

IRIS-LAGEOS 2
METODOLOGIE D'INDAGINE
PER IL CALCOLO DELL'ORBITA
DI TRASFERIMENTO E DELLA
CONFIGURAZIONE DEGLI
STADI SUPERIORI

rapporto interno C89-16

luglio 1989

A. Cardillo
C. Pardini

CNUCE - Istituto del C.N.R.
Via S. Maria, 36 - 56100 Pisa
Tel. - (050) 593111
Telex - 500371 CNUCE
Telefax - (050) 576751

Luglio 1989

Rapporto interno C89-16

A. Cardillo, C. Pardini

IRIS-LAGEOS 2
METODOLOGIE D'INDAGINE PER IL CALCOLO
DELL'ORBITA DI TRASFERIMENTO E DELLA
CONFIGURAZIONE DEGLI STADI SUPERIORI

Contenuto

Introduzione	1
Schematizzazione del problema da risolvere	2
Vincoli	2
Determinazione degli incrementi di velocità'	4
Ipotesi fondamentali e caratteristiche delle manovre	4
Metodologia d'indagine	4
Risultati numerici	9
Caricamento dei motori	13
Simboli ed equazioni fondamentali	13
Metodologia d'indagine	14
Risultati numerici	16
Riferimenti	19

Schematizzazione del problema da risolvere

Considerati i *vincoli* sull'assetto, sulle orbite di parcheggio ed operativa, sugli incrementi di velocità minimi/massimi che IRIS e Mage-1s possono fornire, il problema da risolvere può essere suddiviso in due parti.

Parte 1 - Determinazione degli incrementi di velocità:

Sono determinati gli incrementi di velocità (in senso vettoriale) da applicare al perigeo/apogeo dell'orbita di trasferimento per trasportare il satellite dall'orbita di parcheggio a quella operativa;

si verifica che IRIS e Mage-1s possono fornire nominalmente gli incrementi richiesti.

Parte 2 - Caricamento dei motori:

Viene determinata la quantità di propellente con cui caricare IRIS e Mage-1s in modo da fornire i delta-v richiesti, rispettando i vincoli imposti dai sistemi propulsivi e dalle caratteristiche di massa del composito.

Vincoli

- **Orbita di parcheggio nominale**
circolare
altezza 296 Km
inclinazione 28,5 gradi

- **Orbita operativa nominale**
circolare
altezza 6000 Km
inclinazione 52 gradi

costante nel sistema di riferimento inerziale equatoriale
 geocentrico: l'assetto allo sparo di apogeo e' predeterminato
 da quello allo sparo di perigeo

- **Assetto**

- **Sistema propulsivo**

IRIS e Mage-1s sono motori a propellente solido
 le spinte applicate dai due motori hanno stessa
 direzione ma versi opposti

- **Motore di perigeo (IRIS)**

1590.3 m/s \leq Delta-V \leq 2407.5 m/s
 52770 N \leq modulo della spinta \leq 56380 N
 1181 Kg \leq caricamento \leq 1574 Kg
 impulso specifico = 290.6 s

- **Motore di apogeo (Mage-1s)**

massima spinta = 26950 N
 durata dello sparo corrispondente alla massima spinta = 43.3 s
 328 Kg \leq caricamento \leq 410 Kg
 impulso specifico = 290.4 s

- **Composito**

massa struttura IRIS = 256 Kg
 massa struttura Mage-1s = 39.8 Kg
 massa satellite = 408.4 Kg
 masse inerti = 151.2 Kg

calcolo dell'assetto di sparo;

● **manovra di apogeo**

calcolo della variazione d'inclinazione prodotta; ...
le caratteristiche del punto 3 precedente;
calcolo dell'assetto di sparo con cui ottenere un'orbita di trasferimento avente
scelta di un delta-v (modulo) con cui effettuare la manovra;

● **manovra di perigeo**

Gli incrementi di velocità richiesti sono stati determinati applicando iterativamente
il seguente metodo:

Metodologia d'indagine

1. le manovre effettuate sono impulsive ed hanno come punti di applicazione il perigeo e l'apogeo dell'orbita di trasferimento;
 2. il perigeo di trasferimento e' posizionato al nodo ascendente (discendente) dell'orbita di parcheggio (non e' ipotizzata alcuna correzione del nodo);
 3. il raggio di apogeo dell'orbita di trasferimento e' uguale al semiasse maggiore dell'orbita operativa;
 4. la componente in piano di ciascun Δv e' parallela al vettore velocità che il com-
posito possiede all'istante in cui e' eseguita la manovra d'interesse.
- Per portare il satellite dall'orbita di parcheggio a quella operativa si e' ipotizzato un
trasferimento di tipo Hohmann generalizzato avente le seguenti caratteristiche:

Ipotesi fondamentali e caratteristiche delle manovre

Determinazione degli incrementi di velocità

In Fig.1 vengono mostrati gli angoli di pitch (α) e di yaw (Ψ), adoperati per definire, nel sistema orbitale tangente locale, l'orientazione di un vettore.

Assetto allo sparo di perigeo

Pertanto, il problema trattato non ammette soluzioni se nel range di incrementi di velocità che può fornire IRIS non esiste alcun valore soddisfacente la 1. Nel seguito si indicherà con $\{\Delta V_j\}$ l'insieme dei moduli delta-v che, all'interno dei valori consentiti dal motore IRIS, soddisfanno anche la disuguaglianza suddetta.

dove con $|V_1|$ si è indicato il modulo della velocità del composito sull'orbita di parcheggio.

$$|\Delta V_j| > |V_{P1}| - |V_1| \quad [1]$$

Nel caso studiato, l'esistenza di un vincolo sull'assetto e di una differenza d'inclinazione tra le orbite di parcheggio ed operativa, impone che il delta-v scelto (ΔV_j) per effettuare lo sparo di perigeo soddisfi la seguente disuguaglianza:

Tenuto conto delle caratteristiche dell'orbita di parcheggio e di quella operativa nonché delle ipotesi fatte sul tipo di trasferimento, il modulo della velocità ($|V_{P1}|$), che il composito possiede al perigeo dell'orbita di trasferimento, risulta unicamente determinato e può essere calcolato utilizzando direttamente l'equazione di vis-viva (Rif.2).

Scelta del delta-v per lo sparo di perigeo

controllo dell'inclinazione totale ottenuta in seguito alle due manovre; se necessario scelta di un nuovo delta-v (modulo) con cui ripetere il processo di ricerca della soluzione.

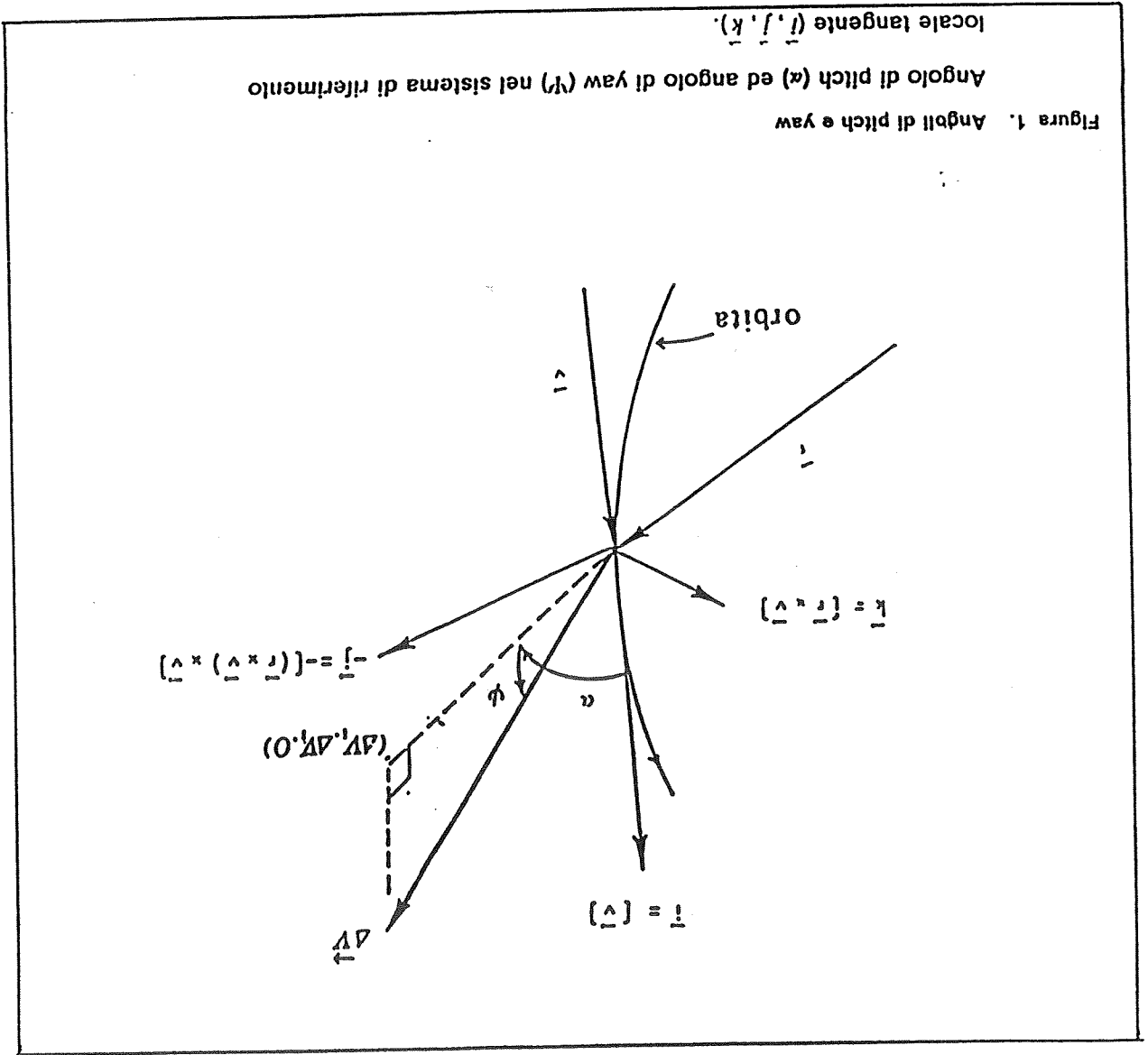
● **controlli**

calcolo del delta-v (modulo) con cui effettuare la circolarizzazione; calcolo della variazione d'inclinazione prodotta;

$$\psi_1 = \cos^{-1} \left[\frac{VP_2^2 - V_1^2 - \Delta V_2^2}{2V_1\Delta V_1} \right]$$

Nel presente caso, definire l'orientazione del vettore della-v significa individuare unicamente l'angolo di yaw, essendo il pitch nullo per le ipotesi fatte sul tipo di manovra.

Si supponga ora che IRIS possa fornire un insieme di della-v che soddisfanno la disuguaglianza 1. Scelto uno qualunque di tali moduli e facendo riferimento alla Fig.2, il teorema dei coseni consente di calcolare l'angolo di yaw (ψ_1) associato allo sparo di perigeo e quindi di definire univocamente l'assetto del satellite:



$$\Delta l_2 = \psi^M - \beta$$

Con riferimento alla Fig.3, la variazione d'inclinazione (Δl_2) prodotta in seguito allo sparo di apogeo sarà:

Variazione d'inclinazione prodotta dallo sparo di apogeo

$$\psi^M = \Delta l_1 - \psi^I$$

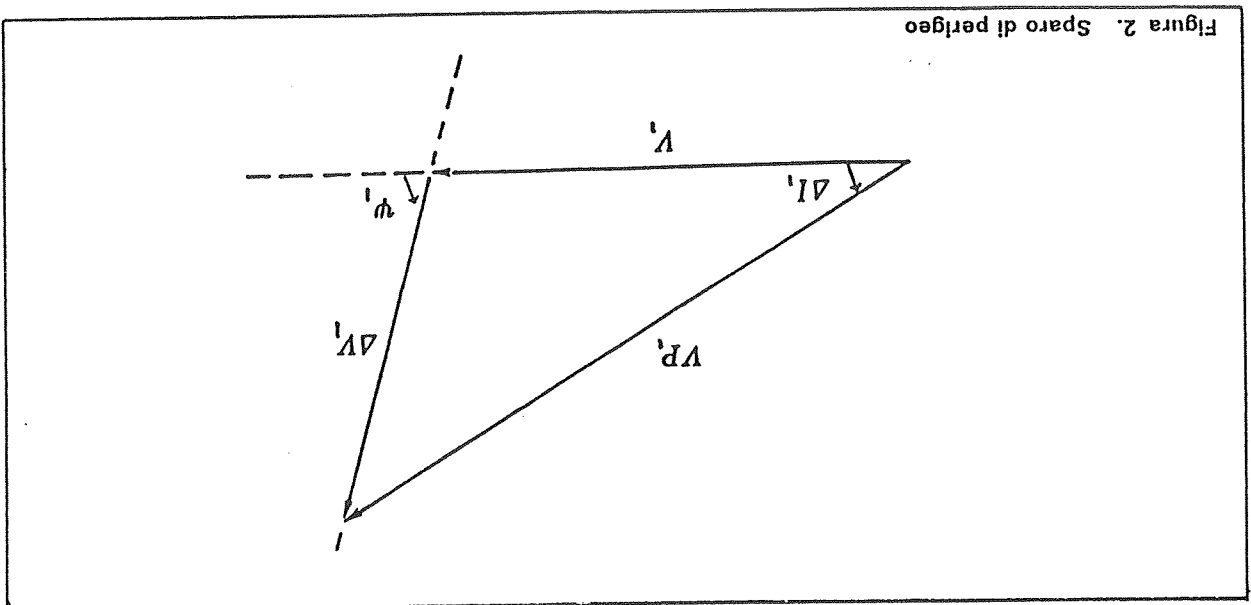
Per le ipotesi fatte sul tipo di manovra, l'angolo di pitch e' ancora nullo; l'angolo di yaw (ψ^M) per lo sparo di apogeo e' univocamente determinato dall'equazione:

Assetto allo sparo di apogeo

$$\Delta l_1 = \sin^{-1} \left[\frac{\Delta V_1 \sin \psi^I}{V_1} \right]$$

Con riferimento alla Fig.2, la variazione d'inclinazione (Δl_1) prodotta dalla manovra di perigeo risulta essere:

Variazione d'inclinazione prodotta dallo sparo di perigeo



- di stabilire se la soluzione esiste;
 - se esiste, di individuarla facilmente.
- consentira':
 raggiunta effettuando una scansione all'interno dell'insieme $\{\Delta V_i\}$. In ogni caso, una rappresentazione grafica e/o tabulare del ΔV_i in funzione del ΔV_i adoperati, l'orbita di parcheggio e quella operativa. Una tale condizione, se esiste, puo' essere (ΔV_i), ottenuta in seguito alle due manovre, uguaglia la differenza d'inclinazione fra La soluzione nominale del problema si ha quando la variazione totale d'inclinazione

Controllo sulla variazione totale d'inclinazione

$$\Delta V_M = \frac{V_2 \sin \Delta I_2}{\sin \psi_M}$$

Con riferimento alla Fig.3, il modulo del vettore delta-v (ΔV_M) da fornire per lo sparo di apogeo e' dato dall'equazione:

Modulo del delta-v per lo sparo di apogeo

V_A e' la velocita' all'apogeo dell'orbita di trasferimento e V_2 la velocita' sull'orbita operativa.

$$\beta = \sin^{-1} \left[\frac{V_A \sin \psi_M}{V_2} \right]$$

dove:

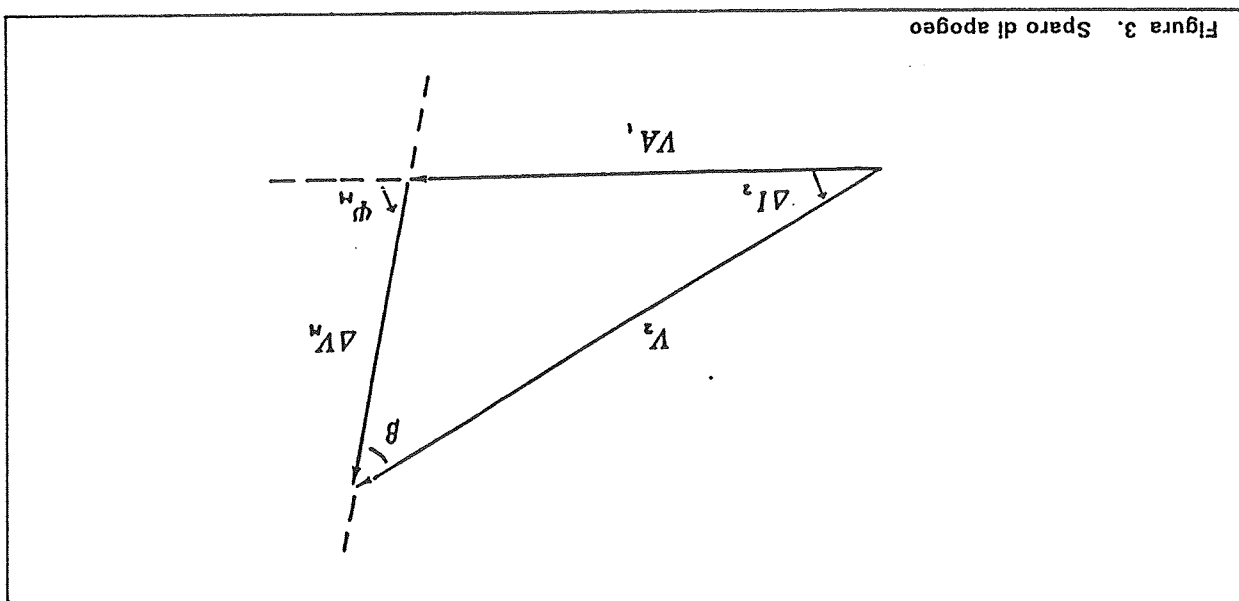


Figura 3. Sparo di apogeo

Risultati numerici

In Fig.4 sono riportati i valori dell'inclinazione dell'orbita operativa in corrispondenza del ΔV_1 scelti.

In tabella 1 sono invece riportati in dettaglio i valori di ΔV_M , Ψ_1 , Ψ_M , i_1 (inclinazione dell'orbita di trasferimento), i_2 (inclinazione dell'orbita operativa) in corrispondenza del ΔV_1 scelto.

Com'è possibile notare, la soluzione cercata si ottiene per:

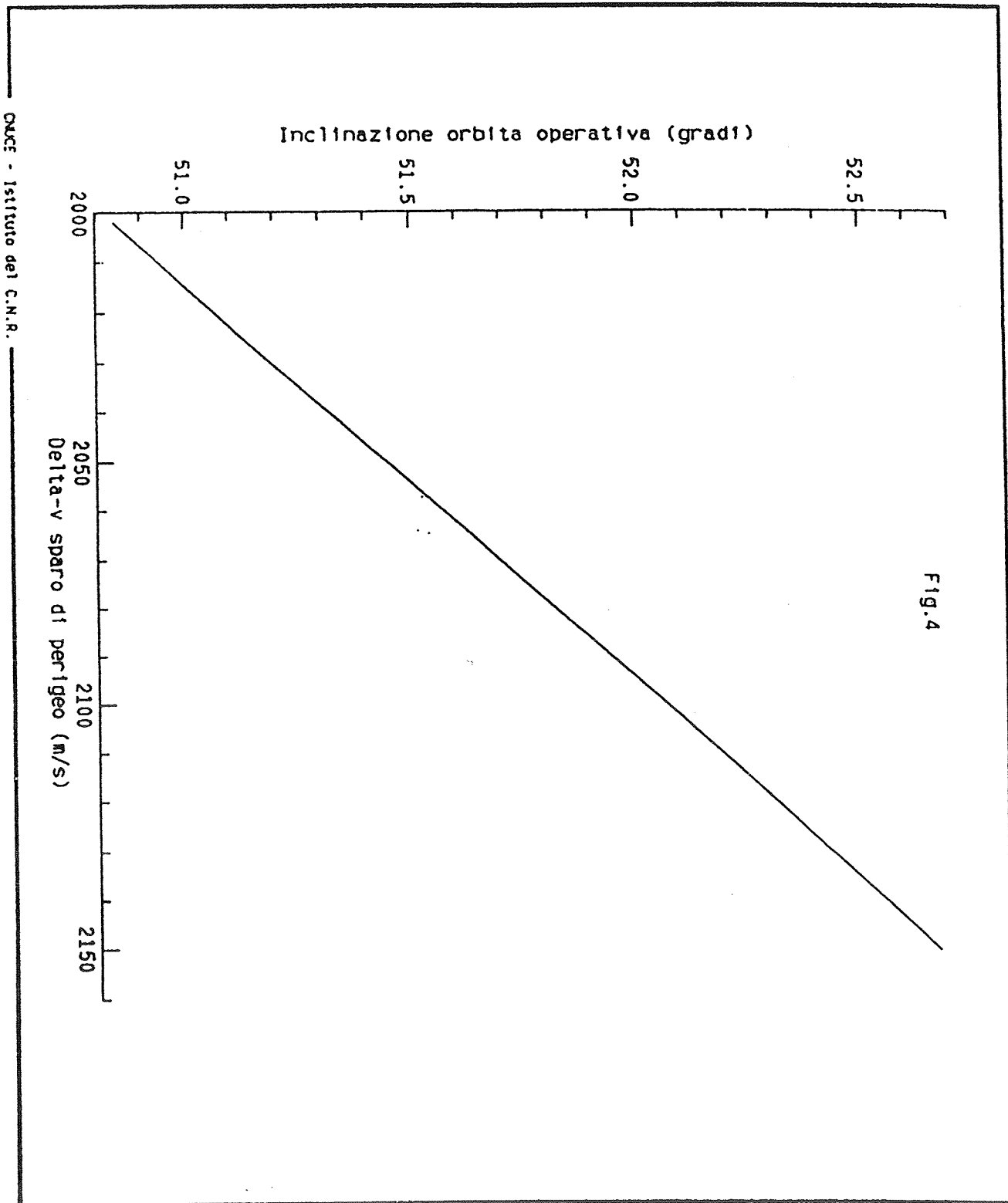
$$\Delta V_1 = 2095.35 \text{ m/s}$$

a cui corrisponde:

$$\Delta V_M = 1359.68 \text{ m/s}$$

$$\Psi_1 = 65.38 \text{ gradi}$$

$$\Psi_M = -52.89 \text{ gradi}$$



OSCE - Istituto dei C.N.R.

Fig.4

TABELLA 1

ΔV ΔV^N Ψ Ψ^N I I

2001.35289	1333.49390	63.34970	-51.63429	40.21541	50.83268
2002.35289	1333.78462	63.37236	-51.64465	40.22371	50.84454
2003.35289	1334.07508	63.39498	-51.66298	40.23200	50.85821
2004.35289	1334.36526	63.41759	-51.67730	40.24029	50.87096
2005.35289	1334.65518	63.44017	-51.69159	40.24858	50.88371
2006.35289	1334.94483	63.46273	-51.70586	40.25687	50.89645
2007.35289	1335.23422	63.48527	-51.72011	40.26516	50.90918
2008.35289	1335.52334	63.50778	-51.73434	40.27344	50.92191
2009.35289	1335.81219	63.53027	-51.74855	40.28172	50.93463
2010.35289	1336.10078	63.55274	-51.76274	40.29000	50.94735
2011.35289	1336.38910	63.57519	-51.77691	40.29828	50.96005
2012.35289	1336.67716	63.59761	-51.79105	40.30656	50.97275
2013.35289	1336.96495	63.62001	-51.80518	40.31484	50.98545
2014.35289	1337.25247	63.64239	-51.81928	40.32311	50.99814
2015.35289	1337.53973	63.66475	-51.83336	40.33139	51.01082
2016.35289	1337.82673	63.68708	-51.84742	40.33966	51.02349
2017.35289	1338.11346	63.70940	-51.86147	40.34793	51.03616
2018.35289	1338.39993	63.73168	-51.87549	40.35620	51.04882
2019.35289	1338.68613	63.75395	-51.88949	40.36446	51.06148
2020.35289	1338.97207	63.77620	-51.90347	40.37273	51.07412
2021.35289	1339.25775	63.79842	-51.91743	40.38099	51.08677
2022.35289	1339.54316	63.82062	-51.93136	40.38926	51.09940
2023.35289	1339.82831	63.84280	-51.94528	40.39752	51.11203
2024.35289	1340.11319	63.86495	-51.95918	40.40578	51.12466
2025.35289	1340.39782	63.88709	-51.97306	40.41403	51.13727
2026.35289	1340.68218	63.90920	-51.98691	40.42229	51.14988
2027.35289	1340.96627	63.93129	-52.00075	40.43054	51.16249
2028.35289	1341.25011	63.95336	-52.01456	40.43880	51.17507
2029.35289	1341.53368	63.97541	-52.02836	40.44705	51.18767
2030.35289	1341.81699	63.99743	-52.04214	40.45530	51.20026
2031.35289	1342.10004	64.01944	-52.05589	40.46355	51.21284
2032.35289	1342.38283	64.04142	-52.06963	40.47179	51.22541
2033.35289	1342.66535	64.06338	-52.08334	40.48004	51.23797
2034.35289	1342.94762	64.08532	-52.09703	40.48828	51.25053
2035.35289	1343.22962	64.10723	-52.11071	40.49652	51.26309
2036.35289	1343.51136	64.12913	-52.12436	40.50476	51.27567
2037.35289	1343.79285	64.15100	-52.13800	40.51300	51.28817
2038.35289	1344.07407	64.17285	-52.15161	40.52124	51.30071
2039.35289	1344.35503	64.19468	-52.16521	40.52948	51.31323
2040.35289	1344.63573	64.21649	-52.17878	40.53771	51.32575
2041.35289	1344.91617	64.23828	-52.19234	40.54594	51.33827
2042.35289	1345.19635	64.26005	-52.20587	40.55418	51.35078
2043.35289	1345.47628	64.28179	-52.21939	40.56241	51.36328
2044.35289	1345.75594	64.30352	-52.23289	40.57063	51.37578
2045.35289	1346.03534	64.32522	-52.24636	40.57886	51.38827
2046.35289	1346.31449	64.34690	-52.25982	40.58709	51.40075
2047.35289	1346.59337	64.36857	-52.27326	40.59531	51.41323
2048.35289	1346.87200	64.39020	-52.28667	40.60353	51.42570
2049.35289	1347.15037	64.41182	-52.30007	40.61175	51.43817
2050.35289	1347.42848	64.43342	-52.31345	40.61997	51.45062
2051.35289	1347.70633	64.45500	-52.32681	40.62819	51.46308
2052.35289	1347.98393	64.47655	-52.34015	40.63641	51.47552
2053.35289	1348.26127	64.49809	-52.35347	40.64462	51.48796
2054.35289	1348.53835	64.51960	-52.36677	40.65284	51.50040
2055.35289	1348.81517	64.54110	-52.38005	40.66105	51.51283
2056.35289	1349.09173	64.56257	-52.39331	40.66926	51.52525
2057.35289	1349.36804	64.58402	-52.40655	40.67747	51.53767
2058.35289	1349.64410	64.60545	-52.41978	40.68568	51.55008
2059.35289	1349.91989	64.62686	-52.43298	40.69388	51.56248
2060.35289	1350.19543	64.64825	-52.44617	40.70209	51.57488
2061.35289	1350.47071	64.66962	-52.45933	40.71029	51.58727
2062.35289	1350.74574	64.69097	-52.47248	40.71849	51.59965
2063.35289	1351.02051	64.71230	-52.48561	40.72669	51.61203
2064.35289	1351.29503	64.73361	-52.49872	40.73489	51.62441
2065.35289	1351.56929	64.75490	-52.51181	40.74309	51.63677
2066.35289	1351.84330	64.77617	-52.52488	40.75128	51.64913
2067.35289	1352.11705	64.79741	-52.53793	40.75948	51.66149
2068.35289	1352.39054	64.81864	-52.55097	40.76767	51.67384
2069.35289	1352.66379	64.83985	-52.56398	40.77586	51.68618
2070.35289	1352.93677	64.86103	-52.57698	40.78406	51.69852
2071.35289	1353.20951	64.88220	-52.58995	40.79224	51.71085
2072.35289	1353.48198	64.90335	-52.60291	40.80043	51.72318
2073.35289	1353.75421	64.92447	-52.61585	40.80862	51.73550
2074.35289	1354.02618	64.94558	-52.62877	40.81680	51.74781
2075.35289	1354.29790	64.96666	-52.64168	40.82499	51.76012
2076.35289	1354.56936	64.98773	-52.65456	40.83317	51.77242

2077.35289	1354.84058	65.00877	-52.66743	40.84135	51.78471
2078.35289	1355.11153	65.02980	-52.68027	40.84953	51.79700
2079.35289	1355.38224	65.05081	-52.69310	40.85771	51.80929
2080.35289	1355.65269	65.07179	-52.70591	40.86588	51.82156
2081.35289	1355.92290	65.09276	-52.71870	40.87406	51.83383
2082.35289	1356.19284	65.11371	-52.73148	40.88223	51.84610
2083.35289	1356.46254	65.13463	-52.74423	40.89040	51.85836
2084.35289	1356.73199	65.15554	-52.75697	40.89857	51.87061
2085.35289	1357.00118	65.17643	-52.76969	40.90674	51.88286
2086.35289	1357.27012	65.19730	-52.78239	40.91491	51.89510
2087.35289	1357.53881	65.21815	-52.79507	40.92308	51.90734
2088.35289	1357.80725	65.23897	-52.80773	40.93124	51.91957
2089.35289	1358.07544	65.25978	-52.82038	40.93941	51.93180
2090.35289	1358.34338	65.28057	-52.83300	40.94757	51.94401
2091.35289	1358.61107	65.30134	-52.84561	40.95573	51.95623
2092.35289	1358.87851	65.32209	-52.85820	40.96389	51.96843
2093.35289	1359.14570	65.34283	-52.87078	40.97205	51.98064
2094.35289	1359.41263	65.36354	-52.88333	40.98021	51.99283
2095.35289	1359.67932	65.38423	-52.89587	40.98836	52.00502
2096.35289	1359.94576	65.40491	-52.90839	40.99652	52.01721
2097.35289	1360.21195	65.42556	-52.92089	41.00467	52.02938
2098.35289	1360.47789	65.44620	-52.93337	41.01282	52.04156
2099.35289	1360.74358	65.46681	-52.94584	41.02097	52.05372
2100.35289	1361.00902	65.48741	-52.95829	41.02912	52.06588
2101.35289	1361.27422	65.50799	-52.97073	41.03727	52.07804
2102.35289	1361.53916	65.52855	-52.98313	41.04541	52.09019
2103.35289	1361.80386	65.54908	-52.99553	41.05356	52.10233
2104.35289	1362.06831	65.56961	-53.00790	41.06170	52.11447
2105.35289	1362.33251	65.59011	-53.02026	41.06985	52.12660
2106.35289	1362.59646	65.61059	-53.03260	41.07799	52.13873
2107.35289	1362.86017	65.63105	-53.04493	41.08613	52.15085
2108.35289	1363.12363	65.65150	-53.05723	41.09426	52.16296
2109.35289	1363.38684	65.67193	-53.06952	41.10240	52.17507
2110.35289	1363.64980	65.69233	-53.08180	41.11054	52.18718
2111.35289	1363.91252	65.71272	-53.09405	41.11867	52.19927
2112.35289	1364.17499	65.73309	-53.10629	41.12681	52.21137
2113.35289	1364.43722	65.75344	-53.11851	41.13494	52.22345
2114.35289	1364.69920	65.77378	-53.13071	41.14307	52.23553
2115.35289	1364.96093	65.79409	-53.14289	41.15120	52.24761
2116.35289	1365.22242	65.81439	-53.15506	41.15933	52.25968
2117.35289	1365.48366	65.83466	-53.16721	41.16745	52.27174
2118.35289	1365.74465	65.85492	-53.17934	41.17558	52.28380
2119.35289	1366.00540	65.87516	-53.19146	41.18370	52.29586
2120.35289	1366.26591	65.89538	-53.20356	41.19182	52.30790
2121.35289	1366.52617	65.91559	-53.21564	41.19995	52.31995
2122.35289	1366.78618	65.93577	-53.22770	41.20807	52.33198
2123.35289	1367.04595	65.95594	-53.23975	41.21619	52.34401
2124.35289	1367.30548	65.97609	-53.25178	41.22430	52.35604
2125.35289	1367.56476	65.99621	-53.26380	41.23242	52.36806
2126.35289	1367.82380	66.01633	-53.27579	41.24053	52.38007
2127.35289	1368.08259	66.03642	-53.28777	41.24865	52.39208
2128.35289	1368.34114	66.05649	-53.29973	41.25677	52.40408
2129.35289	1368.59945	66.07655	-53.31168	41.26487	52.41608
2130.35289	1368.85751	66.09659	-53.32361	41.27298	52.42807
2131.35289	1369.11533	66.11661	-53.33552	41.28109	52.44006
2132.35289	1369.37291	66.13661	-53.34741	41.28920	52.45204
2133.35289	1369.63024	66.15660	-53.35929	41.29731	52.46401
2134.35289	1369.88734	66.17656	-53.37115	41.30541	52.47598
2135.35289	1370.14419	66.19651	-53.38300	41.31352	52.48795
2136.35289	1370.40079	66.21644	-53.39483	41.32162	52.49991
2137.35289	1370.65716	66.23636	-53.40664	41.32972	52.51186
2138.35289	1370.91328	66.25625	-53.41843	41.33782	52.52381
2139.35289	1371.16916	66.27613	-53.43021	41.34592	52.53575
2140.35289	1371.42480	66.29599	-53.44197	41.35402	52.54769
2141.35289	1371.68020	66.31583	-53.45372	41.36211	52.55962
2142.35289	1371.93536	66.33565	-53.46544	41.37021	52.57154
2143.35289	1372.19028	66.35546	-53.47716	41.37830	52.58347
2144.35289	1372.44495	66.37525	-53.48885	41.38639	52.59538
2145.35289	1372.69939	66.39502	-53.50053	41.39449	52.60729
2146.35289	1372.95358	66.41477	-53.51219	41.40258	52.61919
2147.35289	1373.20754	66.43450	-53.52384	41.41067	52.63109
2148.35289	1373.46125	66.45422	-53.53547	41.41875	52.64298
2149.35289	1373.71473	66.47392	-53.54708	41.42684	52.65488
2150.35289	1373.96796	66.49361	-53.55868	41.43493	52.66676

Caricamento dei motori

I motori dovranno essere caricati in modo da fornire i delta-v richiesti per la manovra di perigeo e per quella di apogeo, senza violare i vincoli imposti dai due sistemi propulsivi e dalle caratteristiche di massa del composito.

Simboli ed equazioni fondamentali

Siano:

- $\Delta V_i, \Delta V_M$ i moduli del delta-v che rispettivamente IRIS e Mage-1s devono fornire;
- P_i, P_M il carburante necessario per effettuare rispettivamente la manovra di perigeo e quella di apogeo;
- S_i, S_M le masse di struttura rispettivamente di IRIS e Mage-1s;
- P_L la massa totale del composito IRIS/Lageos 2/Mage-1s al netto di P_i ;
- P_M la massa totale del composito Mage-1s/Lageos 2 al netto di P_M ;
- M_S la massa del satellite;
- M_{a_i}, M_{a_M} la massa totale del composito rispettivamente all'accensione di IRIS e Mage-1s;
- I_{sp_i}, I_{sp_M} l'impulso specifico rispettivamente di IRIS e Mage-1s;
- g l'accelerazione di gravità;
- M_i le masse inerti;

valgono le seguenti equazioni:

$$P_{LM} = S_M + M_S + M_i \quad [1]$$

$$P_M = P_{LM} \left(e^{\frac{\beta \Delta V_M}{I_{sp_M}}} - 1 \right) \quad [2]$$

poiche' la struttura di IRIS (S_I) viene distaccata tra la fine della manovra di perigeo e l'inizio di quella di apogeo si ha:

$$[3] \quad P_L = P_{LM} + P_M + S_I$$

$$[4] \quad P_I = P_{LI} \left(e^{gI \Delta t_{spI}} - 1 \right) \frac{\Delta V_I}{gI}$$

sara' inoltre:

$$[5] \quad M_{aM} = P_{LM} + P_M$$

$$[6] \quad M_{aI} = P_{LM} + S_I + P_M + P_I$$

Metodologia d'indagine

Il carico P_{LM} , che il motore Mage-1s deve supportare, resta definito dall'equazione 1. Noto P_{LM} , e' possibile ricavare P_M e P_I dalle equazioni 2, 3 e 4.

P_M e P_I sono soluzioni del nostro problema se i loro valori soddisfanno i vincoli imposti dalle caratteristiche dei due motori:

$$1181 \text{ Kg} \leq P_I \leq 1574 \text{ Kg}$$

$$328 \text{ Kg} \leq P_M \leq 410 \text{ Kg}$$

D'altra parte, fissare univocamente il valore di P_{LM} e quindi della coppia P_I e P_M , significa limitare l'analisi ad una ben precisa configurazione del sistema Mage-1s/Lageos 2 e ridurre quindi lo studio della compatibilita' di IRIS con Mage-1s ad un solo valore di P_M . E' per poter fornire al responsabile del progetto elementi idonei alla valutazione di svariate proposte, che e' stato adottato un metodo risolutivo consistente nell'introdurre una grandezza T tale che l'equazione 1 possa essere riscritta nella seguente forma:

$$[7] \quad P_{LM} = S_M + M_S + M_I + T$$

Scelto pertanto un numero n ($n \geq 1$) di valori di P_M , nell'intervallo di carichi di propellente consentiti al Mage-1s, per ciascuno di questi si calcola P_{LM} dall'equazione 2, T dalla 7, P_I dalla 4.

Soluzioni possibili, soddisfacenti la condizione di esistenza, si possono avere per diversi valori di T ; in particolare:

- $T = 0$

e' il caso di soluzione unica riferita ad un P_{Lm} fissato dalla configurazione nominale considerata (eq.1);

- $T < 0$

puo' essere soluzione solo se si vuole ridurre di T il peso della struttura del Mage-1s o il peso del satellite o degli inerti;

- $T > 0$

puo' essere soluzione se si vuole aumentare di T una delle quantita' precedenti, o aggiungere T come massa fittizia (zavorra) al composito Mage-1s/Lageos 2.

Risultati numerici

Per le simulazioni effettuate sono stati usati i seguenti valori:

$$\begin{aligned}\Delta V_1 &= 2095.35 \text{ m/s} \\ \Delta V_M &= 1359.68 \text{ m/s} \\ P_M \text{ minimo} &= 328 \text{ Kg} \\ P_M \text{ massimo} &= 410 \text{ Kg} \\ S_1 &= 256 \text{ Kg} \\ S_M &= 39.8 \text{ Kg} \\ M_S &= 408.4 \text{ Kg} \\ M_I &= 151.2 \text{ Kg} \\ I_{sp1} &= 290.6 \text{ s} \\ I_{spM} &= 290.4 \text{ s}\end{aligned}$$

I risultati ottenuti sono riassunti in tabella 2, dove i valori di P_1 , M_{a1} , M_{aM} , T sono riportati in corrispondenza di ciascun P_M scelto.

La tabella non richiede particolari spiegazioni, qui si fa notare semplicemente che:

- I vincoli su P_1 sono sempre rispettati per qualunque valore di P_M compreso tra i valori minimo e massimo permessi;
- $T = 0$ (niente zavorra) e' soluzione del problema ed equivale a scegliere:

$$\begin{aligned}P_M &= 367 \text{ Kg} \\ P_1 &= 1327 \text{ Kg}\end{aligned}$$

- $T < 0$, si ottiene per $328 \leq P_M < 367$;
- $T > 0$ (aggiunta zavorra di T Kg) si ottiene per $367 < P_M \leq 410$.

Da notare che

- poiché $T = 0$ e' soluzione, si consiglia di scegliere come nominali i corrispondenti valori di caricamento;
- le soluzioni indicate sono naturalmente una diretta conseguenza dei dati forniti in Rif.1, e potranno variare sensibilmente in seguito a possibili cambiamenti degli stessi; la metodologia d'indagine rimarra' comunque valida.

63	73140	2335,23597	863,46739	1215,76858	327,79879
62	09726	2340,73084	866,10153	1218,62931	328,79879
60	46312	2346,22572	868,73567	1221,49005	329,79879
58	82898	2351,72059	871,36980	1224,35079	330,79879
57	19485	2357,21547	874,00394	1227,21153	331,79879
55	56071	2362,71035	876,63808	1230,07227	332,79879
53	92657	2368,20522	879,27222	1232,93300	333,79879
52	29243	2373,70010	881,90636	1235,79374	334,79879
50	65829	2379,19498	884,54050	1238,65448	335,79879
49	02415	2384,68985	887,17464	1241,51522	336,79879
47	39001	2390,18473	889,80877	1244,37596	337,79879
45	75588	2395,67961	892,44291	1247,23669	338,79879
44	12174	2401,17448	895,07705	1250,09743	339,79879
42	48760	2406,66936	897,71119	1252,95817	340,79879
40	85346	2412,16423	900,34533	1255,81891	341,79879
39	21932	2417,65911	902,97947	1258,67964	342,79879
37	58518	2423,15399	905,61360	1261,54038	343,79879
35	95105	2428,64886	908,24774	1264,40112	344,79879
34	31691	2434,14374	910,88188	1267,26186	345,79879
32	68277	2439,63862	913,51602	1270,12260	346,79879
31	04863	2445,13349	916,15016	1272,98333	347,79879
29	41449	2450,62837	918,78430	1275,84407	348,79879
27	78035	2456,12324	921,41843	1278,70481	349,79879
26	14622	2461,61812	924,05257	1281,56555	350,79879
24	51208	2467,11300	926,68671	1284,42629	351,79879
22	87794	2472,60787	929,32085	1287,28702	352,79879
21	24380	2478,10275	931,95499	1290,14776	353,79879
20	24380	2483,59763	934,58913	1293,00850	354,79879
19	60966	2489,09250	937,22327	1295,86924	355,79879
17	97552	2494,58738	939,85740	1298,72997	356,79879
16	34138	2499,08225	942,49154	1301,59071	357,79879
13	07311	2505,57713	945,12568	1304,45145	358,79879
11	43897	2511,07201	947,75982	1307,31219	359,79879
9	80483	2516,56688	950,39396	1310,17293	360,79879
8	17069	2522,06176	953,02810	1313,03366	361,79879
6	53655	2527,55664	955,66223	1315,89440	362,79879
4	90242	2533,05151	958,29637	1318,75514	363,79879
3	26828	2538,54639	960,93051	1321,61588	364,79879
1	63414	2544,04127	963,56465	1324,47662	365,79879
0	00000	2549,53614	966,19879	1327,33735	366,79879
1	63414	2555,03102	968,83293	1330,19809	367,79879
3	26828	2560,52589	971,46707	1333,05883	368,79879
4	90242	2566,02077	974,10120	1335,91957	369,79879
6	53655	2571,51565	976,73534	1338,78030	370,79879
8	17069	2577,01052	979,36948	1341,64104	371,79879
9	80483	2582,50540	982,00362	1344,50178	372,79879
11	43897	2588,00028	984,63776	1347,36252	373,79879
13	07311	2593,49515	987,27190	1350,22326	374,79879
14	70725	2598,99003	989,90603	1353,08399	375,79879
16	34138	2604,48490	992,54017	1355,94473	376,79879
17	97552	2609,97978	995,17431	1358,80547	377,79879
19	60966	2615,47466	997,80845	1361,66621	378,79879
21	24380	2620,96953	1000,44259	1364,52695	379,79879
22	87794	2626,46441	1003,07673	1367,38768	380,79879
24	51208	2631,95929	1005,71086	1370,24842	381,79879
26	14622	2637,45416	1008,34500	1373,10916	382,79879
27	78035	2642,94904	1010,97914	1375,96990	383,79879
29	41449	2648,44392	1013,61328	1378,83063	384,79879
31	04863	2653,93879	1016,24742	1381,69137	385,79879
32	68277	2659,43367	1018,88156	1384,55211	386,79879
34	31691	2664,92854	1021,51570	1387,41285	387,79879
35	95105	2670,42342	1024,14983	1390,27359	388,79879
37	58518	2675,91830	1026,78397	1393,13432	389,79879
39	21932	2681,41317	1029,41811	1395,99506	390,79879
40	85346	2686,90805	1032,05225	1398,85580	391,79879

I M^{ai} M^{am} Pⁱ P^m

TABELLA 2

42.48760 2692.40293 1034.68639 1401.71654 392.79879
44.12174 2697.89780 1037.32053 1404.57728 393.79879
45.75588 2703.39268 1039.95466 1407.43801 394.79879
47.39001 2708.88755 1042.58880 1410.29875 395.79879
49.02415 2714.38243 1045.22294 1413.15949 396.79879
50.65829 2719.87731 1047.85708 1416.02023 397.79879
52.29243 2725.37218 1050.49122 1418.88096 398.79879
53.92657 2730.86706 1053.12536 1421.74170 399.79879
55.56071 2736.36194 1055.75950 1424.60244 400.79879
57.19485 2741.85681 1058.39363 1427.46318 401.79879
58.82898 2747.35169 1061.02777 1430.32392 402.79879
60.46312 2752.84656 1063.66191 1433.18465 403.79879
62.09726 2758.34144 1066.29605 1436.04539 404.79879
63.73140 2763.83632 1068.93019 1438.90613 405.79879
65.36554 2769.33119 1071.56433 1441.76687 406.79879
66.99968 2774.82607 1074.19846 1444.62761 407.79879
68.63381 2780.32095 1076.83260 1447.48834 408.79879
70.26795 2785.81582 1079.46674 1450.34908 409.79879

Riferimenti

1. Lettera PSN/CNR del 31.7.1987, Prot. No. 8708009, Oggetto: *Analisi di missione Lageos 2:*
 - allegato No. 1, Titolo: *Attività richieste;*
 - allegato No. 2, Titolo: *Analisi di missione IRIS Lageos 2: requisiti e dati operativi.*
2. WERTZ, J.R., Ed., *Spacecraft Attitude Determination and Control*, Astrophysics and Space Science Library, Vol.73, D. Reidel Publishing Co. (1978), p.42.