

Geodesia dallo Spazio

di Fabrizio Bernardini

Le applicazioni pratiche dei satelliti artificiali posti in orbita intorno alla Terra sono innumerevoli. Tra esse spiccano le applicazioni geodetiche rivolte soprattutto alla misura del nostro pianeta ed all'approfondimento delle conoscenze relative all'ambiente che lo circonda. In questo breve articolo cerchiamo di ripercorrere un poco la storia della geodesia spaziale.

La Genesi

L'utilizzo di satelliti per scopi geodetici non è recente, anzi addirittura antecedente all'inizio "ufficiale" dell'era spaziale, inizio marcato dal lancio del satellite Sputnik 1 nell'Ottobre del 1957. Infatti durante gli anni 50 la NACA (l'agenzia che ben presto sarebbe stata trasformata in NASA) aveva stilato un elenco di possibili applicazioni per satelliti artificiali. L'elenco comprendeva:

- satelliti esplorativi per lo studio dell'alta atmosfera;
- satelliti geodetici;
- satelliti per studi biologici;
- satelliti astronomici (per il sole e le stelle);
- satelliti meteorologici;
- satelliti per telecomunicazioni.

A questi, ma in secondo ordine, si aggiungevano i "satelliti abitati" fino all'immaginare stazioni spaziali e missioni esplorative della Luna.

È interessante notare che nell'elenco precedente, stilato in ordine di importanza, i satelliti per telecomunicazioni fossero intesi come meno "utili" (oggi sono ovviamente l'applicazione principale). In realtà, forse per le limitazioni dell'elettronica dell'epoca (che non lasciavano trapelare le altre innumerevoli applicazioni), erano proprio quelle geodetiche le applicazioni maggiormente sostenute per i primi satelliti artificiali, in quanto non richiedevano apparati di bordo particolari essendo primariamente interessate all'osservazione del satellite da terra. Poiché le leggi che governano il

moto dei satelliti artificiali sono ben note, dalle osservazioni di satelliti si sarebbero potute ottenere interessanti osservazioni geodetiche.

Ad appoggiare queste applicazioni troviamo l'Unione Geofisica Americana con il suo comitato sulle Applicazioni Geodetiche dei Satelliti Artificiali ed un programma per informare la comunità geodetica su queste nuove possibilità. Ad esso si aggiunse l'Osservatorio Astronomico dello Smithsonian che doveva mantenere la rete di fotocamere per riprese dei satelliti. Un rapporto del Settembre 1957, un mese prima dello Sputnik, forniva lo stato avanzato di questi preparativi.

Gli studi del periodo trovarono convergenza nella definizione del famoso Anno Geofisico Internazionale (IGY, International Geophysical Year) che diede una "ragione scientifica" a quella che in realtà stava già diventando un'espansione, al settore spaziale, delle prove di forza tipiche della Guerra Fredda. Nell'ambito di questo programma, una serie di attività esplorative (alla quale partecipavano con accordi di scambio di informazioni anche i paesi oltre cortina) erano state pianificate e tra le tante troviamo il lancio di satelliti per scopi geodetici o, comunque, di esplorazione dell'ambiente circostante il nostro pianeta.

Mentre gli Stati Uniti, per l'IGY, preparavano con un approccio a basso profilo il razzo per il minuscolo satellite Vanguard (solo un chilo di peso), la Russia lanciò lo Sputnik 1 con grande sorpresa del mondo occidentale. Lo Sputnik 1 era infatti un satellite pesante

(83 Kg) e fu immediatamente seguito dallo Sputnik 2 (ben 508 Kg) recante a bordo il cane Laika. A questo punto la "corsa allo spazio" prese la piega che tutti conosciamo e il ruolo delle applicazioni geodetiche cessò di essere la ragione di maggiore interesse.

Il ruolo della geodesia spaziale passò in secondo piano anche a seguito dell'improvviso "aumento di percezione" dell'ambiente circostante il nostro pianeta a seguito delle immediate scoperte dei primi satelliti. Infatti, con il fallimento iniziale del programma Vanguard, il presidente Eisenhower diede il via all'équipe di Von Braun che lanciò in brevissimo tempo il satellite Explorer I, il quale scoprì le fasce di particelle cariche che circondano la Terra (le fasce di Van Allen). L'interesse per questi ed altri fenomeni contribuì a far passare le applicazioni geodetiche a "livelli inferiori" di interesse pubblico, ma non certo per gli specialisti del settore.

La Pratica

La pratica della geodesia satellitare contribuì, ovviamente, all'ampliamento delle conoscenze relative al nostro pianeta, ma in maniera diversa da come fecero gli altri satelliti di esplorazione. Infatti mentre i satelliti che esplorarono la magnetosfera ebbero a che fare con fenomeni mai visti prima, i satelliti geodetici fornirono "solo" precisioni maggiori in una realtà già ben nota. Ma la disponibilità dei satelliti nell'arco dell'intera orbita, e la loro visibilità contemporanea da punti molto remoti del pianeta, permisero di stabilire un riferimento geodetico globale come solo dallo spazio si può ottenere.

La geodesia classica si occupa di misure geometriche della Terra per stabilirne con precisione le dimensioni e la forma e, dunque, definire un sistema di coordinate accurato per la stessa. L'utilizzo di "punti astronomici" per le misure geodetiche risale sin dagli albori

di questa scienza e si è evoluto nel tempo con continui miglioramenti nella precisione delle misure. Ai tempi di Newton il modello della Terra universalmente adottato era quello sferico (il più semplice), ma ben presto fu possibile confutarlo in favore di un modello ellissoidico che tenesse conto dello schiacciamento ai poli e del rigonfiamento all'equatore (dovuti alla forza centrifuga risultante dalla rotazione terrestre).

Il passaggio successivo si ebbe con l'avvento della geodesia dinamica, o fisica, che introdusse nel modello diverse irregolarità identificate anche in variazioni locali del campo gravitazionale. In pratica la geodesia dinamica studia più propriamente il campo gravitazionale ed introduce il concetto del geode e delle armoniche sferiche. Il geode descrive la superficie terrestre supponendo che le superfici piane siano a potenziale gravitazionale costante, mentre le armoniche sferiche sono un mezzo matematico per descrivere le irregolarità del geode stesso.

Entrano allora in gioco i satelliti artificiali per determinare non solo, tramite triangolazione, la posizione di punti sulla superficie separati da distanze continentali, ma anche, tramite misure accurate delle variazioni nel moto orbitale, i diversi coefficienti delle armoniche sferiche per il raffinamento del modello geodetico. (Ovviamente l'avvento dei mezzi di calcolo elettronici ha giocato anch'esso un ruolo essenziale nella riduzione dell'enorme mole di dati che era necessario elaborare per aggiornare i modelli).

In particolare si deve notare che misurazioni dello scostamento del geode dall'ellissoide possono essere effettuate, puntualmente, usando metodi astronomici. La quantità di misure necessarie per una regione di dimensioni apprezzabili è tuttavia elevato. Il vantaggio insito nell'utilizzo del satellite è che il moto orbitale del satellite stesso rispecchia direttamente, su larga scala, le variazioni del campo gravitazionale che le misure puntuali a terra cercano di rilevare. Ovviamente le misurazioni a terra rimangono un elemento indispensabile della conoscenza, ma le misure da satellite hanno permesso di ottenere molto più rapidamente un quadro generale del modello che si andava a comporre.

Già con Sputnik 2, lanciato ad Ottobre

del 1957 e visibile facilmente a causa delle sue grandi dimensioni, fu possibile aggiornare le costanti del modello ellissoidale (misurando la precessione dell'orbita causata proprio dalla non sfericità della Terra). Invece con Vanguard I fu possibile, con grande scalpore, raffinare il modello delle armoniche sferiche introducendo la nozione del "pianeta a forma di pera" (anche se per poche decine di metri di elevazione). Un altro esponente dei primi satelliti "geodetici" fu il gigantesco Echo 1, un grande pallone di 'mylar' gonfiato nello spazio con elio. Grazie alla sua facile visibilità, Echo 1, destinato ai primi esperimenti di "rimbalzo" di onde elettromagnetiche, fu usato per innumerevoli esperienze geodetiche e, tra l'altro, permise il collegamento della rete geodetica francese con quella del Nord Africa, il primo di questa serie di eventi. Un successivo esperimento con "pallone" dedicato solo a scopi geodetici fu il satellite PAGEOS lanciato nel 1966.

Il primo satellite nato esclusivamente per scopi geodetici fu, invece, ANNA 1B. Lanciato nell'Ottobre del 1962, la sua missione prevedeva appunto lo studio del campo gravitazionale e l'osservazione del satellite stesso, il quale era dotato di un potente faro lampeggiante attivabile su comando da



Figura 1 - ANNA 1B il primo satellite per scopi esclusivamente geodetici (courtesy Mark Wade, Encyclopedia Astronautica)

terra.

In definitiva, l'avvento dei satelliti artificiali, siano essi nati per uso geodetico o meno, permise in soli 4 anni di aggiornare in maniera sostanziale la "misura" della Terra come insieme e contribuì decisamente alla definizione di un sistema geodetico mondiale (WGS, World Geodetic System). Nello stesso periodo si ebbe un miglioramento di almeno due ordini di grandezza nel posizionamento di punti a grande

distanza dalle coste continentali portando l'errore dal kilometro alla decina di metri.

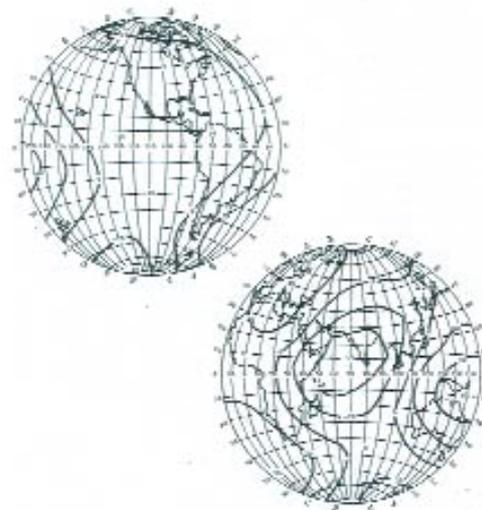


Figura 2 - La figura mostra alcune misure del geode terrestre così come fu rilevato dalle prime osservazioni di geodesia spaziale usanti satelliti artificiali. La figura riporta, sopra la mappa dei due emisferi, l'elevazione del geode rispetto all'ellissoide allora (1964) in uso. I valori positivi indicano un'elevazione al di sopra dell'ellissoide, mentre quelli negativi indicano una depressione. (Figura Courtesy of NASA)

Gli sviluppi

Le misure effettuate nei primi sei anni della geodesia spaziale vedevano impiegati telescopi ottici di precisione per la determinazione dell'orbita dei satelliti selezionati e sistemi radio per la misura della distanza dagli stessi. Le precisioni ottenute, dell'ordine del metro, furono sufficienti per i primi raffinamenti e le prime caratterizzazioni volte a definire un sistema geodetico mondiale. Non erano però sufficienti per monitorare il moto delle zolle tettoniche o la quota del livello del mare.

Un balzo decisivo si ebbe con l'avvento di satelliti dedicati a queste attività geodetiche e che recavano a bordo riflettori per rimandare verso Terra il riflesso di raggi Laser inviati dalle stazioni di misura. Il primo satellite di questo tipo fu il GEOS-1 (lanciato nel 1965 e seguito da un altro nel 1968) che, oltre agli apparati radio per le misure di distanza, ospitava anche un riflettore Laser.

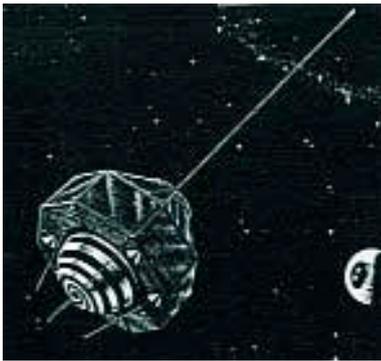


Figura 3 - Il satellite GEOS-1, il primo satellite a recare a bordo un riflettore Laser (courtesy Mark Wade, Encyclopedia Astronautica)

Tra la nuova generazione di satelliti troviamo anche il Lageos (LAsER GEOdynamics Satellite) un corpo sferico interamente rivestito di riflettori. Dopo un primo esemplare lanciato nel 1976, il secondo, Lageos 2, vide anche la partecipazione dell'Agenzia Spaziale Italiana e fu rilasciato nel 1992 nel corso di una missione dello Shuttle (STS-52).

Usando raggi Laser è possibile incrementare la misura della distanza della stazione dal satellite per arrivare a precisioni millimetriche e, dunque, raffinare ulteriormente le costanti dei vari modelli. La tecnica è oggi nota come Satellite Laser Ranging (SLR) ed è indispensabile, ad esempio, per osservare le variazioni del livello medio del mare negli studi relativi alle mutazioni climatiche e a fenomeni quali El Nino. Tuttavia la strumentazione di bordo si è evoluta e i satelliti geodetici sono spesso dotati di sofisticati radio-altimetri che contribuiscono al quadro generale che si cerca di ottenere (e mantenere aggiornato) del nostro pianeta.

Ovviamente le misure che vengono effettuate lo sono su base continua. Scopo delle misure geodetiche spaziali è infatti anche quello di determinare con accuratezza le mutazioni che avvengono sulla crosta terrestre, mutazioni che vanno dal movimento delle zolle continentali alla rilevazione di fenomeni di subsidenza. In generale è possibile monitorare gli "spostamenti di massa" che avvengono su scala planetaria e gli effetti che essi hanno sul modello del geoide.

Grazie anche ad esperimenti secondari su satelliti di altro tipo, come quelli della costellazione GPS, la "flotta" geodetica spaziale conta oggi all'attivo molti veicoli in orbita, come mostrato in figura.

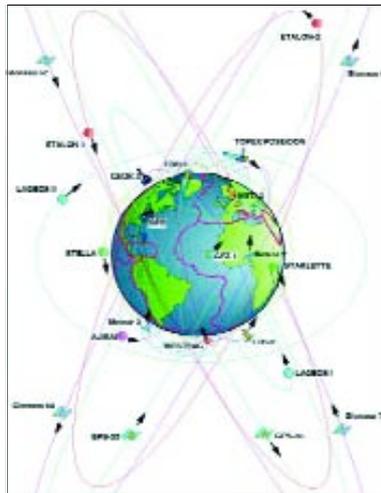


Figura 4 - Costellazione dei satelliti a supporto della rete SLR (Courtesy NASA)

Sulla Luna

Le spedizioni Apollo hanno lasciato sulla Luna diversi esemplari di uno strumento passivo denominato LRRR (Lunar Ranging RetroReflector). Questi dispositivi sono costituiti da un centinaio di prismi cubici in grado di riflettere raggi luminosi provenienti da diverse direzioni. La riflessione avviene esattamente in direzione opposta a quella del raggio incidente e i sistemi a terra erano in grado già nel 1969 di usare questi dispositivi per misurare la distanza Terra-Luna con una precisione di un miliardesimo di secondo (equivalenti a 15 centimetri).

E' allora possibile usare la posizione di uno di questi riflettori per triangolare la posizione di due stazioni terrestri sia per misurarne la posizione relativa che per studi sulle anomalie gravitazionali e per la prova di altre teorie.

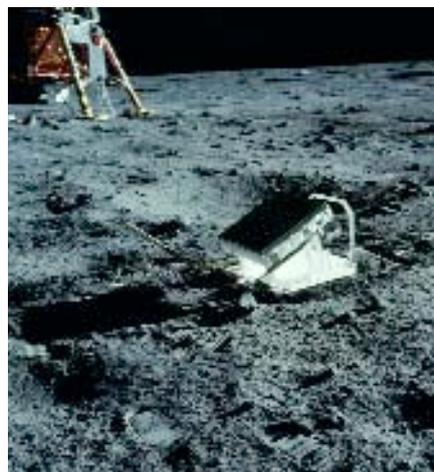


Figura 5 - Il Lunar Ranging RetroReflector lasciato dalle missioni esplorative del programma Apollo in diversi luoghi della Luna. E' mostrato quello nel Mare della Tranquillità lasciato dall'Apollo 11 (Courtesy of NASA)



Figura 6 - Dettaglio del LRRR (Courtesy of NASA)

Altri pianeti

Per chiudere ricordiamo che la geodesia spaziale, e le sue applicazioni, trascendono l'ambito del nostro pianeta ed hanno trovato sfogo anche nell'esplorazione del pianeta solare. Anche in questo caso i primi risultati si ebbero agli inizi dell'avventura nello spazio, con i primi satelliti della serie Lunar Orbiter. Questi satelliti, destinati a "mappare" fotograficamente la zona equatoriale della Luna a supporto del Programma Apollo, permisero, grazie all'analisi delle forti perturbazioni orbitali incontrate, di determinare le concentrazioni di masse sotto la superficie di alcuni mari lunari. La determinazione di queste concentrazioni (dette "mascons"), oltre ad essere essenziale per l'atterraggio sulla Luna, fu il primo esempio di geodesia spaziale applicato ad un corpo celeste diverso dalla Terra.

In numeri precedenti della rivista abbiamo avuto modo di evidenziare come la conoscenza degli altri pianeti si avvalga di metodi geodetici, con particolare riferimento a Marte. Per quest'ultimo viene in aiuto all'osservazione delle variazioni dell'orbita anche la misura diretta della quota del satellite rispetto alla superficie mediante il Laser-altimetro MOLA.

Autore

FABRIZIO BERNARDINI