



 POLITECNICO DI MILANO



Prof.ssa Federica Migliaccio



GEODESIA SPAZIALE

LA DETERMINAZIONE DEL CAMPO DI GRAVITÀ DELLA TERRA

DICA – Sezione di Geodesia e Geomatica

Seminari di Cultura Matematica
2 Aprile 2014



Misurare e rappresentare la Terra e il suo campo della gravità, nonché le loro variazioni temporali

- *Pierre Bouguer 1698–1758*
- *Alexis Clairaut 1713–1765*
- *Johann Heinrich Lambert 1728–1777*
- *Pierre-Simon Laplace 1749–1827*
- *Adrien Marie Legendre 1752–1833*
- *Johann Georg von Soldner 1776–1833*
- *Friedrich Wilhelm Bessel 1784–1846*
- *Carl Friedrich Gauss 1777–1855*
- *George Biddell Airy 1801–1892*
- *George Gabriel Stokes 1819–1903*
- *Henri Poincaré 1854–1912*
- *Alexander Ross Clarke 1828–1914*
- *Friedrich Robert Helmert 1843–1917*
- *Heinrich Bruns 1848–1919*
- *Loránd Eötvös 1848–1919*
- *John Fillmore Hayford 1868–1925*
- *Alfred Wegener 1880–1930*
- *Gino Cassinis 1895–1964*
- *Felix A. Vening-Meinesz 1887–1966*
- *Martin Hotine 1898–1968*
- *Veikko A. Heiskanen 1895–1971*
- *Antonio Marussi 1908–1984*
- *Mikhail S. Molodenskii 1909–1991*
- *William M. Kaula 1926–2000*
- *Willem Baarda 1917–2005*
- *Torben Krarup 1919–2005*
- *Arne Bjerhammar 1917–2011*
- *Helmut Moritz 1933*

RAPPRESENTAZIONE DEL CAMPO GRAVITAZIONALE TERRESTRE

- *L'equazione di Laplace vale per il potenziale V nello spazio esterno alle masse che generano il campo:*

$$\frac{\partial^2 V}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial z^2} = 0$$

- *In coordinate sferiche:*

$$\frac{\partial^2 V}{\partial r^2} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 V}{\partial \varphi^2} + \frac{1}{r^2} \frac{1}{\cos^2 \varphi} \frac{\partial^2 V}{\partial \lambda^2} + \frac{2}{r} \frac{\partial V}{\partial r} - \frac{1}{r^2} \frac{\sin \varphi}{\cos \varphi} \frac{\partial V}{\partial \varphi} = 0$$

- *Una funzione è armonica in una regione dello spazio se soddisfa l'equazione di Laplace in ogni punto di tale spazio.*
- *Il potenziale gravitazionale V è armonico al di fuori della massa terrestre, poiché soddisfa l'equazione di Laplace in tale regione dello spazio:*

$$V(r, \varphi, \lambda) = \frac{GM}{R} \sum_{\ell=0}^{\infty} \sum_{m=0}^{\ell} \left(\frac{R}{r} \right)^{\ell+1} P_{\ell m}(\sin \varphi) [C_{\ell m} \cos m\lambda + S_{\ell m} \sin m\lambda]$$

L' «EQUAZIONE DEL GEOIDE»

- L'espressione del potenziale gravitazionale terrestre è l'«equazione del geoid»:
 - $$V(r, \varphi, \lambda) = \frac{GM}{R} \sum_{\ell=0}^L \sum_{m=0}^{\ell} \left(\frac{R}{r}\right)^{\ell+1} P_{\ell m}(\sin \varphi) [C_{\ell m} \cos m\lambda + S_{\ell m} \sin m\lambda]$$

r, φ, λ = coordinate sferiche del punto

G = costante gravitazionale = $6.673 \times 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{kg}^2$

M = massa della Terra = $5.96 \times 10^{24} \text{ kg}$

R = raggio medio della Terra = 6371 km

$P_{\ell m}$ = funzioni associate di Legendre

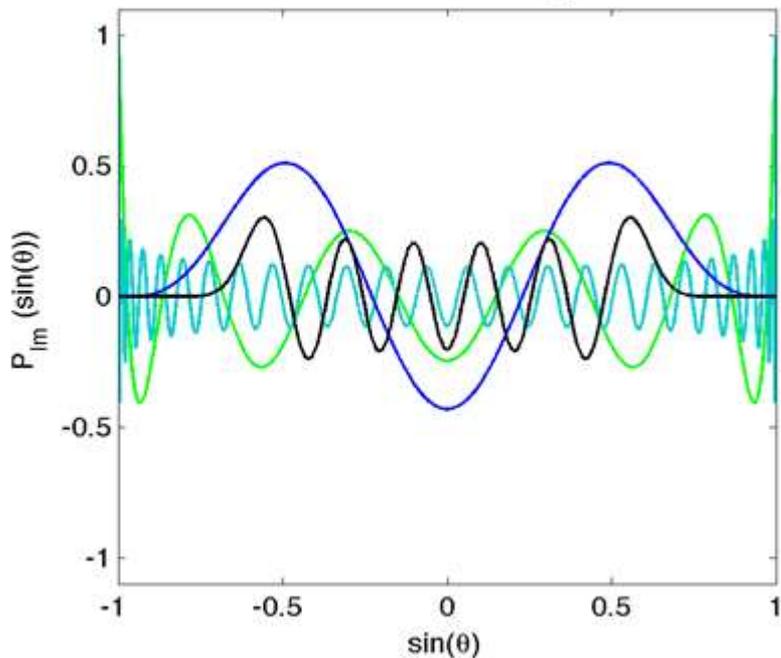
$Y_{\ell m}$ = funzioni armoniche sferiche (di grado ℓ e ordine m) = $\begin{cases} P_{\ell m}(\sin \varphi) \cos m\lambda \\ P_{\ell m}(\sin \varphi) \sin m\lambda \end{cases}$

$C_{\ell m}, S_{\ell m}$ = coefficienti del modello di geoid

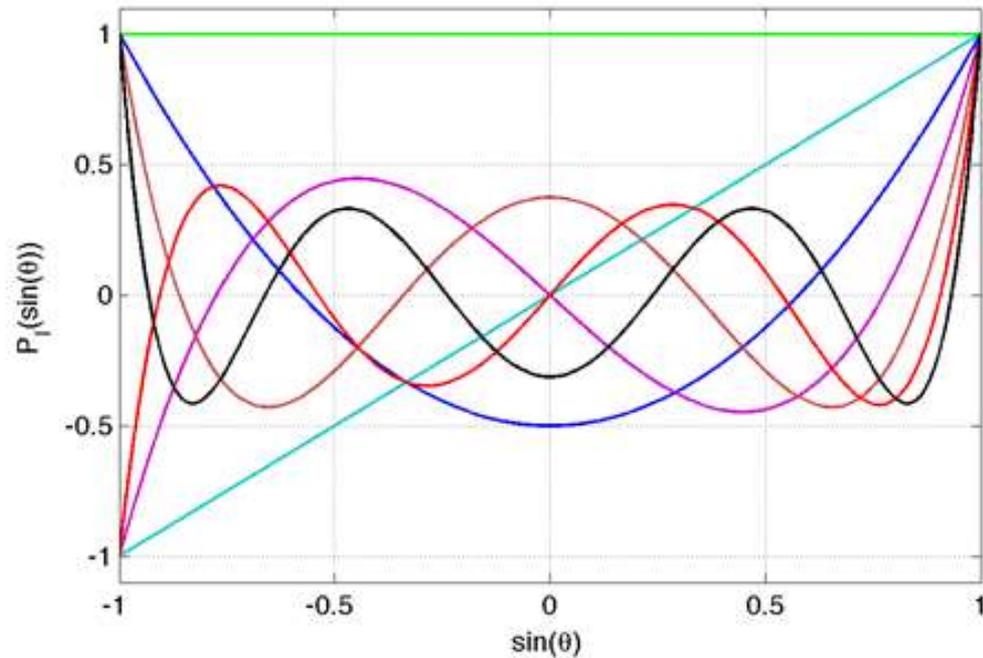
FUNZIONI ASSOCIATE DI LEGENDRE

$$P_{\ell m}(\sin \varphi) = \cos^m \varphi \sum_{t=0}^k T_{\ell m t} \sin^{\ell-m-2t} \varphi$$

Funzioni associate di Legendre



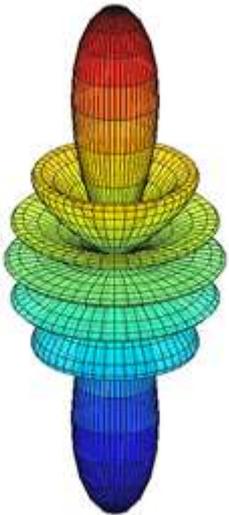
Polinomi di Legendre



FUNZIONI ARMONICHE SFERICHE

$$Y_{\ell m}(\varphi, \lambda) = \begin{cases} P_{\ell m}(\sin \varphi) \cos m\lambda \\ P_{\ell m}(\sin \varphi) \sin m\lambda \end{cases}$$

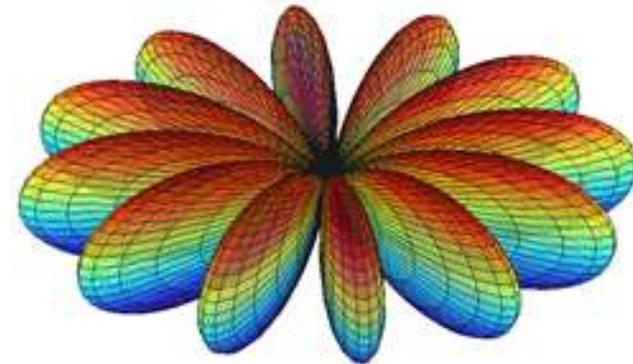
Esempi di funzioni armoniche sferiche (grado 6):



Armonica zonale
 $\ell = 6, m = 0$



Armonica tesserale
 $\ell = 6, m = 4$



Armonica settoriale
 $\ell = 6, m = 6$

DETERMINAZIONE DI UN MODELLO DI GEOIDE

$$V(r, \varphi, \lambda) = \frac{GM}{R} \sum_{\ell=0}^L \sum_{m=0}^{\ell} \left(\frac{R}{r} \right)^{\ell+1} \overline{P}_{\ell m}(\varphi) (c_{\ell m} \cos m\lambda + s_{\ell m} \sin m\lambda)$$

- Per determinare un “modello” di geoidi si stimano i valori dei coefficienti a partire da un numero molto elevato di misure di gravità, che possono essere raccolte
 - a terra (gravimetria)
 - da aereo (gravimetria da aereo)
 - da satellite (con strumenti che non sono gravimetri)
- Esempio di modello di geoidi in termini numerici:

coefficienti

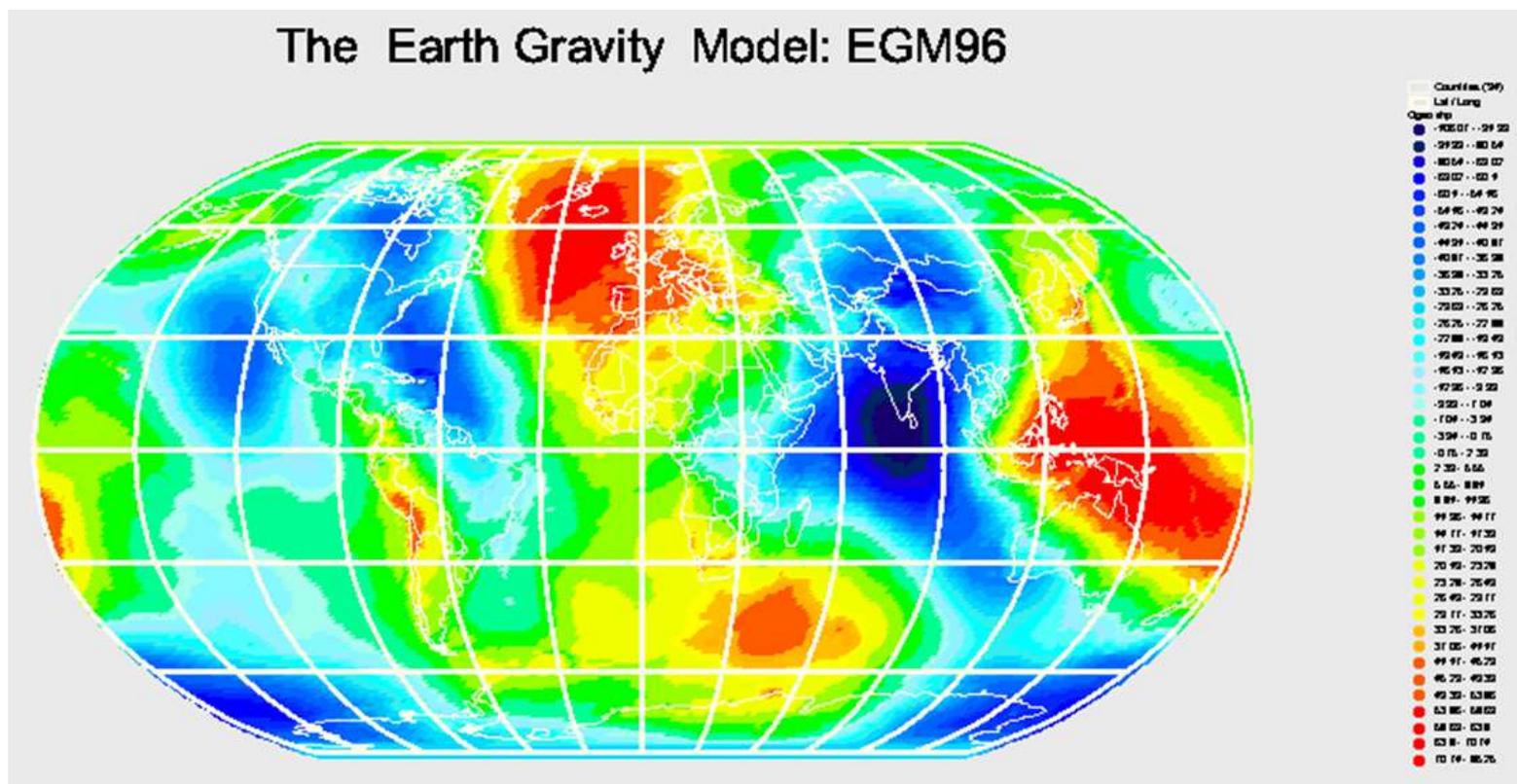
errori di stima

key	L	M	C	S	sigma C	sigma S
end_of_head						
gfc	2	0	-4.84165139655E-004	0.00000000000E+000	1.56379187648E-011	0.00000000000E+000
gfc	2	1	-2.07085355846E-010	1.38893145081E-009	5.04446522146E-012	5.96126986695E-012
gfc	2	2	2.43938837971E-006	-1.40027329065E-006	5.88322688760E-012	5.90645646652E-012
gfc	3	0	9.57164056071E-007	0.00000000000E+000	9.73199062375E-012	0.00000000000E+000
gfc	3	1	2.03045883975E-006	2.48203219424E-007	4.76022076690E-012	4.92343686326E-012
gfc	3	2	9.04786267459E-007	-6.19000989055E-007	5.73238662986E-012	5.62888224912E-012
gfc	3	3	7.21313320340E-007	1.41434746076E-006	6.16825965349E-012	6.36126197072E-012
gfc	4	0	5.39980577510E-007	0.00000000000E+000	2.40806373448E-011	0.00000000000E+000
gfc	4	1	-5.36159206913E-007	-4.73578768691E-007	8.00022369203E-012	5.78685941323E-012
gfc	4	2	3.50505048471E-007	6.62487461125E-007	8.15586467055E-012	8.53433067467E-012
gfc	4	3	9.90859811627E-007	-2.00950262460E-007	7.67155565094E-012	8.30510130711E-012
gfc	4	4	-1.88511320570E-007	3.08803387570E-007	7.60299908658E-012	6.31937052874E-012

DETERMINAZIONE DI UN MODELLO DI GEOIDE

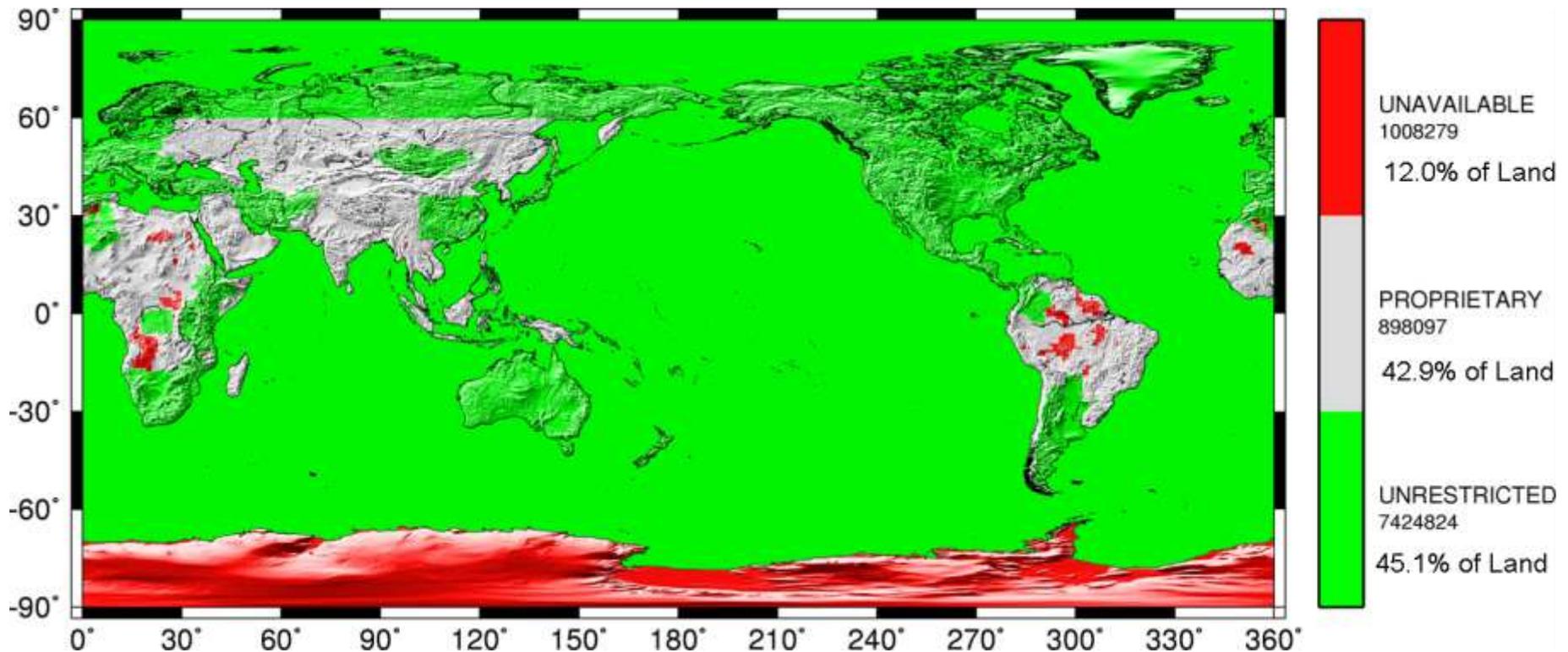
Esempio di modello di geoide:

EGM96, risultato della collaborazione fra National Imagery and Mapping Agency (NIMA), NASA Goddard Space Flight Center (GSFC) e Ohio State University.



Le sole misure di gravità da terra o da aereo o da gravimetria marina non sono in grado di coprire uniformemente tutti i continenti.

E' per questo che sono necessarie missioni di geodesia spaziale.



L'INIZIO DELL'ERA SPAZIALE



Sputnik 1 (“compagno di viaggio”, in astronomia “satellite”) fu il primo satellite artificiale messo in orbita attorno alla Terra.

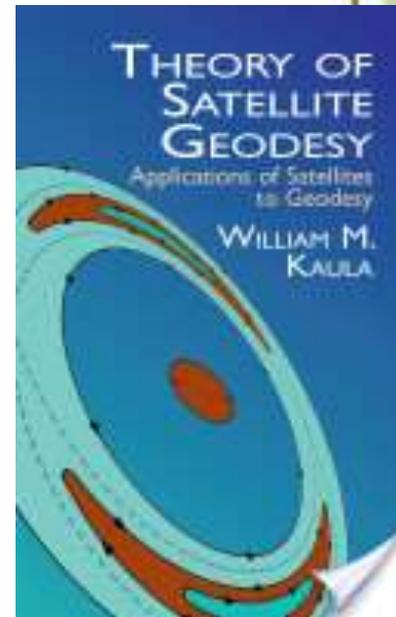
Fu lanciato su un’orbita ellittica il 4 ottobre 1957 dal cosmodromo di Baikonur, nell’odierno Kazakistan.

Sputnik 1 bruciò al suo rientro nell’atmosfera il 4 gennaio 1958; aveva viaggiato per 60 milioni di km e aveva segnato l’inizio dell’era spaziale.

L'INIZIO DELLA GEODESIA SPAZIALE

La storia della geodesia spaziale iniziò subito dopo il lancio dello Sputnik 1.

*Le osservazioni di **Sputnik 2** (lancio: 3 novembre 1957) e di **Explorer 1** (il primo satellite artificiale USA, lancio 1 febbraio 1958) permisero nel 1958 un'accurata determinazione dello schiacciamento della terra.*





TRACCIAMENTO OTTICO: ECHO

Venivano usate camere per fotografare la posizione del satellite sullo sfondo delle stelle fisse, ottenendo così dati di tipo “ottico”.



Francobollo commemorativo di Echo 1 (1960)

*Prototipo di **Echo 1** durante un test di resistenza della superficie (1 Maggio 1960)*



TRACCIAMENTO OTTICO: ECHO

	Lancio	Rientro	Diam.	Quota
Echo-1	1960	1968	30.5 m	1600 km
Echo-2	1964	1969	41.1 m	1600 km



Il satellite Echo 1 completamente gonfiato in un hangar della Marina degli Stati Uniti a Weeksville (North Carolina).



Echo 2 durante un test di resistenza della superficie in un hangar della Marina degli Stati Uniti a Weeksville (North Carolina).



TRACCIAMENTO OTTICO: PROGRAMMA PAGEOS

PAGEOS (*P*Assive *G*eodetic *E*arth *O*rbiting *S*atellite), NASA, lancio: 1966.

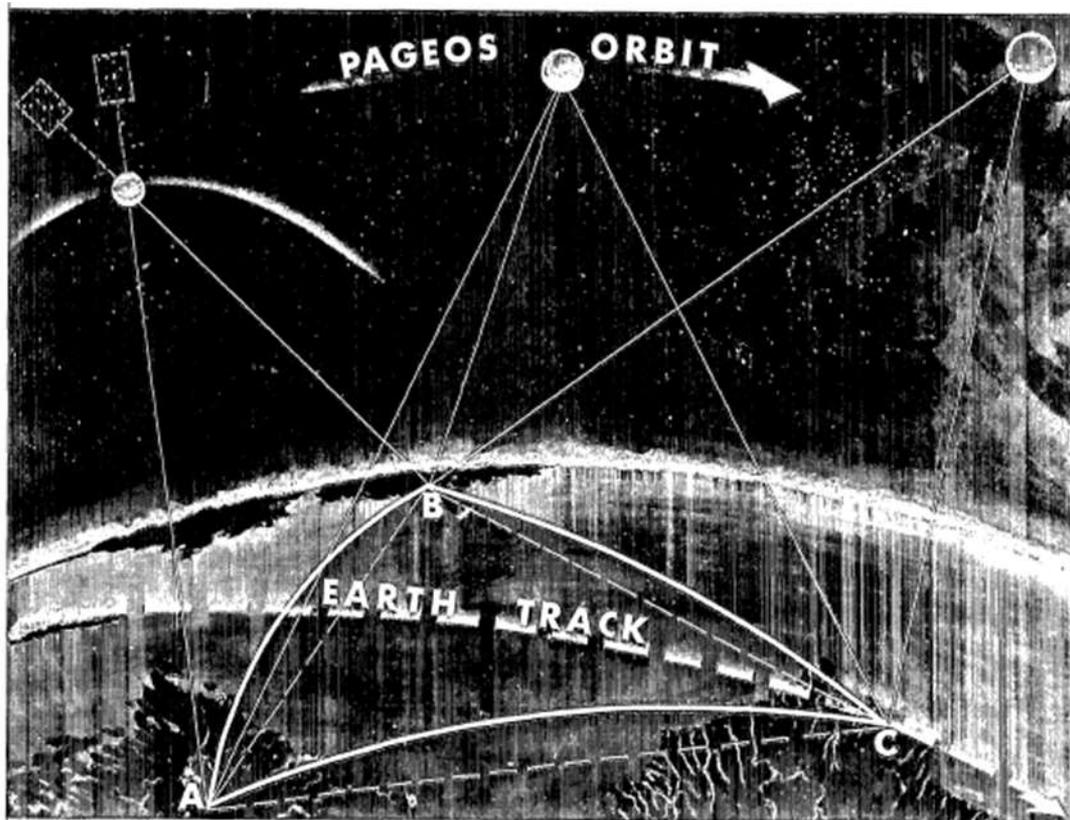
Diametro 30.48 m, caratteristiche analoghe a quelle dei satelliti ECHO.

Orbita circa 4000 km: fu possibile osservarla da una rete costituita

da oltre quaranta camere ben distribuite sulla superficie terrestre.



Pageos completamente gonfiato, durante un test (immagine NASA)



Principio di osservazione di Pageos (dalla copia della Nota Tecnica NASA TN D-4596, Washington, 1968)



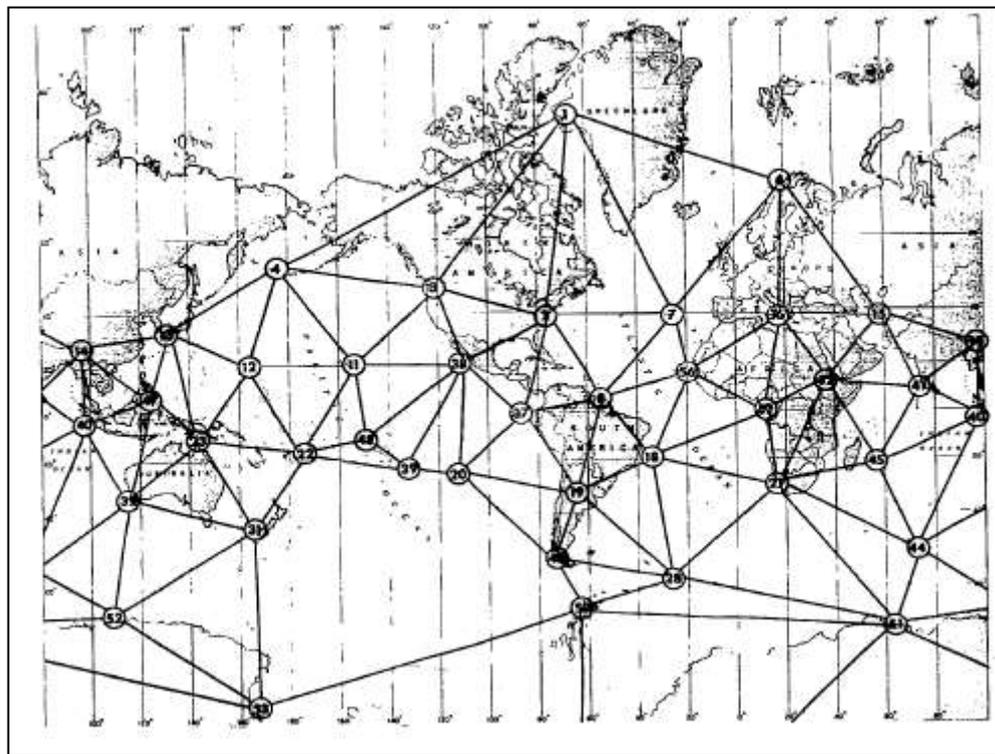
TRACCIAMENTO OTTICO: PROGRAMMA PAGEOS

Primo modello da dati ottici: SE 1 (Standard Earth 1) calcolato dallo Smithsonian Astrophysical Observatory (1966), completo fino a grado e ordine 15.

Weltnetz der Satellittriangulation (Worldwide Satellite Triangulation Network), progetto di collaborazione fra Svizzera e USA (1969 – 1973): fu determinata una rete di **coordinate di 25 stazioni a terra**

- considerata il primo sistema di riferimento globale e omogeneo istituito sulla superficie terrestre;
- accuratezza 5 - 15 m: non sufficiente per applicazioni geodetiche, ma circa 20 volte meglio di quanto si potesse fare all'epoca con misure terrestri.

Con la partecipazione dell' **Istituto di Topografia** del Politecnico di Milano, fu determinata la base Catania – Tromsø che fornì la prima ossatura della rete di triangolazione europea.



La rete di stazioni PAGEOS (dalla copia della Nota Tecnica NASA TN D-4596, Washington, 1968)



Il satellite è un semplice bersaglio ricoperto di «corner cube prisms» (retroreflectors).

*Il primo satellite dotato di «corner cube reflectors» fu **Beacon-B** (USA, 1964).*

Il Goddard Space Flight Center (GSFC) negli USA fu il primo centro a riuscire a rilevare un segnale di ritorno nel dicembre 1964, seguito dal team francese del Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS) nel gennaio 1965.



*Altri satelliti equipaggiati con prismi retroriflettenti:
Beacon-C, GEOS A, GEOS B, GEOS C.*

Precisione raggiunta all'epoca nelle misure di tracciamento: 1.0 – 1.5 m.

Precisione attuale delle misure di tracciamento: pochi mm.



TRACCIAMENTO OTTICO + LASER: ISAGEX

ISAGEX: International SAtellite Geodesy Experiment (1971-1972)

Nuova serie di modelli SE: SE 2 e SE 3
(Smithsonian Astrophysical Observatory).

Serie **GEM** (Goddard Earth Model) del GSFC
(Goddard Space Flight Center).

Serie **GRIM** (GRGs/IMunich) realizzata a
Tolosa e Monaco.

Table 1. Sites used in the ISAGEX program.

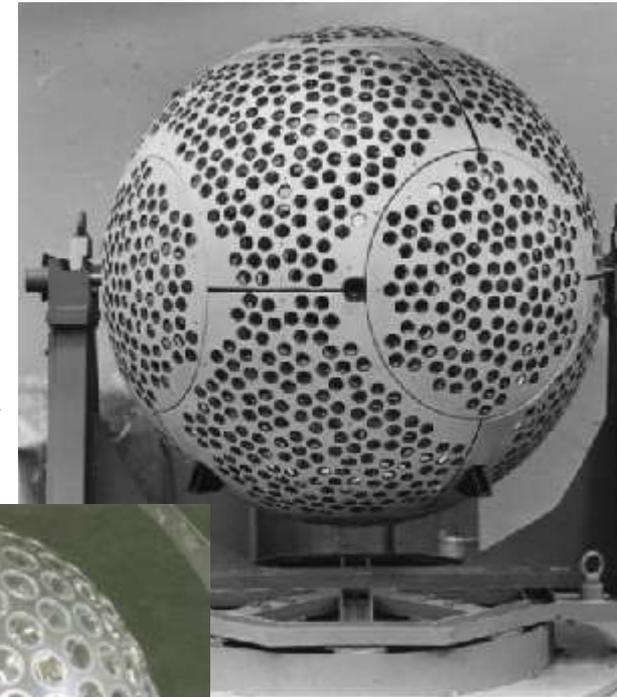
Station		COSPAR number	Equipment
Location			
San Fernando, Spain		9004	Baker-Nunn
Naini Tal, India		9006	Baker-Nunn
Maui, Hawaii		9012	Baker-Nunn
Mt. Hopkins, Arizona		9021	Baker-Nunn
Mt. Hopkins, Arizona		7921	Laser
Olifantsfontein, South Africa		9022	Baker-Nunn
Olifantsfontein, South Africa		7902	Laser
Island Lagoon, Australia		9023	Baker-Nunn
Dodaira, Japan		9025	Baker-Nunn
Arequipa, Peru		9027	Baker-Nunn
Arequipa, Peru		7907	Laser
Debre Zeit, Ethiopia		9028	Baker-Nunn
Dionysos, Greece		9030	Baker-Nunn
Dionysos, Greece		7930	Laser
Natal, Brazil		9039	Baker-Nunn
Natal, Brazil		7929	Laser
Dakar, Senegal		9020	Baker-Nunn
Dakar, Senegal		7820	Laser

NASA-CR-128396,
Edited by E. M. Gaposchkin



TRACCIAMENTO LASER: SATELLITI DEDICATI

- **STARLETTE** (CNES, 1975) in orbita bassa (circa 800 km) in modo da essere sensibile al campo della gravità e alle sue variazioni temporali, comprese le maree di terra e di oceano
- **LAGEOS 1** (NASA, 1976)
- **AJISAI** (Giappone, 1986)
- **ETALON-1** e **ETALON-2** (ex USSR, entrambi 1989) →
- **LAGEOS 2** (NASA – ASI, 1992) →
- **STELLA**, gemello di STARLETTE (CNES, 1993)

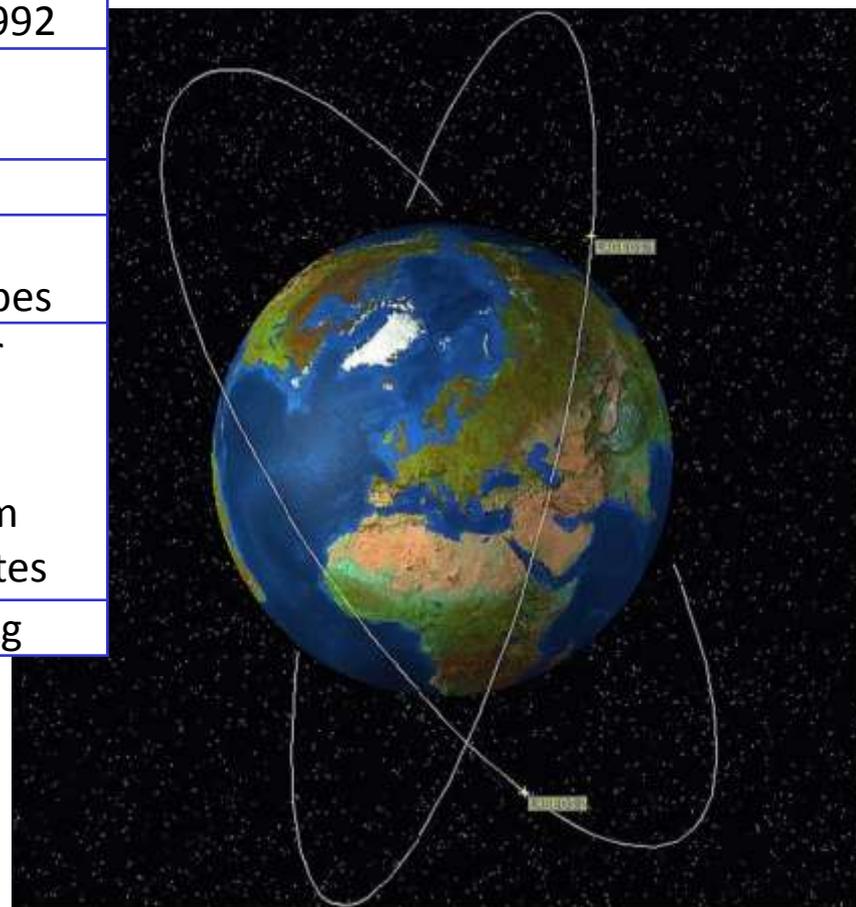




TRACCIAMENTO LASER: LAGEOS

Parameter / Mission	LAGEOS-1	LAGEOS-2
Sponsor	USA	USA, Italy
Expected lifetime	Many decades	Many decades
Primary applications	Geodesy	Geodesy
Launch date	May 4, 1976	Oct. 22, 1992
RRA diameter	60 cm	60 cm
RRA shape	Sphere	Sphere
Reflectors	426 corner cubes	426 corner cubes
Orbit	Circular	Circular
Inclination	109.84°	52.64°
Eccentricity	0.0045	0.0135
Perigee	5,860 km	5,620 km
Period	225 minutes	223 minutes
Mass of the sphere	406.965 kg	405.38 kg

Le orbite di Lageos 1 e 2





TRACCIAMENTO LASER



*Esempio di sistema di tracciamento laser:
la stazione geodetica del GFZ – Potsdam
(Germania)*



*La stazione SLR di Potsdam
durante un'operazione notturna*



TRACCIAMENTO DOPPLER (RADIOFREQUENZE)

TRANSIT fu in effetti il primo sistema di navigazione satellitare, operativo dal 1967. Studiato dall'Applied Physics Laboratory (APL) della Johns Hopkins University per la Marina degli Stati Uniti.

Il trasmettitore si trovava a bordo del satellite e i ricevitori nelle stazioni di tracciamento a terra.

Migliaia di navi da guerra (comprese alcune Sovietiche), da trasporto e imbarcazioni private usarono il sistema TRANSIT per la navigazione fino al 1996, quando esso fu sostituito dal GPS.



Il prototipo Transit 1A (immagine U.S. Air Force), lanciato nel settembre 1959, non raggiunse l'orbita. Transit 1B fu lanciato con successo il 13 aprile 1960. Il sistema entrò in servizio nel 1964.



Una curiosità:

Transit 2 fu lanciato insieme al primo sistema Grab (qui si vedono Transit 2 e Grab 1 durante le fasi di preparazione del lancio, 22 giugno 1960).

Grab: Galactic Radiation and Background was the covername for Project Dyno ELINT intelligence satellites operated by the U.S. Naval Research Laboratory (NRL) shortly after the Cold War U-2 incident of 1960.





TRACCIAMENTO DOPPLER



Some of the equipment inside Transit satellite tracking station 019. 1. Automatic Control Unit, 2. timer-counter, 3. Time burst detector, 4. time conversion chart, 5. satellite ephemeris, 6. tracking receiver, 7. time display, 8 Header-Tailer programmer, 9. Digitizer and main clock, 10. master oscillator, 11. strip chart recorder, 12. paper tape punch, 13. short wave receiver. Out of sight: VLF receiver, refraction correction unit, backup battery system, power supplies, AC voltage regulators.

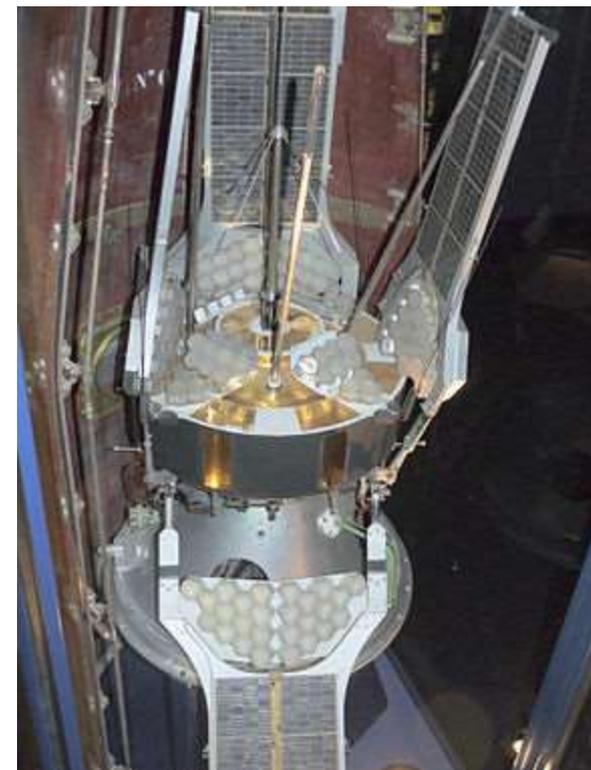


TRACCIAMENTO DOPPLER

*Nel 1966 il CNES lanciò un piccolo satellite chiamato **Diapason**, con a bordo un oscillatore ultra-stabile (USO) al quarzo per testare l'accuratezza delle misure Doppler del segnale diretto verso terra.*

*Nel 1967 vennero lanciati altri due satelliti dotati di dispositivi USO e prismi retro riflettenti: **DIADEME 1 e 2**.*

I dati dei due DIADEME furono utilizzati nel 1968 per un esperimento pilota con tre stazioni a terra equipaggiate con sistemi di tracciamento laser e ricevitori Doppler.



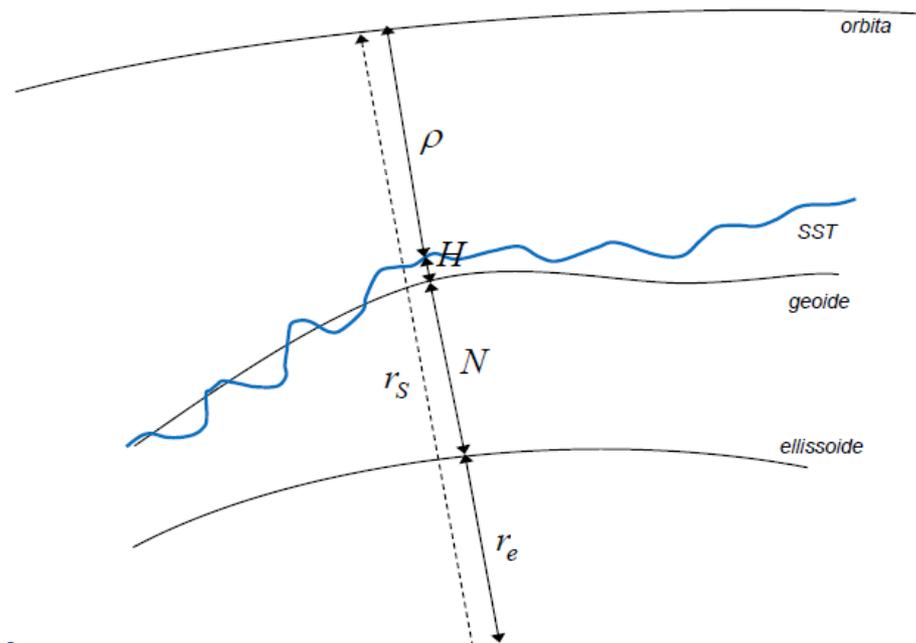
Diadème (CNES – Matra, 1967)



PRINCIPIO DELLA RADARALTIMETRIA

Un altimetro posto a bordo di un satellite in orbita attorno alla terra permette di eseguire misure di range, cioè della distanza fra lo strumento e la superficie del mare.

Da tali misure è possibile stimare la superficie degli oceani (se si conosce un modello di geoide), o il modello di geoide (se è noto un buon modello di SST).

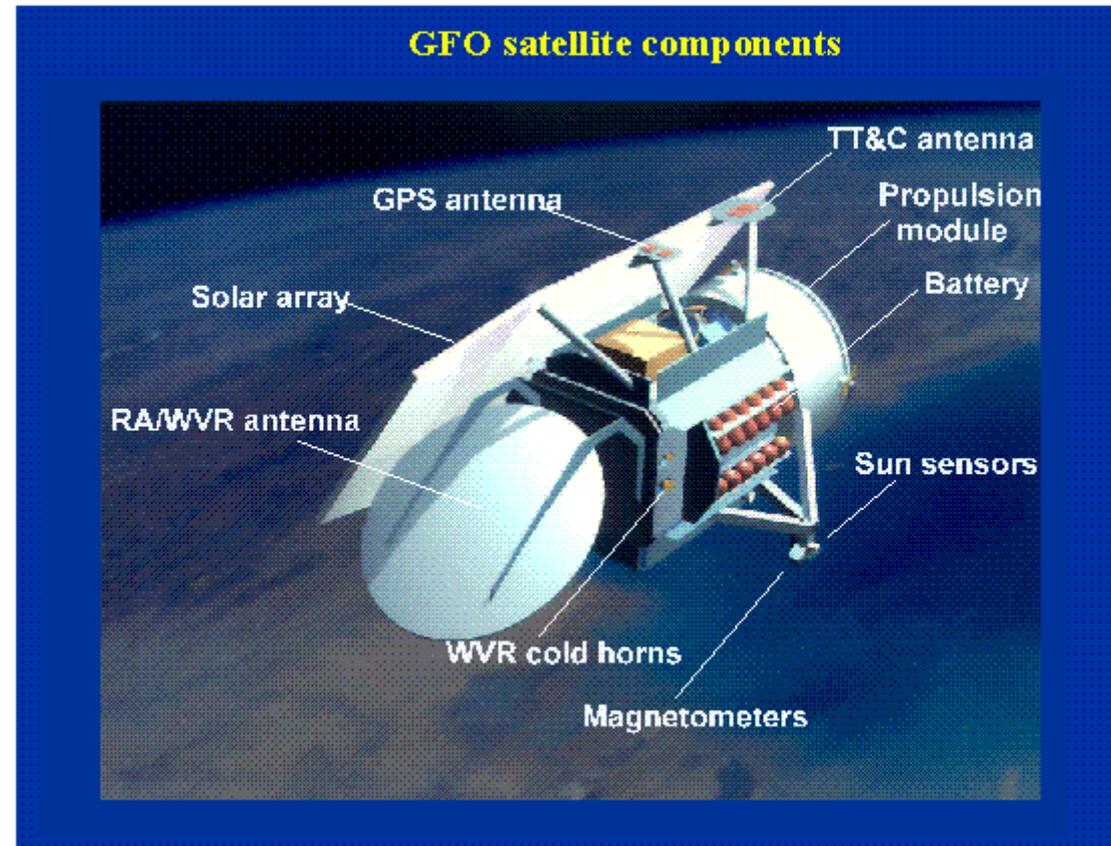




RADARALTIMETRIA



GEOSAT (immagine NASA)
Lanciato il 12 marzo 1985



Geosat-Follow-On (GFO)
Lanciato il 10 febbraio 1998

RADARALTIMETRIA: ERS

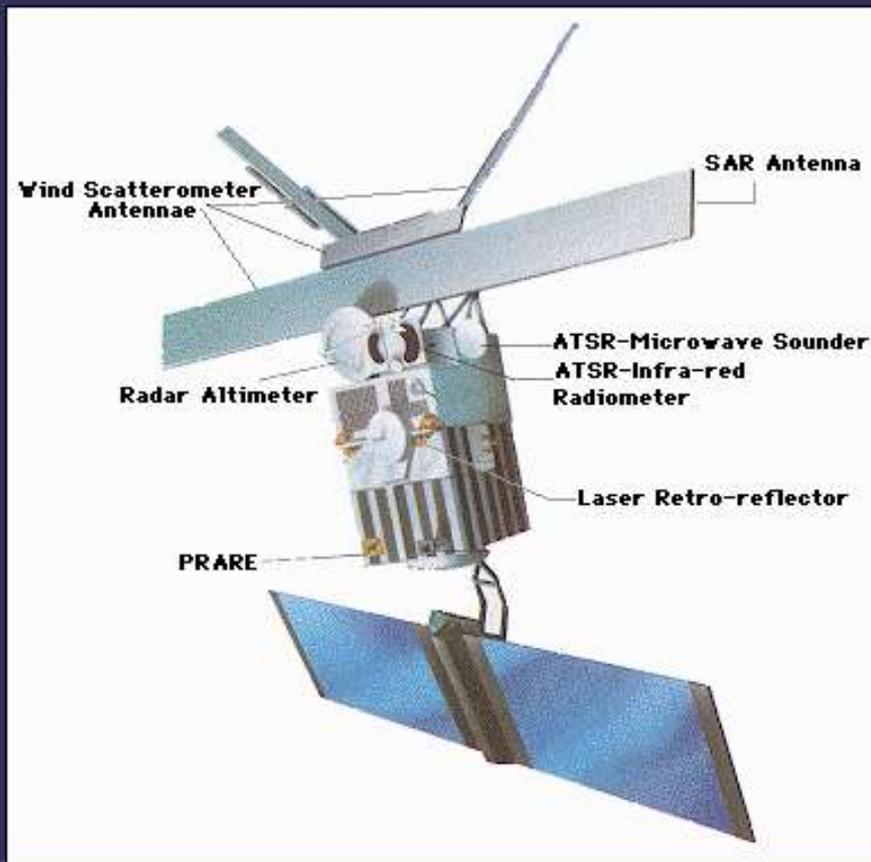
*All'epoca del loro lancio (ESA, 1991 e 1995), i due **ERS** rappresentavano i più avanzati strumenti di osservazione della terra mai sviluppati.*

Essi permisero di acquisire notevoli quantità di dati che riguardavano la superficie terrestre, gli oceani e le calotte polari, e permisero anche di monitorare zone colpite da disastri naturali come inondazioni e terremoti.



	ERS - 1	ERS - 2
Launch	17 July 1991	21 April 1995
	Kourou, French Guiana	Kourou, French Guiana
Launcher	Ariane 4	Ariane
Launch mass	2384 kg	2516 kg
Orbit	Sun synchronous, altitude 800 km	Sun synchronous, altitude 800 km
Inclination	98.5 degrees	98.5 degrees
Time for one orbit	100 minutes	100 minutes
Cycle	35-day repeat	35-day repeat

RADARALTIMETRIA: ERS



ERS-1 Payload

ERS-1 comprendeva nel payload:

- *Radaraltimetro,*
- *Prisma retroriflettente,*
- *PRARE (Precise Range And Range Rate Equipment): sistema doppler per la misura sia di range che di range rate (proposto dalla Germania). Il segnale emesso dallo strumento a bordo del satellite viene ricevuto da un transponder e ritrasmesso verso il satellite; il segnale di ritorno viene confrontato direttamente con quello trasmesso, permettendo la misura Doppler.*

RADARALTIMETRIA: ERS



ERS-2 in the clean room at ESA's ESTEC at Noordwijk (Netherlands).

The SAR antennas and the solar generator are folded up and packed against the satellite in the "launch configuration".



Modello a grandezza naturale di ERS 2 esposto alla Cité de l'Espace a Tolosa.

Le missioni ERS terminarono nel 2000 e 2011.

RADARALTIMETRIA: TOPEX/POSEIDON

*Missione interamente dedicata all'altimetria.
Satellite costruito da NASA,
lanciato da CNES (base di Kourou, razzo Ariane)
nel 1992, terminò nel 2006.*

Quota di 1300 km (per diminuire l'effetto del drag).

Payload:

- *NASA progettò e costruì il radar altimetro TOPEX, i prismi retro riflettenti e, in via sperimentale, un ricevitore GPS;*
- *CNES produsse il radar altimetro Poseidon, basato sulla tecnologia allo stato solido, che fu utilizzato per il 10% delle misure; inoltre progettò un sistema di tracciamento dedicato, DORIS, che comprendeva anche una rete di 50 stazioni a terra.*

Follow-on: Jason 1 e Jason 2.



SATELLITI PER LA GRAVITÀ IN ORBITA BASSA



Castor et Pollux

Deux satellites artificiels français lancés le 15 mai 1975 par une fusée Diamant-BP4 depuis le centre de lancement de Kourou en Guyane.

Castor (D5B) devait permettre de tester le fonctionnement de l'instrument CACTUS, un accéléromètre triaxial ultra sensible développé par l'ONERA. Le satellite est rentré dans l'atmosphère terrestre le 18 février 1979.

Pollux (D5A) devait tester le fonctionnement d'un propulseur à hydrazine. Les essais de propulsion modifièrent l'orbite de manière incontrôlée et le satellite rentrea dans l'atmosphère terrestre prématurément le 5 août 1975.

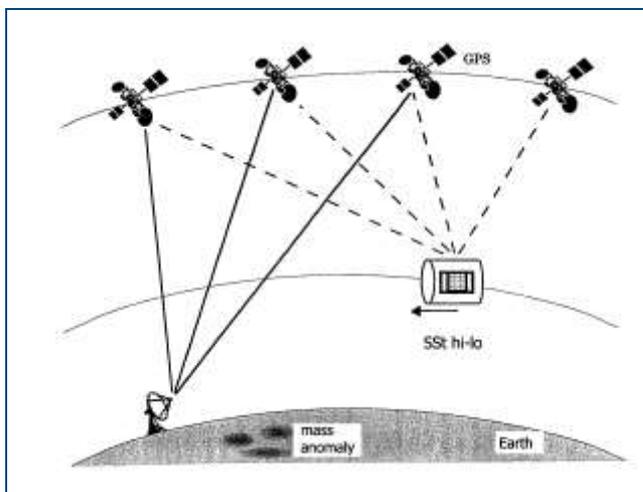
Périgée 300 km
Apogée 1 290 km
Inclinaison 20°

SATELLITI PER LA GRAVITÀ IN ORBITA BASSA

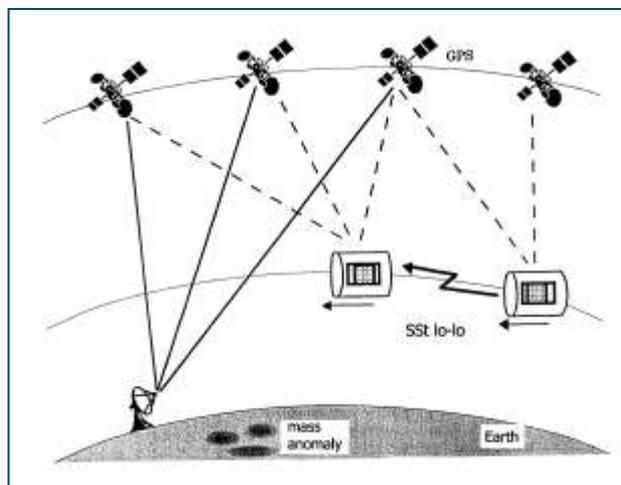
Per realizzare una “missione di gravità” occorre disporre di uno o più accelerometri a bordo in grado di misurare le forze non gravitazionali agenti sul satellite e questo è stato possibile solo negli ultimi 10-15 anni.

CACTUS era in grado di misurare accelerazioni con un'accuratezza di 10^{-9} m/s^2 .

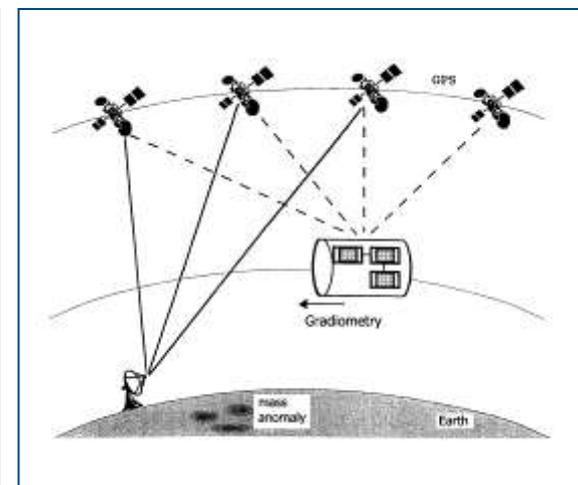
Gli accelerometri a bordo di GOCE erano in grado di misurare accelerazioni con un'accuratezza di 10^{-12} m/s^2 .



SST in the high-low mode (CHAMP)

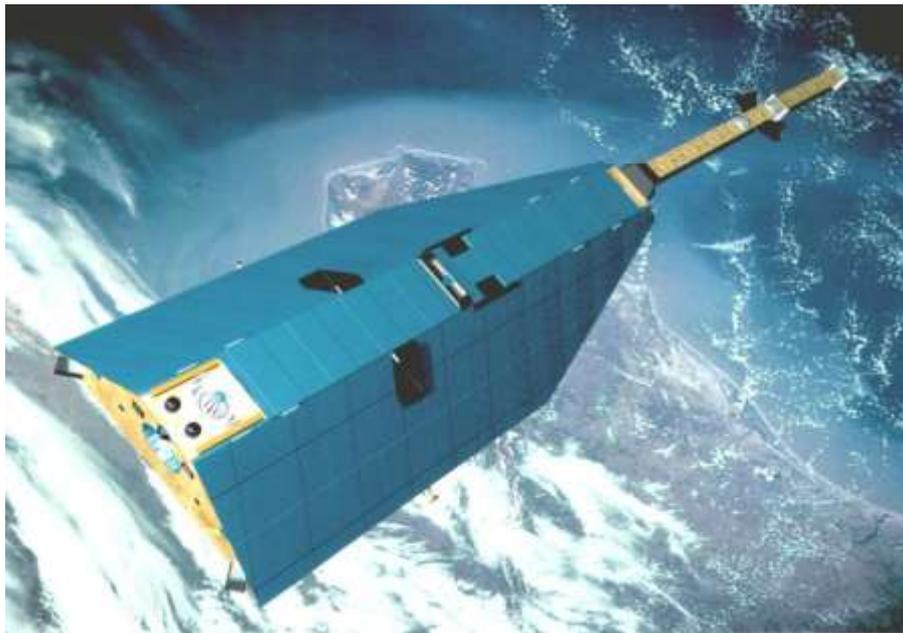


SST in the low-low mode (GRACE)



SGG plus h-l SST (GOCE)

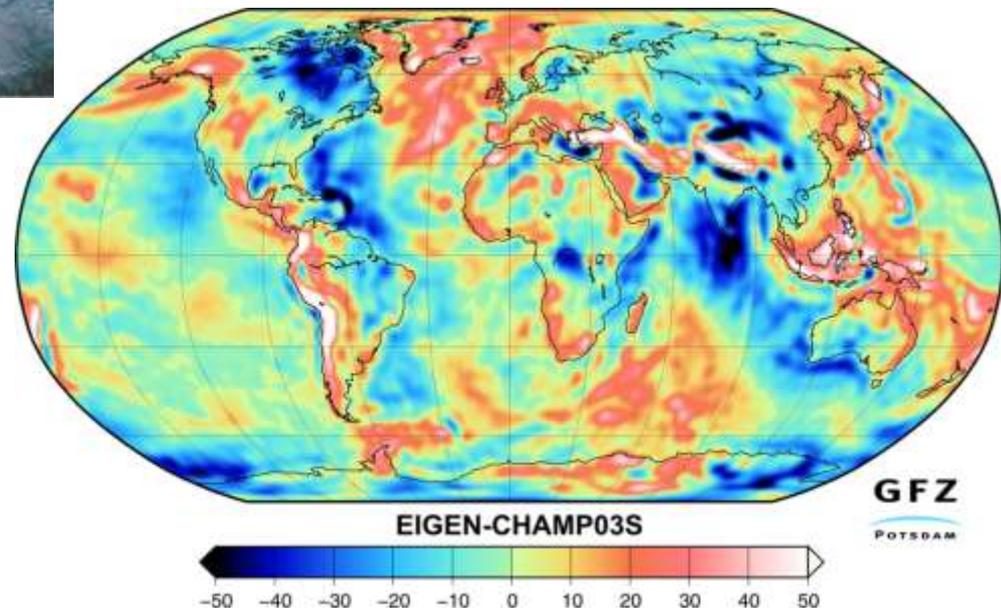
SATELLITI PER LA GRAVITÀ IN ORBITA BASSA: CHAMP



CHAMP (CHALLENGING Minisatellite Payload) è stata la prima missione di sempre dedicata specificamente alla misura del campo di gravità terrestre, progettato e gestito da DLR e GFZ.

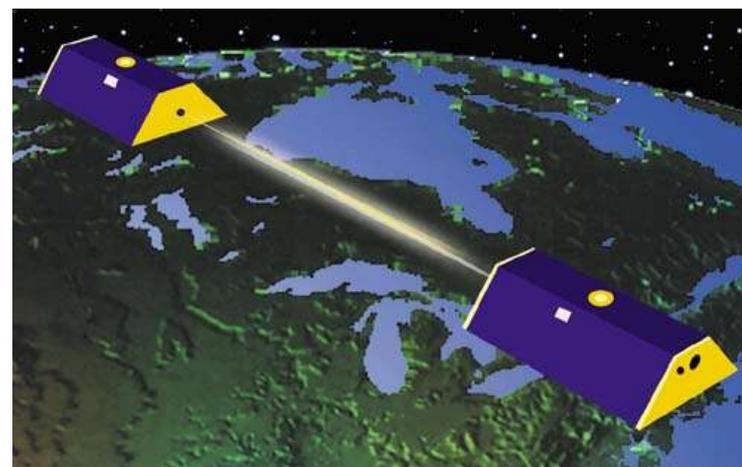
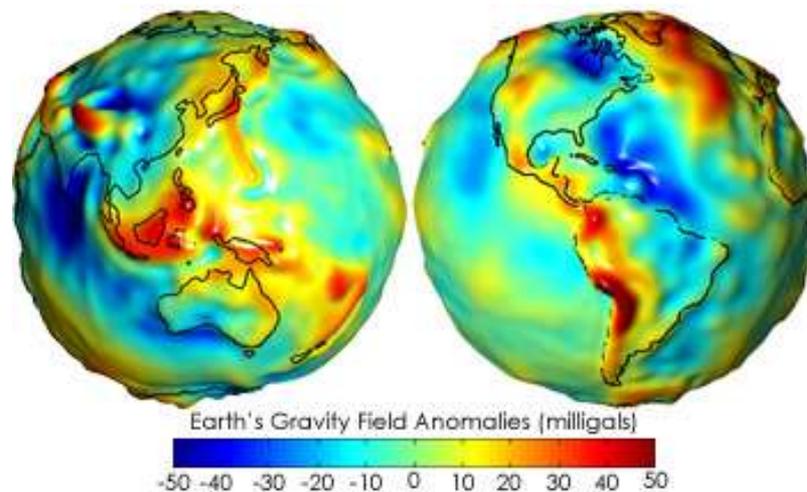
Lanciato il 15 luglio 2000, la missione è terminata il 19 settembre 2010.

E' stato lanciato dal cosmodromo russo di Plesetsk, su un'orbita quasi circolare, quasi polare (inclinazione di 87°) ad un'altezza di circa 450 km.



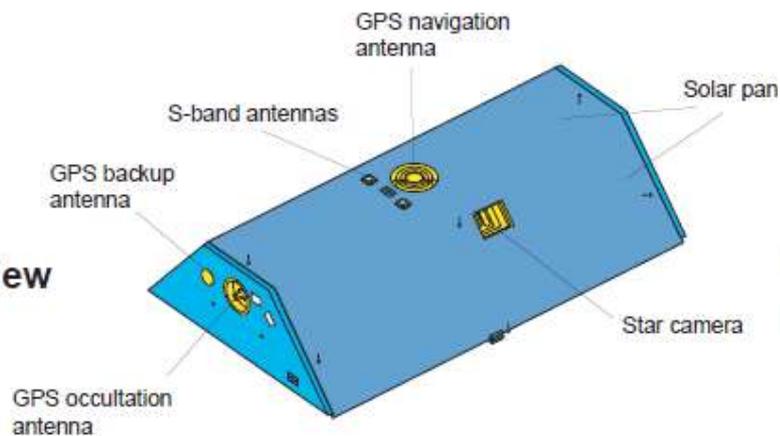
SATELLITI PER LA GRAVITÀ IN ORBITA BASSA: GRACE

GRACE (*Gravity Recovery And Climate Experiment*) è una missione NASA-DLR-GFZ-JPL. I due satelliti gemelli sono stati lanciati il 17 marzo 2002 da Plesetsk. Orbita polare, quota circa 500 km, distanza reciproca di circa 220 km. E' in fase di «extended mission», si presume che durerà fino al 2015.

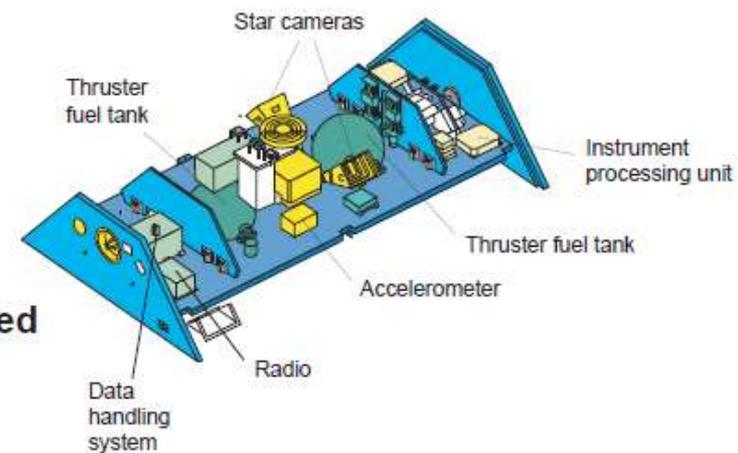


SATELLITI PER LA GRAVITÀ IN ORBITA BASSA: GRACE

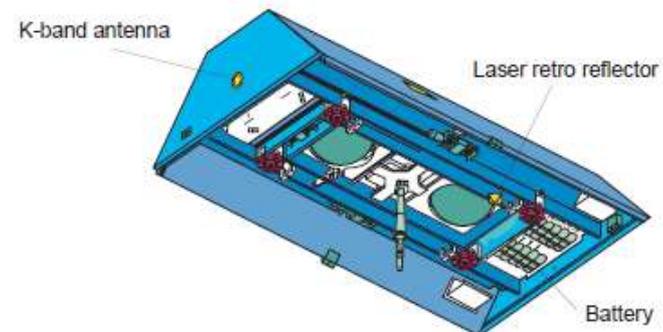
Top view



Top view
with solar
panels removed



Bottom view with
thermal radiator
removed



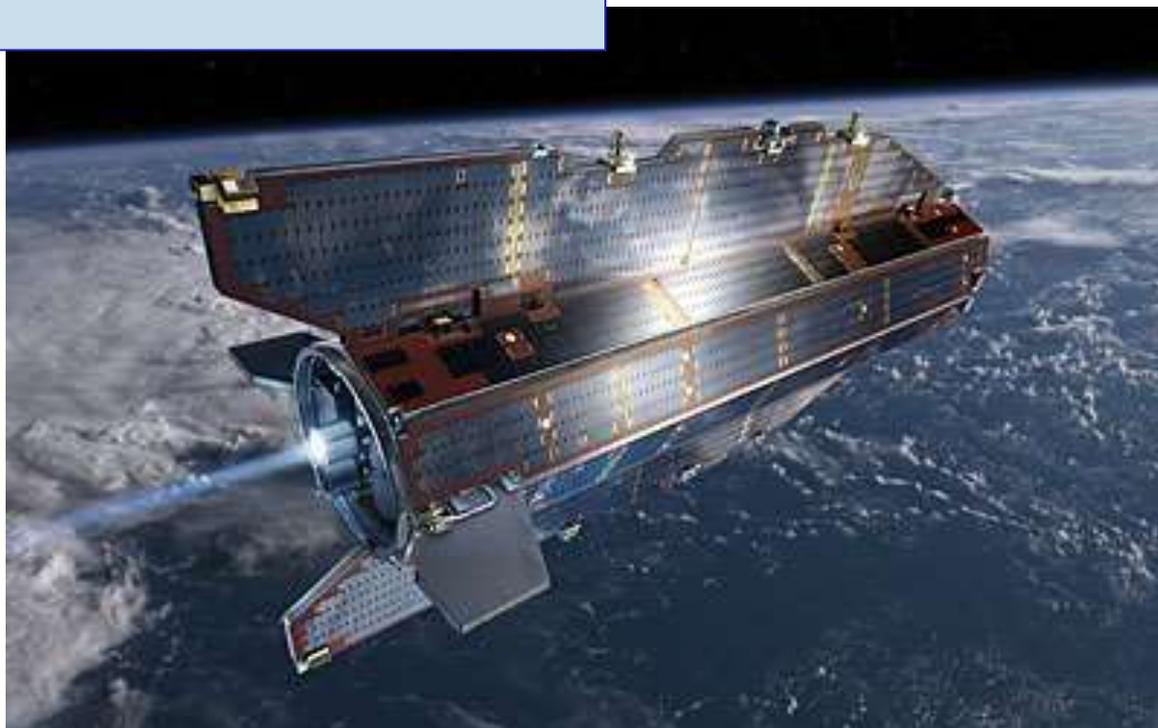
SATELLITI PER LA GRAVITÀ IN ORBITA BASSA: GOCE

GOCE (*Gravity field and steady-state Ocean Circulation Explorer*), missione ESA.
Lanciato il 17 marzo 2009, è rientrato nell'atmosfera il 13 novembre 2013.

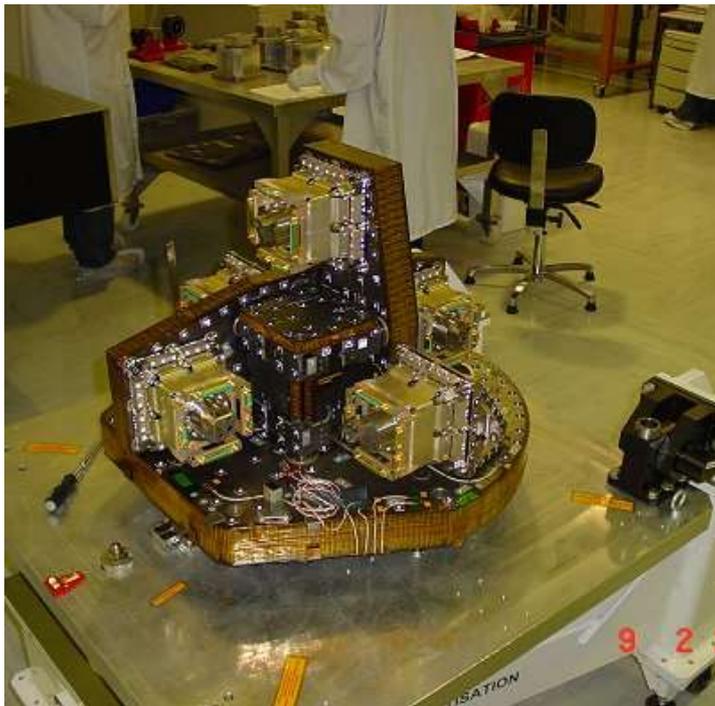
Orbit 250 km altitude, sun-synchronous, dawn-dusk

Launcher Rockot from Plesetsk

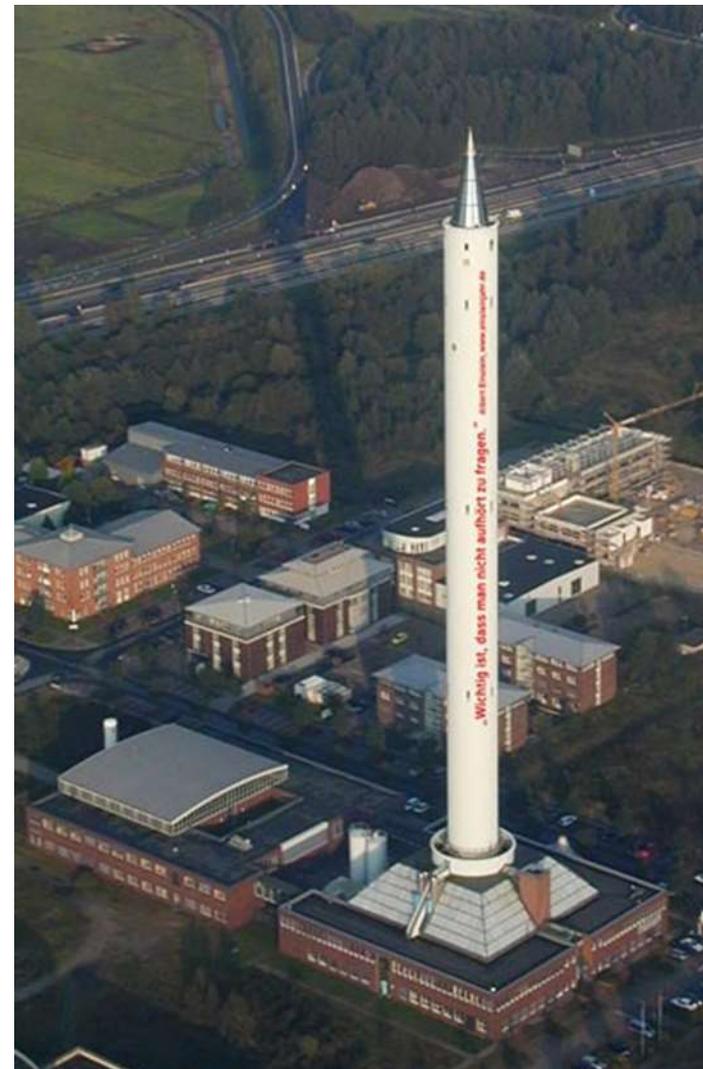
Payload Three-axis diagonal gradiometer (three pairs of electrostatic servo-controlled accelerometers on 50 cm baselines)



SATELLITI PER LA GRAVITÀ IN ORBITA BASSA: GOCE



*Il gradiometro triassiale di GOCE.
Gli accelerometri sono montati su un
supporto ultrastabile al carbonio.*



*La torre a caduta libera presso il ZARM, Università di
Brema, utilizzata per il test degli accelerometri di GOCE.*

SATELLITI PER LA GRAVITÀ IN ORBITA BASSA: GOCE

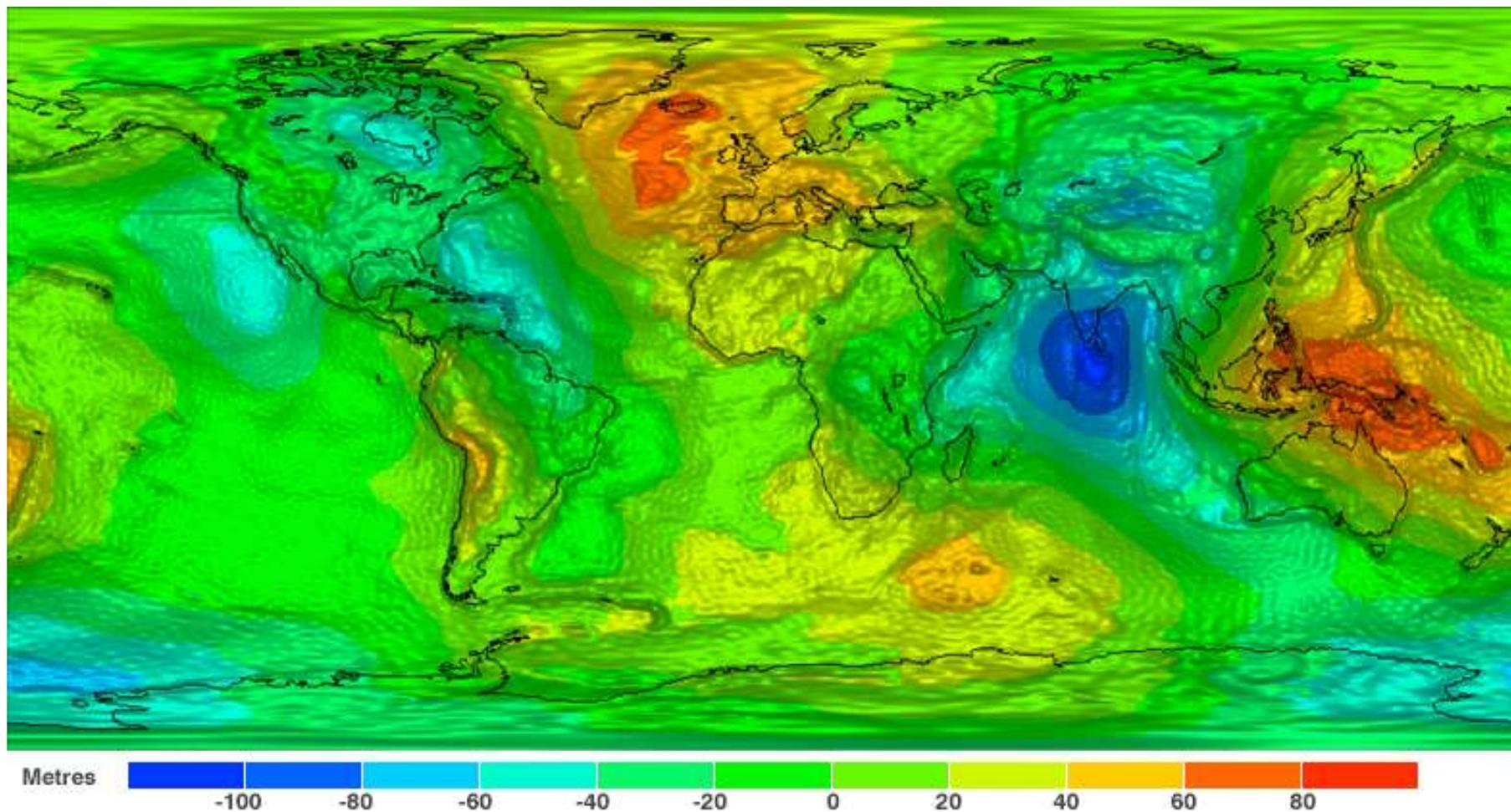


GOCE è stato progettato e costruito da Thales Alenia Space (Torino). Qui si trova all'interno della "clean room" di Thales Alenia.



GOCE in fase di testing presso l'ESTEC (Noordwijk, Olanda)

SATELLITI PER LA GRAVITÀ IN ORBITA BASSA: GOCE



Modello di geoide calcolato da dati GOCE (Politecnico di Milano - luglio 2010)