

Teoria della regione ammissibile per la correlazione di detriti spaziali

Candidato: Marco Montechiaro

Relatore: Dott. Giacomo Tommei

Sessione di laurea: 17 ottobre 2014

Un grave problema che deve affrontare chi ha interessi scientifici e/o economici nell'ambiente circumterrestre è quello dei detriti spaziali, componenti di oggetti lanciati in orbita dall'uomo che hanno smesso di funzionare o si sono danneggiati. Tra questi troviamo, ad esempio, stadi dei razzi, frammenti di satelliti, scaglie di vernici, polveri, materiale espulso dai motori dei razzi e altre piccole particelle. Collisioni, anche con frammenti minuscoli, possono essere molto pericolose a causa dell'elevata velocità orbitale.

I detriti che orbitano intorno alla Terra rappresentano una minaccia per qualsiasi tipo di missione spaziale. Nemmeno i veicoli spaziali equipaggiati con particolari protezioni sono esclusi da questi pericoli. Basti pensare che il 13 marzo 2009, l'equipaggio della Stazione Spaziale Internazionale (ISS) fu messo in stato di allerta e pronto all'evacuazione per il rischio di collisione con un frammento orbitante. Per prevenire disastrosi incidenti è necessario quindi prevedere le orbite di tali oggetti.

Il primo passo è quello di osservare tali frammenti spaziali e per far questo si possono utilizzare tecniche ottiche (di solito per detriti in orbita geostazionaria o media) oppure radar (per detriti in orbita bassa). Spesso però un singolo insieme di dati osservativi non permette la completa determinazione dell'orbita, è necessario raccogliere più dati possibili e a tempi diversi. Ottenuti due o più insiemi di osservazioni un requisito fondamentale è capire se si riferiscono o meno allo stesso oggetto. Questo problema, di non facile soluzione, prende il nome di *correlazione*.

Lo scopo di questa tesi è definire la *regione ammissibile*, uno strumento matematico alla base di un innovativo algoritmo di correlazione che funziona bene quando l'intervallo di tempo tra due insieme osservativi è più piccolo del periodo orbitale dell'oggetto. Presenteremo inoltre un ulteriore metodo di correlazione basato sugli integrali primi del moto Kepleriano a due corpi, utile quando il metodo che usa la regione ammissibile non è efficace.

Nel primo capitolo tratteremo il problema dei detriti spaziali, ripercorrendo la cronologia degli eventi, dalla prima rottura in orbita occorsa nel 1961 fino agli incidenti degli ultimi anni, come quello avvenuto nel 2009 tra due satelliti integri, Iridium33 e Cosmos. Descriveremo inoltre la classificazione orbitale dello spazio vicino alla Terra: in base all'altitudine, possiamo dividere infatti questo spazio in tre regioni chiamate nell'ordine LEO (Low Earth Orbit), MEO (Medium Earth Orbit) e GEO (Geostationary Earth Orbit).

Nel secondo capitolo andremo a definire la regione ammissibile, percorrendo due strade parallele in base al tipo di strumento utilizzato per le osservazioni (ottico o radar). Con i radar è possibile rilevare i detriti orbitanti nella regione

LEO. Con i sensori ottici è invece possibile osservare lo spazio più lontano, fino alla regione GEO. La differenza tra questi due tipi di strumenti sta anche nel genere di informazioni registrate: con i sensori radar otteniamo la distanza dell'oggetto, la velocità radiale e gli angoli sulla sfera celeste ascensione retta α e declinazione δ . Nel caso ottico otteniamo invece questi due angoli e le loro variazioni nel tempo $\dot{\alpha}$ e $\dot{\delta}$. In entrambi i casi, i dati in nostro possesso sono quattro e si possono vedere come componenti di un vettore chiamato *attribuibile* che dovrà essere completato ad un insieme di sei elementi per ottenere un'orbita. I due elementi mancanti saranno scelti tra quelli appartenenti ad una regione calcolata imponendo che l'energia dell'oggetto rispetto alla Terra sia negativa: questa semplice richiesta si traduce in una condizione algebrica che permette di vincolare le due componenti incognite, che, ad esempio, nel caso ottico sono la distanza ρ e la sua derivata temporale $\dot{\rho}$.

Il terzo capitolo sarà dedicato a due diversi metodi di correlazione validi per entrambi i tipi di osservazioni. Il primo, detto *algoritmo dei detriti virtuali*, si basa sulla regione ammissibile e sul suo campionamento che genera dei detriti virtuali. Il secondo sfrutta gli integrali primi del problema dei due corpi, ovvero la conservazione dell'energia e del momento angolare del sistema.

Questa tesi poggia su vari risultati di meccanica celeste, trovando radici principalmente nel problema dei due corpi. È stata dunque predisposta un'appendice che riassume brevemente i risultati utili per la lettura del lavoro. Sempre nell'appendice è presente un esperimento numerico svolto con Octave insieme al relativo codice. Si tratta di un semplice programma che partendo dall'input di un attribuibile ottico disegna la corrispondente regione ammissibile.

Riferimenti bibliografici

- [1] Farnocchia, D., Tommei, G., Milani, A., Rossi, A.: *Innovative methods of correlation and orbit determination for space debris*, Springer, Celestial Mechanics and Dynamical Astronomy, Volume 107, 169-185 (2010).
- [2] Gronchi, G.F., Dimare, L., Milani, A.: *Orbit determination with the two-body integrals*, Springer, Celestial Mechanics and Dynamical Astronomy, Volume 107, 299-318 (2010).
- [3] Klinkrad, H.: *Space Debris - Models and Risk Analysis*, Springer (2006).
- [4] Maruskin, J.M., Sheeres, D.J., Alfriend, K.T.: *Correlation of optical observations of objects in earth orbit*, J. Guid. Control Dyn., Volume 32, 194-209 (2009).
- [5] Milani, A., Gronchi, G.F., Dè Michieli Vitturi, M., Knezevic, Z.: *Orbit determination with very short arcs. I Admissible regions*, Celestial Mechanics and Dynamical Astronomy, Volume 90, 59-87 (2004).
- [6] Milani, A., Gronchi, G.F.: *Theory of orbit determination*, Cambridge University Press, Cambridge (2010).
- [7] Tommei, G., Milani, A., Rossi, A.: *Correlation of space debris observations by the virtual debris algorithm*, Springer (2006).
- [8] Tommei, G., Milani, A., Rossi, A.: *Orbit determination of space debris: admissible regions*, Springer, Celestial Mechanics and Dynamical Astronomy, Volume 97, 289-304 (2007).