L'inseguimento via Laser dei Satelliti: Fisica ed Applicazioni Tecnologiche.

Il contributo della camera spaziale climatica dei LNF

Simone Dell'Agnello
Laboratori Nazionali di Frascati dell'INFN (LNF)

Istituto Nazionale di Fisica Nucleare

- Promuove, coordina ed effettua la ricerca scientifica nel campo della fisica sub-nucleare, nucleare e astroparticellare,

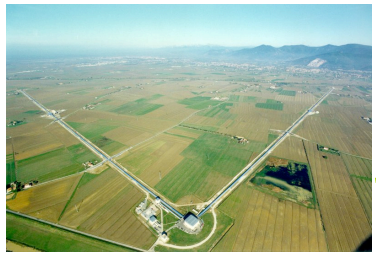
- nonche' la ricerca e lo sviluppo tecnologico necessari alle attivita' in tali settori,

- in stretta connessione con l'Universita'

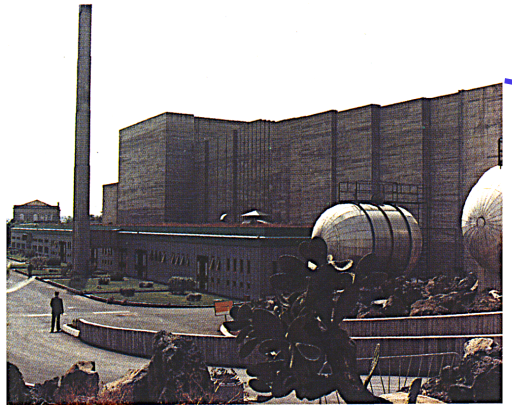
- e nel contesto della collaborazione
  e del confronto internazionale.

INFN
Istituto Nazionale
di Fisica Nucleare

Legnaro



VIRGO-EGO
European
Gravitational
Observatory



Catania

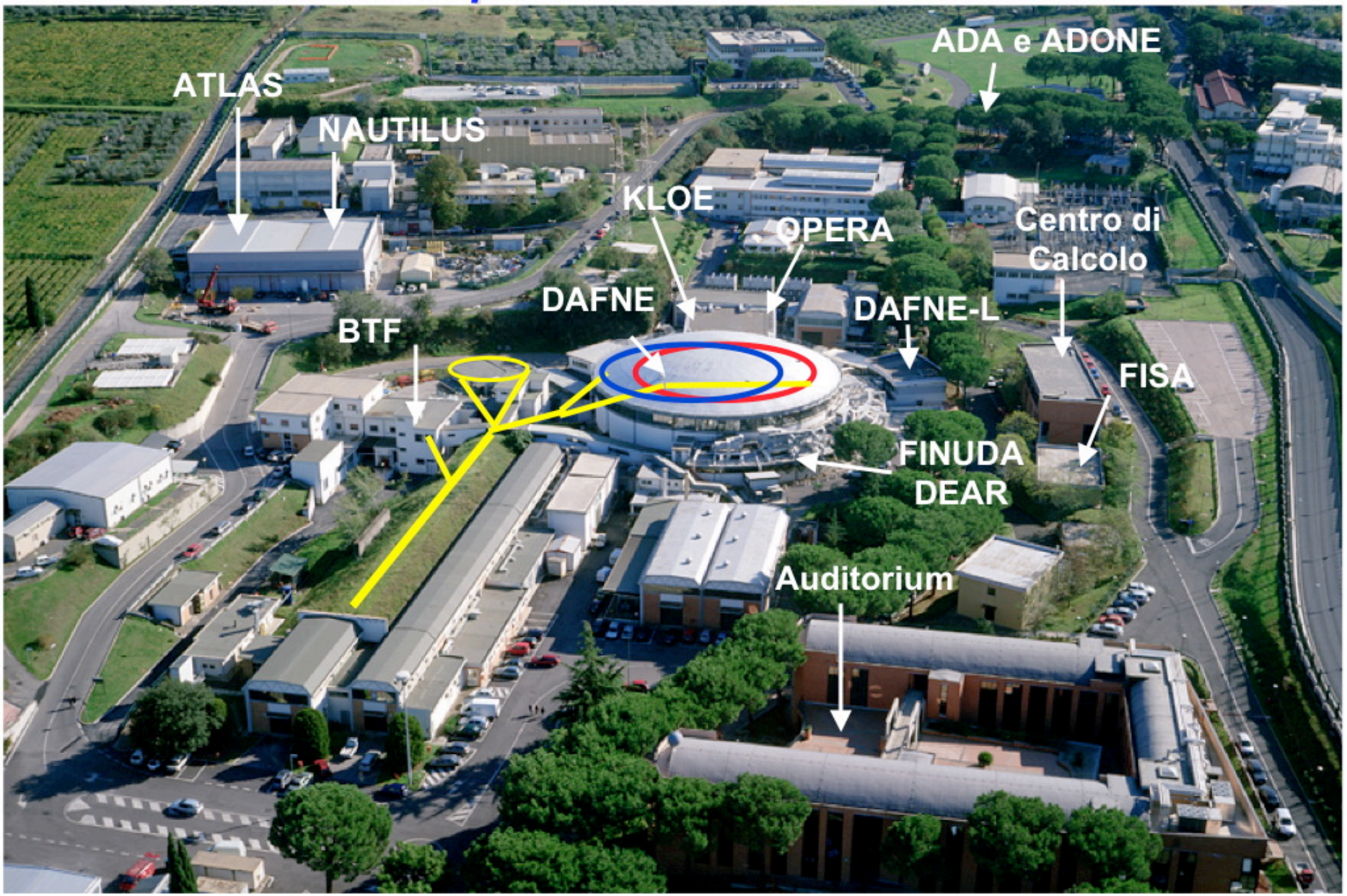
Gran Sasso

19 Sezioni
11 Gruppi collegati

4 Laboratori Nazionali

Frascati

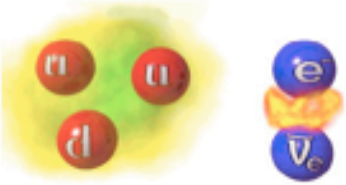
Laboratori Nazionali di Frascati, info: http://www.lnf.infn.it/sis/



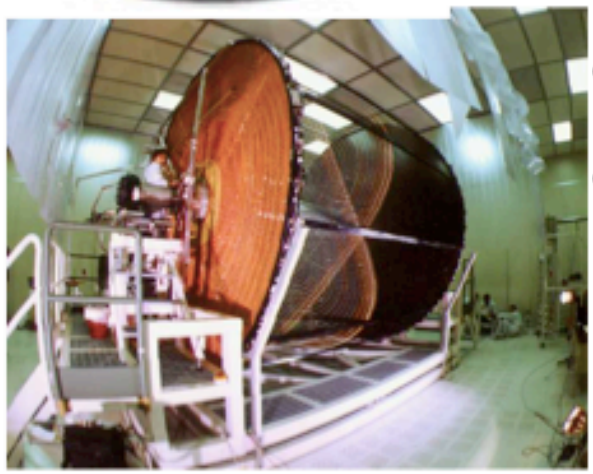
Che cosa si fa ai Laboratori Nazionali di Frascati?

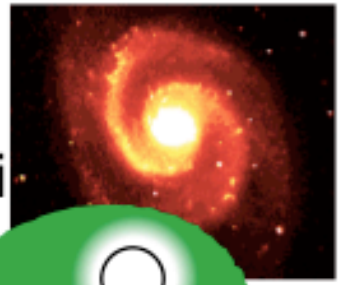
LNF

Ricerca fondamentale

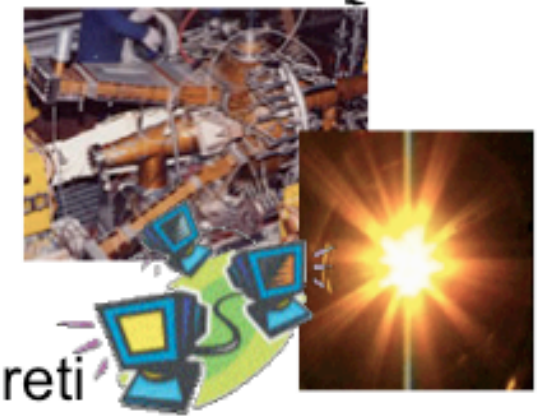


- Studi sulla struttura intima della materia
- Ricerca di onde gravitazionali
- Elaborazione di modelli teorici





- Sviluppo e costruzione di rivelatori di particelle
- Studio e sviluppo di tecniche acceleratrici
- Studi di materiali e ricerche bio-mediche con luce di sincrotrone
- Sviluppo e supporto di sistemi di calcolo e reti

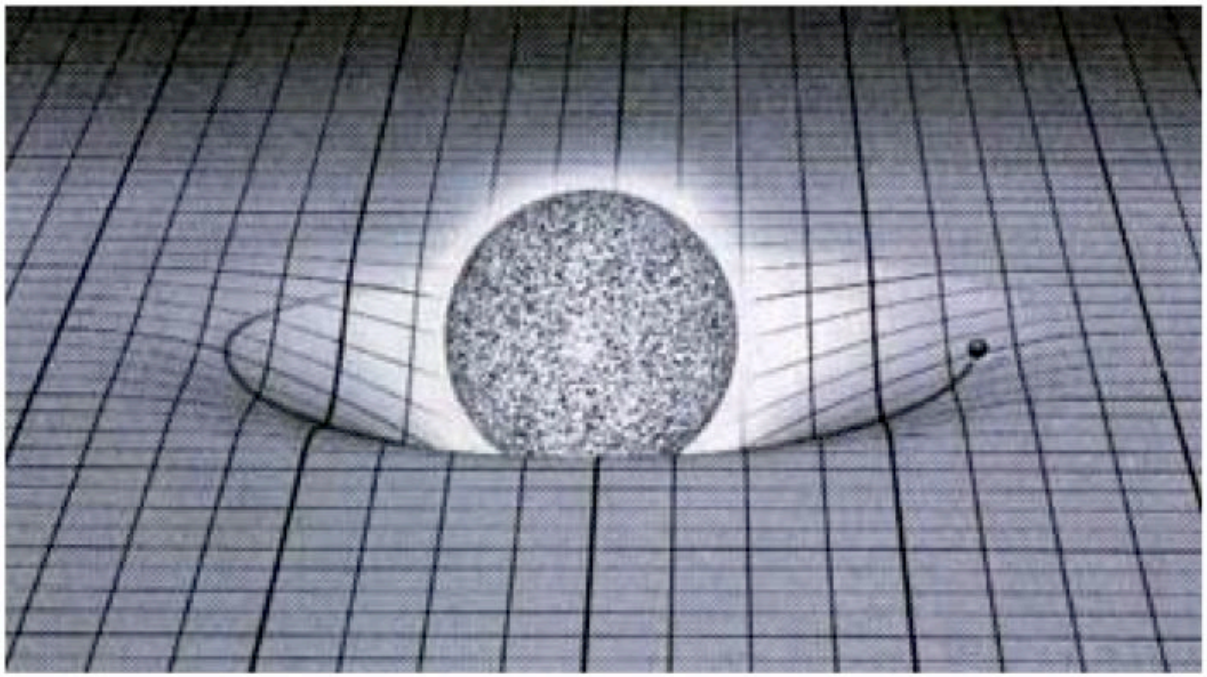


Le 4 forze fondamentali

- L'INFN si dedica allo studio delle forze fondamentali
  - Elettromagnetica
  - Debole (decadimenti radioattivi)
  - "Forte" (perché è la piú intensa)
    - Tiene legati protoni e neutroni nei nuclei
    - Tiene legati i *quarks* che formano protoni e neutroni
- La quarta forza, nota fin dall'antichità assieme a quella elettromagnetica, è la forza di gravità
  - Descritta dalla teoria della Relatività Generale di Einstein.
  - Validità confermata da varie misure sperimentali

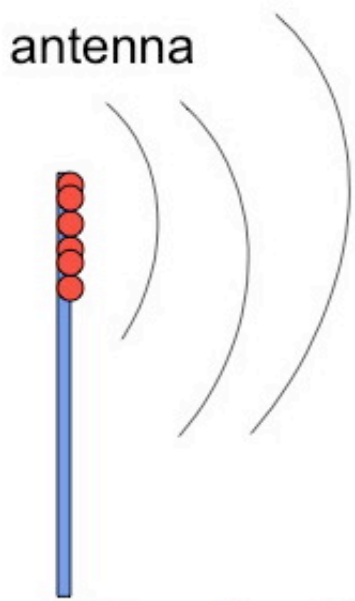
La Relatività Generale (RG)

La forza di gravita`



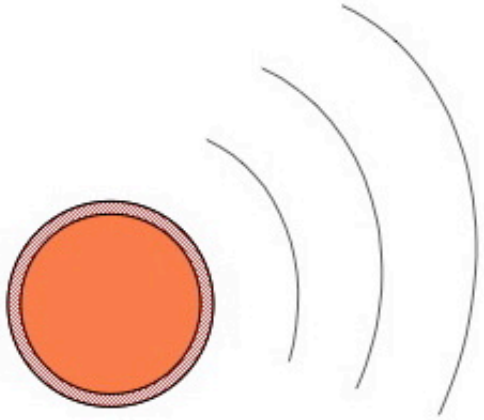
Una distorsione nel tessuto dello spazio

Le onde sono espressione dinamica delle forze



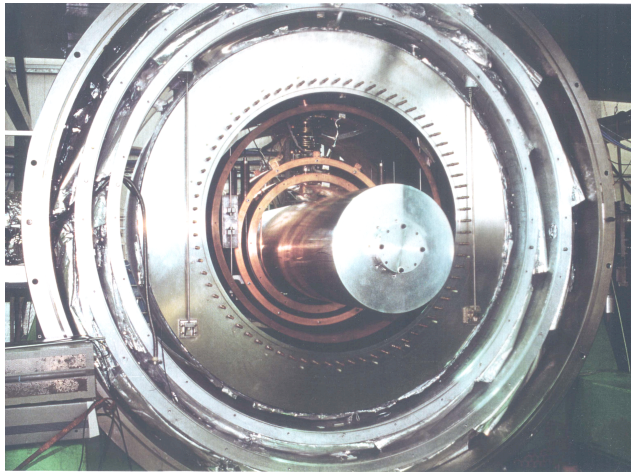
Le onde elettromagnetiche sono prodotte da cariche elettriche in movimento…

Onde Gravitazionali: un'analogia



Le onde gravitazionali sono prodotte da masse in movimento…

L'antenna gravitazionale NAUTILUS a Frascati



Lo studio della forza di gravità

- La rivelazione di onde gravitazionali con un antenna a Terra o nello spazio
- La più mportante verifica della RG che ci si aspetta nei prossimi anni
  - Prodotte da eventi cosmici catastrofici (pulsar, supernove)
  - Per ora solo evidenze indirette (1974: pulsar binaria, premio Nobel di Taylor e Hulse)

- Altri test sperimentali della RG si stanno facendo dai tempi dello sbarco dell'uomo sulla Luna, usando una tecnica sperimentale collaudata e di precisione:

  L'INSEGUIMENTO VIA LASER DEI SATELLITI

Satelliti inseguiti da stazioni laser a Terra

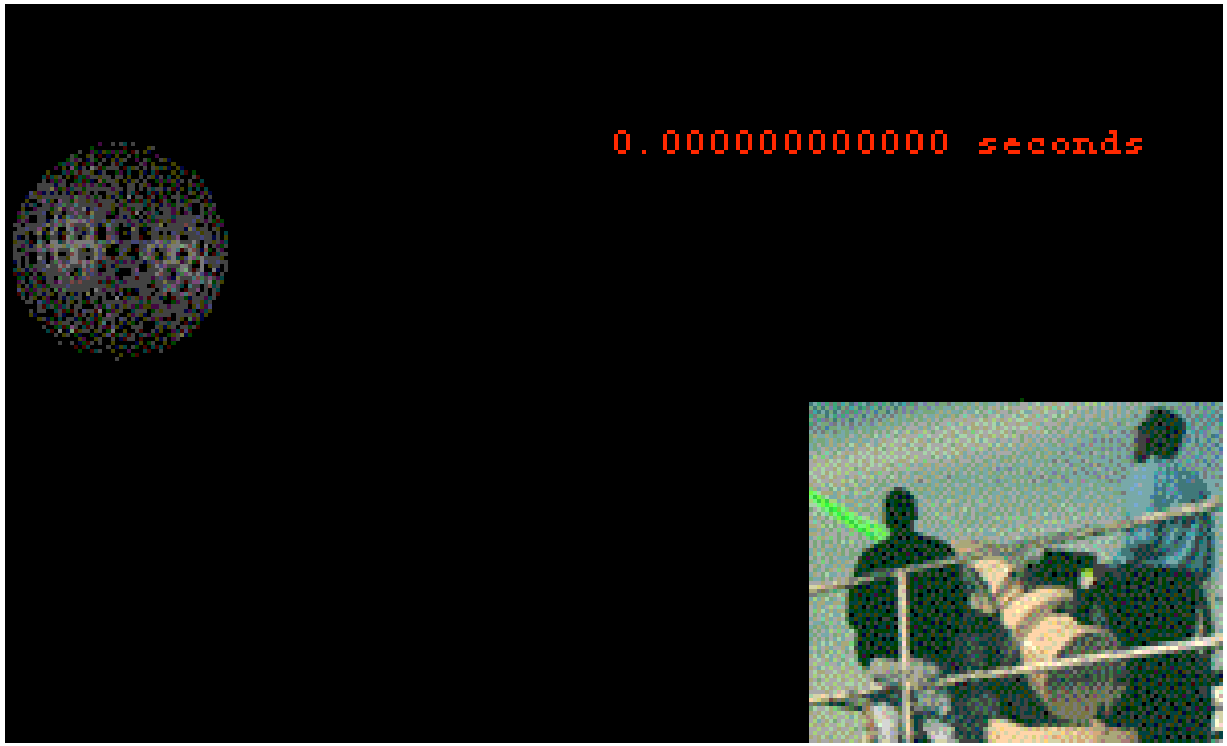
I satelliti sono distanti da 400 Km a >20000 Km, ed hanno specchi speciali per riflettere la luce: RETRO-RIFLETTORI

International Laser Ranging Service

Il principio dell'inseguimento via laser

- La stazione di Terra invia un fascio di luce laser verso il satellite
- Il satellite retro-riflette la luce a verso Terra
- La stazione cattura la luce di ritorno con un Telescopio collocato accanto al laser
- Il satellite sferico funge da punto materiale: il metallo da la massa ed i retro-riflettori lo rendono "tracciabile" dal laser

"Satellite Laser Ranging"

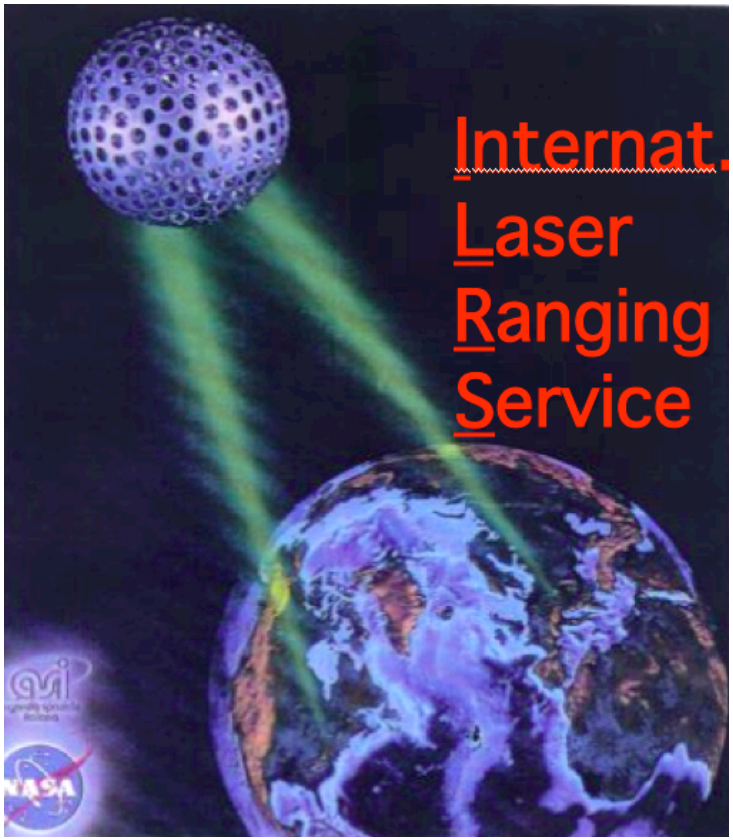


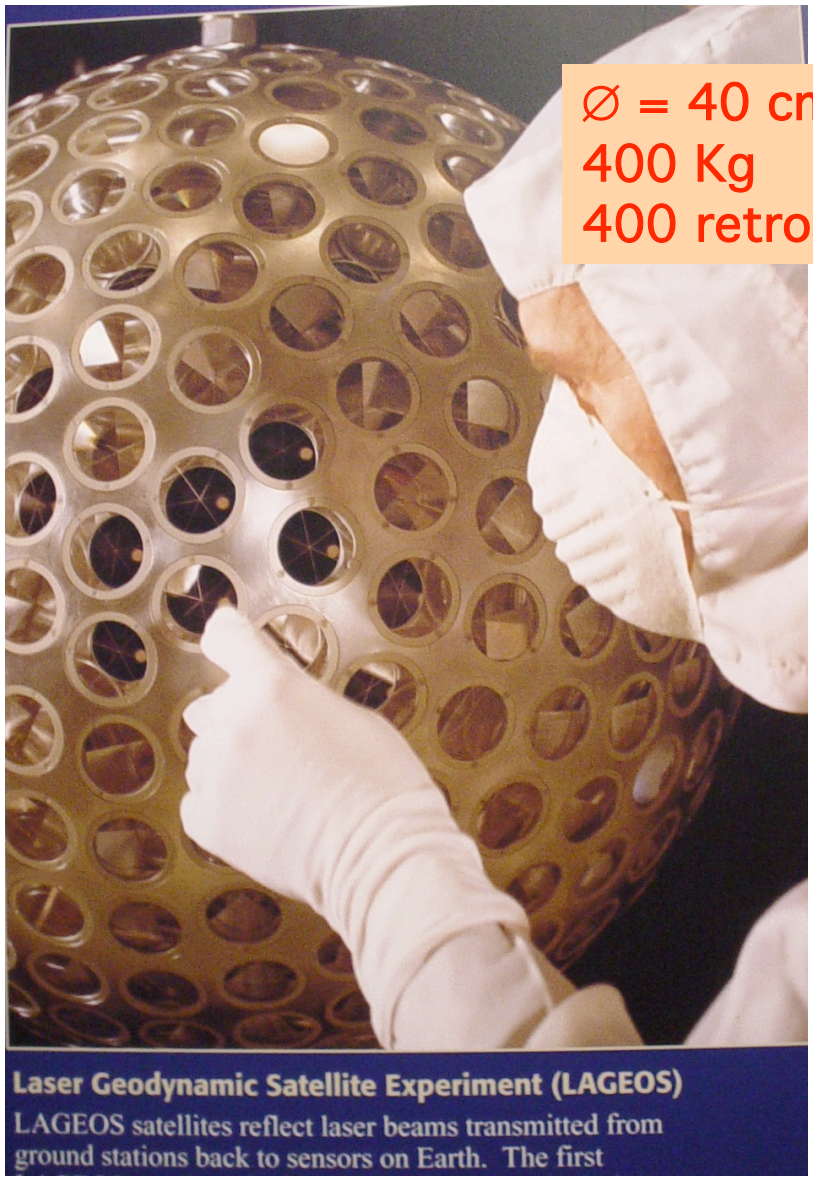
I LAGEOS: due dei satelliti più belli ed importanti

LAGEOS I (1976; NASA)

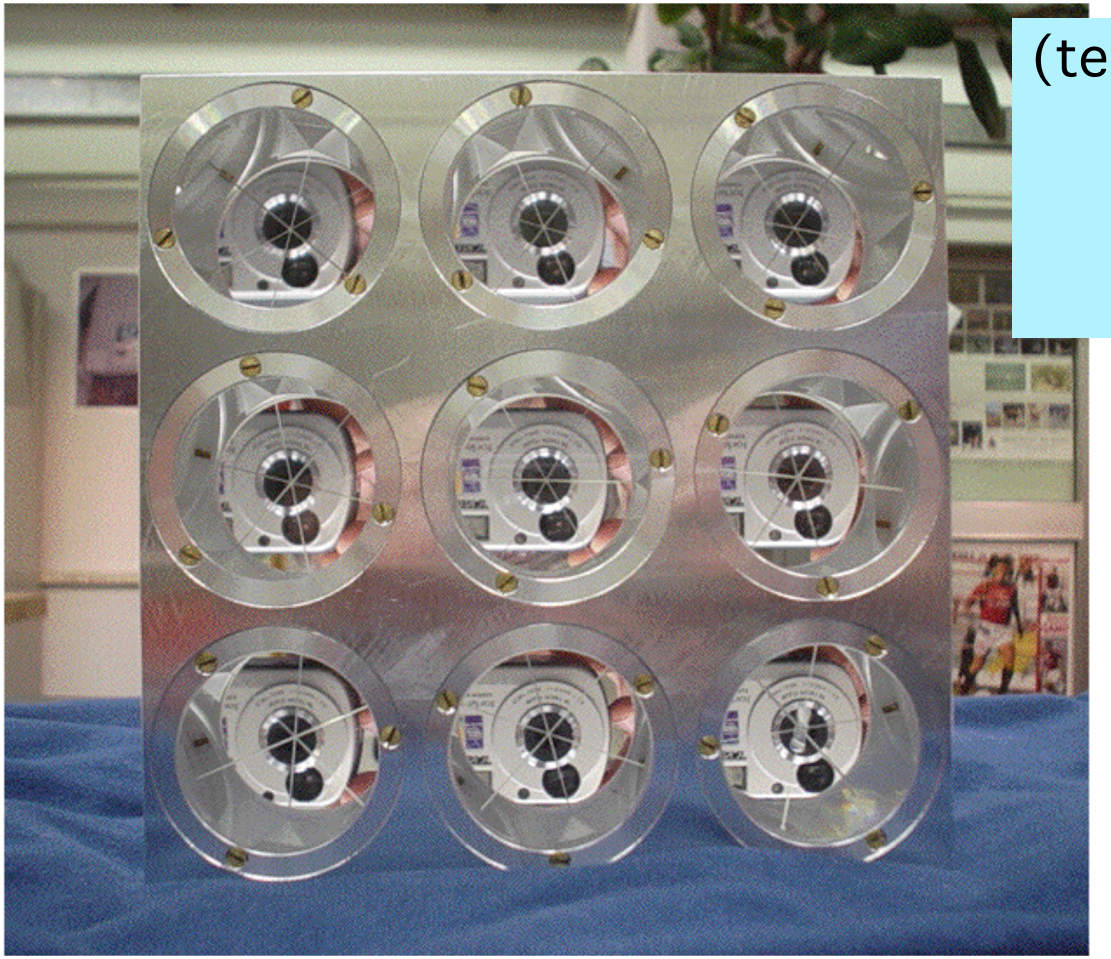
LAGEOS II (1992; NASA - ASI)

LAser GEOdynamics Satellites

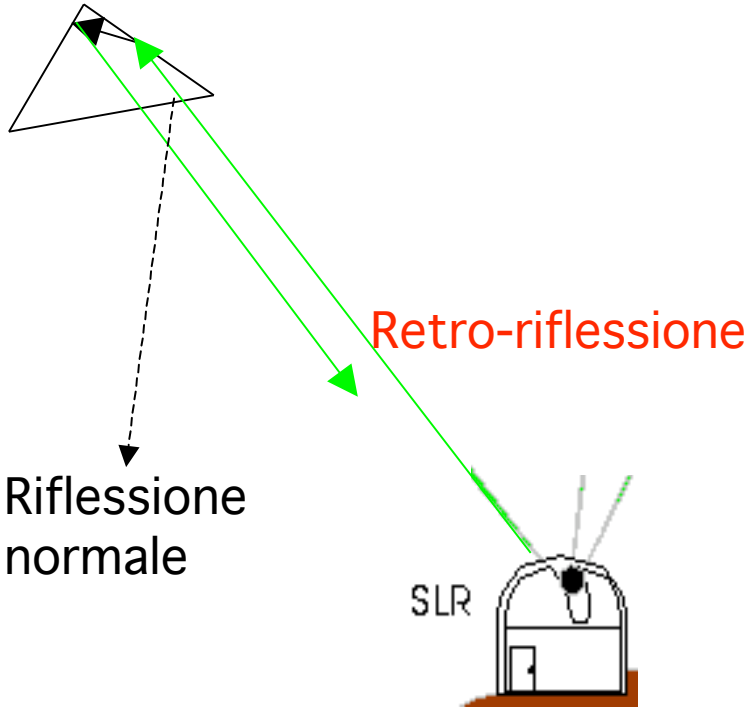




Non specchi normali, ma ... “retro-riflettori”



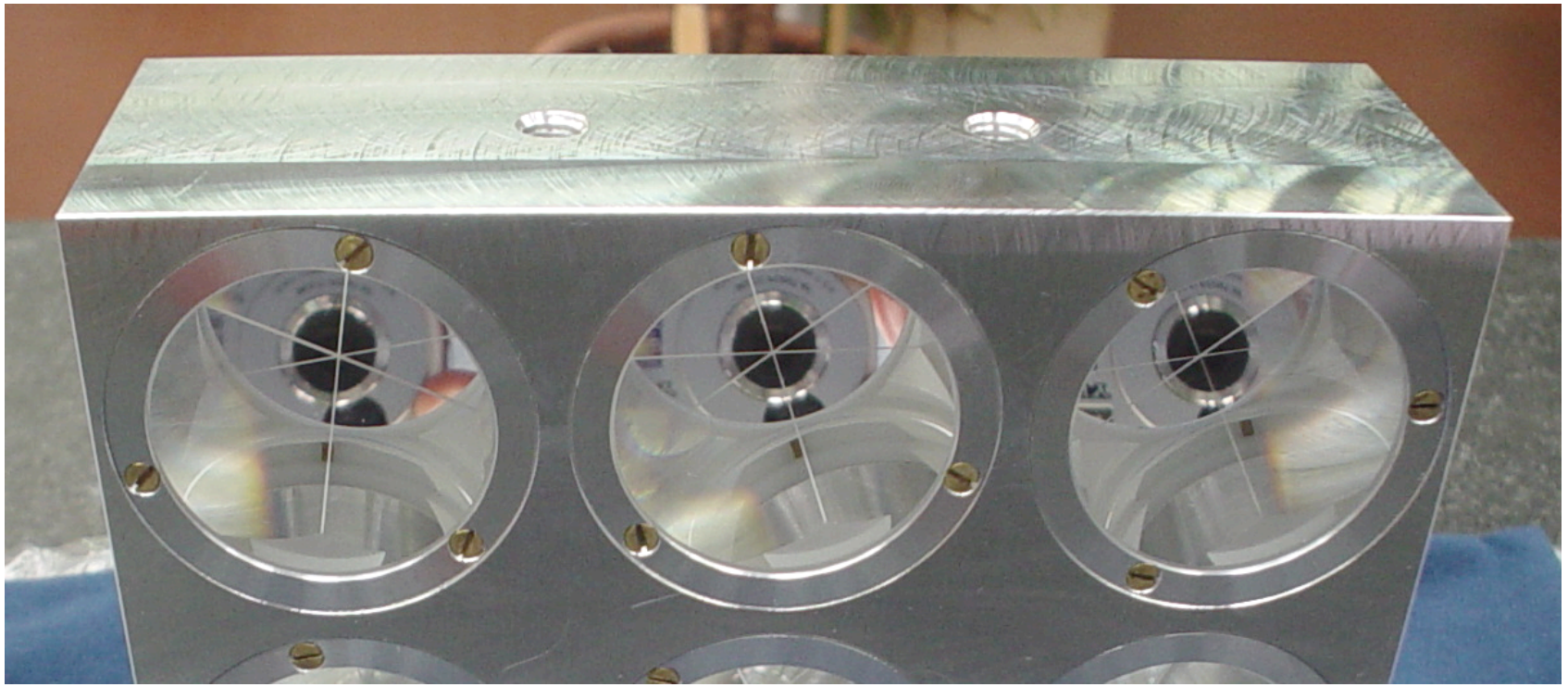
(tempo andata-ritorno della luce)
x
(velocità della luce)
=
(distanza del satellite)



Prototipo dei LAGEOS (parte piatta della superficie, in scala 1:1) costruito presso i Laboratori Nazionali di Frascati dell’INFN

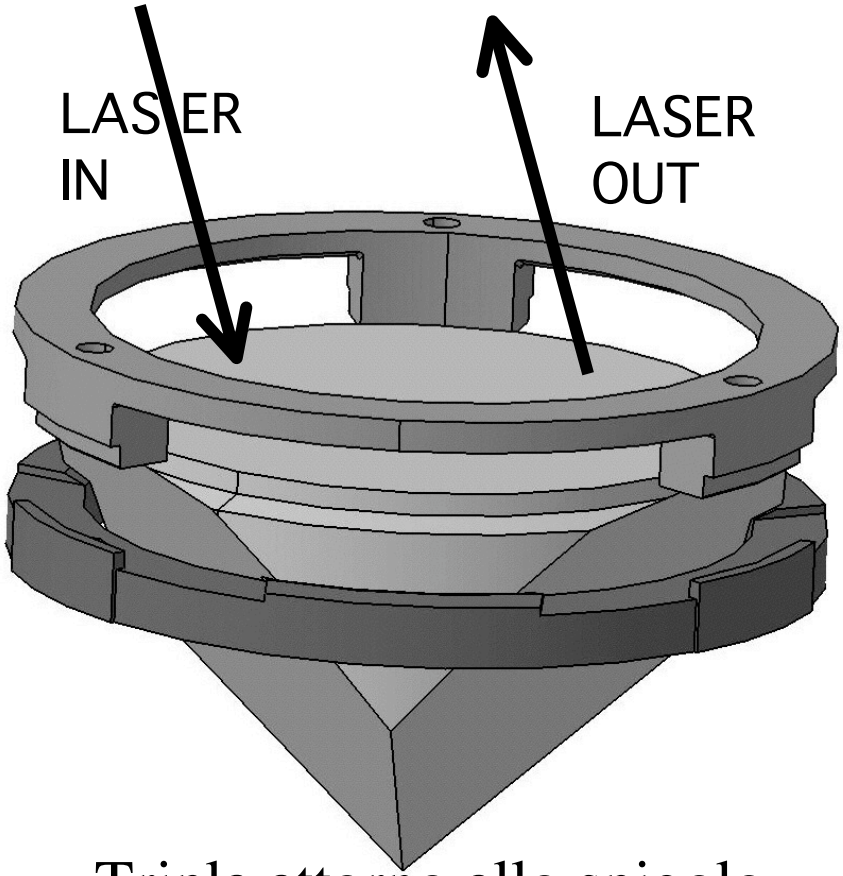
I retro-riflettori: roba da ... narcisisti

Se guardate dall'alto uno specchio normale vedrete i vostri piedi. Se guardate un retro-riflettore da qualunque angolazione, vedrete sempre il vostro occhio
(siete invitati a provare coi retro-riflettori nella Hall)

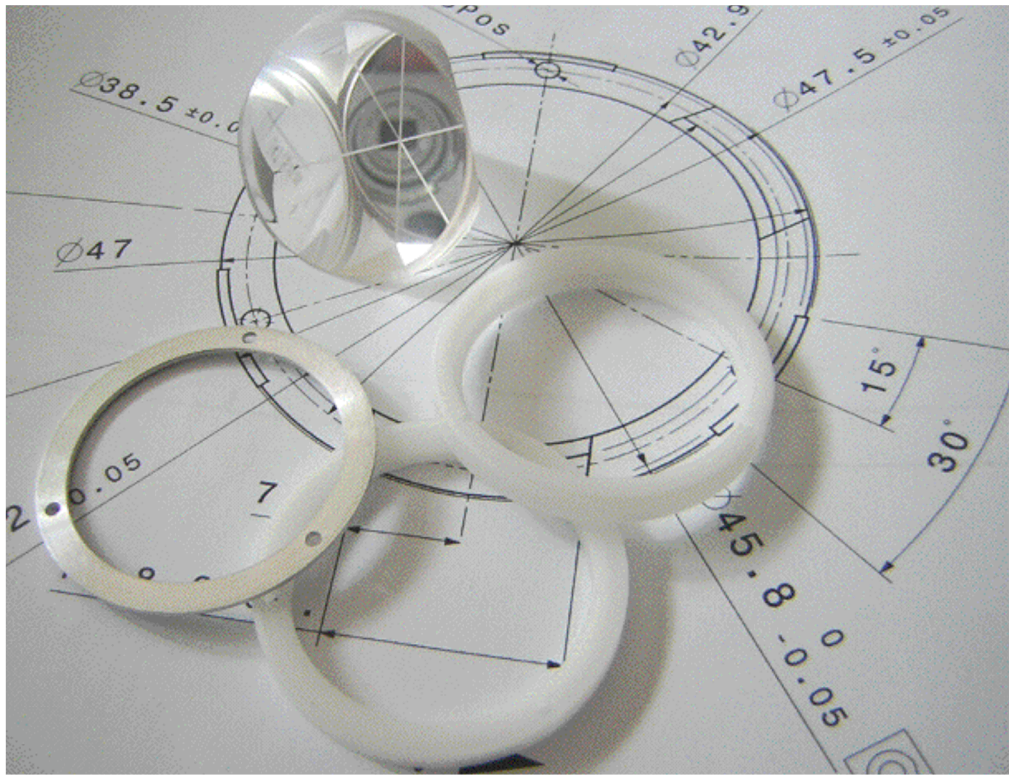


I retro-riflettori LAGEOS, da 30 anni nello spazio

Il trucco e' che sono "spigoli" di cubo. La riflessione normale su ciascuna delle 3 facce dello spigolo causa retro-riflessione IN-OUT



Tripla attorno allo spigolo



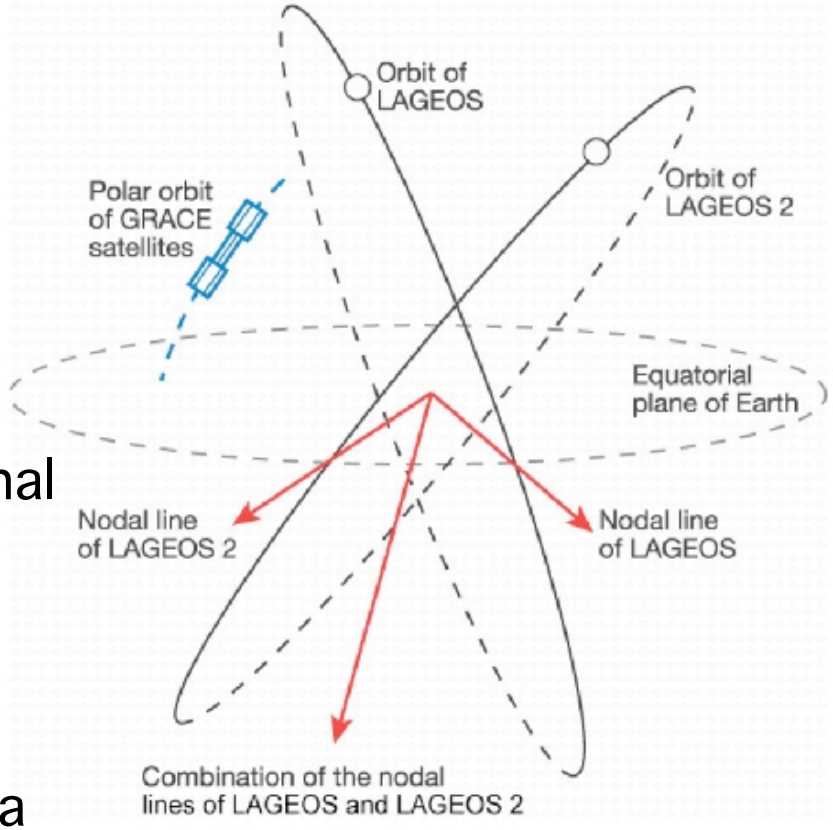
Applicazioni tecnologiche di Geodesia spaziale

- Orbite satellitari *disegnate* dai Laser nello spazio con una precisione di < 1 cm
- Orbite usate per definire il Sistema di Riferimento Cartesiano Terrestre:

ITRF = International Terrestrial Reference Frame

  - Emesso dallo IERS = International Earth Reference Service
  - lo stardard internazionale per tutti gli usi scientifici e civili
  - L'impatto sociale, politico ed economico sulla vita del pianeta e' enorme

a ~ 12000 Km
Inclinazione 70° e 50°
Circonferenza ~ 75000 Km



ITRF: l'origine degli assi ed il "metro" planetario

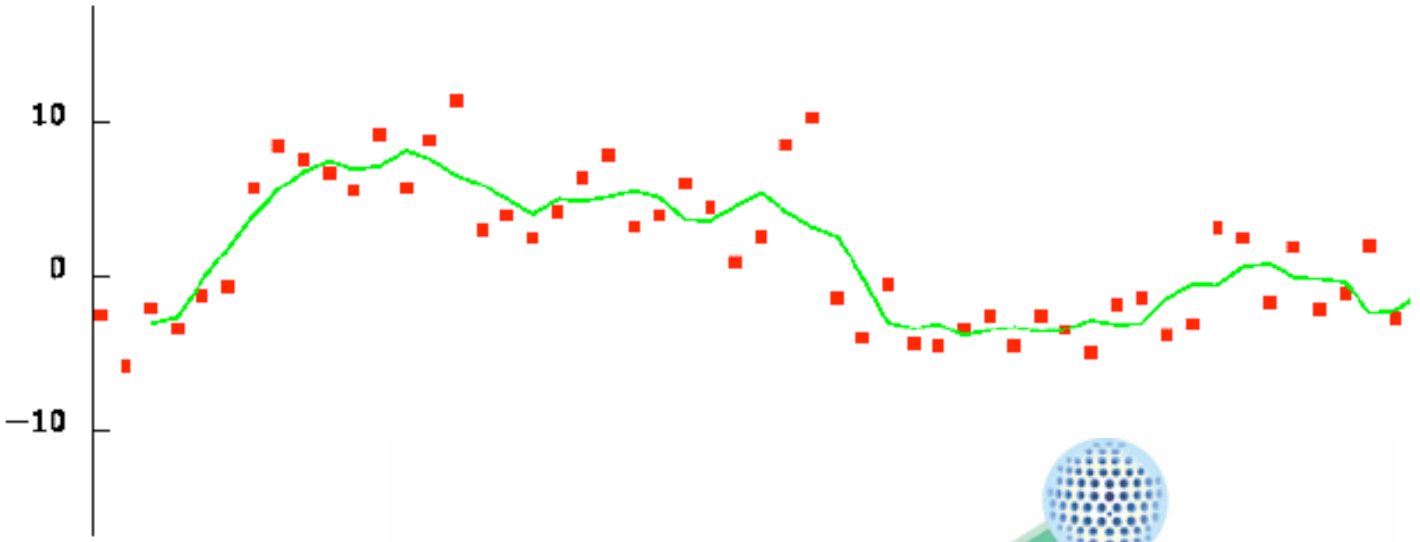
- Il Geo-centro (il centro di massa della Terra) si fa solo coi LAGEOS !
  - Si definisce Geo-centro il fuoco delle orbite dei LAGEOS
  - Non avremo altro geo-centro fuori di questo

- Le orbite dei LAGEOS definiscono la scala delle lunghezze, il "metro" standard su dimensioni planetarie
  - uguale per tutti e visibile da ogni punto del globo

- Ricordate "il centro di gravità permanente" della canzone di Franco Battiato ?
- Quando "cade" LAGEOS ? Tra ~ 1milione di anni

La posizione del Geo-centro, in millimetri, fatta ogni martedi (punti rossi) e mediata (linea verde) dal 1/1/2004 al 1/1/2005

Moto apparente della Posizione Y del geo-centro [mm]

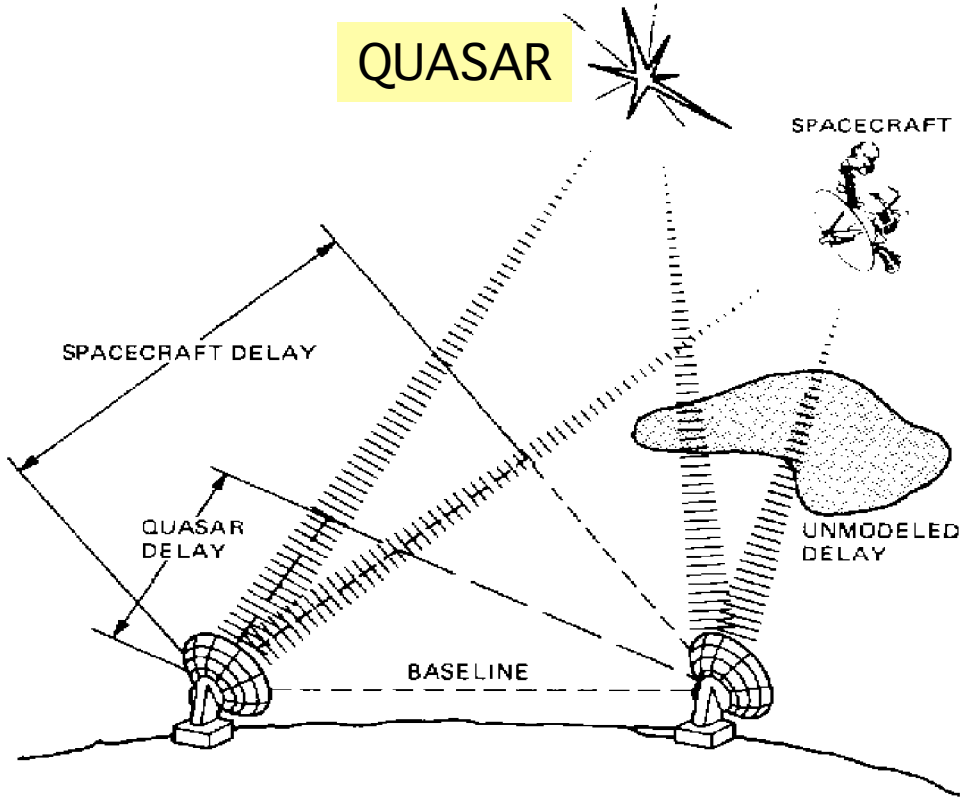


Courtesy of E.C. Pavlis
ILRS05 workshop

International Laser Ranging Service

ITRF: l'orientazione degli assi cartesiani

- Dato al 50% dai LAGEOS ed al 50% dai dati VLBI
- VLBI: very long baseline interferometry
  - La baseline e' al massimo il diametro terrestre
- Il peso del GPS per l'ITRF e' trascurabile rispetto ai LAGEOS

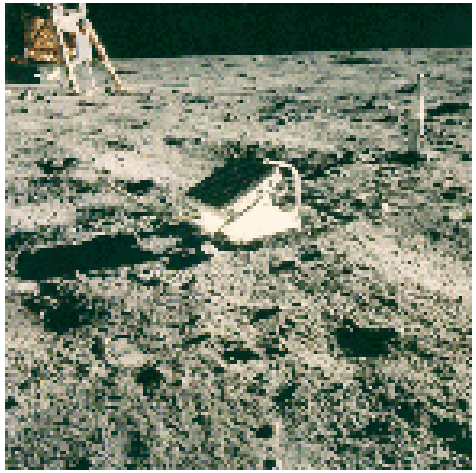


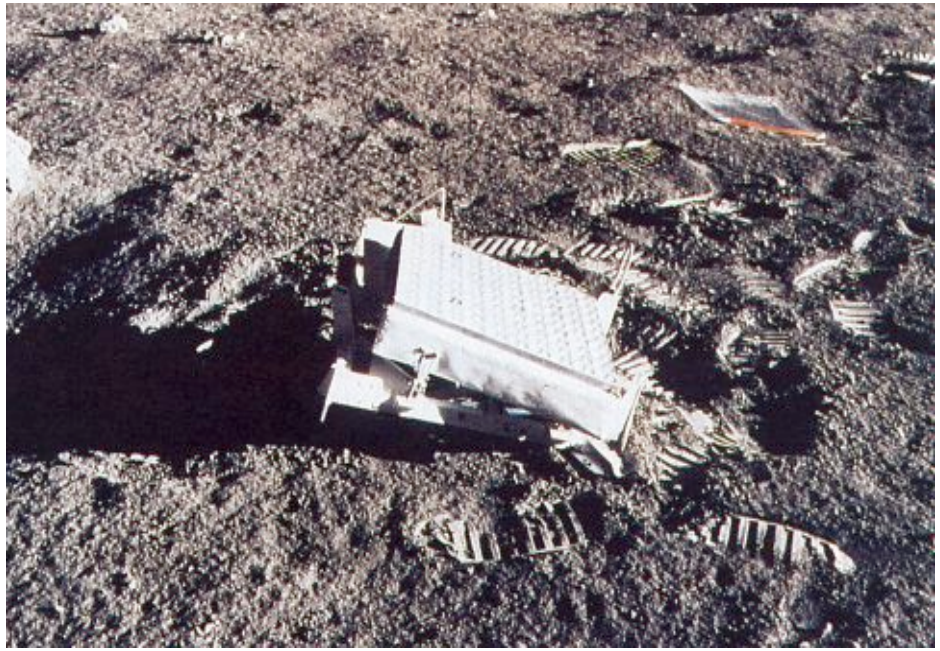
Applicazioni tecnologiche di Geodesia spaziale

- Calibrazione assoluta dell'altezza misurata dagli altimetri radar (METEOSAT; meteorologia)
- Misura del moto delle placche tettoniche
- Monitoring dei moti delle masse fluide (e del clima) a medio e lungo termine
- Monitoring del volume dei ghiacci ai poli a medio e lungo termine
- Ed il GPS ? Queste applicazioni sono impossibili per il GPS. Il GPS viene ricalibrato (gli orologi riazzerati) dopo periodi brevi (giorni, settimane, pochi mesi). Non ha memoria per tempi medio-lunghi
- Il GPS e', pero', imbattibile per navigazione in tempo reale, e per misure di posizionamento relative
- Per il posizionamento assoluto niente batte LAGEOS

Flashback: tutto cominciò con l'Apollo 11 (1969)

2 esperimenti Apollo 11: sismografo (pila scarica dopo pochi anni) e 100 specchi retro-riflettori,46×46 cm^2 (l'unico esperimento di tutte le missioni Apollo che ancora prende dati)



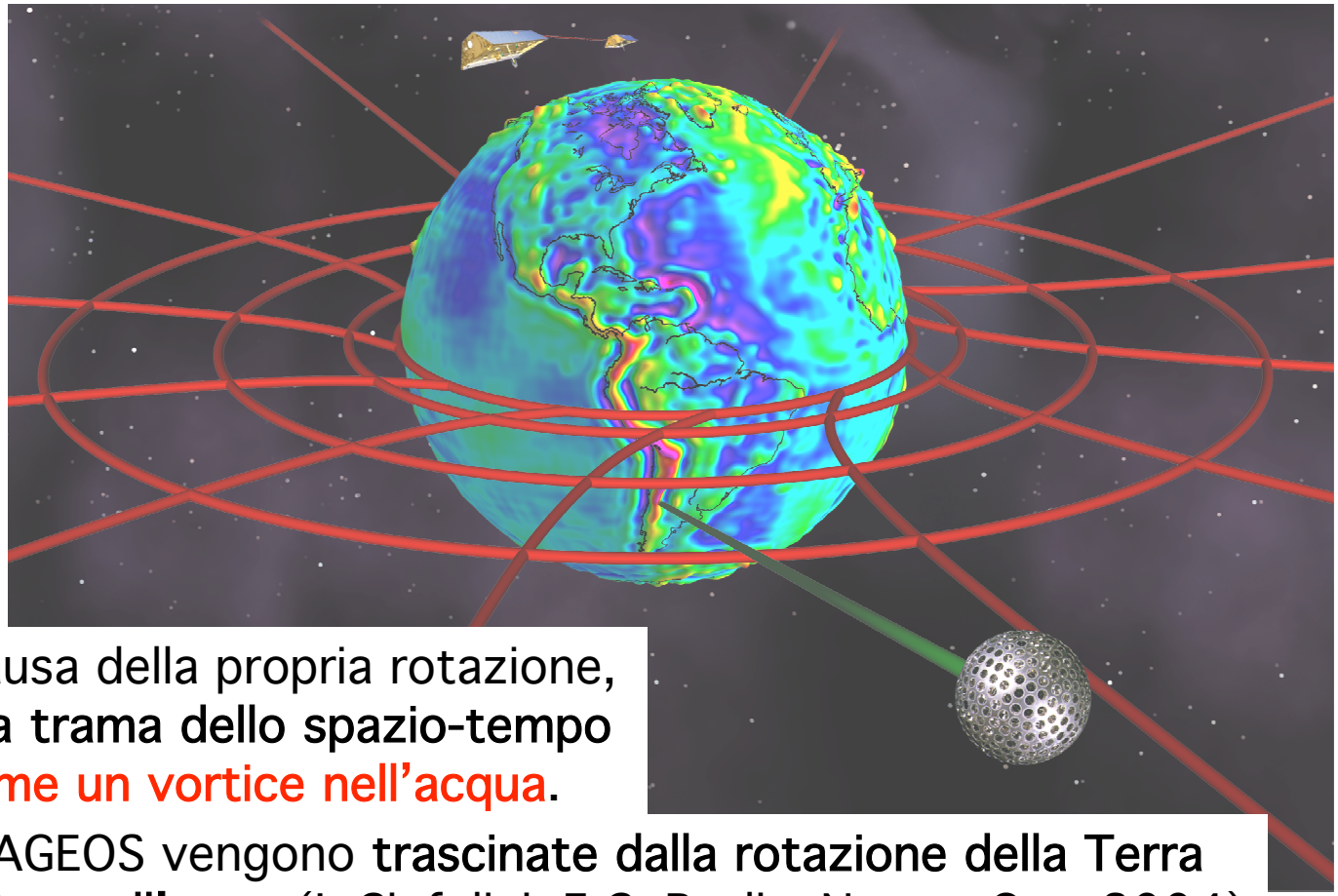


Dimensione fascio laser
∅=7 Km (moon),
∅=20 Km (back to earth)
Precisione della misura distanza Terra-Luna e' di circa 3 cm.
La luna si allontana dalla Terra di 3.8 cm/yr.
Misura precessione lunare (effetto De Sitter) con precisione dello 0.35%

E poi Apollo 14, 15 ed i due Lunakhod Russi

Fisica Fondamentale con l'inseguimento laser

Secondo la Relatività Generale la Terra **curva lo spazio-tempo**
a causa della sua grande massa, attraendo i satelliti in orbite chiuse

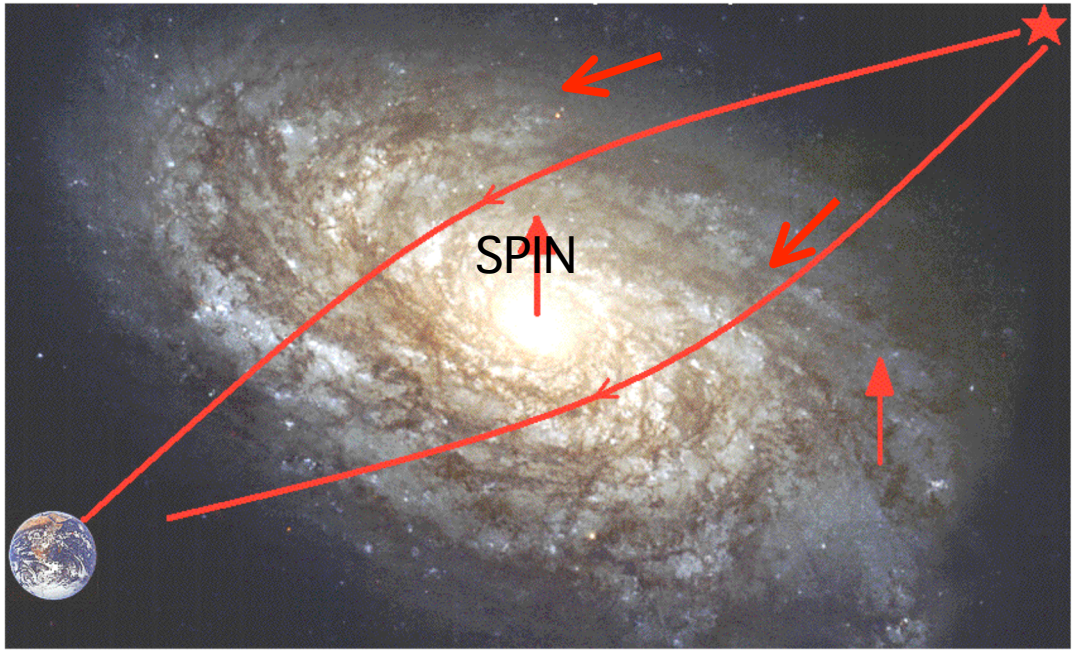


Ma non solo ! A causa della propria rotazione,
la Terra **trascina la trama dello spazio-tempo**
attorno a sé come un vortice nell'acqua.

Le orbite dei LAGEOS vengono **trascinate dalla rotazione della Terra di 2 metri ± 20 cm all'anno** (I. Ciufolini, E.C. Pavlis, Nature Oct. 2004)
su orbite di asse maggiore ~ 12000 Km circonferenza ~ 75000 Km

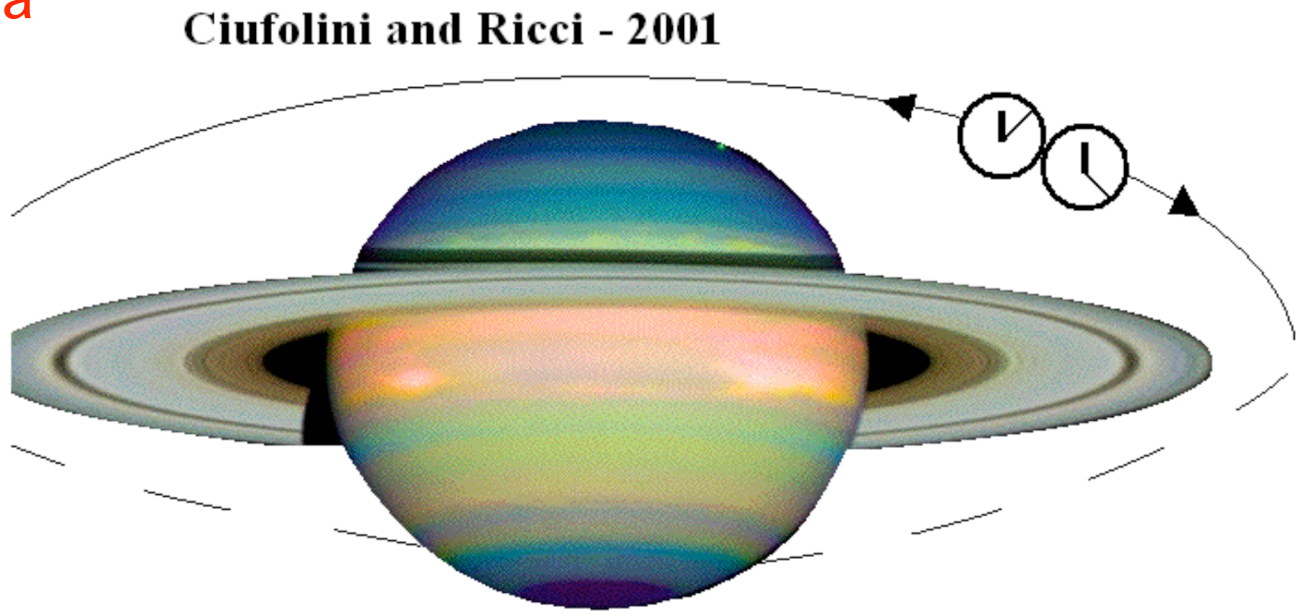
La Fisica del trascinamento spazio-tempo (II)

- Consideriamo distanze “cosmiche, intergalattiche”
- Grande massa (cluster di galassie) in rotazione tra noi ed una sorgente di luce. La luce passa “intorno” (curvatura dello spazio temp =>gravitational lensing)
- La luce giunge a noi passando e destra ed a sinistra della massa
- In un caso lo spazio-tempo trascinato “rema contro” la luce (che arriva a noi in ritardo anchedi secondi, forse minuti ?), e nell’altro “rema a favore”

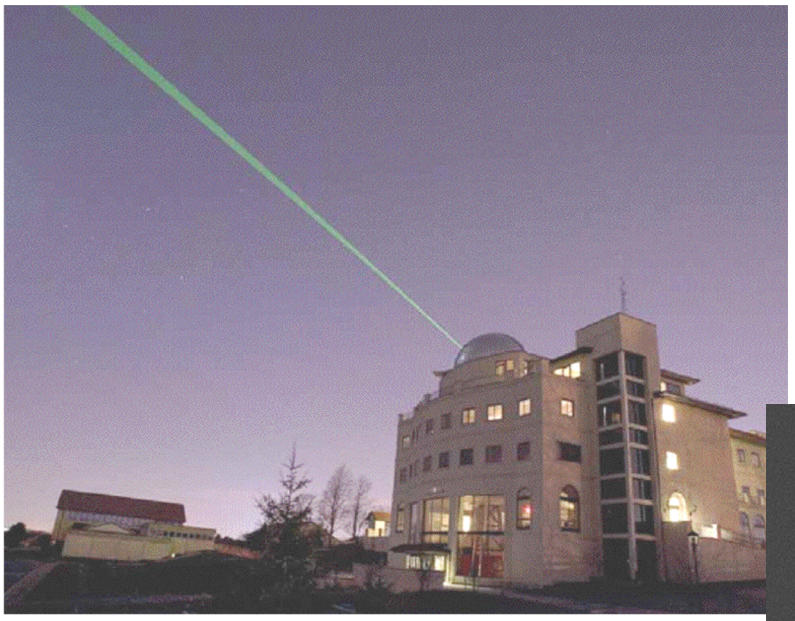


La Fisica del trascinamento spazio-tempo (III)

- Spazio intorno alla Terra (NEO, Near Earth Orbits)
- Un orologio orbita nello stesso senso della rotazione della Terra ed un altro, identico, orbita a “sfavore”
- L’orologio che si muove “contro” la corrente dello spazio-tempo rallenta

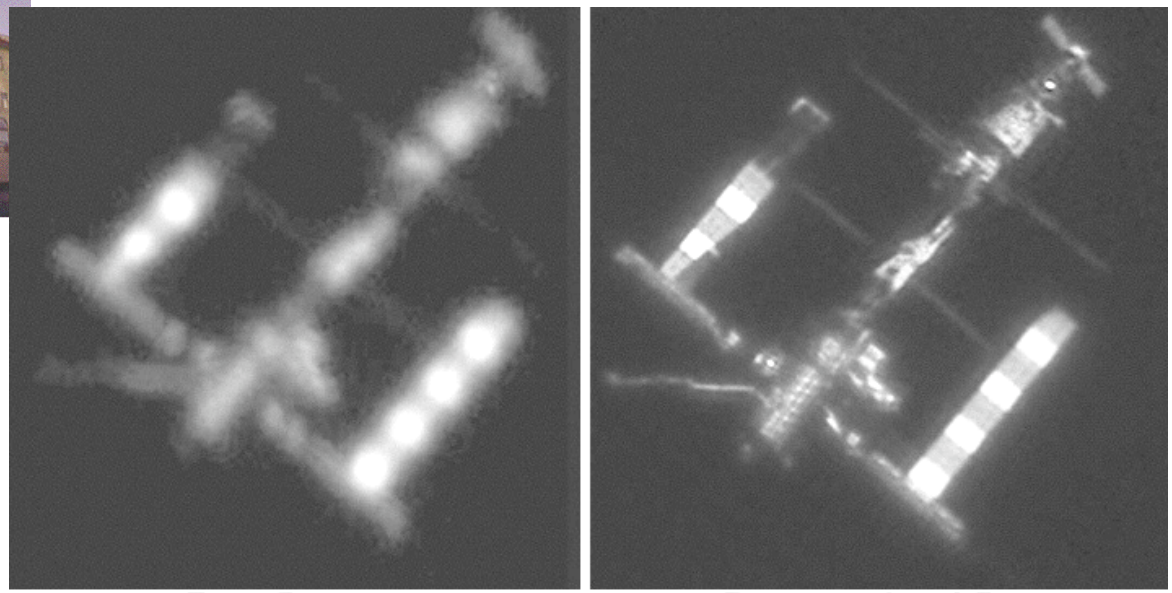


Migliorare l'imaging della Stazione Spaziale Intern.



Esperimento SQPR, missione ENEIDE. Retro-riflettore portato da R. Vittori sulla stazione spaziale. Il segnale laser retro-riflesso permette di correggere il deterioramento dell'immagine causato dall'atmosfera. Aprile 2005.

F.Graziani
A.Paolozzi
M.Porfilio
G.Sindoni
D. Currie
....



Raw Data

Deconvolved Data

SPQR - Specular Point-like Quick Reference
Ground-Based Image of the International Space Station
03 May 2005
25" Ritchey-Chretien Telescope at f/20

Scuola di Ingegneria Aerospaziale, Roma I

Filippo Graziani, Antonio Paolozzi, Manfredi Porfilio and Giampiero Sindoni; Scuola di Ingegneria Aerospaziale Università "La Sapienza", Roma, Italy

Douglas Currie; University of Maryland, College Park Maryland, USA

Ronald Dantowitz and Marek Kozubal; Clay Center Observatory, Dexter and Southfield Schools, Brookline, MA, USA

D. Currie: retro-r. Apollo 11, Hubble Space Telescope

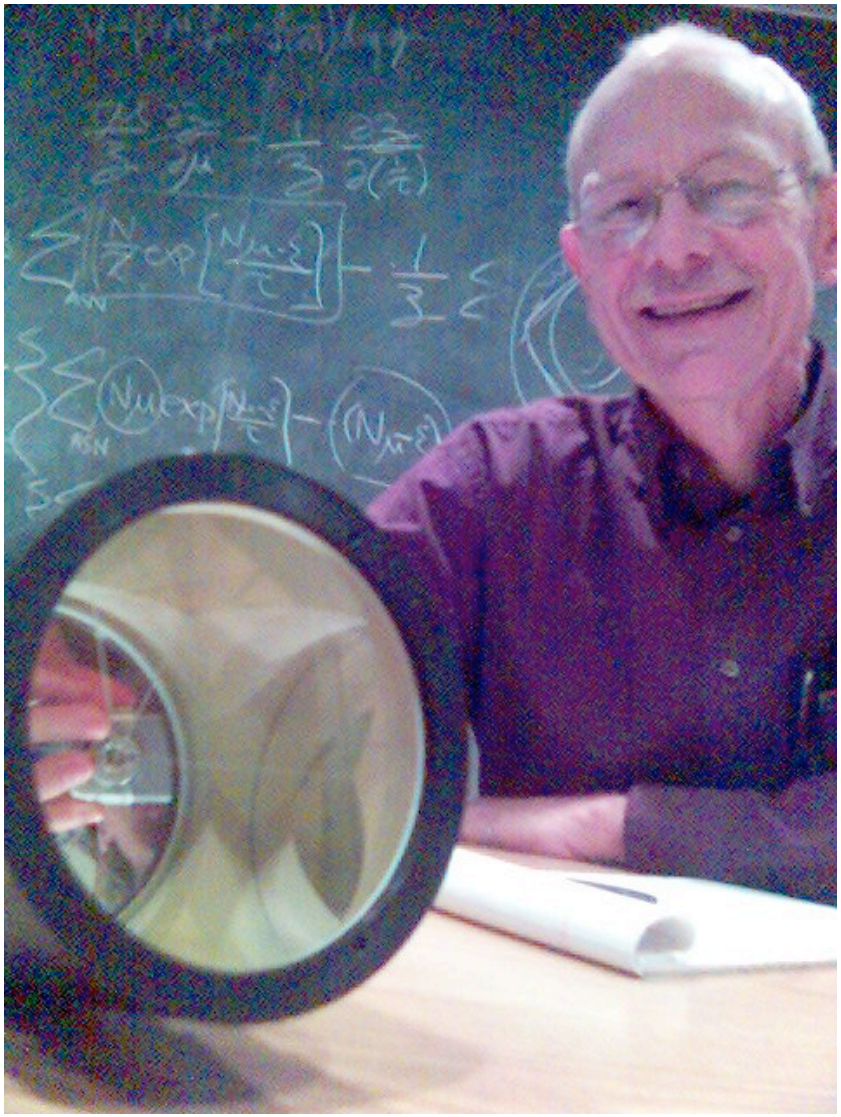
Doug e' tra i proponenti di LARES.

Il retro-reflettore che vedete e' del 1969. Doug lo uso' per per visualizzare la posizione di arrivo del fascio laser sulla luna e "trovare" i retro-riflettori lasciati dall'Apollo 11.
All'inizio non fu affatto facile ... poi divento' Prof. Ordinario a Washington

Questo retro-r. e' stato portato da R. Vittori sulla ISS nell'Aprile 2005 ed usato per l'esperimento SPQR (Specular Point-like Quick Reference)

Un cimelio dell'esplorazione spaziale

Doug sara' a Frascati per circa 1 mese a Maggio 06 per i primi test della camera spaziale climatica dei LNF.



LAGEOS ha 30 anni. È tempo di un nuovo progetto

All'interno della collaborazione scientifica LAGEOS/LARES, i LNF hanno fatto due proposte:

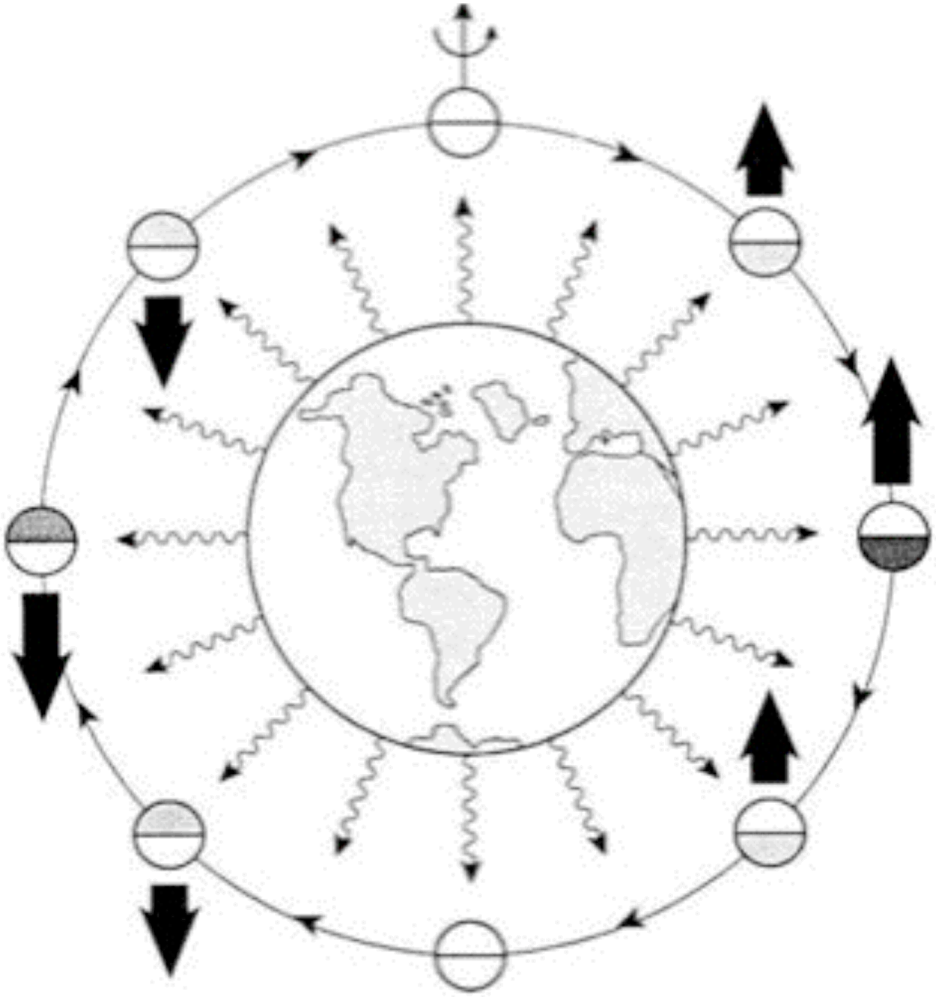
- Costruzione di una camera spaziale climatica per studiare e caratterizzare i satelliti
  - ✓ Tutti i componenti pronti, camera e' in allestimento
  - ✓ Manca solo il Simulatore solare, in consegna ad Aprile

- Un nuovo progetto di satellite, LARES, per diminuire le perturbazioni che sente LAGEOS nel clima spaziale.
  - ✓ Un prototipo in scale 1:2 e' in esposizione oggi

Scopo della camera Spaziale climatica dei LNF

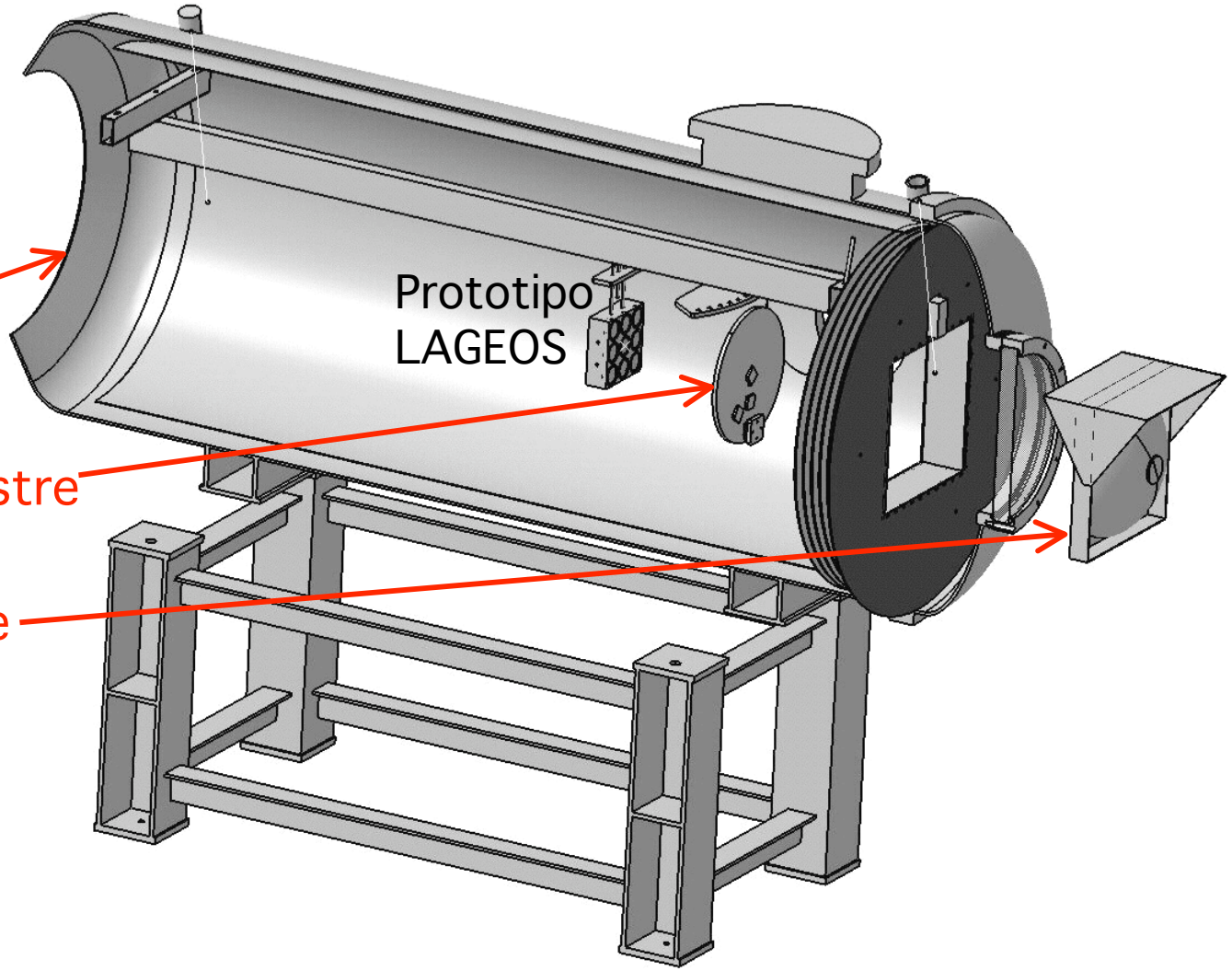
- Per misure di fisica di precisione e' indispensabile una caratterizzazione termica
  - Freddo (3 K = -270 °C)
  - Vuoto
  - Sole, Terra
- LAGEOS sta a ~300 K = 27 °C
- Spinte termiche, che frenano impercettibilmente il moto

Effetto Rubincam/Yarkovsky

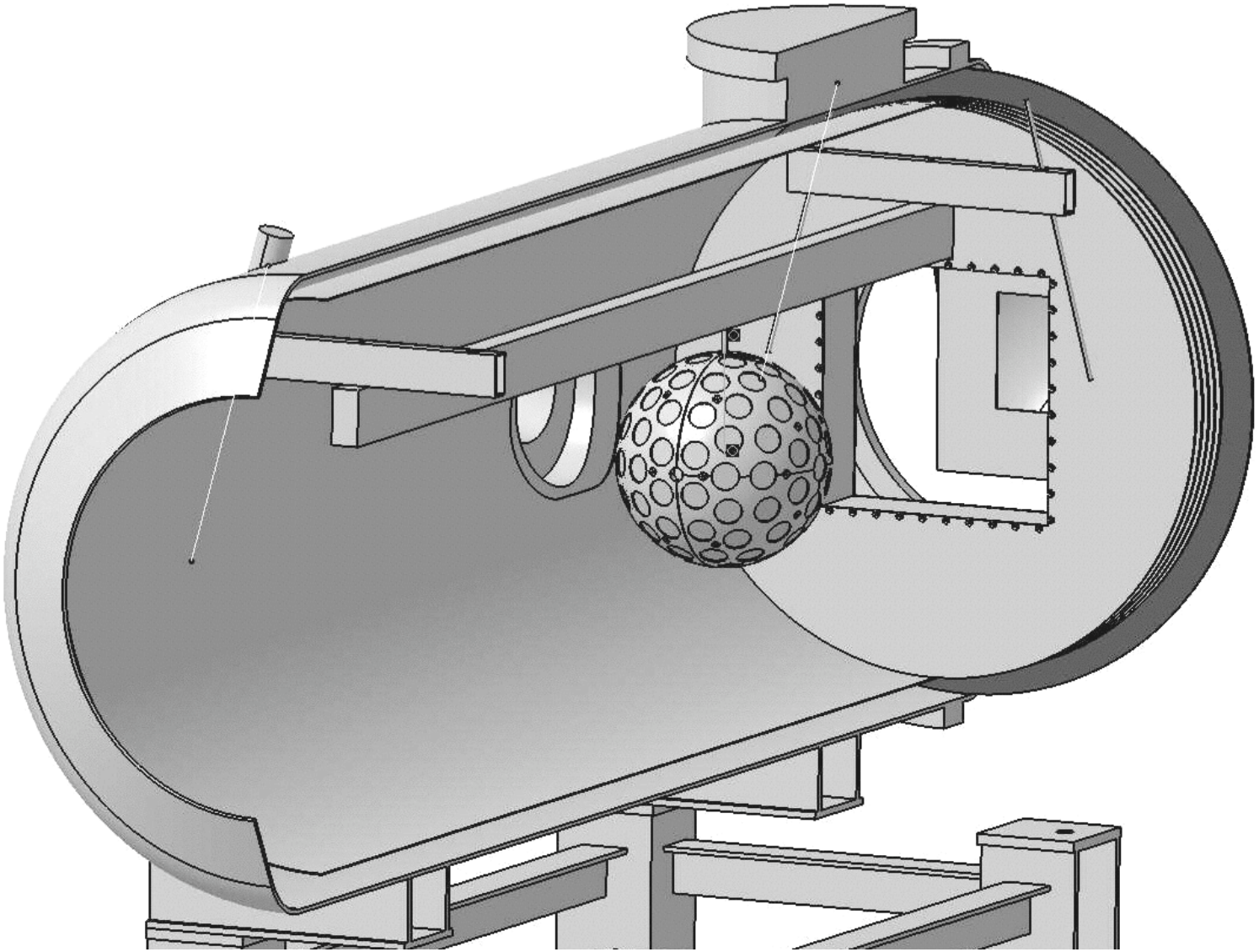


La camera spaziale climatica

- Criostato
- Simulatore terrestre
- Simulatore solare
- Termografia



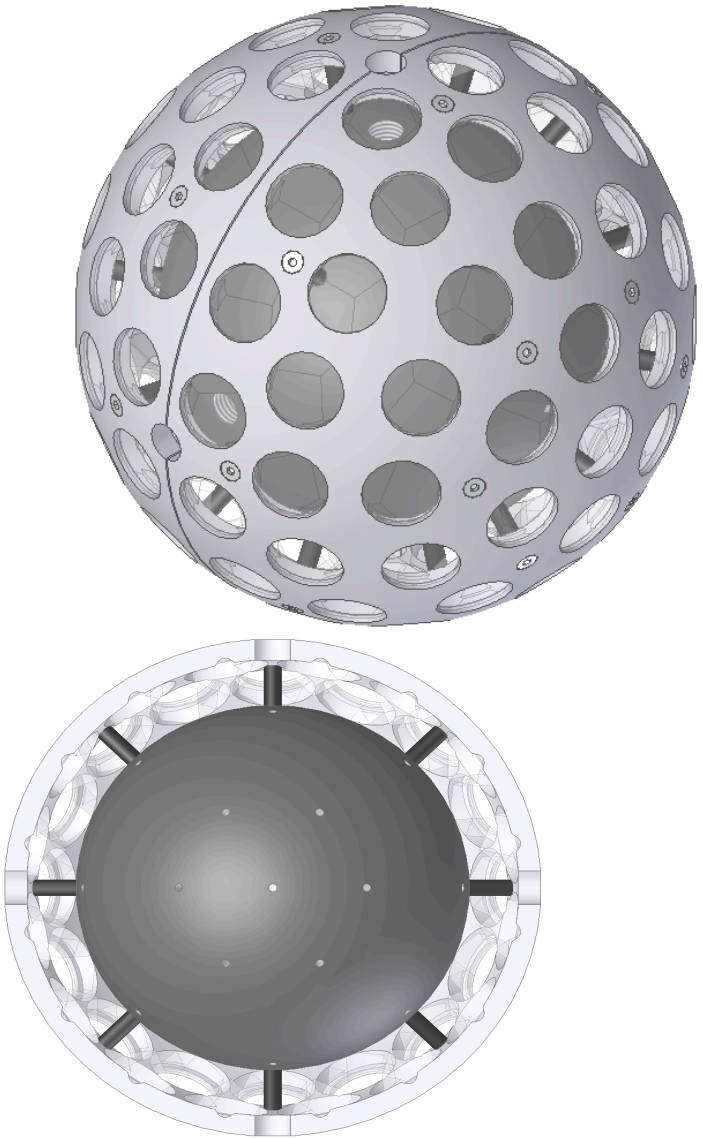
Camera spaziale climatica: prototipo LARES



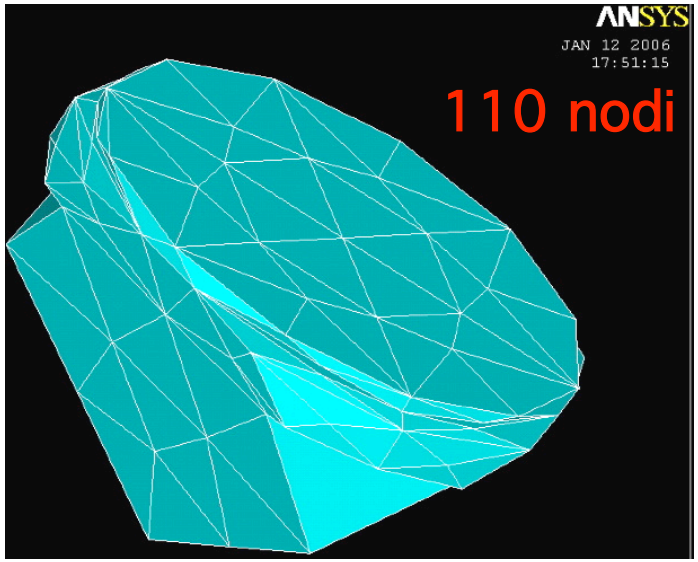
Nuovo progetto: guscio (Al)+vacuum gap+nocciolo (W)

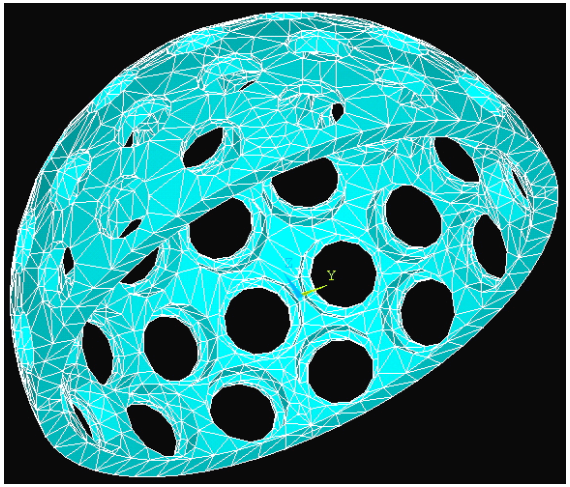
- Migliore distribuzione del calore tra la parte “giorno” (al sole) e “notte” (all’ombra) del satellite

- Temperature piu’ uniforme che per LAGEOS => spinte termiche (effetti climatici) molto piu’ bassi.



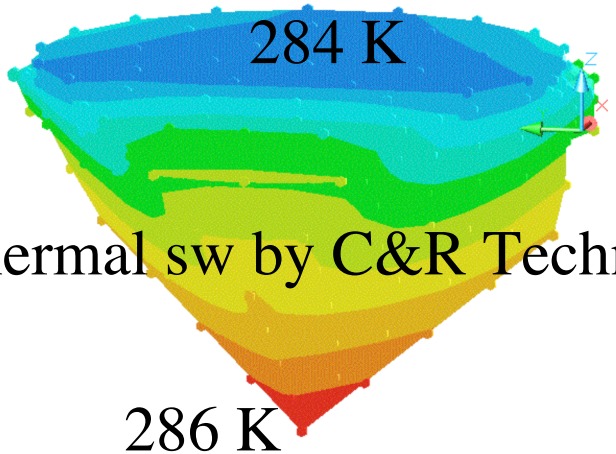
Completa modellazione 3D e simulazione termica



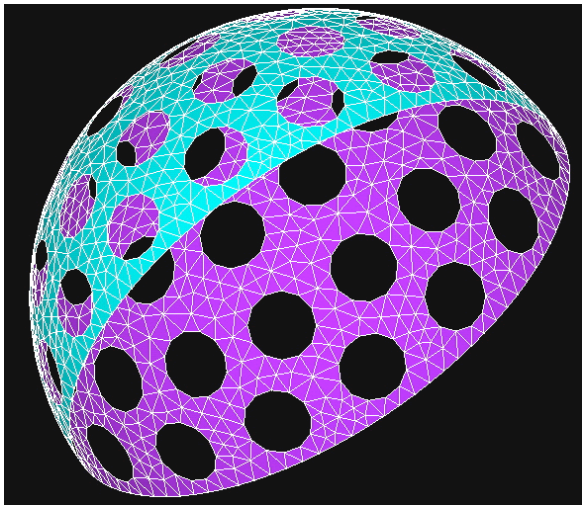


brick elements

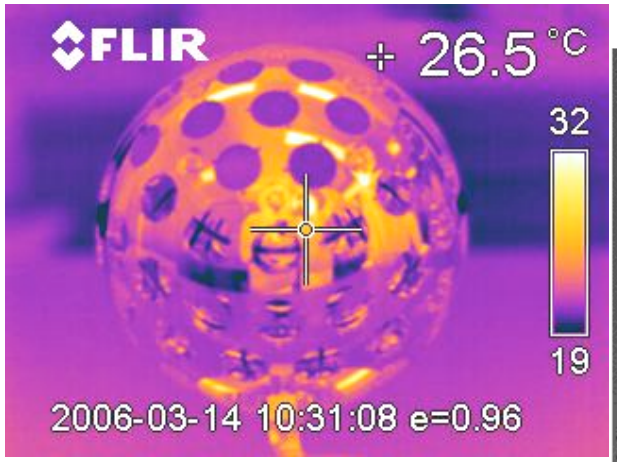
shell elements

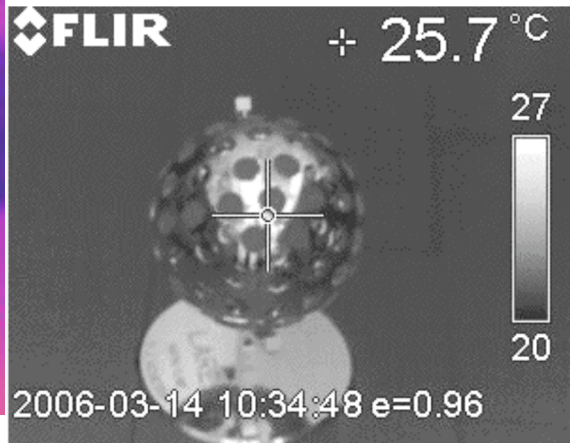


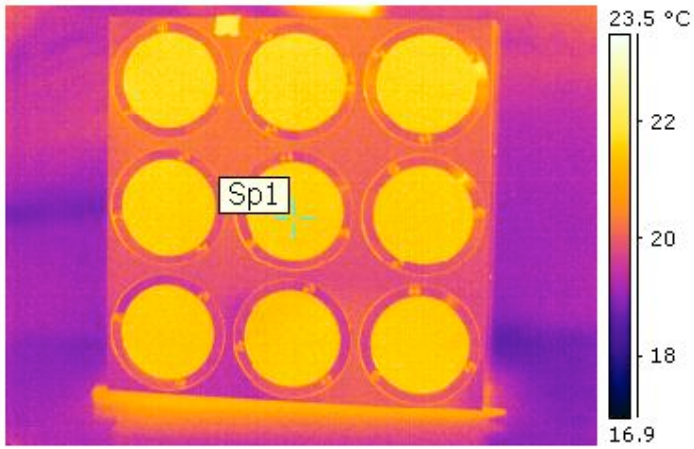
Thermal sw by C&R Technologies



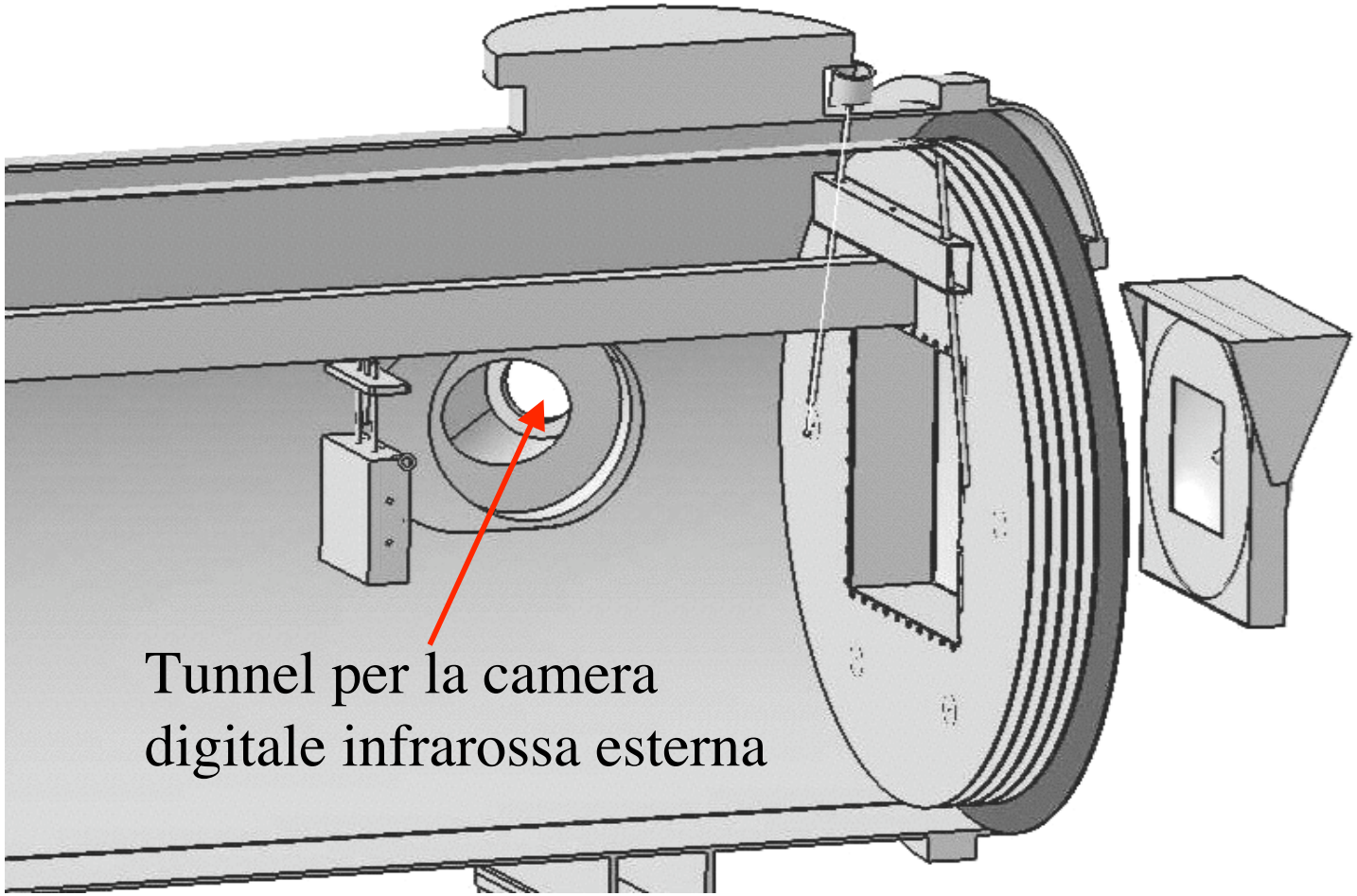
Termografia con la camera infrarossa







Termografia digitale nel clima spaziale



Prototipi esposti all'Open Day 2006

LARES-mini (scala 1:2, diametro 16 cm)

Effettuate (proprio) tutte le lavorazioni meccaniche

Feritoie nel nocciolo per ridurre l'effetto delle correnti parassite eccitate dal campo magnetico terrestre, che frenano lo spin del satellite

LARES-mini aperto

I tecnici dei LNF

I nostri tecnici sono dei veri artigiani della tecnologia. Senza di loro sarebbe impossibile portare avanti la varieta' dei progetti dei LNF

… e col flash si “accendono” i retro-riflettori

L'inseguimento delle costellazioni GNSS

- Global Navigation Satellite System
  - Onde radio invece del laser
  - GALILEO (Europa), GPS-3 (USA), GLONASS (Russia)
  - Oltre 20000 Km di altitudine
- Tutti i ~30 satelliti GALILEO e i ~30 satelliti GPS-3 avranno 100 retro-riflettori ciascuno
  - 3000 retro-r./costellazione, circa 15 Meuro/costellazione !
- Misura di posizione coi laser piu' precisa che onde radio di un fattore 20-30 (mm contro decimetri)
- Ma GPS imbattibile per navigazione in tempo reale
- Calibrazione assoluta del GPS su tempi lunghi coi laser

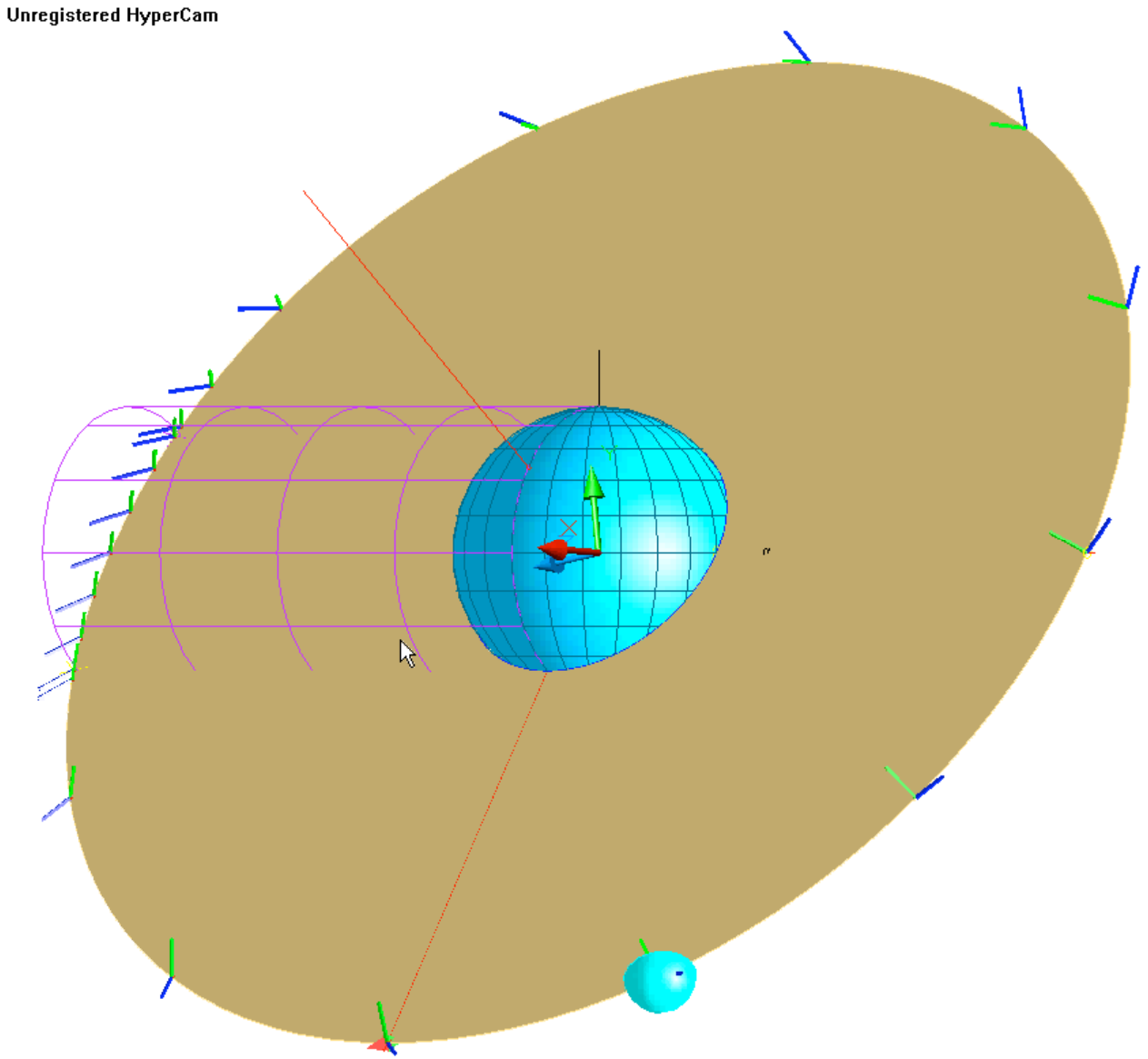
L'inseguimento delle costellazioni GNSS

- Frascati collabora con la NASA-Goddard per trovare il miglior retro-riflettore cavo di metallo che nel GPS-3 possa sostituire i retro-r. standard di vetro, troppo pesanti

- Test dei retro-r. metallici alla CSC di Frascati
  - sul GPS condizioni climatiche peggiori che per i LAGEOS
  - Retro-r metallici piu' fragili
  - Opportunita' per trovare la "ricetta originale"

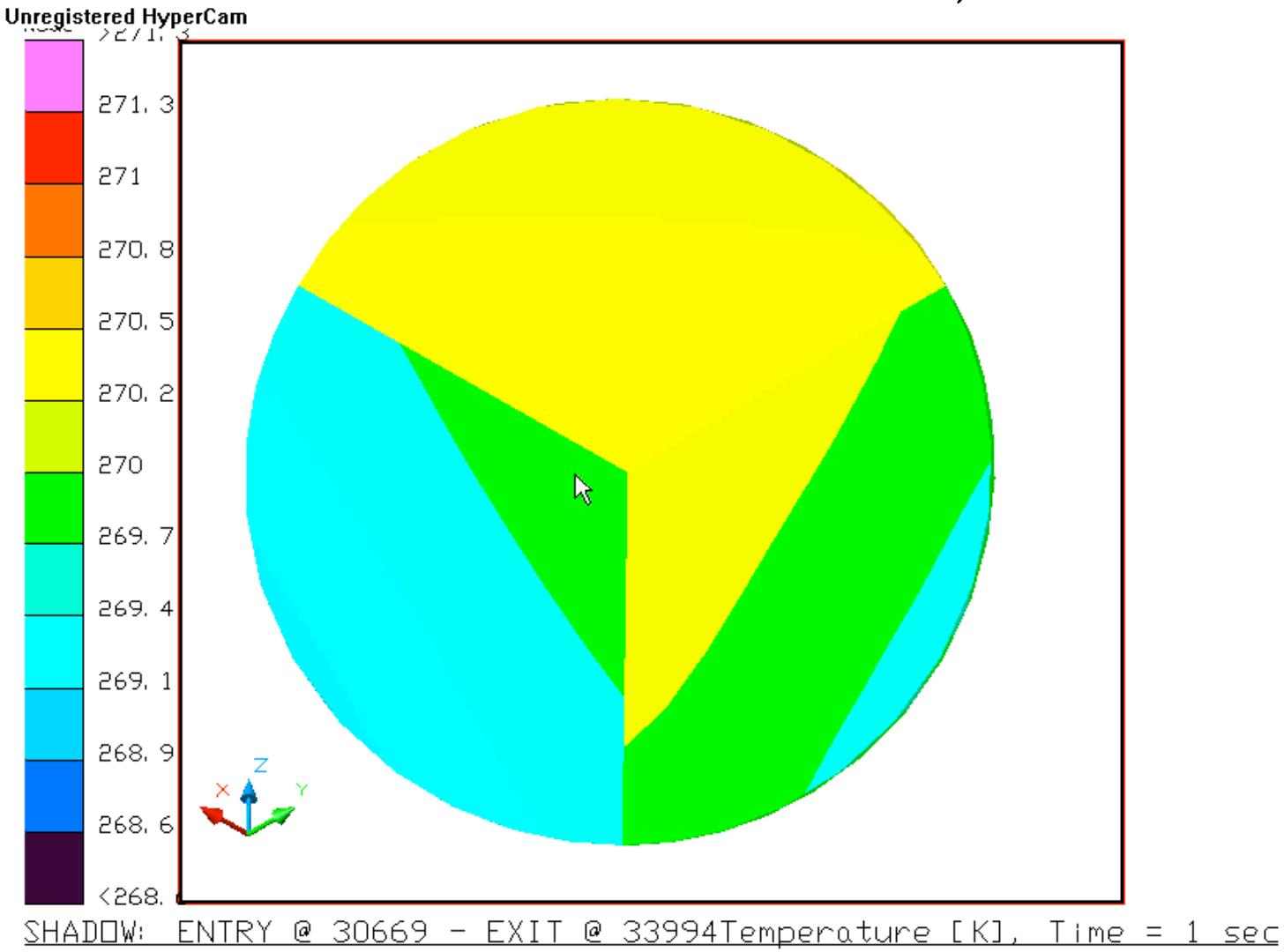
- NASA troppo impegnata in esplorazione Marte e Luna; rimane libera "nicchia" high-tech, test climatici spaziali, per la CSC di Frascati: LAGEOS/LARES, GPS-3 ....

Simulazioni orbitale di un retro-r. del GPS-3



Simulazione climatica per il GPS-3

Preliminare, ancora NON realistica



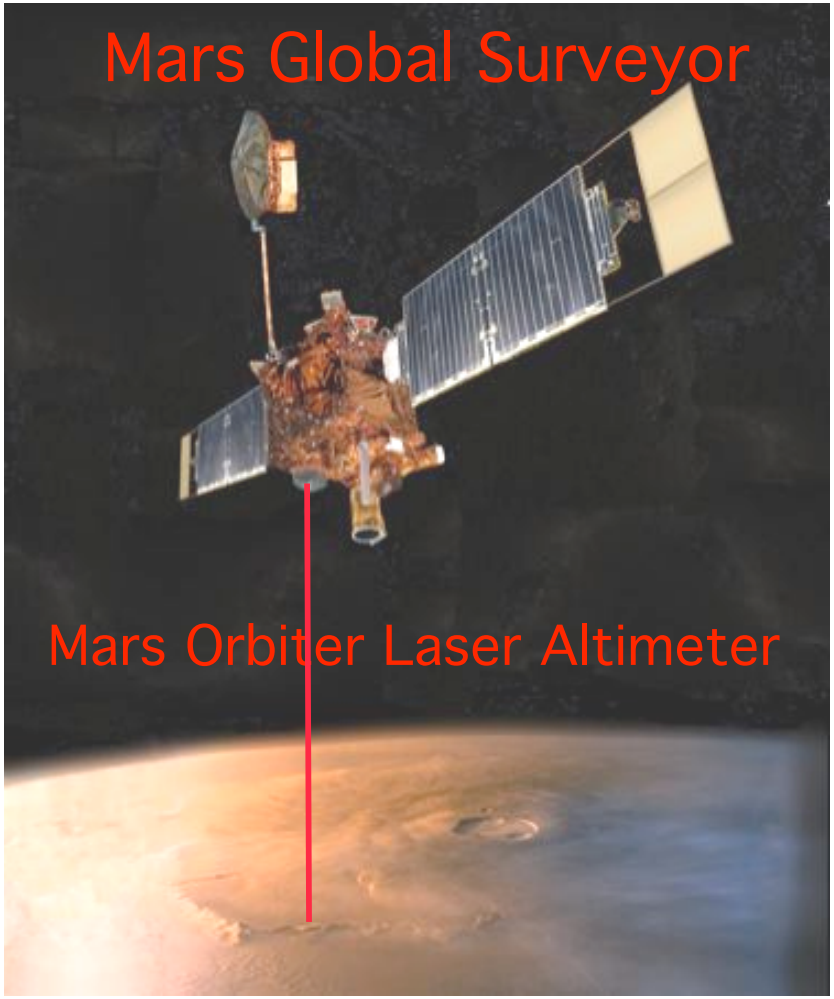
La frontiera dell'inseguimento via laser dei satelliti

Segnale laser dalla NASA-Goddard ricevuto da MGS in orbita attorno a Marte: 100 milioni di Km !!!!

MOLA-Earthlink Experiment
at NASA's 1.2 meter telescope
J. Abshire, X. Sun, G. Neumann, J. McGarry,
T. Zagwodzki, P. Jester, + many others

Experiment Objectives - Demonstrate:

- Laser pulse detection at Mars distances
  Assess Earth laser to Mars orbit detection probabilities
- Laser communications at ~ 100 Mkm distance



Courtesy of Jan MacGarry
ILRS05 workshop

Ringraziamenti e conclusione

Il gruppo LAGEOS/LARES ringrazia per il supporto:

- Direttore LNF
- Servizio di Criogenia Div. Acc. (Resp. G. Delle Monache) e C. Sanelli
- Servizio di Meccanica Div. Ric. (Resp. M. A. Franceschi) e M. Curatolo

Conclusione: la prossima settimana ancora Fisica
Fondamentale nello spazio con FPS-06 !

Laboratori Nazionali di Frascati dell'INFN
March 21-23, 2006

FUNDAMENTAL PHYSICS IN SPACE WITH SMALL PAYLOADS (FPS-06)

The workshop wants to promote an in-depth discussion of small payloads (up to about 200-300 Kg) to study fundamental physics in space. Emphasis will be given to prospects and ideas for optimizing launch schedules and costs, including the option of multiple payloads. The workshop is also intended to encourage new collaborations among projects with common physics goals or compatible launch requirements.

Preliminary list of speakers:

R. Battiston	(Perugia),
G. Bianco	(ASI-MLRO),
A. Cacciani	(Roma),
L. Cacciapuoti	(ESA),
S. Dabagov	(Moscow/Frascati),
G. Delle Monache	(Frascati),
S. Di Pippo	(ASI),
F. Felici	(ESRIN),
F. Graziani	(Roma),
N. Kardashev	(Moscow),
V. Iafolla	(Roma),
L. Iess	(Roma),
G. Longo	(Napoli),
L. Lusanna	(Firenze),
S. Matarrese	(Padova),
S. Masi	(Roma),
A. Nobili	(Pisa),
E. C. Pavlis	(Baltimore/NASA-GSFC),
A. Petrolini	(Genova),
F. Piacentini	(Roma),
E. M. Rasel	(Hannover),
F. Ronga	(Frascati),
V. Vasiliev	(Moscow),
S. Vitale	(Trento),
R. Vittori	(ESA),
A. F. Zakharov	(Moscow).

Organizing committee:

S. Dell'Agnello (Frascati),
A. Paolozzi (Roma),
G. M. Tino (Firenze).

Scuola di Ingegneria Aerospaziale
La Sapienza
Università degli Studi di Roma

Secretariat: M. Legramante Tel. + 39 06 94032791 Fax. + 39 06 94032900 www.lnf.infn.it/conference/fps06/

Artwork by Claudio Federici - Lab Naz Frascati INFN Copyright 2006 INFN Tutti i diritti riservati - All Rights Reserved