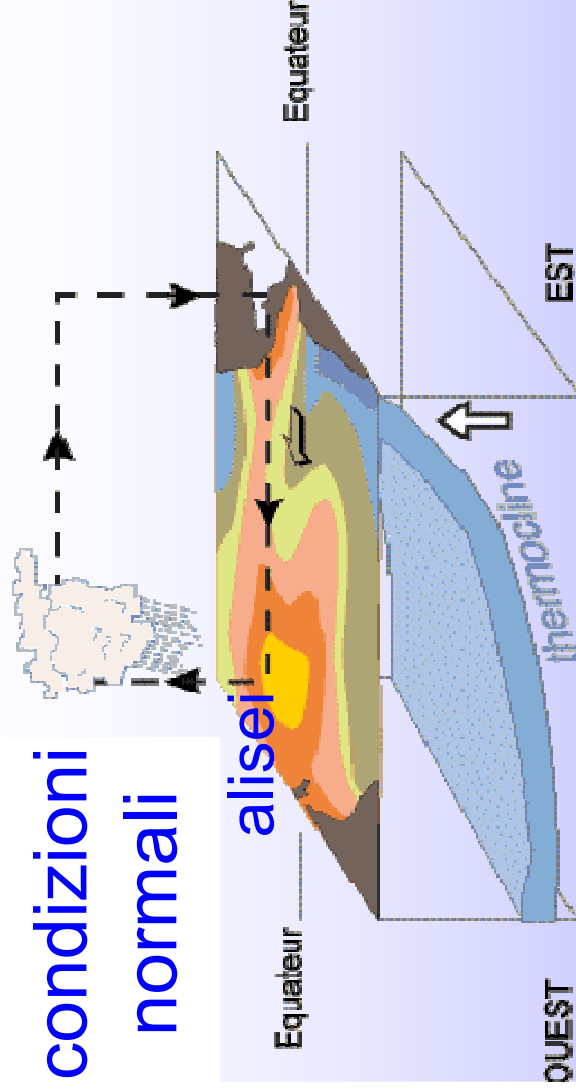
Ocean Dynamic Topography (cm) Oct 3-12, 1992

Dinamica degli Oceani



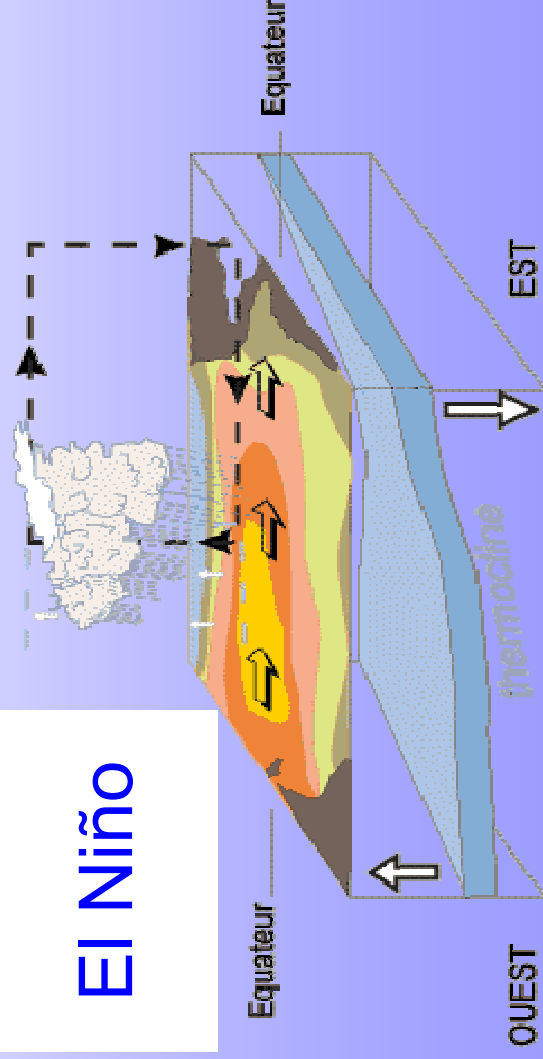
El Niño / La Niña

condizioni
normali

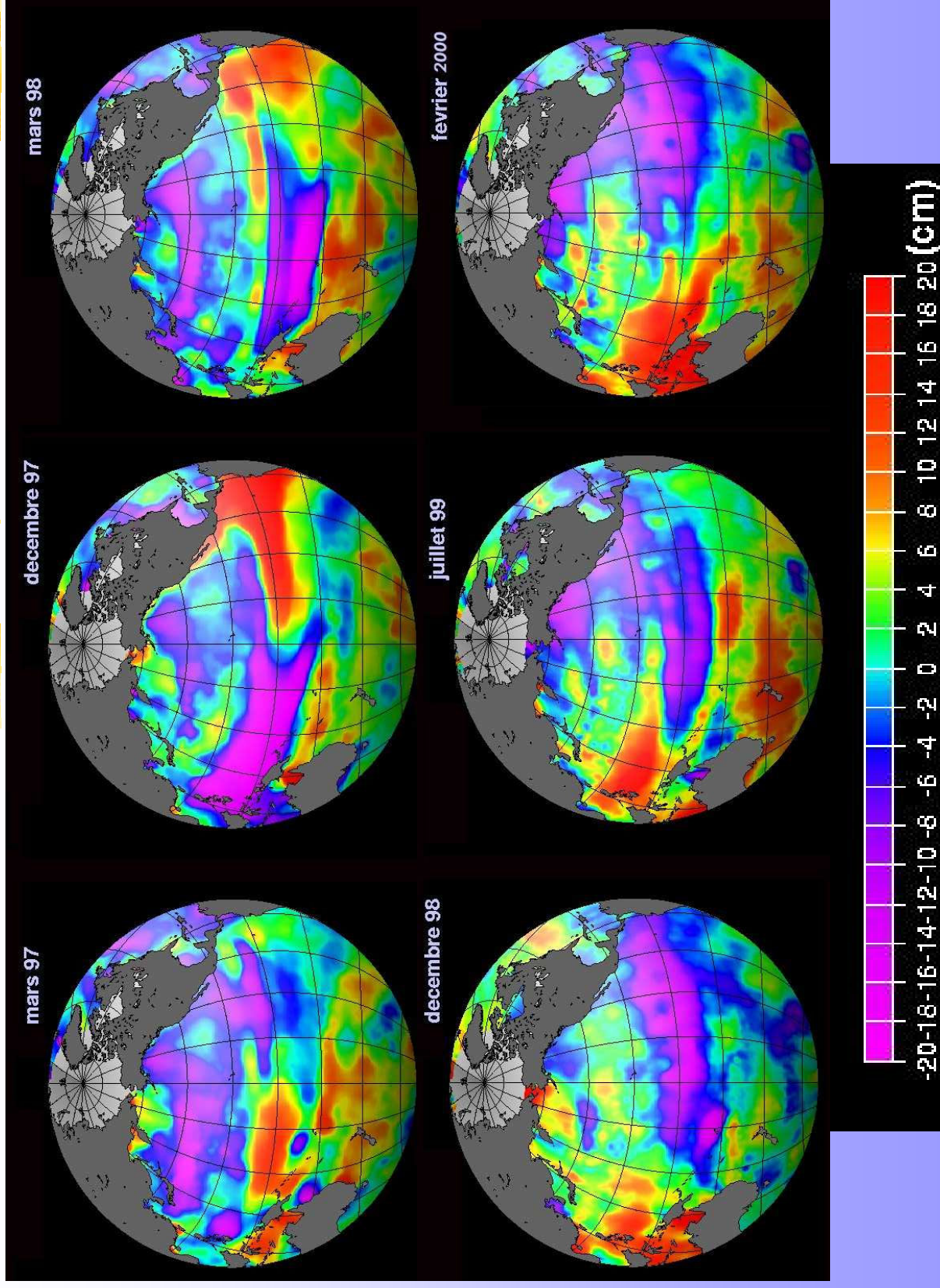


Fine primavera/inizio
estate: monsoni

El Niño



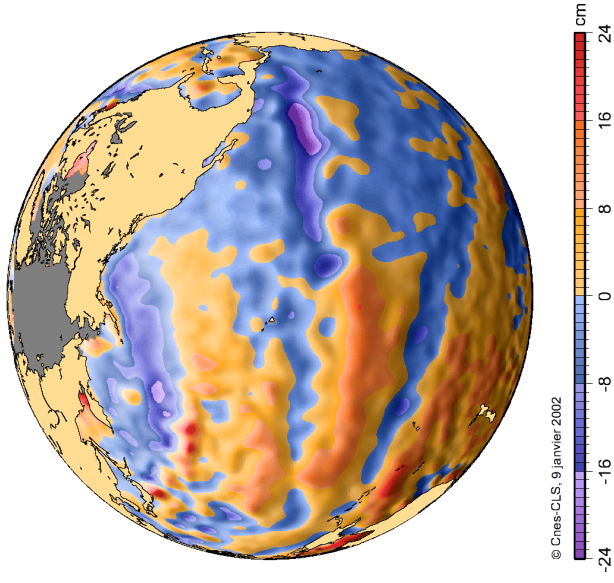
El Niño / La Niña



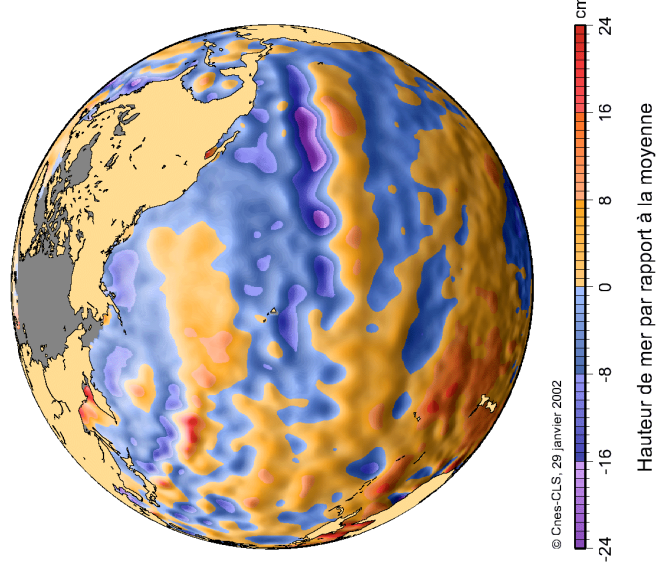
“FUTURO ...”

Esempio del 2002

situation au
2 janvier 2002



situation au
23 janvier 2002



FISICA DELLA TERRA

ENVISAT

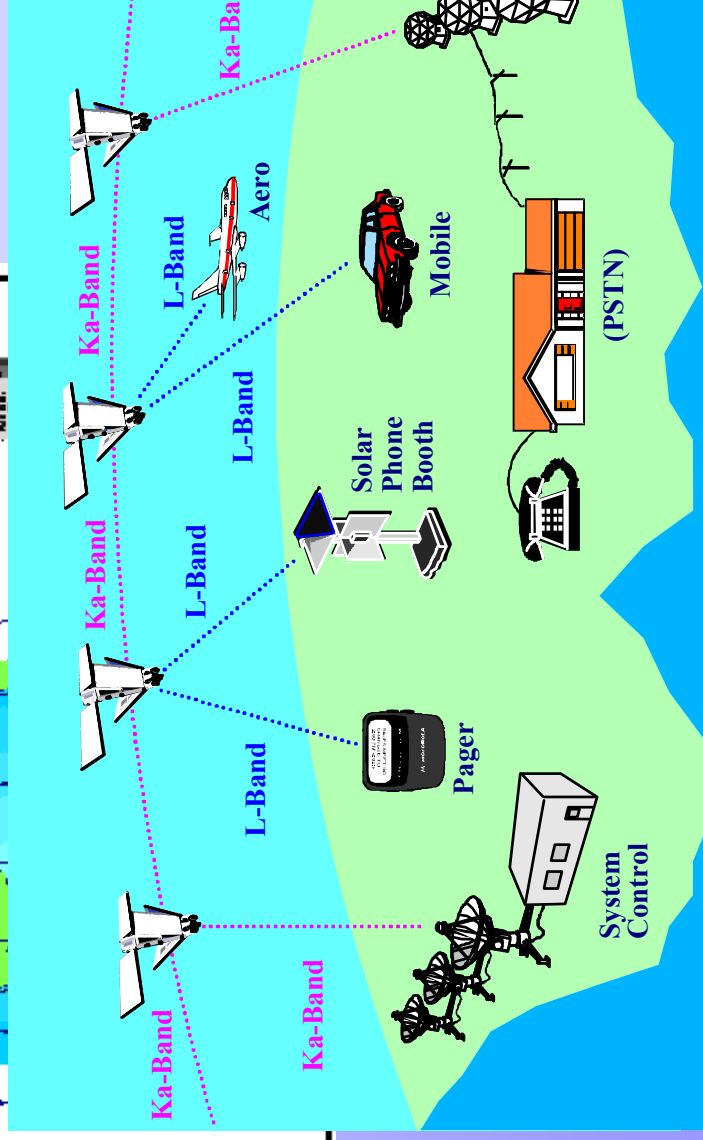
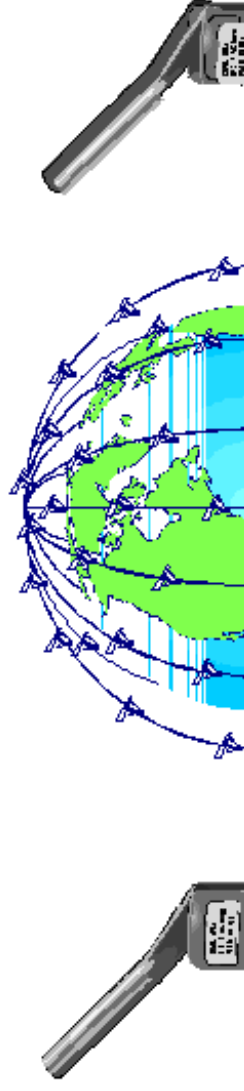


PHOTO II: misure dedicate per la BIOLOGIA

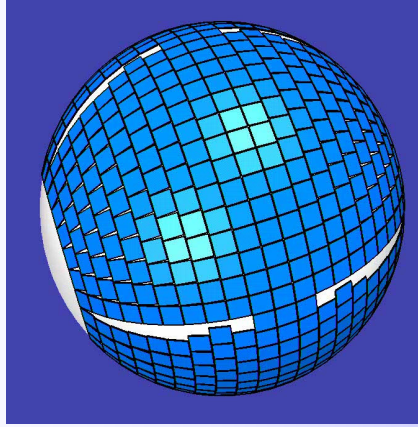


PROGRAMMI COMMERCIALI: IRIDIUM

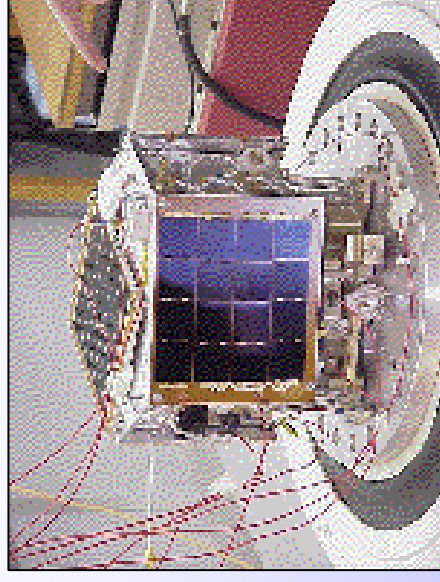
Global Personal Communications
Anyone ..Anywhere .. Anytime



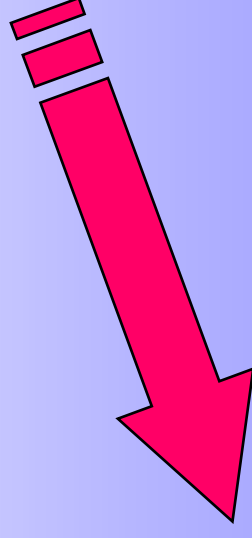
PROGRAMMI EDUCATIVI



SSTL



CUBESAT



ATMOCUBE/CUBESAT

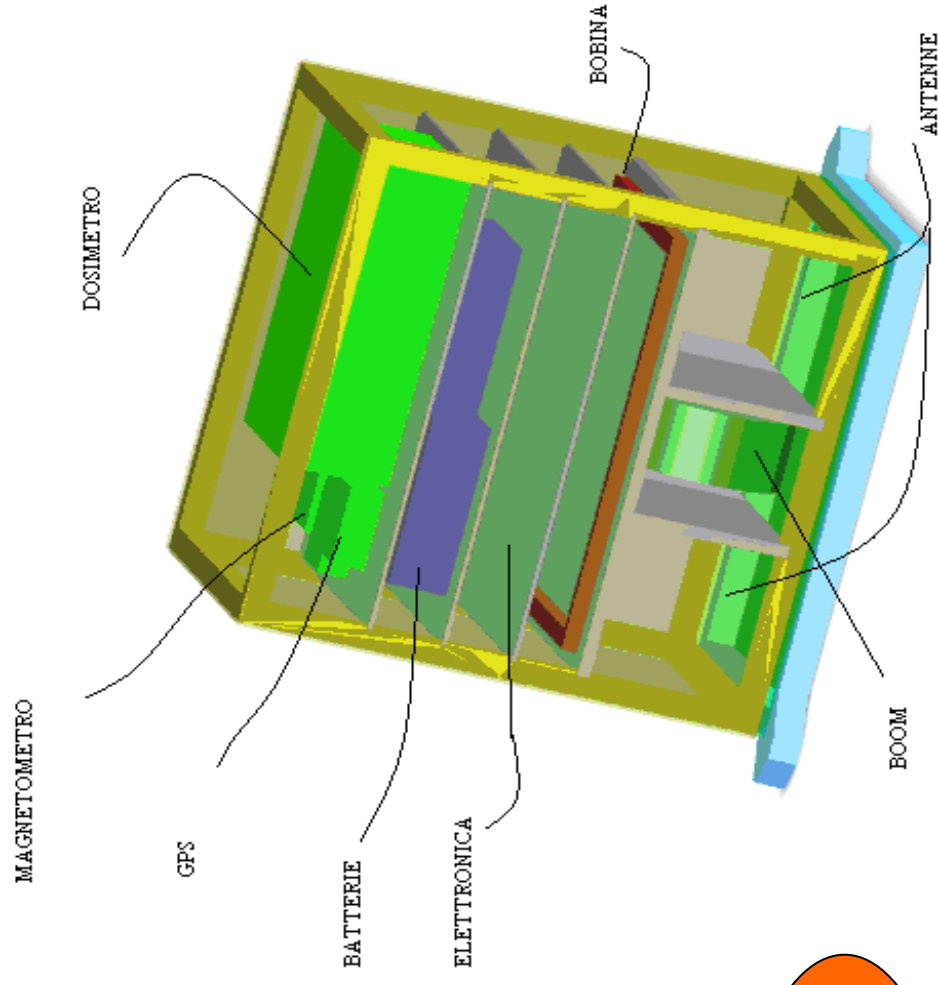
GOAL: Costruire una MAPPA precisa di

Campo Magnetico
Terrestre

Flusso di Radiazione
che incide su AtmoCube

e ...

COINVOLGERE
STUDENTI!



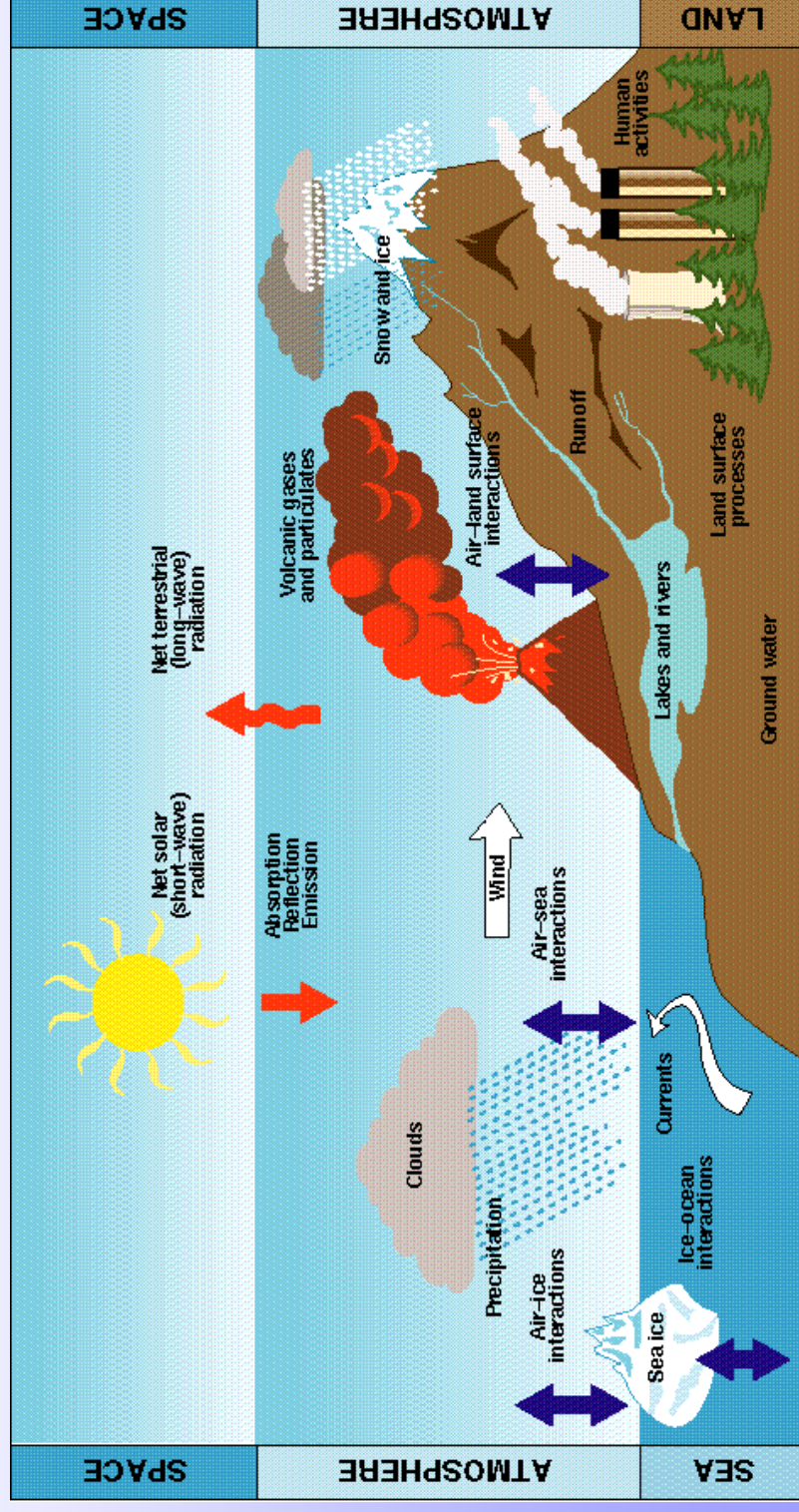
PROCESSO DI ANALISI

- **Misura scientifica: Studio dell'Atmosfera Terrestre "SPACE-WEATHER"**
 - Misura del Flusso di Radiazione sul satellite
 - Misura del Campo Magnetico in cui è immerso il satellite
- **Problematiche:**
 - Costi limitati: sistema molto semplice, molto piccolo e molto leggero
 - Cubo di lato 13 cm
 - Peso 1.5 kg
 - Potenza 2÷3 W
 - Evitare parti mobili se possibile
 - Utilizzo lanciatore (missile) disponibile: orbita non ottimizzata
 - Strumentazione non dedicata: commerciale
 - Accuratezza della misura limitata
 - Quantità di dati trasferibili limitata (banda radio-amatori)
 - Evitare interferenze con le misure (campo magnetico):
 - Uso limitato di sistemi elettromagnetici (bobine)
 - Separazione della strumentazione scientifica dall'elettronica: modulazione del satellite
 - Controllo dell'assetto del satellite
 - Gravity Gradient Boom + accessori

SPACE WEATHER 1/3

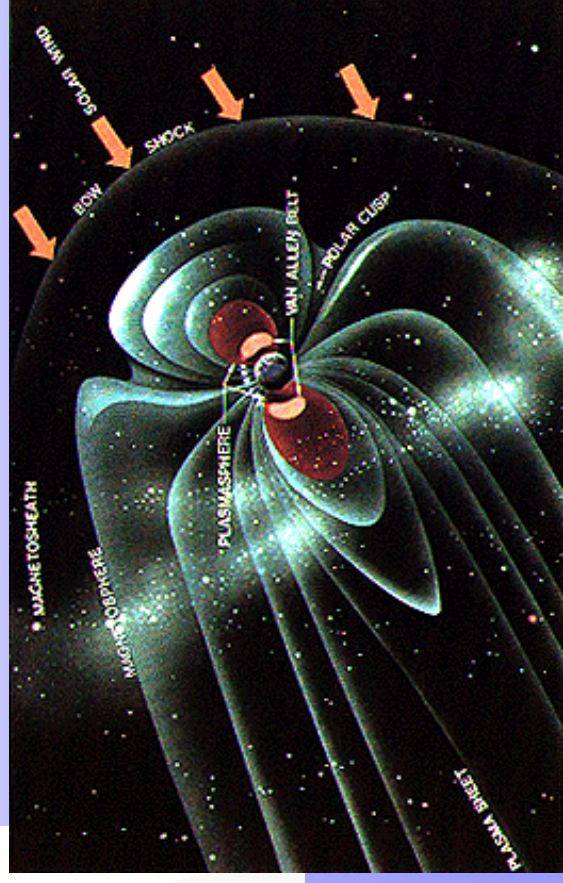
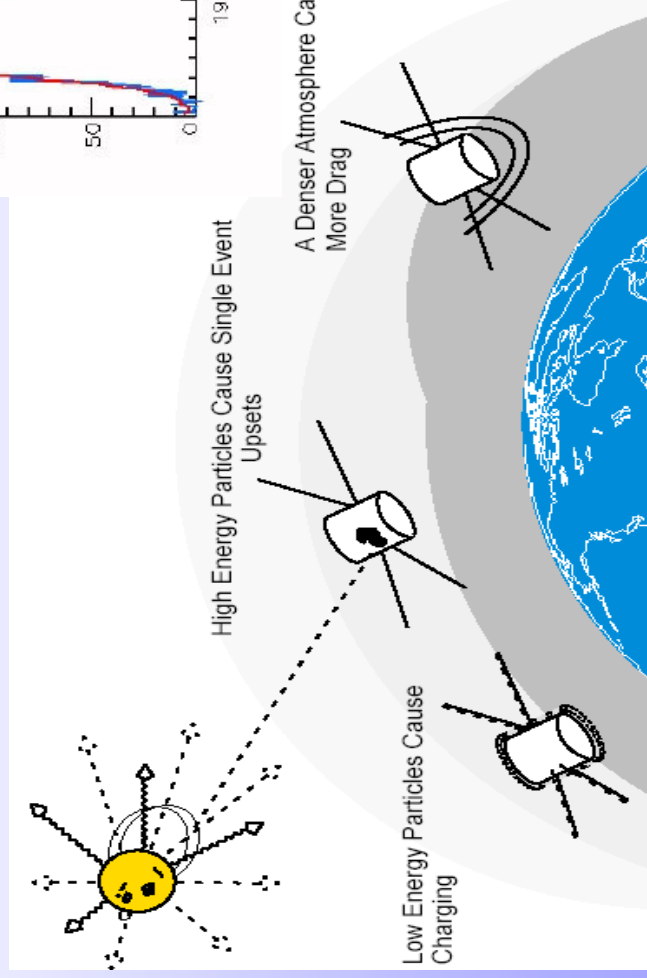
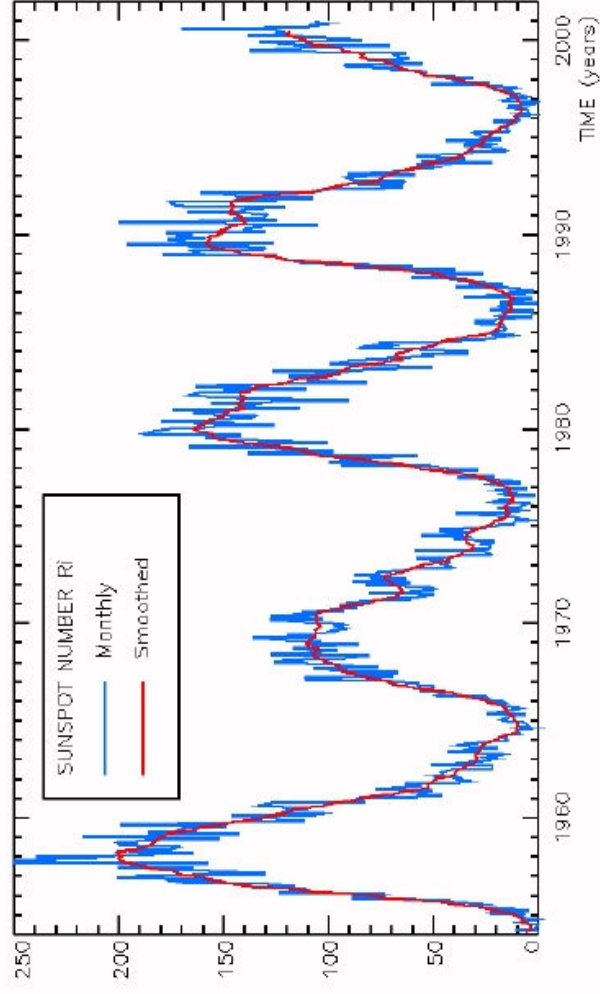
“Space Weather: condizioni sul Sole e sul vento solare, sulla magnetosfera, ionosfera, termosfera, che possono influenzare le prestazioni e l’affidabilità dei sistemi tecnologici nello spazio e a terra e possono mettere in pericolo la vita e la salute umana.”

ESA website: www.esa.int



SPACE WEATHER 2/3

Sole: nel visibile
COSTANTE MA



SPACE WEATHER 3/3

- **effetti su S/C & aerei** (total dose, lattice displacement, single events upsets (SEU), sensor bkg, spacecraft charging, drag)
- **reti distribuzione energia** (guasti su linee di alimentazione, effetti di corrosione nelle condutture -Quebec marzo 1989)
- **sistemi comunicazione** (cambiamenti struttura della ionosfera: aumento assorbimento, riflessioni inattese, interferenza radio, interruzioni comunicazioni)
- **rischi per la salute umana** (astronauti e equipaggi aerei soggetti a dosi elevate di radiazione)
- **cambiamenti climatici** (emissioni solari UV modificano strato ozono ed influenzano circolazione dell'aria su grande scala, raffiche vento solare modificano proprietà elettriche parte superiore dell'atmosfera e influenzano gli strati bassi dell'atmosfera, nel minimo solare vento solare -più debole- permette agli GCR di penetrare più facilmente nell'atmosfera terrestre promuovendo formazione nubi di bassa quota)

ANALISI DI MISSIONE orbita	 - dose radiazione - campo magnetico	- campo magnetico - densità atmosfera	- durata giorno/notte	- visibilità stazione a Terra - distanza propagazione	
 - dose radiazione - campo magnetico	STRUMENTI dosimetro, magnetometro	- requisiti stabilità - requisiti puntamento	- consumo	- mole di dati	- peso - centro di massa - ...
- campo magnetico - densità atmosfera	- requisiti stabilità - requisiti puntamento	ADCS Assetto	- consumo - struttura celle solari	- mole di dati	- peso - centro di massa - ...
	- ON/OFF	- ON/OFF	ALIMENTAZIONE celle solari, batterie	- stato sistema - ON/OFF	- peso - centro di massa - ...
	- mole di dati	- comandi	- comandi ON/OFF - consumo	OBDH computer	- dati scientifici - dati housekeeping
- visibilità stazione a Terra - distanza propagazione			- consumo	- telecomandi da Terra - velocità trasferimento dati	- peso - centro di massa - ...
- perturbazioni orbita					STRUTTURA meccanica

CONCLUSIONI 1/2

RUOLO DELLA FISICA SPAZIALE

Studia le relazioni fra la Terra e l'umanità considerando anche la Terra come un sistema di cui vanno analizzati i cambiamenti globali.

Studia la Terra come un pianeta anche per mezzo dello studio degli altri pianeti e con le tecniche della planetologia comparativa.

Studia il Sole, non solo come unica fonte di tutta la nostra energia, ma anche come una stella utilizzando l'astrofisica stellare osservativa e teorica per caratterizzare la nascita, l'evoluzione e la fine delle stelle e dei sistemi stellari.

Studia il posto dell'uomo nel Cosmo attraverso la comprensione della vastità dello spazio e del tempo ed attraverso lo studio dei problemi fondamentali sull'origine, l'evoluzione ed il destino dell'Universo.

Studia l'origine ed il valore della vita attraverso l'analisi delle molecole organiche di natura extraterrestre, incluse le molecole del mezzo interstellare, l'analisi chimico-fisica delle atmosfere di mondi come Giove e Titano, o di pianeti come Marte che una volta possono essersi trovati in condizioni adatte allo sviluppo d'organismi viventi simili a quelli terrestri, la ricerca di pianeti esterni al sistema solare, la ricerca di vita extraterrestre.

Studia le leggi che governano le proprietà dei materiali, d'aggregati e di macchine quando sono sottoposti alle condizioni estreme di gravità, temperatura, vuoto, flussi di particelle cariche che si trovano nello spazio.

CONCLUSIONI 2/2

➤ TECNOLOGIA

- proprietà dei materiali
- comunicazioni

➤ RISULTATI SCIENTIFICI

- Sole e di altre stelle (astrofisica & astronomia)
- Universo (cosmologia)
- Pianeta Terra (planetologia)
- Origine della vita, dell'atmosfera, dell'ambiente...

➤ CONNESSIONE CON ALTRI CAMPI

- biologia, chimica, ingegneria ...