

GENERAZIONE DEI NUOVI ARCHIVI SLP PER
IL PERIODO 1985 - 1986

L.ANSELMO
A.FONI

Rapporto Interno C86-3

CNUCE-CNR PISA - Aprile 1986

1. SUMMARY

Il rapporto descrive il lavoro svolto al CNUCE per generare i nuovi archivi di effemeridi solari, lunari e planetarie (SIF) utilizzati dai programmi di dinamica del volo spaziale. Dopo una descrizione generale della funzione di detti archivi, vengono passate in rassegna le caratteristiche salienti dei nastri di effemeridi generati dal Jet Propulsion Laboratory per l'esportazione. Infine viene descritta la procedura seguita per generare e rendere disponibili all'utenza gli archivi SIF. Figure e tabelle illustrano la situazione aggiornata per quanto riguarda i nastri JPI e gli archivi SIF disponibili agli utenti autorizzati.

2. GLI ARCHIVI SLP

Un sistema di programmi astrodinamici preciso e generale come il GTDS (Goddard Trajectory Determination System) ha bisogno di informazioni concernenti lo stato dinamico dei corpi piu' importanti del sistema solare. Infatti, sia che si tratti di propagare nel tempo lo stato di un veicolo spaziale (programma EPHEM), sia che si debbano determinare i parametri di una traiettoria a partire da un insieme di osservazioni (programma DC), la conoscenza della posizione, istante per istante, di Sole, Luna e pianeti e' fondamentale per il calcolo corretto delle perturbazioni gravitazionali, qualora presenti in modo significativo.

Analogamente, allorché si debba passare da un sistema di coordinate equatoriale geocentrico medio ad uno vero o viceversa, e' indispensabile conoscere i dati relativi alla nutazione in obliquita' e longitudine dell'asse di rotazione terrestre.

Questi dati di fondamentale importanza usati dal GTDS risiedono su due archivi permanenti chiamati SLP da Solar/Lunar/Planetary Ephemeris. Un archivio contiene dati riferiti al sistema equatoriale geocentrico medio 1950.0,

mentre l'altro utilizza il sistema equatoriale geocentrico vero. Oltre ai dati citati, i due archivi contengono pure le informazioni necessarie per passare da coordinate selenocentriche a coordinate selenografiche, per calcolare l'equazione degli equinozi, e per convertire il tempo atomico "uniforme" A.1 nel tempo universale UT1, che descrive la fase rotazionale della Terra rispetto allo spazio inerziale e consente di calcolare il Greenwich Hour Angle (GHA).

Negli archivi SLP usati dal GTDS sono riportati i dati relativi ad 8 degli 11 corpi "principali" del sistema solare (9 pianeti più il Sole e la Luna) sotto forma di coefficienti di polinomi di Chebyshev calcolati ad istanti specificati. Posizioni e velocità ad un'epoca determinata vengono poi calcolate direttamente dal GTDS valutando i polinomi corrispondenti relativi ad un certo intervallo di tempo.

Alla stessa maniera vengono ottenuti i valori della nutazione in obliquità e longitudine, calcolando i corrispondenti polinomi di Chebyshev per mezzo dei coefficienti immagazzinati negli archivi di dati.

I due archivi SLP risiedono su disco e sono ad accesso diretto. Entrambi hanno un "record format" (RECFM) fisso (F), un "block size" (BLKSIZE) di 2264 byte, una "logical record length" (LRECL) di 2264 byte e sono costituiti da 441 record. L'archivio contenente i dati riferiti al sistema 1950.0 è associato all'unità logica fortran numero 14, mentre l'altro è associato all'unità logica fortran numero 78.

Al fine di generare nuovi archivi relativi ad intervalli diversi di tempo si usa il programma TRAMP per elaborare un nastro di effemeridi preparato dal Jet Propulsion Laboratory di Pasadena (Biemesderfer, 1983). Il GTDS potrebbe anche

utilizzare direttamente i nastri del JPL, ma cio' comporterebbe un allungamento notevole dei tempi di esecuzione dei programmi.

3. I NASTRI DI EFFEMERIDI DEL JPL

Per assistere la navigazione delle sonde interplanetarie, il Jet Propulsion Laboratory del Caltech (Pasadena, California) ha sviluppato il Solar System Data Processing System (SSDPS) per la riduzione e l'elaborazione di osservazioni astronomiche da cui ricavare accurate effemeridi planetarie. In particolare vengono usate le misure ottiche del transito dei pianeti acquisite in un secolo dallo U.S. Naval Observatory, le misure di distanza radar effettuate dal Deep Space Network della NASA a partire dagli anni '60 ed i dati di inseguimento delle sonde che hanno compiuto le ultime missioni planetarie. Per la Luna si dispone anche delle misure di distanza ottenute utilizzando i retroriflettori laser posizionati nel corso di 3 missioni Apollo e di 2 missioni Luna (Jordan, 1981). Tutto ciò ha consentito di ottenere un'accuratezza nelle effemeridi geocentriche di Giove e dei pianeti interni di 0.2 microradianti.

I dati, opportunamente elaborati e ridotti per mezzo delle teorie planetarie, vengono usati per ottenere dei nastri in cui sono riportate, sotto forma di coefficienti polinomiali di Chebyshev, posizioni e velocità di Sole, Luna, e pianeti ad

istanti fissati. Un software opportuno permette di leggere i coefficienti immagazzinati su nastro e di compiere le interpolazioni polinomiali necessarie per avere le uscite ad una data fissata dall'utente e compresa nell'intervallo di tempo cui il nastro in questione si riferisce (Stardish, 1982).

Il JPL ha sviluppato diversi "Developmental Ephemeris Tapes", contraddistinti dalla sigla DE seguita da un numero di identificazione. I nastri si differenziano per i sistemi di riferimento a cui sono riferiti i dati, per le costanti astronomiche usate nella riduzione delle osservazioni, per la selezione dei dati osservativi impiegati, per l'intervallo di tempo coperto dall'archivio delle osservazioni utilizzate. Sono tuttavia riscontrabili alcune regolarità: tutti i nastri con numero di identificazione minore di 200 utilizzano il sistema equatoriale geocentrico medio 1950.0, definito in base al catalogo stellare FK4. I nastri con numero di identificazione uguale o maggiore di 200 fanno invece riferimento al sistema J2000, ossia al sistema equatoriale geocentrico medio che utilizza come asse di riferimento la direzione equinoctiale dell'anno 2000.0 dedotta dinamicamente dalle attuali teorie planetarie.

Tutti i nastri contengono, oltre alle posizioni e velocità di Sole, Luna e pianeti, anche la nutazione in longitudine ed obliquità (con relative derivate prime rispetto al tempo) ricavata dalla teoria lunare di Brown modificata da W. J. Eckert. Questa teoria viene anche utilizzata per calcolare lo stato dinamico del nostro satellite naturale.

Un caso a parte è costituito dal nastro DE-102. Infatti adotta un riferimento più vicino all'equinozio dinamico del 1950.0 che a quello ottenuto in base al catalogo stellare FK4

(la differenza e' di 0.4 secondi d'arco). Inoltre questo nastro non contiene dati di nutazione. Altra sua caratteristica e' la lunghezza del periodo coperto dalle effemeridi: dal 1410 avanti Cristo al 3002 dopo Cristo.

4. GENERAZIONE DEI NUOVI ARCHIVI SLP

Allorquando il CNUCE acquisì dalla COSMIC il programma GTDS versione 3.5, il software venne fornito completo degli archivi di dati necessari al suo funzionamento. Per quanto concerne le effemeridi planetarie e la nutazione, furono forniti un archivio SLP in coordinate 1950.0 ed uno in coordinate "True Of Date" (TOD) di formato standard e relativi al periodo di tempo che va dal 1 Gennaio 1974 al 18 Gennaio 1986.

Essendo prossima la data di scadenza di detti archivi che, come è stato mostrato nei paragrafi precedenti, sono assolutamente necessari per il funzionamento del GTDS, all'inizio del 1985 ci si è posti il problema di generare direttamente al CNUCE, a partire dai nastri originali del JPL, due nuovi archivi identici in formato e validi dal 1 gennaio 1985 al 18 Gennaio 1997.

Gli archivi SLP acquistati con l'ultima versione del programma erano stati generati a partire dal nastro JPL DE-96. Al CNUCE erano però disponibili i nastri riportati in Tab. 1. In base a quanto detto nel paragrafo 3, si può facilmente concludere che l'unico nastro utilizzabile, perché coerente

con i sistemi di riferimento e con il formato del DE-96, era il DE-118. L'unica differenza tra i due insiemi di effemeridi e' dovuta ad un aggiornamento delle costanti usate nelle teorie planetarie. Si trattava quindi di verificare in seguito l'impatto pratico di queste differenze sui risultati forniti dal GTDS.

Tab. 1

NASTRI JPL DISPONIBILI AL CRUCE

NOME	PERIODO COPERTO	DENSITA'	BLKSIZE	LRCL
DE-102	-1410 / 3002	6250 BPI	6196	6192
DE-118	1960 / 2000	6250 BPI	6620	6616
DE-200	1960 / 2000	6250 BPI	6620	6616

I dettagli del lavoro necessario per passare da un nastro JPL originale a un archivio SLP residente su disco di CS con un formato compatibile con quello richiesto dal GTDS possono essere trovati in (Standish, 1981) e (Biemesderfer, 1983). Nel nostro caso i due nuovi archivi SLP (SPLTOD e SLP1950) sono stati generati utilizzando il nastro JPL DE-118 e l'archivio TIMCOF (contenente i coefficienti per le conversioni temporali) ottenuto dalla COSMIC assieme al GTDS versione 3.5.

Al fine di mantenere inalterate le procedure usate per l'esecuzione dei programmi del GTDS, ai nuovi archivi SIP sono stati assegnati i nomi di default, mentre gli archivi originali possono essere evocati usando una nuova denominazione. La Tab. 2 riporta l'elenco degli archivi SIP residenti sul disco USER06 di tipo 3380/CS: due sono gli archivi originali, due

quelli nuovi e l'ultimo contiene coefficienti polinomiali relativi a prove o simulazioni che vengono effettuate allorché si hanno esigenze particolari (propagazioni orbitali molto lunghe, confronti tra differenti insiemi di effemeridi, ecc...).

Tab. 2

DATASET RESIDENTI SUL DISCO 3380/GS USER06

ORBIT_GTDS.SLPTOD.I74F86	(SLPTOD dal 1/I/74 al 18/I/86)
ORBIT_GTDS.SLP1950.I74F86	(SLP1950 dal 1/I/74 al 18/I/86)
ORBIT_GTDS.SLPTOD.DATA	(SLPTOD dal 1/I/85 al 18/I/97)
ORBIT_GTDS.SLP1950.DATA	(SLP1950 dal 1/I/85 al 18/I/97)
ORBIT_GTDS.SLPTOD.PROV	(usato per prove particolari)

5. VALIDAZIONE DEI NUOVI ARCHIVI SLP

Per validare i nuovi archivi di effemeridi generati, e' stata effettuata una serie di confronti tra diverse esecuzioni del programma EPHEM del GTDS relative all'anno 1985, dove sia i nuovi che i vecchi archivi SLP si sovrappongono.

Tab. 3

ORBITA SIRIO USATA NEI TEST DI VALIDAZIONE

```
*-----*
| Epoca: 850201.190205 |
*-----*
| SMA = 42164.948 Km |
| ECC = 0.000233 |
| INC = 0.328 deg |
| LAN = 94.067 deg |
| AP = 64.974 deg |
| MA = 261.153 deg |
*-----*
```

L'esecuzione tipo consisteva in una propagazione della durata di 4 mesi dell'orbita del satellite SIRIO riportata in Tab. 3. La propagazione era del tutto analoga a quelle standard effettuate durante la missione (integratore: Cowell non regolarizzato; passo di integrazione: 800 sec) con un modello della forza comprendente le armoniche del geopotenziale

fino al quinto ordine e grado, le perturbazioni luni-solari e la pressione di radiazione dovuta al Sole.

Fig. 1

TEST EFFETTUATI CON ARCHIVI SLP DERIVATI DA DE-96 E DA EE-118

S.d.R. INPUT	S.d.R. INTEGRAZIONE	S.d.R. COUTPUT	CASC
T.O.R. ----->	T.O.R. ----->	T.C.R.	A
T.O.D. ----->	1950.0 ----->	T.O.D.	E
		-----> T.C.D.	C1
1950.0 ----->	1950.0 ----->	-----> 1950.0	C2
S.d.R. = Sistema di Riferimento			
T.C.R. = True Cf Reference			
T.O.D. = True Of Date			
1950.0 = Mean Equinox and Equator of 1950.0			

La Fig. 1 mostra in dettaglio i test effettuati usando tanto gli archivi SLP basati sul nastro DE-96 che quelli basati sul nastro DE-118. I singoli casi si differenziano per i sistemi di riferimento impiegati per esprimere l'input, per integrare le equazioni del moto e per esprimere l'output. Infatti, come già spiegato, gli archivi SLP sono utilizzati dal programma anche per calcolare le trasformazioni di coordinate da un sistema di riferimento ad un altro (nutazione). I risultati dei confronti sono riportati nelle Tab. 3, 4, 5 e 6. Come si vede le differenze riscontrate nei vari casi sono contenute e non compromettono l'affidabilità del GDS nelle condizioni di utilizzazione consuete.

Tab. 4

CONFRONTO TRA SLP/DE-96 ED SLP/DE-118: CASO A
(D = SLP/DE-118 MENO SLP/DE-96)

CONDIZIONI INIZIALI (TCB --> TOR)		DOPO PROPAGAZIONE DI 4 MESI (TOR --> TOR)	
Differenza nel Greenwich Hour Angle at Epoch = 0.0619arcsec			
Dx = ---		Dx = -4.87 m	
Dy = ---		Dy = 0.97 m	
Dz = ---		Dz = -0.12 m	
Dr = ---		Dr = 5.07 m	
$D\dot{x}$ = ---		$D\dot{x}$ = -0.07 mm/sec	
$D\dot{y}$ = ---		$D\dot{y}$ = -0.36 mm/sec	
$D\dot{z}$ = ---		$D\dot{z}$ = -0.01 mm/sec	
Dv = ---		Dv = 0.37 mm/sec	

Tab. 5

CONFRONTO TRA SLP/DE-96 ED SLP/DE-118: CASO B
(D = SLP/DE-118 MENO SLP/DE-96)

CONDIZIONI INIZIALI (TOD --> 1950.0 --> TCI)		DOPO PROPAGAZIONE DI 4 MESI (1950.0 --> TOD)	
Differenza nel Greenwich Hour Angle at Epoch = 0.0619arcsec			
Dx = -1.35 m		Dx = -18.95 m	
Dy = 0.77 m		Dy = 3.76 m	
Dz = 0.22 m		Dz = 2.92 m	
Dr = 1.57 m		Dr = 19.53 m	
$D\dot{x}$ = -0.06 mm/sec		$D\dot{x}$ = -0.28 mm/sec	
$D\dot{y}$ = -0.10 mm/sec		$D\dot{y}$ = -1.38 mm/sec	
$D\dot{z}$ = -0.05 mm/sec		$D\dot{z}$ = -0.41 mm/sec	
Dv = 0.12 mm/sec		Dv = 1.47 mm/sec	

Tab. 6

CONFRONTO TRA SLP/DE-96 ED SLP/DE-118: CASO C1
(D = SLP/DE-118 MENO SLP/DE-96)

CONDIZIONI INIZIALI (1950.0 --> 1950.0)		DOPO PROPAGAZIONE DI 4 MESI (1950.0 --> 1950.0)	
Differenza nel Greenwich Hour Angle at Epoch = 0.0619arcsec			
Dx = ---		Dx = 0.58 m	
Dy = ---		Dy = -0.11 m	
Dz = ---		Dz = -0.07 m	
Dr = ---		Dr = 0.59 m	
$D\dot{x}$ = ---		$D\dot{x}$ = 0.01 mm/sec	
$D\dot{y}$ = ---		$D\dot{y}$ = 0.04 mm/sec	
$D\dot{z}$ = ---		$D\dot{z}$ = -0.01 mm/sec	
Dv = ---		Dv = 0.05 mm/sec	

Tab. 7

CONFRONTO TRA SLP/DE-96 ED SLP/DE-118: CASO C2
(D = SLP/DE-118 MENO SLP/DE-96)

CONDIZIONI INIZIALI (1950.0 --> TCD)		DOPO PROPAGAZIONE DI 4 MESI (1950.0 --> TCD)	
Differenza nel Greenwich Hour Angle at Epoch = 0.0619arcsec			
Dx = -12.75 m		Dx = -0.25 m	
Dy = 7.18 m		Dy = 0.05 m	
Dz = 1.07 m		Dz = 4.13 m	
Dr = 14.67 m		Dr = 4.14 m	
$D\dot{x}$ = -0.53 mm/sec		$D\dot{x}$ = -0.00 mm/sec	
$D\dot{y}$ = -0.93 mm/sec		$D\dot{y}$ = -0.02 mm/sec	
$D\dot{z}$ = -0.49 mm/sec		$D\dot{z}$ = 0.02 mm/sec	
Dv = 1.17 mm/sec		Dv = 0.03 mm/sec	

6. BIBLIOGRAFIA

Biemesderfer, C.D.: "TEAMP MAINTENANCE OPERATIONS GUIDE",
Computer Science Corporation, CSC/TM-83/6119, September 1983.

Jordan, J.F.; "DEEP SPACE NAVIGATION SYSTEMS AND OPERATIONS",
in Spacecraft Flight Dynamics, ESA SP-160, 1981.

Standish, E.M.: "JPL EXPORT EPHEMERIS USER'S GUIDE", JPL
Report, March 1982.

7. INDICE

1. SCMMARIC.....	pag. 1
2. GLI ARCHIVI SLP.....	pag. 2
3. I NASTRI DI EFFEMERIDI DEL JPL.....	pag. 5
4. GENERAZIONE DEI NUOVI ARCHIVI SLP.....	pag. 8
5. VALIDAZIONE DEI NUOVI ARCHIVI SLP.....	pag. 11
6. BIBLIOGRAFIA.....	pag. 15
7. INDICE.....	pag. 16