

# Satelliti di Saturno di Grandissima Precisione calcolate con la Teoria TASS di Alain Vienne

Giuseppe Matarazzo

Luglio 2004

## Sommario

Gli algoritmi della teoria TASS 1.6 consentono di calcolare le posizioni e le velocità degli 8 maggiori satelliti di Saturno con altissime precisioni. Nell'imminente attualità essi sono utili per determinare le effemeridi di Titano che sarà 'accostato' dalla sonda Cassini il prossimo dicembre, mentre nel 2009 serviranno per il calcolo delle loro *mutue occultazioni*, come mostrato nell'esempio di Fig. 1.

## 1 Introduzione

A seguito di una corrispondenza privata con il prof. Alain Vienne dell'Università di Lille (Francia) ho potuto disporre dei listati Fortran della sua *Théorie Analytique des Satellites de Saturne* (TASS 1.6) e mettere a punto il programma EFSASATU.EXE che verrà presentato in questo lavoro.

L'eseguibile e l'ampio file dati, che ingloba i numerosissimi termini periodici delle serie, potrà essere scaricato dal sito telematico (file zippato *satsatu.tar.gz*).

Le precisioni di calcolo sulle distanze *saturno-centriche* sono dell'ordine di 10 km, come sostiene l'Autore nella parte introduttiva della sua teoria (cfr. Fig. 2).

## 2 Risultati di un'applicazione

Questa memoria esula dalla descrizione complessa delle numerose perturbazioni gravitazionali dei satelliti, che sono ben dettagliate nel documento di Fig. 2, e si concentra sull'aspetto applicativo del problema, che ha rilevanza pratica molto interessante.

Come data *emblematica* di calcolo delle effemeridi degli otto satelliti consideriamo il 25 Dicembre 2004 - ore 0.00, quando è previsto che la sonda Huygens si sganci dalla navetta Cassini per scendere sul satellite Titano.

Ecco i risultati ottenuti con il programma *efsasatu.exe*:

```
Satellite.nro: 1      JD=> 2453364.50000      Mimas
Vett.Pos       : -0.001250361167  0.000064930253  0.000048471880
/Vel          :   -0.035295253 -2.656494572  1.370204682
R (UA)        : 0.001252983842
XYZ (RagSatu) :          -3.100           0.161           0.120
```

```

R (RagSatu):          3.107
Elem.Orbitali: -0.005143050998  0.166837036078 -0.010079963408
                0.015198375910 -0.005719513951  0.012944141493
Inclin.(gradi):      1.622   Eccentric.:      0.018237
Semias.Mag(UA):      0.00124342   Param. Gravitaz.:  0.011283023252
~~~~~
Satellite.nro: 2     JD=> 2453364.50000 Enceladus
Vett.Pos   : 0.000119261148 -0.001408869287  0.000726428022
/Vel      : 2.651151794  0.061179657 -0.289622409
R (UA):    0.001589601699
XYZ (RagSatu):      0.296          -3.494          1.801
R (RagSatu):      3.942
Elem.Orbitali: -0.003157746503  1.798612293526  0.003905805493
                0.003560994847 -0.000034219646 -0.000149163769
Inclin.(gradi):      0.018   Eccentric.:      0.005285
Semias.Mag(UA):      0.00159369   Param. Gravitaz.:  0.011283024229
~~~~~
Satellite.nro: 3     JD=> 2453364.50000 Tethys
Vett.Pos   : -0.000559131632 -0.001663018665  0.000896984405
/Vel      : 2.283933209 -0.707841875  0.111259642
R (UA):    0.001970492397
XYZ (RagSatu):      -1.386          -4.124          2.224
R (RagSatu):      4.886
Elem.Orbitali: -0.002051855950  1.444923221205  0.000068645738
                0.000655361405 -0.007234455838 -0.006231746302
Inclin.(gradi):      1.094   Eccentric.:      0.000659
Semias.Mag(UA):      0.00197179   Param. Gravitaz.:  0.011283034497
~~~~~
Satellite.nro: 4     JD=> 2453364.50000 Dione
Vett.Pos   : -0.001414914600 -0.001791128386  0.001075912659
/Vel      : 1.739334219 -1.126620102  0.422457037
R (UA):    0.002523432637
XYZ (RagSatu):      -3.509          -4.441          2.668
R (RagSatu):      6.257
Elem.Orbitali: -0.001227688627  1.130443223615  0.002103858185
                -0.000561470995  0.000108713913  0.000078850256
Inclin.(gradi):      0.015   Eccentric.:      0.002177
Semias.Mag(UA):      0.00252440   Param. Gravitaz.:  0.011283044685
~~~~~
Satellite.nro: 5     JD=> 2453364.50000 Rhea
Vett.Pos   : -0.000555286416  0.003110382702 -0.001562344971
/Vel      : -1.759397427 -0.175135095  0.272864536
R (UA):    0.003524733375
XYZ (RagSatu):      -1.377          7.713          -3.874
R (RagSatu):      8.740
Elem.Orbitali: -0.000562367933 -1.251903331362 -0.000941546400
                -0.000145082066 -0.000790852421 -0.003046795821
Inclin.(gradi):      0.361   Eccentric.:      0.000953
Semias.Mag(UA):      0.00352418   Param. Gravitaz.:  0.011283071279
~~~~~

```

```

Satellite.nro: 6      JD=> 2453364.50000      Titan
Vett.Pos      : -0.008337328772  0.000851581980  0.000384984098
/Vel         :   -0.067975662 -1.012134552  0.528888956
R (UA)       : 0.008389544426
XYZ (RagSatu):      -20.674           2.112           0.955
R (RagSatu) :      20.803
Elem.Orbitali: -0.000139998035  0.111953953163 -0.027928209954
              0.006716776377 -0.002957670648 -0.001534070780
Inclin.(gradi):      0.382      Eccentric.:      0.028725
Semias.Mag(UA):      0.00816823      Param. Gravitaz.: 0.011285692529
~~~~~
Satellite.nro: 7      JD=> 2453364.50000      Hyperion
Vett.Pos      : -0.003868588413 -0.007083028165  0.003934888838
/Vel         :    1.082324299 -0.434664695  0.108081484
R (UA)       : 0.008978786914
XYZ (RagSatu):      -9.593           -17.564           9.757
R (RagSatu) :      22.264
Elem.Orbitali: 0.001757737046  1.419380376681 -0.043474708632
              0.103570594004 -0.008838017291 -0.003769052892
Inclin.(gradi):      1.101      Eccentric.:      0.112325
Semias.Mag(UA):      0.00988680      Param. Gravitaz.: 0.011283022875
~~~~~
Satellite.nro: 8      JD=> 2453364.50000      Japetus
Vett.Pos      : -0.023174799601 -0.005180635585  0.005909984615
/Vel         :    0.173369381 -0.636665109  0.114867350
R (UA)       : 0.024471171606
XYZ (RagSatu):      -57.466           -12.846           14.655
R (RagSatu) :      60.680
Elem.Orbitali: -0.001598003282  0.466419392980 -0.025317308310
              -0.009898673920 -0.112488394147 -0.075276137486
Inclin.(gradi):      15.558      Eccentric.:      0.027184
Semias.Mag(UA):      0.02382618      Param. Gravitaz.: 0.011283057514
~~~~~

```

### 3 Spiegazione dei risultati ottenuti

Esaminiamo in dettaglio i risultati di Titano, ovvero del satellite n.ro 6, il più grande di tutto il sistema.

Nelle prime 4 righe del file risultati (SAT.RIS), riportate sotto, vengono evidenziati i dati generali e la data dell'effemeride espressa in giorni giuliani (JD). Successivamente i due vettori *posizione* e *velocità* planeto-centrici (e piano *xy* sull'eclittica media) rispettivamente espressi in unità astronomiche (UA) e in UA/giorno, e quindi il raggio vettore, ricavato dalle 3 componenti del vettore posizione.

```

Satellite.nro: 6      JD=> 2453364.50000      Titan
Vett.Pos      : -0.008337328772  0.000851581980  0.000384984098
/Vel         :   -0.067975662 -1.012134552  0.528888956
R (UA)       : 0.008389544426

```

Per una migliore comprensione, nelle due righe successive è trascritto il vettore posizione saturno-centrico (e con piano di riferimento *eclittico*) espresso in unità di Raggio Equatoriale di Saturno ( $R_{eq} = 60330$  km).

Nelle ultime due righe sono riportati alcuni elementi delle orbite ellittiche dei satelliti, vale a dire *inclinazione*, *eccentricità* e *semiasse maggiore*.

XYZ (RagSatu):	-20.674	2.112	0.955
R (RagSatu):	20.803		
Elem.Orbitali:	-0.000139998035	0.111953953163	-0.027928209954
	0.006716776377	-0.002957670648	-0.001534070780
Inclin.(gradi):	0.382	Eccentric.:	0.028725
Semias.Mag(UA):	0.00816823	Param. Gravitaz.:	0.011285692529

Gli elementi orbitali delle righe intermedie non sono quelli classici tradizionali ( $a, e, M, i, \Omega, \omega$ ) ma gli elementi NON SINGOLARI ( $p, \lambda, h, k, P, Q$ ) che *non degenerano* in presenza di inclinazioni molto ridotte (per  $i=0$ ,  $[\omega, \Omega]$  sono indeterminati) o di orbite quasi circolari (per  $e=0$ ,  $[\omega, M]$  indeterminati).

Nel nostro caso la prima grandezza  $p = -0.000\ 139\ 998\ 035$  è il parametro di perturbazione del semiasse maggiore, noto il quale si è calcolato ( $a$ ). Abbiamo poi nell'ordine la longitudine media  $\lambda = 0.111\ 953\ 953\ 163$  in radianti e le 4 *variabili ellittiche* adimensionali  $h = -0.027\ 928\ 209\ 954$ ,  $k = 0.006\ 716\ 776\ 377$ ,  $P = -0.002\ 957\ 670\ 648$  e  $Q = -0.001\ 534\ 070\ 780$ . Queste sono espresse dalle seguenti equazioni:

$$\mathbf{h} = e \cdot \sin \varpi$$

$$\mathbf{k} = e \cdot \cos \varpi$$

$$\mathbf{P} = \sin \frac{i}{2} \cdot \sin \Omega$$

$$\mathbf{Q} = \sin \frac{i}{2} \cdot \cos \Omega$$

$$\lambda = \text{Longitudine media}$$

$$\mathbf{a} = \text{Semiasse maggiore}$$

Da esse si può risalire, con facili passaggi trigonometrici, all'inclinazione ( $i$ ) e all'eccentricità ( $e$ ) che sono state tabulate nel file risultati, come detto sopra, e alle altre due grandezze ( $\varpi, \Omega$ ) che non sono riportate per non appesantire la trattazione.

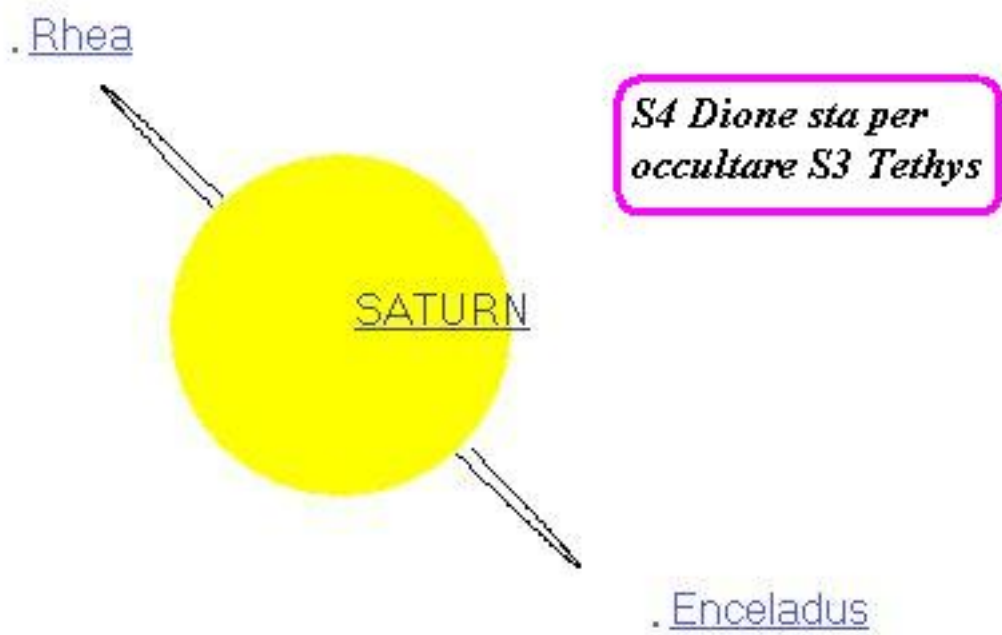
Ricordiamo infine che la *longitudine del pericentro*  $\varpi = \omega + \Omega$  e che l'anomalia media vale  $M = \lambda - \varpi$ .

## 4 Sito telematico

URL per il prelievo del programma e dei dati (satsatu.tar.gz)

<http://spazioinwind.libero.it/joematara/care.htm>

-----  
*Fine: 14.07.2004*



1995-09-21 03:10

Dione → ← Tethys

Figura 1: Occultazione di Tethys (S3) da parte di Dione (S4)

Astron. Astrophys. 297, 588–605 (1995)

# **TASS1.6: Ephemerides of the major Saturnian satellites**

**A. Vienne and L. Duriez**

Université des Sciences et Technologies de Lille, Laboratoire d'Astronomie  
1 Impasse de l'Observatoire, F-59000 Lille, France

Received 12 July 1994 / Accepted 16 September 1994

**Abstract.** We recall the main features of TASS, a new theory of high precision (about ten kilometers), for the satellites Mimas, Enceladus, Tethys, Dione, Rhea, Titan and Japetus. It is analytical with respect to the dynamical parameters of the Saturnian system, allowing to adjust them by fitting TASS to observations.

Figura 2: Frontespizio della pubblicazione della Teoria