

Domenico Marini • I8CVS
Via A. De Gasperi, 89 • Parco Merola
80059 Torre del Greco NA

Calcolare gli EQX dai kepleriani

Anche oggi che in mare si naviga coi satelliti anziché con le stelle, a bordo di ogni nave esistono un sestante, le carte nautiche, un libro delle effemeridi ed un capitano che le sa usare in caso di avaria dei sistemi elettronici.

Per la stessa ragione, ogni radioamatore satellitare dovrebbe avere un Oscarlocator, cioè quella serie di mappe azimutali centrate sul polo, coi cerchi di acquisizione e le traiettorie orarie di buona memoria che però insegnano meglio a capire come i satelliti orbitano intorno alla Terra. Per usare i sistemi grafici ci vogliono le effemeridi nodali dei satelliti che non sono molto diffuse in quanto fanno parte di un sistema di tracking ritenuto superato.

Da buon capitano della propria stazione, l'OM satellitare dovrebbe saper calcolare a mano le effemeridi nodali, se non altro per una questione di prestigio ed essere autosufficiente.

La cosa è facile: vediamo come si fa.

I due sistemi di tracking

I metodi per localizzare un satellite in Azimuth ed Elevazione in ogni istante sono due.

Il primo fa uso di effemeridi nodali o EQX e considera Terra e satellite come un sistema geocentrico indipendente dal Sole e dalle stelle. E' molto comodo per orbite circolari tipo RS. In versione più sofisticata è utilizzabile per orbite ellittiche ad elevata eccentricità come AO-13. Si usa con le mappe.

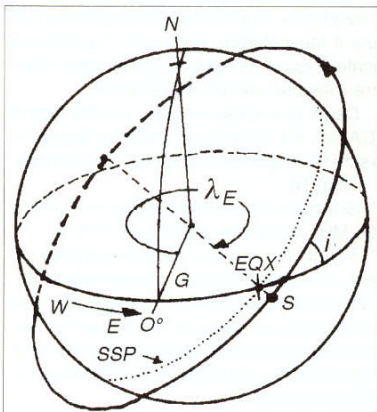


Fig. 1

S = Satellite
N = Polo Nord
G = Meridiano di Greenwich
i = Inclinazione del piano orbitale
EQX = Equator Crossing
SSP = Subsatellite point
 λ_E = Longitudine del Nodo ascendente (in gradi W)

Queste coordinate ci permettono di calcolare le effemeridi nodali del satellite.

Il secondo impiega una serie di dati numerici detti elementi "kepleriani" che mettono in relazione la geometria dell'orbita del satellite con la Terra e con le stelle. Il sistema utilizza un computer e può gestire qualsiasi tipo di orbita intorno alla Terra.

Dal secondo sistema, usato oggi con sofisticati programmi di tracking, si può risalire al primo metodo utilizzato dal 1970 al 1980 per le orbite circolari con l'uso delle mappe di acquisizione - ma anche piccoli calcolatori scientifici.

Scopo di questa trattazione è dimostrare come dagli elementi kepleriani si possa risalire agli EQX usati in quel decennio in cui il computer era poco diffuso, non esistevano o quasi programmi e così l'OM doveva capire come funzionavano le mappe per sentirsi un tutt'uno col satellite, per visualizzarlo mentalmente sulla sfera celeste e inseguirlo manualmente, quasi guidato dal cieco istinto.

Così allora l'OM era divenuto per sua fortuna anche un po' astronomo, calcolava le effemeridi, era capace di disegnare il contorno del cerchio di acquisizione al variare dell'altezza del satellite, era capace di tracciare la traiettoria oraria che varia col periodo nodale e l'inclinazione del satellite. In ogni stazione c'erano tante tavolette di compensato con sopra spillate le mappe, una per satellite e, cosa più importante, c'era il quaderno delle effemeridi nodali, dette anche EQX da "Equator Crossing".

Cosa sono le effemeridi nodali

Consideriamo un satellite che si muove intorno alla Terra in orbita circolare (fig. 1). Consideriamo questo sistema come se tutto il resto, Sole, pianeti e stelle non esistessero. Ogni volta che il satellite, salendo dall'emisfero meridionale passa in quello settentrio-

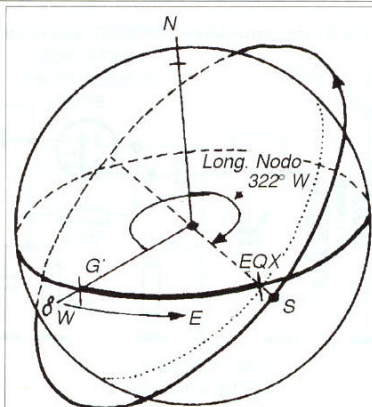


Fig. 5 • La Terra ruota da W verso E e così varia la longitudine del Nodo Ascendente. Ogni volta che il satellite incrocia l'equatore, la longitudine varia di una quantità costante (incremento di longitudine nodale). Questo parametro fa parte delle effemeridi nodali. Nella figura, noi supponiamo che il satellite tagli l'equatore [EQX] alle ore 12 UTC.

nale, viene a trovarsi sulla verticale dell'equatore, tagliandolo e determinando a quel preciso orario UTC e in quel punto, un nodo ascendente che prende il nome di "effemeride nodale" del satellite o EQX (fig. 1).

Giacché il taglio dell'equatore avviene in un punto con una ben precisa longitudine, ad un ben determinato orario UTC, e siccome la latitudine dell'equatore è ovviamente zero gradi, per definire un nodo ascendente bastano solo due numeri, una longitudine in gradi W ed un orario UTC in ore, minuti primi e minuti secondi.

Per visualizzare l'EQX consideriamo in prima approssimazione il piano orbitale del

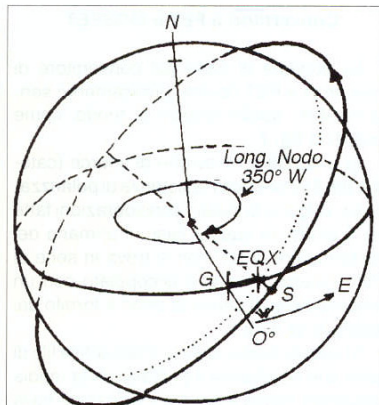


Fig. 6 • Rispetto alla fig. 5, la longitudine del Nodo Ascendente è passata da 322° a 350°; $350^\circ - 322^\circ = 28^\circ$ di incremento di longitudine nodale. Se il periodo nodale del satellite è di 115 minuti, il nuovo EQX avverrà alle ore 13,55 UTC. Anche questo parametro fa parte delle effemeridi nodali.

Satelliti

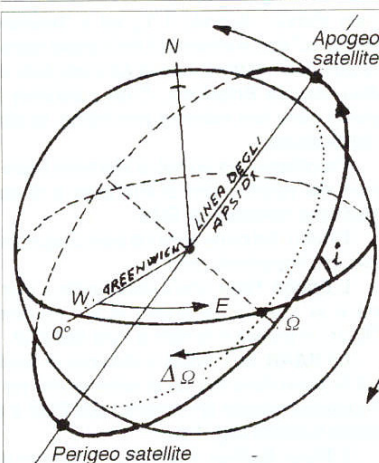
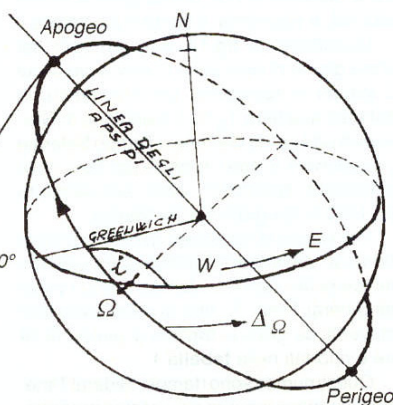


Fig. 7 • Se i è minore di $63,4^\circ$ la linea degli apsi ruota nel verso contrario del moto del satellite. La posizione dell'apogeo e perigeo cambia continuamente di latitudine. La Terra ruota sul suo asse da W a E; se i è minore di 90° il piano orbitale ruota intorno all'asse terrestre da Est verso Ovest. $\Delta\Omega$ è la regressione del nodo. i resta costante.

Fig. 8 • Se i è maggiore di $63,4^\circ$ la linea degli apsi ruota nel verso contrario del moto del satellite. L'apogeo e perigeo cambiano continuamente di latitudine. La Terra ruota sul suo asse da Ovest ad Est; se i è maggiore di 90° il piano orbitale ruota intorno all'asse terrestre da Ovest verso Est. $\Delta\Omega$ è la regressione del nodo. i resta costante.



satellite fisso nello spazio. Durante 24 ore, meno 3 minuti e 56 secondi, la Terra avrà ruotato nel suo interno di 360 gradi da Ovest verso Est (fig. 5). Per questo motivo, ruotando la Terra ed essendo il piano orbitale fisso, ogni nodo ascendente si troverà a tagliare l'equatore ad una longitudine sempre diversa, spostata verso Ovest di una quantità angolare sempre costante, chiamata incremento di longitudine nodale o "track separation", nella letteratura anglosassone (fig. 6).

Giacché nessuno pubblica praticamente più gli EQX, il nostro problema attuale da risolvere è avere una precisa effemeride di riferimento per ogni satellite, che impareremo a ricavare dagli elementi kepleriani.

Ciò appreso, potremo calcolare tutti gli EQX successivi aggiungendo all'ora del nodo ascendente della prima orbita di riferimento, tanti minuti pari al periodo nodale del satellite ed alla longitudine del nodo ascendente tanti gradi pari all'incremento di longitudine nodale. Quando tutte le effemeridi della giornata saranno state calcolate, basta posizionare la traiettoria oraria di quel satellite in corrispondenza della longitudine nodale segnata sull'equatore della mappa azimutale.

γ = Primo punto di Ariete. Il Sole si trova in γ il 21 marzo, all'equinozio di primavera.

RAAN = Right Ascension of Ascending Node (Ascensione retta del nodo ascendente).

T_s = Tempo siderale a Greenwich (in ore e gradi); si ricava dalle effemeridi nautiche.

S' = Intersezione fra piano orbitale del satellite, equatore terrestre ed equatore celeste.

λ_E = Longitudine del nodo ascendente (gradi W).

O° = Origine per la misura del tempo siderale a Greenwich e dell'ascensione retta.

Esempio:

$$T_s = 340^\circ; \text{RAAN} = 30^\circ;$$

$$\lambda_E = T_s - \text{RAAN} = 340^\circ - 30^\circ = 310^\circ \text{ W}$$

Viceversa:

$$\text{RAAN} = T_s - \lambda_E = 340^\circ - 310^\circ = 30^\circ$$

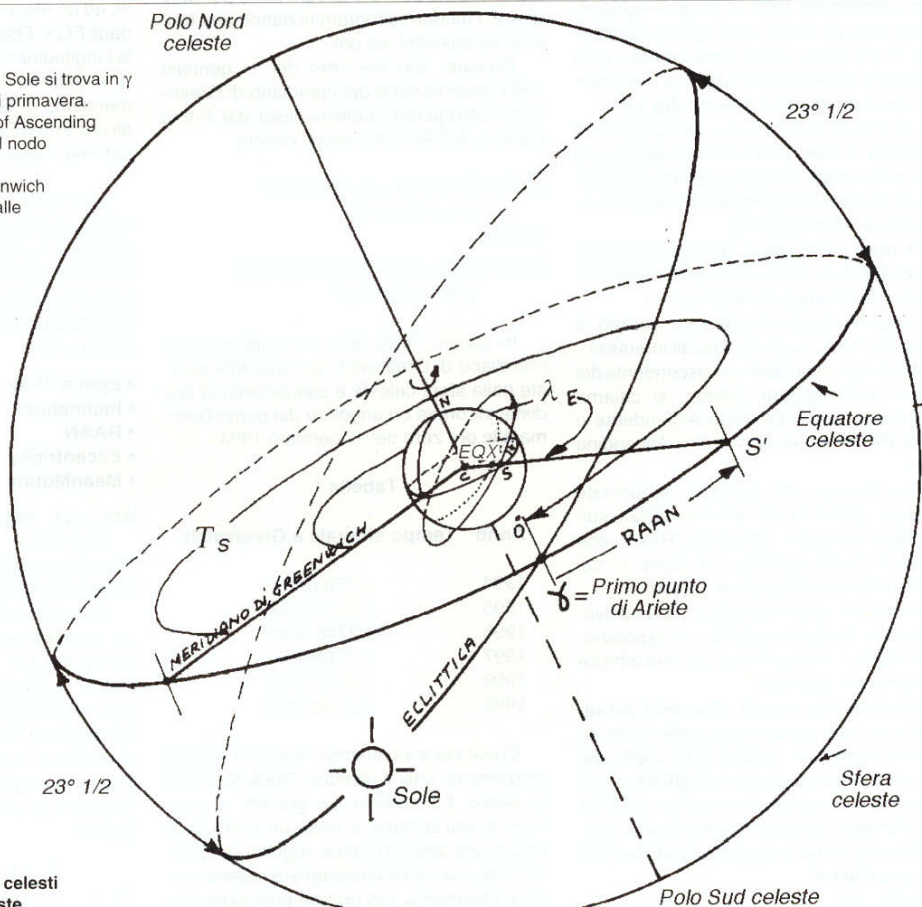


Fig. 14 • Coordinate celesti sulla sfera celeste

Se la traiettoria oraria, ascendente o discendente, interseca il cerchio di acquisizione il satellite è acquisibile, come ben sanno coloro che usano le mappe.

Gli elementi kepleriani

Questa serie di dati numerici mette in relazione fra loro la geometria kepleriana dell'orbita del satellite con la Terra e con le stelle.

La serie completa dei dati rappresenta per così dire una fotografia, una specie di istantanea di tutti gli elementi geometrici dell'orbita che viene fatta dal Norad nell'istante ben preciso, e qui sta il punto, in cui il satellite taglia un nodo ascendente o EQX.

E' quindi evidente che sapendo come fare, procedendo a ritroso, possiamo estrarre il desiderato EQX dagli elementi kepleriani.

Il modello nodale e la sfera celeste

Se facciamo partire dal centro della Terra una retta verso l'equatore terrestre e la facciamo passare nel punto in cui avviene il nodo ascendente EQX e se prolunghiamo questa retta all'infinito nello spazio, ci troveremo in un punto della sfera celeste sulla proiezione dell'equatore terrestre che prende il nome di equatore celeste (fig.14).

Il 21 marzo di ogni anno, all'equinozio di primavera, il Sole, percorrendo l'eclittica, si trova a transitare esattamente sull'equatore celeste tagliandolo nel Punto Gamma o Punto Primo di Ariete (fig.14).

Fin dalla civiltà greca, gli astronomi hanno preso questo punto come riferimento per tutte le misure angolari degli astri.

L'angolo misurato in senso antiorario, a partire dal Punto Gamma, fino all'intersezione della longitudine del nodo ascendente del satellite sull'equatore celeste, si chiama Ascensione Retta del Nodo Ascendente o RAAN (Right Ascension of the Ascending Node).

Ecco dunque che abbiamo agganciato tra loro il punto in cui avviene l'EQX sull'equatore terrestre, all'angolo RAAN che separa il Punto Gamma dal punto in cui l'EQX avviene sull'equatore celeste.

Inoltre abbiamo orientato in modo univoco il piano orbitale del satellite con la posizione del Punto Gamma dando al piano orbitale un riferimento siderale.

Siccome i due sistemi, effemeridi del satellite con l'uso geocentrico delle carte ed elementi kepleriani, basati sulle stelle con l'uso del computer, sono ora legati fra loro, è facile intuire che possiamo ricavare gli EQX dagli elementi kepleriani, tanto più che questi si trovano sempre aggiornati su tutti i BBS della rete Packet.

Facile, no?

Calcolare gli EQX è molto semplice

Per fare questo lavoro ci serve solo una calcolatrice che svolga le quattro operazioni elementari più le funzioni trigonometriche (che non c'è neppure bisogno di sapere cosa sono, tanto lo sa la macchinetta...).

Se questa ha la funzione che trasforma le ore e decimali in ore, minuti primi e minuti secondi, e viceversa, il conto è più veloce.

Guardiamo la fig.14. Alle ore zero del primo giorno di ogni anno (il momento in cui si stappa lo spumante, per intenderci), la distanza angolare T_S fra il meridiano di Greenwich ed il punto Gamma o Tempo Siderale a Greenwich è dato in gradi dal libro delle "Effemeridi Nautiche", edito annualmente dall'Istituto Idrografico della Marina.

Per evitare di comprare questo "Nautical Almanac" (inventato dagli inglesi ed usato fin dai tempi del capitano James Cook, i valori del Sideral Time" T_S fino al 1999 sono stati convertiti da gradi in frazioni di giorno di 24 ore e riportati nella tabella 1.

Questi numeri sono i famosi "Sideral Time" che bisognava inserire nel vecchio programma di W3IWI all'inizio di ogni anno per farlo girare. I moderni programmi hanno una routine per calcolarli da soli.

Dunque, alle ore zero del 1° gennaio 1994, la proiezione del meridiano di Greenwich sull'equatore celeste dista dal Punto Gamma 0,27619018 giorni, ovvero:

$$0,27619018 \times 24 = 6,62856432 \text{ ore e decimali}$$

oppure:

$$0,27619018 \times 360^\circ = 99,04284648 \text{ gradi e decimali}$$

In questo modo abbiamo agganciato il meridiano di Greenwich sull'equatore celeste nella sfera celeste e conosciamo la sua distanza oraria od angolare dal punto Gamma alle ore zero del 1° gennaio 1994.

Tabella 1

| Anno | Tempo siderale a Greenwich |
|------|----------------------------|
| 1994 | 0,27619018 |
| 1995 | 0,27552708 |
| 1996 | 0,2748 6399 |
| 1997 | 0,27693880 |
| 1998 | 0,27627570 |
| 1999 | 0,27561260 |

Come noi impostiamo il Sideral Time nel programma, così il capitano Cook regolava l'orologio. Il problema più grande, a quell'epoca, era portarsi in mare un orologio, o meglio una serie di orologi, regolati sul Sideral Time che potessero segnare questo orario di riferimento con grande precisione per tutta la durata dei viaggi, lunghi anche un

paio d'anni. Avendo il T_S ed il "Nautical Almanac" con le effemeridi delle stelle calcolategli dagli astronomi dell'Ammiraglio di Sua Maestà Britannica, Cook calcolava il punto nave con estrema precisione, quella dell'orologio.

Prendiamo ora un set di elementi kepleriani del satellite che ci interessa e di cui vogliamo calcolare gli EQX.

Di tutti i dati ce ne servono solo cinque, fra cui i più importanti sono:

L'Epoch Time, che indica l'anno, il giorno e la frazione di giorno in cui avviene l'EQX; in pratica è la data e l'ora dell'EQX.

La RAAN, che indica la distanza in gradi fra la proiezione del nodo ascendente sull'equatore celeste al momento dell'EQX e il punto Gamma (fig. 14).

Il Mean Motion, che indica il numero di orbite al giorno del satellite e che ci serve per calcolare il suo periodo nodale.

Siccome, per definizione, il set degli elementi kepleriani è una istantanea di tutti i parametri dell'orbita nel momento dell'EQX, abbiamo quanto occorre per ricavare l'EQX.

Ora tutto potrà essere traslato da un riferimento siderale come dato dai kepleriani, ad un riferimento geocentrico, come dato dagli EQX. Osservando la fig.14 si vede che la longitudine del nodo ascendente chiamata λ_E è data da T_S , tempo intercorrente fra il meridiano di Greenwich e il Punto Gamma all'orario dell'Epoch Time, meno la RAAN del satellite, ossia:

$$\lambda_E = T_S - \text{RAAN}$$

La RAAN ci viene fornita dagli elementi kepleriani e perciò l'unica cosa da calcolare è solo il T_S al momento dell'Epoch Time. Vediamo come si fa. Supponiamo di avere i seguenti dati tratti dai kepleriani di RS 10/11, satellite per il quale l'uso delle carte è abbastanza utile.

- Epoch Time = 94134.60454
- Inclination = 82,93
- RAAN = 353,67
- Eccentricity = 0,0013
- MeanMotion = 13.72337

All'Epoch 94134.60454 il satellite taglia l'equatore.

Data e ora dell'EQX sono: Anno 1994.

Giorno 134^a dell'anno (ossia il 14 maggio, che si rileva contando i giorni sul calendario. La frazione di giorno è 0,60454, quindi: $0,60454 \times 24 = 14,50896$ ore e decimali. Dato il T_S alle ore zero del primo gennaio 94, pari a 0,27619018 giorni (vedasi la tab. 1), ed essendo 134 i giorni trascorsi fra la data suddetta e quella dell'Epoch Time, il T_S , espresso in gradi, nel momento dell'Epoch Time che è anche quello dell'EQX è il seguente:

$$T_{S_{134}} = \left[\left(\frac{134 - 1}{365,2422} + 0,27619018 \right) \times 360 \right] + (15 \times 14,50896) = 448,15396 \text{ gradi}$$

Essendo il T_S maggiore di 360 gradi, bisogna togliere 360, per cui:

$$T_{S134} = 448.15396 - 360 = 88.1539 \text{ gradi e decimali}$$

In questa formula: 365.2422 sono i giorni dell'anno tropico medio, ossia il tempo intercorrente tra due passaggi consecutivi del Sole per il punto Gamma, o Primo punto di Ariete, all'equinozio di primavera il 21 di marzo. 15 sono i gradi di rotazione angolare della Terra da Ovest verso Est in un'ora.

Gli altri dati sono noti.

Calcolato T_S all'ora dell'EQX, la longitudine λ_E del nodo ascendente in gradi W (Ovest) è:

$$\lambda_E = T_S - \text{RAAN}$$

ma essendo $T_S < 360$ gradi, sarà:

$$\lambda_E = (T_S + 360) - \text{RAAN}$$

da cui, sostituendo i valori:

$$\lambda_E = (88.1539 + 360) - 353.67 = 94.4839 \text{ gradi e decimali}$$

Possiamo dunque affermare che il satellite RS 10/11 il giorno 14 maggio 1994 taglia l'equatore (EQX), mentre procede da Sud a Nord, alle ore 14.50896, pari alle:

14h:30':32".256 (ore, primi, secondi)
a longitudine 94.4839 gradi W.

Questa è finalmente l'effemeride nodale di riferimento del satellite:

| Day | Time (UTC) | Long (W) |
|-------------|------------|----------|
| May 14/1994 | 14:30:32 | 94.48 |

Calcolo delle effemeridi successive

Per calcolare gli EQX successivi è sufficiente aggiungere:

- 1) all'ora del nodo ascendente il periodo nodale in ore, primi e secondi;
- 2) alla longitudine del nodo ascendente, l'incremento di longitudine nodale in gradi, primi e secondi.

Cosa sono e come si calcolano?

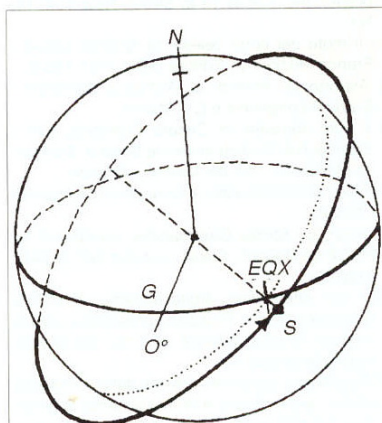


Fig. 9 • Il tempo impiegato dal satellite da un nodo ascendente EQX al nodo ascendente successivo si chiama "periodo nodale".

Calcolo del periodo nodale dell'incremento di longitudine nodale e delle perturbazioni dell'orbita

Il periodo nodale è il tempo intercorrente fra due passaggi consecutivi del satellite all'equatore (fig. 9). E' diverso dal periodo anomalistico, che è il tempo intercorrente fra due passaggi consecutivi del satellite al perigeo (fig. 10). Questa differenza, positiva o negativa, è funzione dell'inclinazione ed è dovuta alla perturbazione dell'orbita, causata dallo schiacciamento terrestre.

La non sfericità della Terra determina infatti la rotazione della linea degli apsidi, che unisce apogeo con perigeo e che provoca la variazione dell'argomento del perigeo (vedasi le didascalie delle figg. 7 e 8).

Ciò modifica il periodo nodale. Inoltre, giacché in 24 ore (meno 3 minuti e 56 secondi) la Terra ruota di 360 gradi da Ovest verso Est, l'incremento di longitudine nodale è dato da 360 gradi diviso il Mean Motion (che è il numero di orbite al giorno più un fattore di correzione il cui segno è funzione dell'inclinazione ed è dovuto alla non sfericità della Terra che provoca la regressione del nodo, ovvero la precessione del piano orbitale in funzione della sua inclinazione; fig. 6). Ciò modifica l'incremento di longitudine nodale.

Questi movimenti di perturbazione - di cui bisogna tener conto nel calcolo del periodo nodale e dell'incremento di longitudine nodale a lungo termine - sono stati scoperti dopo il lancio dei satelliti artificiali e sono riassunti nelle didascalie delle figg. 7 e 8.

Data la vastità dell'argomento, non è possibile soffermarsi con molti dettagli su questo affascinante aspetto della meccanica celeste che gli OM satellitari anni 70 conoscevano bene.

Chi volesse trovare elementi di studio più completi può consultare le annate di RR dal 1970 al 1980 in cui lo scrivente ha trattato abbondantemente il moto dei corpi celesti nella Rubrica "Spazio nuova frontiera".

Ciò premesso, determiniamo il periodo nodale, l'incremento di longitudine nodale e le perturbazioni dell'orbita secondo il seguente schema di calcolo che, per essere veloce, impiega formule con molte costanti numeriche (tutte eventualmente dimostrabili agli interessati). Per RS-10/11 determiniamo il semiasse maggiore dell'orbita = (a):

$$a = \left(\frac{7.53766 \times 10^{13}}{\text{MM}^2} \right)^{1/3} = 7369.505 \text{ km}$$

Inclinazione: $i = 82, 93$ gradi

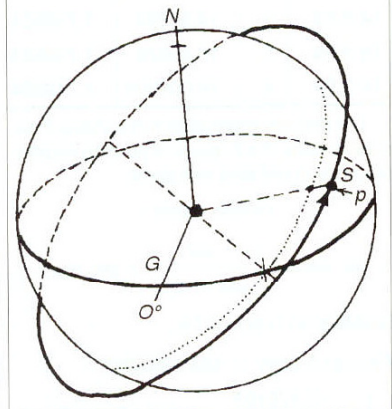
Eccentricità: $e = 0,0013$

Mean Motion: $\text{MM} = 13.072337$ orbite/giorno

Determiniamo il parametro (p) dell'ellisse:

$$p = a (1 - e^2) = 7369.492 \text{ km.}$$

Fig.10 • Il tempo impiegato dal satellite dal perigeo P a ritornare al perigeo si chiama periodo anomalistico ed è diverso dal periodo nodale. Se per effetto della rotazione degli apsidi il perigeo va incontro al satellite, il periodo anomalistico è minore di quello nodale. Se invece il perigeo si allontana dal satellite, il periodo anomalistico è maggiore di quello nodale.



Ricaviamo la costante (A)

$$A = \frac{2.377328 \times 10^7}{p^2} \times \text{MM} = 6.0072371$$

Calcoliamo la regressione del nodo ascendente, o variazione della RAAN, in gradi al giorno (dRA).

Questa è la prima perturbazione.

$$\text{dRA} = A \cos i = -0,739382 \text{ gradi al giorno}$$

Siccome $i < 90$ gradi (fig.7), dobbiamo dare a dRA il segno meno e così la RAAN si sposta da Est verso Ovest, in senso contrario al moto del satellite, avvicinandosi al Punto Gamma.

Calcoliamo ora la variazione giornaliera della linea degli apsidi, detta anche variazione dell'argomento del perigeo (dW).

Questa è la seconda perturbazione

$$\text{dW} = A (2 - 2,5 \sin^2 i) = -2,776107 \text{ gradi/giorno}$$

Si lascia il segno meno perché l'inclinazione (i) è maggiore di quel famoso 63,43 gradi e l'argomento del perigeo (dW) varia in senso contrario al moto del satellite (fig. 8).

Se invece (i) è minore di 63,43 gradi occorre dare il segno più perché l'Argomento del Perigeo varia nello stesso senso del moto del satellite come nel caso di Oscar-13 (fig. 7).

Se (i) = 63,43 gradi, la RAAN non varia e apogeo e perigeo restano nella stessa posizione per tutta la vita del satellite.

Dopo aver calcolato le perturbazioni dell'orbita bisogna calcolare il periodo anomalistico, che è legato alla Mean Motion (MM) dalla seguente relazione.

$$\text{Per. anom.} = \frac{1400}{\text{MM}} = 104.9304945 \text{ minuti}$$

Satelliti

| Tabella 2 Stazione Computo delle effemeridi nodali Satellite RS 10/11 | | | | | | | | | |
|--|-----------|---|-----------------------------------|-------------------------|---------------|---------------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------|----------------------|
| Data DD/MM/YY | EQX n. | Ora del nodo Orb. rifer. Ore e decim. | Periodo nodale Ore e decim. | Ora dei nodi successivi | | Longit. nodo orbita di riferim. | Incremento longitudine nodale | Longitudine dei nodi successivi | |
| | | | | Ore decim. | Ore, min, sec | | | Gradi e decimali | Gradi primi, sec. |
| 14-5-94 | 1 | 14,50896 | | | 14:30:32 | 94,4839 | | 94,4839 | / |
| 14-5-94 | 2 | 14,50896 | 1,749824 | 16,258784 | 16:15:31 | 94,4839 | 26,373132 | 120,857032 | / |
| 14-5-94 | 3 | 16,25878 | 1,749824 | 18,008604 | 18:00:30 | 120,857032 | 26,373132 | 147,230164 | / |
| 14-5-94 | 4 | 18,008604 | 1,749824 | 19,758428 | 19:45:30 | 147,230164 | 26,373132 | 173,603297 | / |

Dal periodo anomalistico ricaviamo il periodo nodale, che è legato al periodo anomalistico da quest'altra relazione:

Periodo nodale =

$$= \text{per. anom.} - \left(\frac{dW}{MM \times 360} \times \text{per. anom.} \right)$$

Sostituendo i valori si ha:

$$\begin{aligned} \text{Periodo nodale} &= 104.9304945 - \\ &- \left(\frac{-2,776107}{13,72337 \times 360} \times 104.9304945 \right) = \\ &= 104.9894568 \text{ minuti} = \\ &= 1,74982424267 \text{ ore decimali} \end{aligned}$$

Questo tempo va sommato all'ora del primo EQX di riferimento per avere gli EQX successivi.

Come si vede il periodo nodale è più grande del periodo anomalistico perché, essendo $(i) > 63,43$ gradi, l'argomento del perigeo si sposta in senso contrario al moto del satellite di -0,20229 gradi per orbita (fig. 8)

In altre parole, tutto il piano dell'orbita ruota su se stesso in senso contrario al moto del satellite, ritardando il momento in cui questo taglia l'equatore. Facile no?

Calcoliamo ora l'incremento di longitudine nodale (dL) con la seguente relazione:

$$dL = (\text{per. nod.} \times 0,2506847407) - \frac{dRa}{MM}$$

La rotazione terrestre di 360 gradi, o giorno siderale, si compie in 23 ore, 56 primi, 04 secondi pari a 23.9344444 ore e decimali. Moltiplicando per 60 si ottengono 1436.06667 minuti. Dividendo 360 gradi per questi minuti si ottiene la costante 0,2506847407 gradi/minuto, che è la velocità di rotazione angolare terrestre. Quindi:

$$\begin{aligned} dL &= (104.9894568 \times 0,2506847407) - \\ &- \left(\frac{-0,739382}{13,72337} \right) = 26,373132 \text{ gradi / orbita} \end{aligned}$$

Questo angolo è finalmente l'incremento di longitudine nodale del satellite e va sommato alla longitudine nodale del primo EQX per avere la longitudine degli EQX successivi.

I valori così calcolati tengono conto delle più importanti perturbazioni dell'orbita come qualunque moderno programma di tracking

e consentono di calcolare esatti EQX per periodi di molti mesi con precisione più che sufficiente, per quanto consenta l'uso dell'Oscar locator.

Ricordarsi che non basta calcolare EQX precisi: ogni satellite ha bisogno di un cerchio di acquisizione e di una traiettoria oraria calcolata in base alla sua altezza e inclinazione.

Le carte calcolate per RS 10/11 sono utilizzabili anche per RS 12/13, ma non per Oscar-20 e per i satelliti meteorologici.

Se richiesto, sarà pubblicata la teoria per tracciare il contorno dei cerchi di acquisizione e le traiettorie orarie per punti.

Il calcolo degli EQX successivi al primo nodo ascendente di riferimento è riportato nella tabella-2.

Durante il calcolo dell'orario del nodo, quando l'ora diventa maggiore di 24, si sottrae 24 e si passa all'ora e alla data del giorno successivo.

Durante il calcolo della longitudine nodale, quando la longitudine supera 360 gradi, bisogna sottrarre 360.

La longitudine è considerata in gradi W (Ovest), ossia si parte da Greenwich verso Ovest per ritornarvi dopo 360 gradi.

Le longitudini Est e Ovest non sono di pratico uso con queste effemeridi e, anzi, complicano la vita.

Conclusioni

Questo lavoro è dedicato alla memoria del mio maestro di Astronomia, capitano di fregata Costantino Rallo I8AOH, che mi ha insegnato a visualizzare sulla sfera celeste e che dal 1970 al 1980 ha calcolato a mano per la rubrica "Spazio nuova Frontiera" di Radio Rivista, le effemeridi nodali da OSCAR-6 a OSCAR-8 con questo stesso metodo.

Mi auguro che tutti gli OM che usano ancora i sistemi grafici per il tracking di satelliti in orbita polare circolare, e sono molti, traggano profitto da questa procedura di calcolo rigorosamente scientifica, in quanto è proprio ragionando e sperimentando che si acquista una mentalità matematica.

Matematica deriva dal greco "mathéma" che significa: coloro che sanno. Infilando solo dischi nel computer, senza ragionare, si rischia di divenire "acusmatici" che, secondo Pitagora e Socrate, è l'opposto di mate-

matici, ossia coloro che arrivano alla conoscenza senza vedere. Il giudizio non è mio bensì di Luciano De Crescenzo, noto scrittore napoletano ed esperto ingegnere nel campo dell'informatica.

Ora non ci sono più scuse e se qualche lodevole OM vuol continuare ad usare le carte invece del computer, ora sa come fare per calcolarsi gli EQX dai kepleriani, con buona pace dell'Istantrack.

L'Oscarlocator, completo di mappa azimutale centrata sul Polo Nord, cerchi di acquisizione e traiettorie orarie trasparenti, in acetato, per tutti i satelliti Oscar e meteorologici è disponibile al prezzo di 5 sterline, spese postali incluse, presso: R. J. C. Broadbent G3AAJ - 94 Herongate Road, Wanstead Park, London E12 5EQ England.

Bibliografia

- 1) Oscar News: organo ufficiale dell'Amsat-UK: varie annate, dal 1970 al 1980 - a cura di Peter Greed G3MQD e Gregory Roberts ZS1BI
- 2) Amsat Newsletter: organo ufficiale dell'Amsat-USA, varie annate - a cura di Otmar Popp. DL3SX
- 3) Radio Rivista: varie annate della Rubrica "Spazio nuova frontiera" dal 1970 al 1980 a cura di I4MY Marciano Righini, I8CVS Domenico Marini, I8AOH Costantino Rallo.
- 4) Satellite Tracking: by Stanley Macko - a Rider Publication - Cat. N°289 John F. Rider Publisher, Inc., 116 W.14 th Street, New York 11, NY
- 5) Il moto dei corpi celesti: di Antonio Leone - Franco Muzio e C. Editore ISBN 7021-193-2
- 6) Astronomia Pratica: di Wolfgang Schröder - Edizioni Longanesi e C. - Milano.
- 7) Il volo spaziale: di Cesare Cremona, ERI - Edizioni RAI Radiotelevisione Italiana - Biblioteca Marzocco - Via dei Martelli - Firenze
- 8) I satelliti artificiali: Istituto Geografico de Agostini - Novara
- 9) Oscar: by Stratis Caramanolis, distributed by RSGB 35 Doughty Street - London WC1N 2AE, England.
- 10) I vari effetti delle orbite ellittiche: di I8CVS Domenico Marini. Relazione presentata presso l'Istituto Tecnico Nautico di Torre del Greco, reperibile presso l'A.
- 11) Significato, uso e conversione delle coordinate orbitali geocentriche e nuovo sistema di previsioni orbitali basato sulle coordinate celesti riferite alle stelle: di I8CVS Domenico Marini. Relazione presentata il 6 giugno 1982 alla Fondazione Guglielmo Marconi - Villa Griffone - Pontecchio Marconi. Reperibile presso l'A.