

AEROSPACE ROBOTICS DESIGN PROJECT, ACADEMIC YEAR 2017 – 2018

The project consists of a preliminary design of an interplanetary mission using the patched conics technique.

The project has two missions: Mission 1 for students with Lastname initials (A – D), Mission 2 for students with Lastname initials (E – Z). Even though students can exchange ideas, the project must be the result of individual effort.

The project's results should be presented as:

- 1 Report (PDF and paper formats)
- 2 Powerpoint presentation
- 3 Software code well documented and to be run at the exam

1 Report

The report contains a detailed description of the work performed. In particular:

- a table of content,
- A summary of the project (half page),
- the statement of the problem,
- bibliographic references used for the work,
- any hypothesis/assumption made,
- all computations required for the work,
- all the obtained results in numerical and graphical form,
- the conclusions including issues and problems encountered,
- a user's guide to the software developed for the project itself and any simulator/off the shelf code needed for the work.
- The report can be written in either Italian or English.

2 Presentation

The presentation should be made in Powerpoint. It should present a synthesis of the work described in the report, with a summary of all the results, the main formulas, graphical information of intermediate and final results, and animations of the trajectories designed in the project itself.

3 Software code

All the code developed/used in the project should be presented and available for testing during the final exam. The code should be commented and structured in such a way to be usable from an external user. Development of GUI and **use of Matlab is strongly suggested**. Its use could be also incorporated in the Powerpoint presentation if necessary for a better description of the work. There exists available Matlab code that can be found from the Matlab Central file exchange site, and code provided with this project.

Mission 1

The objective is to design an interplanetary trajectory from Earth to Uranus, and to compare it with a Hohmann transfer to the same planet. The trajectory should be designed with the patched conics method and Keplerian motion. The trajectory should be composed by:

1. Initial Earth circular equatorial parking orbit at 200 Km of altitude.
2. Departing date: Any time after January 1st 2020.
3. Hyperbolic escape from Earth using its sphere of influence

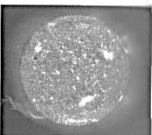
4. At least 2 planetary Fly – By (using appropriate choices of planet(s) including Earth), justified in terms of ΔV consumption and time of flight.
5. Selection of Heliocentric trajectories and appropriate impulsive maneuvers.
6. Hyperbolic capture by Uranus sphere of influence.
7. Acquisition of a circular polar orbit around Uranus at an altitude of 1000 Km.
8. Computation of a direct Hohmann transfer to achieve the same objectives.
9. Comparison of the two designs with respect to total ΔV and time of flight.

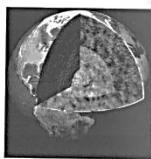
Mission 2

The objective is to design an interplanetary trajectory from Earth to Venus, and to use a Hohmann transfer to return to Earth. The trajectory should be designed with the patched conics method and Keplerian motion. The trajectory should be composed by:

1. Initial Earth circular equatorial parking orbit at 200 Km of altitude.
2. Departing date: Any time after January 1st 2018.
3. Hyperbolic escape from Earth using its sphere of influence
4. At least 1 planetary Fly – By (using appropriate choices of planet(s) including Earth), justified in terms of ΔV consumption and time of flight.
5. Selection of Heliocentric trajectories and appropriate impulsive maneuvers.
6. Hyperbolic capture by Venus sphere of influence.
7. Acquisition of a circular polar orbit around Venus at an altitude of 500 Km.
8. Orbit around Venus for at least 1 month.
9. Computation of a direct Hohmann transfer to return to Earth.
10. Earth Capture and return to the initial parking orbit.

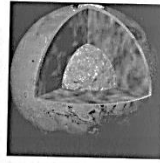
Appendix: Planetary data taken from “Elementi di Meccanica del Volo Spaziale”, Mengali G., Pisa University Press, 2013. (Nota che i dati sono riferiti a J2000 e non alla data del lancio)

D.2 Sole	
Simbolo astronomico: ☉	
Caratteristiche fisiche	
Raggio medio:	6.96×10^5 km
Ellitticità:	0.00005
Massa:	1.9891×10^{30} kg
Volume:	$1.412\,000 \times 10^{12}$ km ³
Parametro gravitazionale:	$132\,712\,439\,935$ km ³ s ⁻²
Densità media:	1.41 g cm ⁻³
Momento d'inerzia (I/MR^2):	0.059
Magnitudine visuale V(1,0):	-26.74
Magnitudine assoluta:	+4.83
Luminosità:	384.6×10^{24} J s ⁻¹
Energia prodotta:	0.1937×10^{-2} J kg ⁻¹
Emissione superficiale:	63.29×10^6 J m ⁻² s ⁻¹
Classe spettrale:	G2 V
Acc. di gravità media:	274 m s ⁻²
Velocità di fuga:	617.7 km s ⁻¹
Parametri orbitali	
Periodo di rotazione siderale: (ϕ latitudine eliografica)	$26.90 + 5.2 \sin^2(\phi)$ d
Obliquità sull'orbita:	7.25 deg
Velocità relativa alle stelle vicine:	1.94×10^4 m s ⁻¹
Polo nord di rotazione	
Ascensione retta:	286.13
Declinazione:	63.87
Data di riferimento:	1.5 Gen. 2000 (JD 2 451 545.0)
Magnetosfera	
Campo magnetico polare:	1 – 2 gauss
Macchie:	3000 gauss
Protuberanze:	10 – 100 gauss
Atmosfera	
Pressione dei gas alla superficie:	0.868 mb
Temperatura effettiva:	5778 K
Temperatura nella fotosfera:	min 4 400 K max 6 600 K
Temperatura all'esterno della cromosfera:	~30 000 K
Spessore della fotosfera:	~400 km
Spessore della cromosfera:	~2500 km
Ciclo delle macchie solari:	11.4 yr
Composizione della fotosfera:	91% H, 8.9% He tracce di O, C, Ne, N, Fe, Mg, Si, S.
Parametri di osservazione	
Diametro apparente dalla Terra:	@ 1 AU 1919 secondi d'arco max 1952 secondi d'arco min 1 887 secondi d'arco

D.5 Terra	
Simbolo astronomico: ⊕	
Caratteristiche fisiche	
Raggio medio:	$6371.01(\pm 0.02)$ km
Raggio equatoriale:	6378.136 km
Raggio polare:	6356.752 km
Ellitticità:	1/298.257
Massa:	59.736×10^{23} kg
Volume:	108.321×10^{10} km ³
Parametro gravitazionale:	$398\,600$ km ³ s ⁻²
Densità media:	5.515 g cm ⁻³
Momento d'inerzia (I/MR^2):	0.3308
Magnitudine visuale V(1,0):	-3.86
Albedo geometrico:	0.367
Albedo planetario:	0.306
Velocità media di rotazione:	7.292115×10^{-5} rad s ⁻¹
Irraggiamento solare:	1367.6 W m ⁻²
Temperatura del corpo nero:	254.3 K
Acc. di gravità al polo:	9.8321863685 m s ⁻²
Acc. di gravità all'equatore:	9.7803267715 m s ⁻²
Velocità di fuga:	11.186 km s ⁻¹
Rapporto di massa Sole/(Terra+Luna):	$328900.56(\pm 0.02)$
Parametri orbitali	
Periodo di rotazione siderale:	23.9345 h
Periodo di rivoluzione siderale:	365.256 d
Periodo di rivoluzione tropicale:	365.242 d
Durata del giorno:	24 h
Perielio:	147.09×10^6 km
Afelio:	152.10×10^6 km
Obliquità sull'orbita:	23.45 deg
Elementi orbitali principali (J2000)	
a:	1.00000011 AU
e:	0.01671022
i:	0.00005 deg
Ω :	-11.26064 deg
$\tilde{\omega}$:	102.94719 deg
L:	100.46435 deg
Polo nord di rotazione	
Ascensione retta (deg):	0.00 – 0.641 T
Declinazione (deg):	90.00 – 0.557 T
Data di riferimento:	1.5 Gen. 2000
(T = secoli giuliani dalla data di riferimento)	
Magnetosfera	
Intensità del dipolo:	0.3076 gauss
Lat/Long dell'asse del dipolo:	78.6 deg N/70.1 deg W
Offset:	$0.0725 \times$ raggio medio
Lat/Long del vettore di offset:	18.3 deg N/147.8 deg E
Atmosfera	
Pressione alla superficie:	1014 mbar
Altezza di scala:	8.5 km
Temperatura media:	288 K (15 °C)
Armoniche zonali	
J_2 :	1.08263×10^{-3}
J_3 :	$-2.5321531 \times 10^{-6}$
J_4 :	$-1.6109876 \times 10^{-6}$
J_5 :	-0.15×10^{-6}
J_6 :	0.57×10^{-6}

D.7 Marte

Simbolo astronomico: \circ



Caratteristiche fisiche

Raggio medio:	3389(± 0.04) km
Raggio equatoriale:	3397 km
Raggio polare:	3375 km
Ellitticità:	0.00648
Massa:	6.4185×10^{23} kg
Volume:	16.318×10^{10} km ³
Parametro gravitazionale:	$42828 \text{ km}^3 \text{ s}^{-2}$
Densità media:	$3.9335(\pm 0.0004) \text{ g cm}^{-3}$
Momento d'inerzia (I/MR^2):	0.366
Magnitudine visuale V(1,0):	-1.52
Albedo geometrico:	0.15
Albedo planetario:	0.250
Irradiazione solare:	589.2 W m^{-2}
Temperatura del corpo nero:	210.1 K
Acc. di gravità all'equatore:	3.69 m s^{-2}
Velocità di fuga:	5.027 km s^{-1}
Armonica zonale J_2 :	1960.45×10^{-6}
Rapporto di massa Sole/(sistema Marte):	$3098708(\pm 9)$

Parametri orbitali

Periodo di rotazione siderale:	24.622962 h
Periodo di rivoluzione siderale:	686.98 d
Periodo di rivoluzione tropicale:	686.973 d
Periodo sinodico:	779.94 d
Durata del giorno:	24.6597 h
Perielio:	206.62×10^6 km
Afelio:	249.23×10^6 km
Obliquità sull'orbita:	25.19 deg

D.7 Marte

Elementi orbitali principali (J2000)

a:	1.52366231 AU
e:	0.09341233
i:	1.85061 deg
Ω :	49.57854 deg
$\tilde{\omega}$:	336.04084 deg
L:	355.45332 deg

Polo nord di rotazione

Ascensione retta (deg):	317.681 - 0.108 T
Declinazione (deg):	52.886 - 0.061 T
Data di riferimento:	1.5 Gen. 2000
(T = secoli giuliani dalla data di riferimento)	

Parametri di osservazione

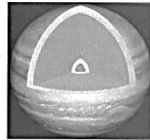
Diametro apparente dalla Terra:	max 25.7 secondi d'arco min 3.5 secondi d'arco
---------------------------------	---

Atmosfera

Pressione alla superficie:	~ 6.1 mbar
Altezza di scala:	11.1 km
Temperatura media:	~ 210 K (-63 °C)
Composizione:	95.32% CO ₂ , 2.7% N ₂ , 1.6% AR, 0.13% O ₂ , 0.08% CO tracce di H ₂ O, NO, Ne, HDO, Kr, Xe.

D.8 Giove

Simbolo astronomico: ♃



Caratteristiche fisiche

Raggio medio:	69911(± 6) km
Raggio equatoriale:	71492 km
Raggio polare:	66854 km
Ellitticità:	0.06487
Massa:	18986×10^{23} kg
Parametro gravitazionale:	$126711995 \text{ km}^3 \text{ s}^{-2}$
Volume:	143128×10^{10} km ³
Densità media:	1.326 g cm^{-3}
Momento d'inerzia (I/MR^2):	0.254
Magnitudine visuale V(1,0):	-9.4
Albedo geometrico:	0.52
Albedo planetario:	0.343
Irradiazione solare:	50.5 W m^{-2}
Temperatura del corpo nero:	110 K
Acc. di gravità all'equatore:	$23.12(\pm 0.01) \text{ m s}^{-2}$
Velocità di fuga:	59.5 km s^{-1}
Armonica zonale J_2 :	14736×10^{-6}
Rapporto di massa Sole/(sistema Giove):	$1047.3486(\pm 0.0008)$

Parametri orbitali

Periodo di rotazione siderale:	9.92425 h
Periodo di rivoluzione siderale:	4332.589 d
Periodo di rivoluzione tropicale:	4330.595 d
Periodo sinodico:	398.88 d
Durata del giorno:	9.9259 h
Perielio:	740.52×10^6 km
Afelio:	816.62×10^6 km
Obliquità sull'orbita:	3.10 deg

Elementi orbitali principali (J2000)

a:	5.20336301 AU
e:	0.04839266
i:	1.30530 deg
Ω :	100.55615 deg
$\tilde{\omega}$:	14.75385 deg
L:	34.40438 deg

Polo nord di rotazione

Ascensione retta (deg):	268.05 - 0.009 T
Declinazione (deg):	64.49 + 0.003 T
Data di riferimento:	1.5 Gen. 2000
(T = secoli giuliani dalla data di riferimento)	

Magnetosfera

Intensità del dipolo:	4.28 gauss
Inclinazione del dipolo rispetto all'asse di rotazione:	9.6 deg
Longitudine:	201.7 deg

Parametri di osservazione

Diametro apparente dalla Terra:	max 49 secondi d'arco min 29.8 secondi d'arco
---------------------------------	--

Atmosfera

Pressione alla superficie:	$\gg 1000$ mbar
Altezza di scala:	11.1 km
Temperatura @ 1 bar:	~ 165 K (-108 °C)
Composizione:	89.8% H ₂ O, 10.2% He tracce di CH ₄ , NH ₃ , HD, H ₂ O.

D.9 Saturno

Simbolo astronomico: ♄



Caratteristiche fisiche

Raggio medio:	58 232(±6) km
Raggio equatoriale:	60 268 km
Raggio polare:	54 364 km
Ellitticità:	0.09796
Massa:	$5 684.6 \times 10^{23}$ kg
Volume:	$82 713 \times 10^{10}$ km ³
Parametro gravitazionale:	$37 939 519 \text{ km}^3 \text{ s}^{-2}$
Densità media:	0.6873 g cm^{-3}
Momento d'inerzia (I/MR^2):	0.210
Magnitudine visuale $V(1,0)$:	-8.88
Albedo geometrico:	0.47
Albedo planetario:	0.342
Irradiazione solare:	14.9 W m^{-2}
Temperatura del corpo nero:	81.1 K
Acc. di gravità all'equatore:	$8.96(\pm 0.01) \text{ m s}^{-2}$
Velocità di fuga:	35.5 km s^{-1}
Armonica zonale J_2 :	$16 298 \times 10^{-6}$
Rapporto di massa Sole/(sistema Saturno):	$3 497.898 (\pm 0.018)$

Parametri orbitali

Periodo di rotazione siderale:	10.65622 h
Periodo di rivoluzione siderale:	10 759.22 d
Periodo di rivoluzione tropicale:	10 746.94 d
Periodo sinodico:	378.09 d
Durata del giorno:	10.656 h
Perielio:	$1 352.55 \times 10^6$ km
Afelio:	$1 514.5 \times 10^6$ km
Obliquità sull'orbita:	26.70 deg

Elementi orbitali principali (J2000)

a:	9.53707032 AU
e:	0.05415060
i:	2.48446 deg
Ω :	113.71504 deg
$\tilde{\omega}$:	92.43194 deg
L:	49.94432 deg

Polo nord di rotazione

Ascensione retta (deg):	
Declinazione (deg):	$40.5954 - 0.0577 T$
Data di riferimento:	$83.5380 - 0.0066 T$
(T = secoli giuliani dalla data di riferimento)	1.5 Gen. 2000

Magnetosfera

Intensità del dipolo:	0.210 gauss
Inclinazione del dipolo	
rispetto all'asse di rotazione:	< 1 deg

Parametri di osservazione

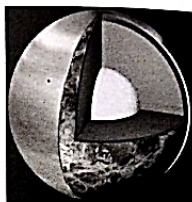
Diametro apparente dalla Terra:	
	max 20.1 secondi d'arco
	min 14.5 secondi d'arco

Atmosfera

Pressione alla superficie:	≥ 1000 mbar
Altezza di scala:	59.5 km
Temperatura @ 1 bar:	$\sim 134 \text{ K } (-139 \text{ }^\circ\text{C})$
Composizione:	96.3% H ₂ , 3.25% He tracce di CH ₄ , NH ₃ , HD, C ₂ H ₆ .

D.4 Venere

Simbolo astronomico: ♀



Caratteristiche fisiche

Raggio medio:	6051.84(±0.01) km
Raggio equatoriale:	6051.8 km
Raggio polare:	6051.8 km
Ellitticità:	0
Massa:	48.685×10^{23} kg
Volume:	92.843×10^{10} km ³
Parametro gravitazionale:	$324\,858 \text{ km}^3 \text{ s}^{-2}$
Densità media:	5.204 g cm^{-3}
Momento d'inerzia (I/MR^2):	0.33
Magnitudine visuale $V(1,0)$:	-4.40
Albedo geometrico:	0.65
Albedo planetario:	0.750
Irradiazione solare:	2613.9 W m^{-2}
Temperatura del corpo nero:	231.7 K
Acc. di gravità all'equatore:	8.87 m s^{-2}
Velocità di fuga:	10.361 km s^{-1}
Armonica zonale J_2 :	4.458×10^{-6}
Rapporto di massa Sole/Venere:	408 523.71 (±0.06)

Parametri orbitali

Periodo di rotazione siderale:	-5 832.444 h
Periodo di rivoluzione siderale:	224.701 d
Periodo di rivoluzione tropicale:	224.695 d
Periodo sinodico:	583.92 d
Durata del giorno:	2802.0 h
Perielio:	107.48×10^6 km
Afelio:	108.94×10^6 km
Obliquità sull'orbita:	177.40 deg

Elementi orbitali principali (J2000)

a:	0.72333199 AU
e:	0.00677323
i:	3.39471 deg
Ω :	76.68069 deg
$\tilde{\omega}$:	131.53298 deg
L:	181.97973 deg

Posizione del polo nord di rotazione

Ascensione retta:	272.76 deg
Declinazione :	67.16 deg

Parametri di osservazione

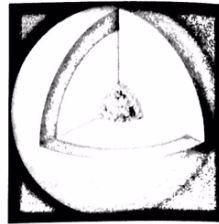
Diametro apparente dalla Terra:	max 66 secondi d'arco min 9.7 secondi d'arco
---------------------------------	---

Atmosfera

Pressione alla superficie:	92 mbar
Altezza di scala:	15.9 km
Temperatura media:	737 K (464 °C)
Composizione:	96.5% CO ₂ , 3.5% N ₂ tracce di SO ₂ , Ar, H ₂ O, CO, He, Ne.

D.10 Urano

Simbolo astronomico: ♅



Caratteristiche fisiche

Raggio medio:	25 362(±12) km
Raggio equatoriale:	25 559 km
Raggio polare:	24 973 km
Ellitticità:	0.02293
Massa:	868.32×10^{23} kg
Volume:	$6 833 \times 10^{10}$ km ³
Parametro gravitazionale:	$5 780 158 \text{ km}^3 \text{ s}^{-2}$
Densità media:	1.318 g cm^{-3}
Momento d'inerzia (I/MR^2):	0.225
Magnitudine visuale V(1,0):	-7.19
Albedo geometrico:	0.51
Albedo planetario:	0.3
Irradiazione solare:	3.71 W m^{-2}
Temperatura del corpo nero:	58.2 K
Acc. di gravità all'equatore:	$8.69(\pm 0.01) \text{ m s}^{-2}$
Velocità di fuga:	21.3 km s^{-1}
Armonica zonale J_2 :	$3 343.43 \times 10^{-6}$
Rapporto di massa Sole/(sistema Urano):	22 902.98 (±0.03)

Parametri orbitali

Periodo di rotazione siderale:	-17.24(±0.01) h
Periodo di rivoluzione siderale:	30 685.4 d
Periodo di rivoluzione tropicale:	30 588.74 d
Periodo sinodico:	369.66 d
Durata del giorno:	17.24 h
Perielio:	$2 741.3 \times 10^6$ km
Afelio:	$3 003 \times 10^6$ km
Obliquità sull'orbita:	97.90 deg

Elementi orbitali principali (J2000)

a: 19.19126393 AU
e: 0.04716771
i: 0.76986 deg
 Ω : 74.22988 deg
 $\tilde{\omega}$: 170.96424 deg
L: 313.23218 deg

Polo nord di rotazione

Ascensione retta: 257.43 deg
Declinazione : -57.1 deg

Magnetosfera

Intensità del dipolo: 0.228 gauss
Inclinazione del dipolo
rispetto all'asse di rotazione: 58.6 deg
Offset: $0.3 \times$ raggio medio
(lungo l'asse di rotazione)

Parametri di osservazione

Diametro apparente dalla Terra:
max 4.1 secondi d'arco
min 3.3 secondi d'arco

Atmosfera

Pressione alla superficie: $\gg 1000$ mbar
Altezza di scala: 27.7 km
Temperatura @ 1 bar: ~ 76 K (-197 °C)
Composizione: 82.5% H₂, 15.2% He, 2.3% CH₄
tracce di HD.