

**CONSIDERAZIONI SUL PUNTAMENTO
DELL'ANTENNA SHF DEL SATELLITE
SIRIO**

Rapporto interno C88-48

ottobre 1988

N.Celandroni

**CONSIDERAZIONI SUL PUNTAMENTO DELL'ANTENNA
SHF DEL SATELLITE SIRIO**

N. Celandroni

CNUCE - Istituto del CNR
Via S. Maria, 36
56100 PISA - (I)
Tel. +39 50 593207
Telex 500371 CNUCE

Rapporto Interno CNUCE C88 - 48
Ottobre 1988

Prefazione

La presente nota contiene una valutazione approssimata degli errori di puntamento dell'antenna SHF del satellite SIRIO indotti dalle condizioni orbitali e di assetto discoste dai valori nominali.

La nota già redatta a suo tempo (1978) in forma di manoscritto, viene oggi pubblicata perchè molte delle considerazioni hanno validità generale ed i problemi di puntamento delle antenne SHF dei satelliti geostazionari rivestono tuttora un notevole interesse.

1. Introduzione

Vengono calcolate (2) le coordinate terrestri del punto P_0 illuminato dall'antenna SHF del satellite SIRIO e precisamente del punto in cui la terra viene interessata dall'asse centrale del lobo principale di irradiazione dell'antenna (direzione di massimo guadagno), che in seguito sarà chiamato semplicemente asse di puntamento.

Tale calcolo viene fatto per condizioni ideali e cioè: orbita perfettamente goesincrona con eccentricità e inclinazione nulle, asse di spin normale al piano equatoriale.

Successivamente (3) viene fatta una analisi degli scostamenti istantanei che l'asse di puntamento viene ad avere rispetto alla direzione satellite - P_0 sul piano verticale e sul piano orizzontale, in condizioni orbitali e di assetto compatibili con le tolleranze specificate per la missione.

I suddetti scostamenti vengono calcolati (4) anche per un punto P_1 qualsiasi sulla superficie terrestre.

Tutti i calcoli sono condotti, dove risulta conveniente, con le approssimazioni possibili per gli angoli piccoli ed i risultati sono affetti da un errore minore dell'1%.

Nota: I valori delle grandezze sono stati espressi usando le convenzioni anglosassoni per il punto e la virgola.

1.1 Simbologia

Con riferimento alla Fig. 1.1. definiamo la simbologia usata:

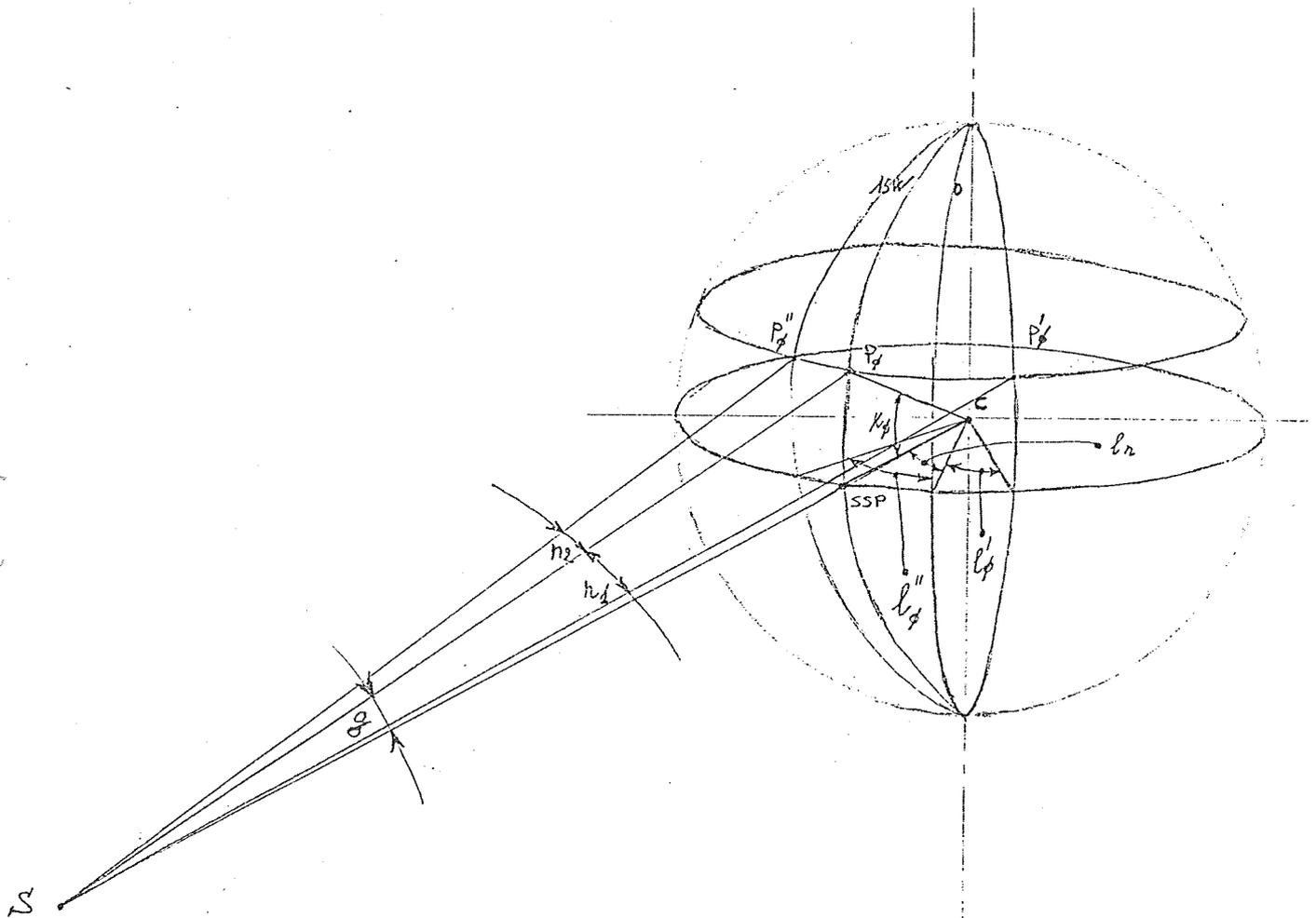


Fig. 1.1

- a - ascensione retta dell'asse di spin
- C - punto che rappresenta il centro della terra

- d - declinazione dell'asse di spin. Per le specifiche a e d debbono essere tali che l'asse di spin risulti entro un cono di apertura di 1 grado rispetto alla normale all'orbita
- d_s - Complementare della declinazione dell'asse di spin ($90^\circ - d$)
Per le specifiche di station - keeping il valore di tale angolo non deve superare 0.8°
- D - distanza sincrona del satellite dal centro della terra: 42,166 km
- e - eccentricità dell'orbita. Per le specifiche non deve superare il valore 0.001
- g - angolo tra l'asse di spin e l'asse dell'antenna controrotante: 6.5° .
- Gr - costante che esprime il numero dei gradi contenuti in un radiante: 57.296
- i - inclinazione dell'orbita. Per le specifiche non deve superare il valore di 0.3°
- k_0 - latitudine del punto P_0
- k_1 - latitudine del punto P_1
- l_0 - longitudine del punto P_0
- l_1 - longitudine del punto P_1
- l_n - longitudine nominale del SSP: 15 gradi W
- l - longitudine media del SSP nell'arco di tempo di un giorno
Per le specifiche il modulo dell'angolo ($l - l_n$) non deve superare 1°
- M - anomalia media del satellite nella sua orbita
- n - angolo diedro tra i piani passanti per : asse di antenna e nadir vector, asse di antenna e asse di puntamento. Si ha per il puntamento A: $n = n_1 = - 2.5^\circ$ e per il puntamento B: $n = n_2 = 1.5^\circ$

- P_0 - punto di interconnessione, sulla superficie terrestre, dell'asse di puntamento di antenna in condizioni ideali ($i = 0$, $e = 0$, $ds = 0$)
- P_1 - punto della superficie terrestre diverso da P_0
- q_0 - angolo di elevazione dei sensori a campo stretto sul piano di spin
- R - raggio della terra: 6,378 km
- S - punto che rappresenta la posizione del satellite
- SAP - Sub Antenna Point. Punto dove la superficie terrestre è intersecata dall'asse di puntamento, (coincide con P_0 in condizioni ideali)
- S_o - scostamento angolare della retta $S-P_0$ dall'asse di puntamento, proiettato sul piano orizzontale
- S_o' - scostamento angolare della retta $S-P_1$ dall'asse di puntamento, proiettato sul piano orizzontale
- SSP - Sub Satellite Point - Punto dove la superficie terrestre viene intersecata dalla retta $S-C$
- S_v - scostamento angolare della retta $S-P_0$ dall'asse di puntamento, proiettato sul piano verticale
- S_v' - scostamento angolare della retta $S-P_1$ dall'asse di puntamento, proiettato sul piano verticale
- ω - argomento di perigeo dell'orbita del satellite
- W - ascensione retta del nodo ascendente dell'orbita del satellite.

2. Calcolo delle coordinate del SAP in condizioni ideali

Come è noto [1], l'antenna SHF del satellite è solidale ad un sistema controrotante, avente l'asse che forma un angolo g rispetto all'asse di spin. L'asse di puntamento giace su un piano normale all'asse dell'antenna.

Dall'angolo g dipende quindi la latitudine del punto P_0 (SAP in condizioni ideali).

Il sistema asservito e' del tipo ad aggancio di fase e l'azimuth di puntamento e' ricavato sommando un certo sfasamento m rispetto al segnale di earth-in proveniente da uno dei due sensori terrestri a campo stretto. L'angolo m e' reso variabile su comando, in una certa gamma, per consentire i due puntamenti previsti per la missione (A e B).

Indichiamo con P_0, P_0', P_0'' , i puntamenti relativi all'angolo n uguale a $0, n_1$ (puntamento A) ed n_2 (puntamento B) rispettivamente. Date le dimensioni degli angoli in gioco si puo' supporre $k_0 = k_0' = k_0''$.

2.1. Latitudine di P_0 .

Dalla Fig. 1.1. si ricava:

$$\operatorname{tg} g (D - R \cos k_0) = R \operatorname{sen} k_0$$

Da cui:

$$k_0 = \arccos \left(\frac{D}{R} \left(\cos g \sqrt{\left(\frac{R}{D}\right)^2 - \operatorname{sen}^2 g} + \operatorname{sen}^2 g \right) \right) \quad [2.1.1]$$

e con i dati espressi in (1) si ottiene:

$$k_0 = 42^\circ.$$

2.2. Longitudine di P_0 .

Indicando con J l'angolo $l_0 - l_n$, dalla fig. 1.1. si ricava:

$$\operatorname{tg} n (D - R_k \cos J) = R_k \operatorname{sen} J$$

dove $R_k = R \cos k$

e risolvendo:

$$J = \arccos \left(\frac{D}{R_k} \left(\cos n \sqrt{\left(\frac{R_k}{D}\right)^2 - \operatorname{sen}^2 n} + \operatorname{sen}^2 n \right) \right) \quad [2.2.1]$$

con i dati espressi in (1) si ottiene:

$$\text{per } n = n_1, J = -10.3^\circ$$

$$\text{per } n = n_2, J = 12^\circ$$

[2.2.2]

per cui:

$$l_0' = 5.3 \quad [\text{gradi E}]$$

$$l_n'' = 27 \quad [\text{gradi W}]$$

[2.2.3]

3. Calcolo degli scostamenti dall'asse di puntamento in condizioni reali.

Quando l'orbita presenta una certa eccentricità ed una certa inclinazione e l'asse di spin non è rigorosamente normale al piano equatoriale, l'asse di puntamento forma un certo angolo con la direzione S- P_0 . Tale angolo è necessario per calcolare il decremento del guadagno di antenna nel punto P_0 , per cui lo scomponiamo nelle due proiezioni: sul piano passante per P_0 e parallelo al piano equatoriale e sul piano normale al piano equatoriale e contenente la retta S- P_0 .

Chiamiamo le due componenti, S_o ed S_v , scostamento orizzontale e scostamento verticale rispettivamente.

3.1 Scostamento verticale dell'asse di puntamento

Lo scostamento S_v viene calcolato come la somma di più contributi supposti indipendenti tra loro. Ciò è valido solo con l'approssimazione di linearità, resa possibile dalla dimensione delle grandezze in gioco.

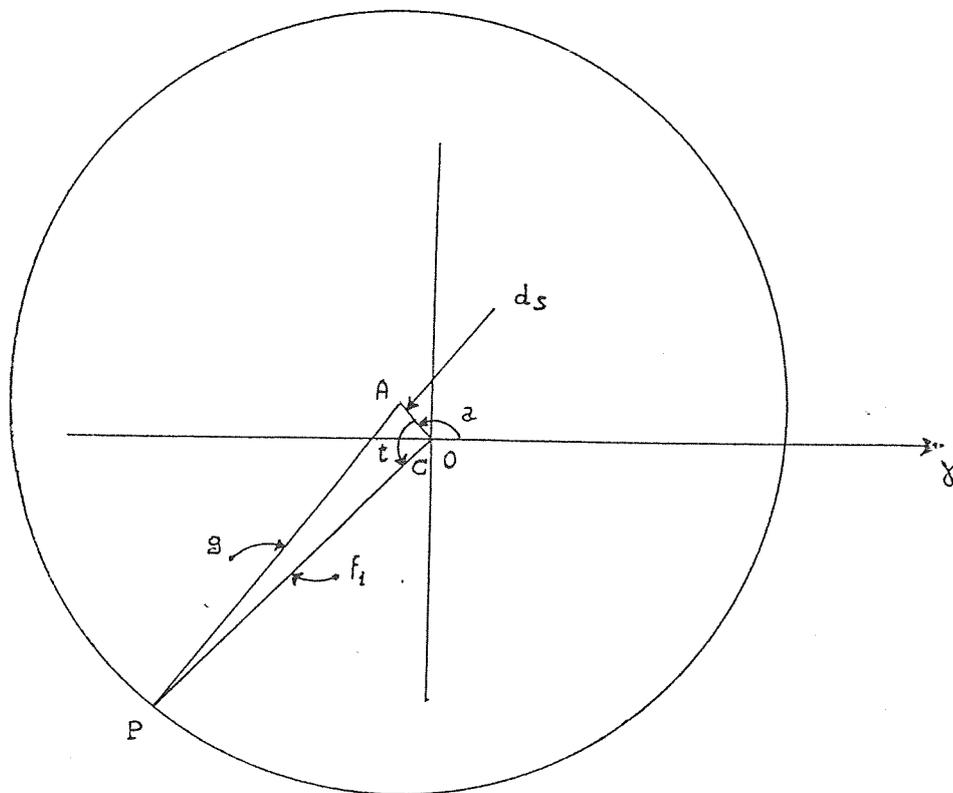


Fig. 3.1.1.

Per i calcoli che seguono l'orbita viene assunta perfettamente circolare.

Prendiamo in esame l'effetto prodotto dall'angolo ds (complementare della declinazione dell'asse di spin). Supponiamo prima nullo il contributo dovuto all'angolo n , che calcoleremo successivamente.

In Fig. 3.1.1. si è rappresentato parte della proiezione della sfera celeste sul piano equatoriale osservata da NORD. I punti O, A, e P, giacenti sull'emisfero SUD della sfera, uniti al centro della sfera C, individuano tre direzioni: rispettivamente il NORD, l'asse di spin e l'asse dell'antenna. La direzione C-P descrive un cono circolare attorno a C-A.

Considerando che l'asse di puntamento è normale all'asse dell'antenna, è facile vedere che l'angolo f_1 , relativo al lato O-P del triangolo sferico AOP, rappresenta l'elevazione dell'asse di puntamento sul piano equatoriale (Fig. 3.1.2).

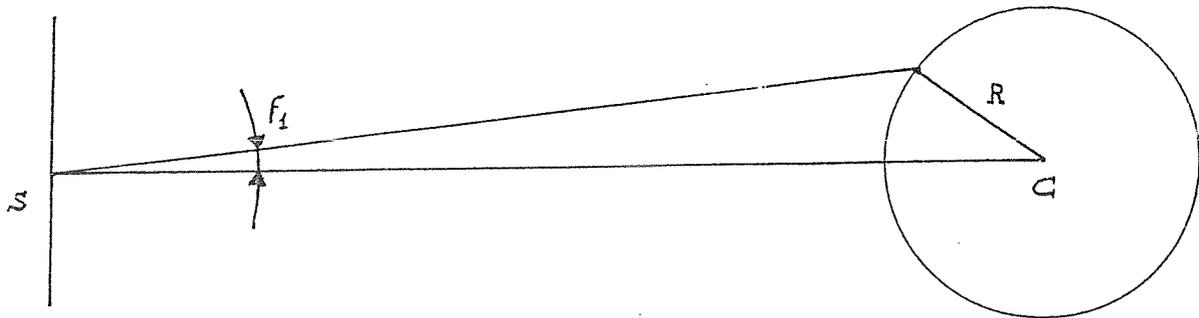


Fig. 3.1.2.

L'ascensione retta di P, coincide con l'azimuth di puntamento.

La Fig. 3.1.3. ci permette di stabilire una relazione tra l'azimuth di puntamento e i parametri orbitali, considerando nullo l'angolo n .

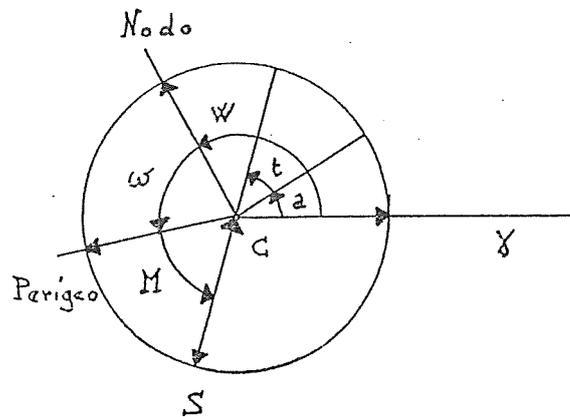


Fig. 3.1.3.

Si da infatti, dato il basso valore dell'inclinazione orbitale:

$$W + \omega + M + 180^\circ = a + t \quad [3.1.1]$$

Risolviendo il triangolo sferico di Fig. 3.1.1. si ricava:

$$\cos g = \cos f_1 \cos d_s + \sin f_1 \sin d_s \cos t$$

Essendo d_s molto piccolo, sia in assoluto, sia rispetto a g ed f_1 , si giustificano i passaggi:

$$\cos g = \cos f_1 \cos d_s + \sin f_1 (d_s \cos t)$$

$$\cos g = \cos f_1 \cos (d_s \cos t) + \sin f_1 \sin (d_s \cos t)$$

da cui:

$$g = f_1 - d_s \cos$$

sostituendo il valore di t dalla 3.1.1. e ricavando f_1 si ottiene:

$$f_1 = g - d_s \cos (W + \omega + M - a) \quad [3.1.2]$$

L'effetto che ha l'angolo n sulla elevazione dell'asse di puntamento f_2 è illustrato in Fig. 3.1.4.

Con riferimento alla Fig. 3.1.5, quando il satellite subisce una variazione di quota sul piano dell'equatore, a causa della inclinazione orbitale, il SAP si sposta da O ad O' sulla superficie terrestre. Si vuole conoscere l'effetto equivalente attribuito ad una variazione dell'angolo di elevazione dell'asse di puntamento che passa quindi dal valore f' al valore fittizio f .

Con le notazioni di figura si ha:

$$\operatorname{tg} f = \frac{B'}{B} \operatorname{tg} f' - \frac{H}{B} \quad [3.1.5]$$

approssimando all'unità il rapporto B'/B ed indicando con $\operatorname{tg} f''$ il rapporto H/B , si ottiene:

$$\operatorname{tg} f = \operatorname{tg} f' - \operatorname{tg} f'' \quad [3.1.6]$$

Per cui, con le approssimazioni degli angoli piccoli si ha:

$$f = f' - f'' \quad [3.1.7]$$

cioè

$$f = f' - \frac{H}{B} \operatorname{Gr} \quad [3.1.8]$$

H , in funzione dei parametri orbitali, è dato da:

$$H = D \frac{i}{\operatorname{Gr}} \operatorname{sen} (M + \omega) \quad [3.1.9]$$

mentre il valore di B si può approssimare a:

$$B = D - R \cos k_0 \cos (l_0 - l_n)$$

Sostituendo nella 3.1.8 il valore di f' della 3.1.4 ed il valore di H della 3.1.9, si ottiene per l'elevazione dell'asse di puntamento l'espressione:

$$f = g - d_s \cos (W + \omega + M - a) + n \frac{ds}{\operatorname{Gr}} \operatorname{sen} (W + \omega + M - a) + \frac{D}{B} i \operatorname{sen} (M + \omega) \quad [3.1.10]$$

per cui lo scostamento verticale della direzione S-P₀ dall'asse di puntamento:

$$S_v = f - g$$

viene ad assumere l'espressione:

$$S_v = - d_s \sin (W + \omega + M - a + 90^\circ) + n \frac{ds}{Gr} \sin (W + \omega + M - a) + \frac{D}{B} i \sin (M + \omega) \quad [3.1.11]$$

I tre termini della 3.1.11 si possono considerare come tre vettori rotanti secondo l'angolo M e solidali tra loro. Si può quindi rendere nulla la loro risultante e quindi lo scostamento S_v.

Considerando le piccole dimensioni dell'angolo n, la suddetta condizione viene soddisfatta dalle relazioni:

$$a = W + 90 + n \quad [3.1.12]$$

$$d_s = \frac{D}{B} i = \frac{D}{D - R \cos k_0(l_0 - l_n)} i$$

Con i valori del caso in esame si ha per la seconda delle 3.1.12:

$$d_s = 1.118 i,$$

per il puntamento A e

$d_s = 1.124$ per il puntamento B per cui si può assumere il valore intermedio:

$$ds = 1.12 i,$$

valido per entrambi i puntamenti.

3.2. Scostamento orizzontale dell'asse di puntamento

Anche questo scostamento viene calcolato come somma di contributi e valgono le stesse considerazioni fatte per lo scostamento verticale.

Vediamo prima quale è la componente, dovuta alla eccentricità dell'orbita, della variazione di longitudine del SSP dal valore nominale. Supposta nulla la drift, il problema si riconduce a calcolare la differenza u tra anomalia vera e anomalia media. L'anomalia media M è legata alla anomalia eccentrica E dalla relazione [2]:

$$M = E - e \sin E \quad [3.2.1]$$

con M ed E espresse in radianti.

L'anomalia vera v è legata ad E dalla relazione [2]:

$$\cos v = \frac{\cos E - e}{1 - e \cos E} \quad [3.2.2]$$

e risolvendo rispetto ad E si ricava:

$$\cos E = \frac{e + \cos v}{1 + e \cos v} \quad [3.2.3]$$

Poniamo:

$$u_1 = v - E \quad [3.2.4]$$

$$u_2 = E - M$$

$$u = v - M = u_1 + u_2$$

Dalla prima delle 3.2.4 e dalla 3.2.3 si ottiene:

$$\cos (v - u_1) = \cos v \cos u_1 + \sin v \sin u_1 = \frac{e + \cos v}{1 + e \cos v}$$

considerando unitario $\cos u_1$ e risolvendo rispetto a $\sin u_1$ si ottiene:

$$\sin u_1 = \frac{e \sin v}{1 + e \cos v}$$

per cui, confondendo il seno con l'argomento di u_1 :

$$u_1 = \frac{e \sin v}{1 + e \cos v} \quad [3.2.5]$$

Combinando la seconda delle 3.2.4. con la 3.2.1 si ha:

$$u_2 = e \operatorname{sen} E \quad [3.2.6]$$

Sostituiamo la 3.2.5. e la 3.2.6. nella 3.2.4:

$$u = e \operatorname{sen} E + \frac{e \operatorname{sen} v}{1 + e \cos v} \quad [3.2.7]$$

Trascurando l'espressione: $e \cos v$ rispetto all'unità e confondendo tra loro E , v ed M , la 3.2.7 si può scrivere

$$u = 2 e \operatorname{sen} M \quad [3.2.8]$$

Vediamo ora la componente dovuta alla inclinazione orbitale della variazione di longitudine del SSP.

Supponiamo ancora nulla la drift, della fig. 3.2.1 si deduce che la componente cercata u' è espressa dalla differenza degli angoli:

$$u' = s - t \quad [3.2.9]$$

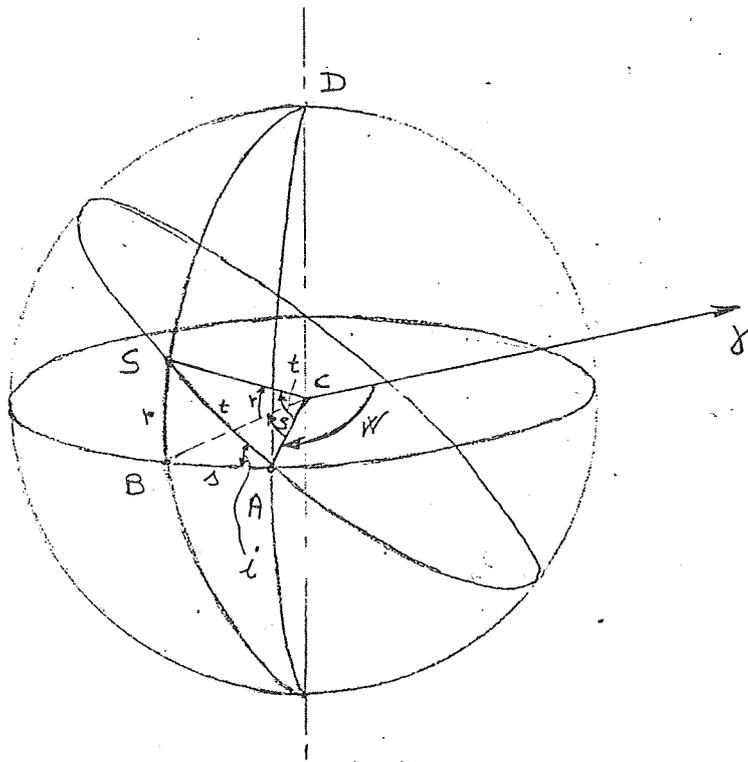


Fig. 3.2.1

Dalla risoluzione del triangolo sferico ASD abbiamo:

$$\cos (90 - r) = \operatorname{sen} t \cos (90 - i)$$

e cioè:

$$\operatorname{sen} r = \operatorname{sen} t \operatorname{sen} i \quad [3.2.10]$$

Dalla risoluzione del triangolo sferico ABS (retto in B) abbiamo:

$$\cos r = \frac{\cos t}{\cos s} \quad [3.2.11]$$

Sostituiamo la 3.2.9 nella 3.2.11; si ottiene:

$$\cos r = \frac{\cos t}{\cos (t+u')} = \frac{\cos t}{\cos t \cos u' - \operatorname{sen} t \operatorname{sen} u'}$$

e considerando $\cos u'$ unitario si ha:

$$\cos r = \frac{1}{1 - \operatorname{tg} s \operatorname{sen} u'} \quad [3.2.12]$$

Combiniamo la 3.2.10 e la 3.2.12 e confondiamo i seni con gli argomenti per i e u' . Si ottiene così la relazione in u' :

$$\operatorname{tg}^2 t (i^2 \operatorname{sen}^2 t - 1) u'^2 - 2 \operatorname{tg} t (i^2 \operatorname{sen}^2 t - 1) u' + i^2 \operatorname{sen}^2 t = 0$$

con i e u' espressi in radianti.

Risolvendo si ottiene per u' l'espressione:

$$u' = \frac{1 + \sqrt{1 - i^2 \operatorname{sen}^2 t}}{\operatorname{tg} t (1 - i^2 \operatorname{sen}^2 t)} \quad [3.2.13]$$

da cui, scomponendo in serie, armandoci al primo termine, l'espressione:

$$\sqrt{1 - i^2 \operatorname{sen}^2 t} = 1 - \frac{i^2}{2} \operatorname{sen}^2 t,$$

e trascurando il termine $i^2 \text{sen}^2 t$ rispetto all'unità al denominatore della 3.2.13 si ricava:

$$u' = - \frac{\text{sen}^2 t}{\text{tg} t} \frac{i^2}{2} = - \text{sen} t \cos t \frac{i^2}{2}$$

per cui:

$$u' = - \frac{i^2}{4} \text{sen} 2 t \quad [3.2.14]$$

La componente dovuta alla indicazione orbitale è espressa quindi da un termine del secondo ordine.

Dato il basso valore di i , si può ritenere valida la relazione angolare:

$$t = M + \omega$$

per cui:

$$u' = - \frac{i^2}{4} \text{sen} 2 (M + \omega) \quad [3.2.15]$$

Sia l la longitudine media del SSP ed l_n quella nominale. Tenuto conto delle componenti u ed u' espresse dalla 3.2.8 e dalla 3.2.15, si ha che lo scostamento di longitudine dl dal valore nominale è espresso da:

$$dl = l - l_n + (2 e \text{sen} M - \frac{i^2}{4} \text{sen} 2(M + \omega)) Gr \quad [3.2.16]$$

L'espressione di dl tiene conto anche dell'effetto dovuto alla drift.

Vediamo ora l'effetto che ha la variazione di longitudine dl sullo scostamento orizzontale S_{01} della direzione $S-P_0$ dall'asse di puntamento.

Con le notazioni di fig. 3.2.2 si ricava l'espressione approssimata:

$$S_{01} = \frac{\cos (l_0 - l_n + n) \cos n}{\frac{D}{R \cos k} - \cos (l_0 - l_n)} dl \quad [3.2.17]$$

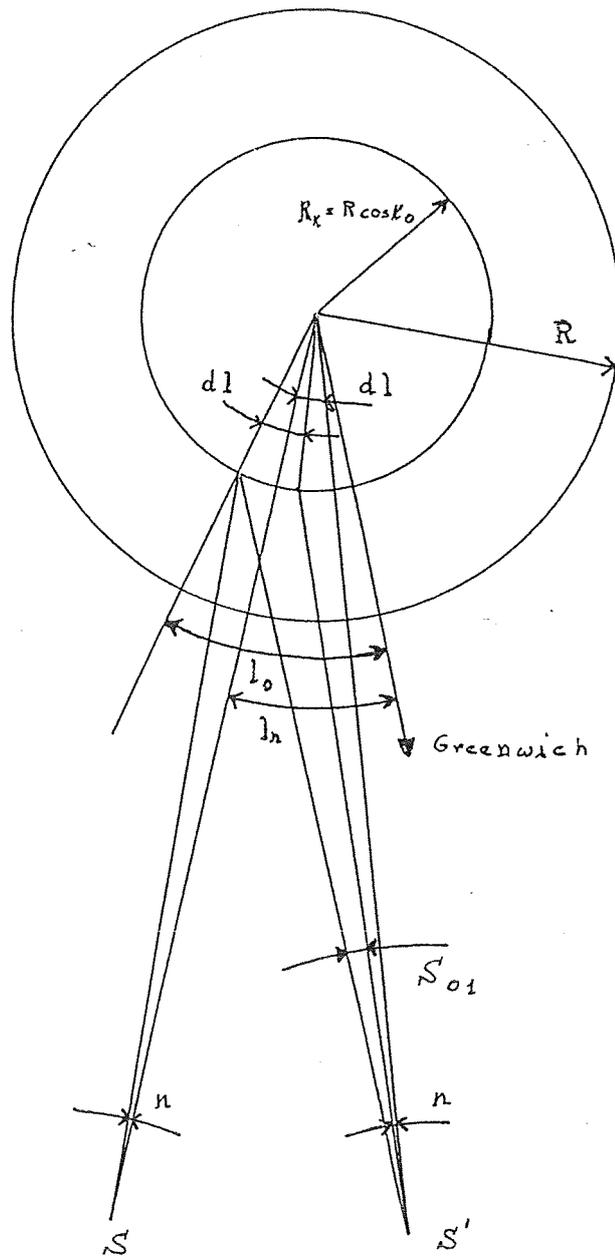


Fig. 3.2.2.

Con i valori di k_0 e l_0 ricavati in (2) si ha rispettivamente per il primo e secondo puntamento:

$$S_{01}' = 0.116 dl$$

$$S_{01}'' = 0.123 dl$$

[3.2.18]

Per semplicità assumiamo l'espressione

$$S_{o1} = 0.12 \text{ dl} \quad [3.2.19]$$

valida per entrambi i puntamenti.

Sostituendo nella 3.2.19 di espresso dalla 3.2.16 si ricava:

$$S_{o1} = 0.12(1 - I_n + (2 e \text{ sen } M - \frac{i^2}{4} \text{ sen } 2(M + \omega))Gr) \quad [3.2.20]$$

Considerando l'espressione quantitativamente (con i valori limite dei parametri espressi in (1)) si ha che il termine dovuto alla eccentricità dell'orbita vale al massimo 0.014 gradi, e quello dovuto alla inclinazione orbitale è inferiore a 10^{-4} gradi. I termini fluttuanti della 3.2.20 possono quindi essere trascurati. Per effetto del termine $1 - I_n$, causato dalla drift, S_{o1} assume al massimo il valore di 0.12 gradi.

Un altro termine S_{o2} contribuisce allo scostamento orizzontale dell'asse di puntamento. Questo è dovuto alla variazione della colatitudine terrestre, scandita dal sensore a campo stretto con un angolo di elevazione q variabile. L'effetto è illustrato in fig. 3.2.3.

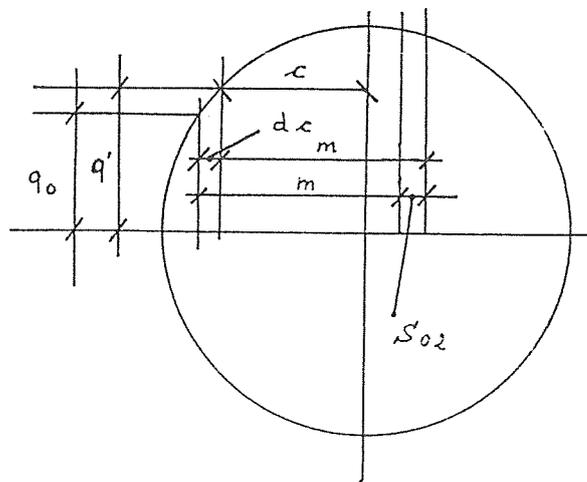


Fig. 3.2.3

Detta k_1 la latitudine alla quale la terra viene scandita dal sensore, l'apertura angolare c tra il bordo della terra e il meridiano centrale è espressa in radianti dalla relazione:

$$c = \frac{R}{D} \cos k_1$$

Detto q l'angolo di elevazione del sensore sul piano equatoriale abbiamo che:

$$\text{sen } k_1 = \frac{D}{R} \text{tg } q$$

Sostituendo k_1 nella 3.2.21 dalla 3.2.22 e differenziando si ottiene:

$$dc = -\frac{D}{R} \frac{\text{tg } q}{\cos^2 q \sqrt{1 - \left(\frac{D}{R}\right)^2 \text{tg}^2 q}} dq \quad [3.2.23]$$

e per q pari al valore nominale q_0 si ha:

$$dc = -0.98 dq$$

e cioè

$$S_{o2} = 0.98 dq \quad [3.2.24]$$

dq è composto dalla somma di due termini dq_1 e dq_2 indicati in fig. 3.2.4 e ricavabili con un procedimento analogo a quello usato in 3.1. Abbiamo cioè:

$$dq = c_0 d's - ds'' + i' \quad [3.2.25]$$

dove

$$c_0 = c|_{q=q_0} = 6.25 \text{ [gradi]}$$

$$d's = \frac{ds}{Gr} \text{sen } (M + W + \omega - a)$$

$$ds'' = ds \text{sen } (W + \omega + M + c_0 - a + 90^\circ)$$

$$i' = i \text{sen } (M + \omega)$$

Sostituendo dq dalla 3.2.25 nella 3.2.24 si ottiene:

$$S_{o2} = 0.98 \left(c_0 \frac{ds}{Gr} \text{sen } (M + W + \omega - a) - ds \text{sen } (W + \omega + M - a + 90^\circ) + i \text{sen } (M + \omega) \right) \quad [3.2.26]$$

Come già visto in 3.1 l'effetto risultante può essere reso nullo sotto le condizioni:

$$ds = i$$

$$a = W + 90 + c_0$$

[3.2.27]

Con i valori di tolleranza per la missione espressi in (1), la componente S_{o2} risulta comunque inferiore a $\pm 0.6^\circ$.

E' da notare che le condizioni 3.2.27 non sono molto distanti da quelle espresse dalle 3.1.12 che rendono nullo lo scostamento verticale. Si può concludere che lo scostamento orizzontale S_o è espresso da:

$$S_o = S_{o1} + S_{o2}$$

con S_{o1} ed S_{o2} espressi rispettivamente dalla 3.2.20 e dalla 3.2.26.

Il valore limite di S_o , tenuto conto di tutti gli effetti, è perciò $\pm 0.7^\circ$.

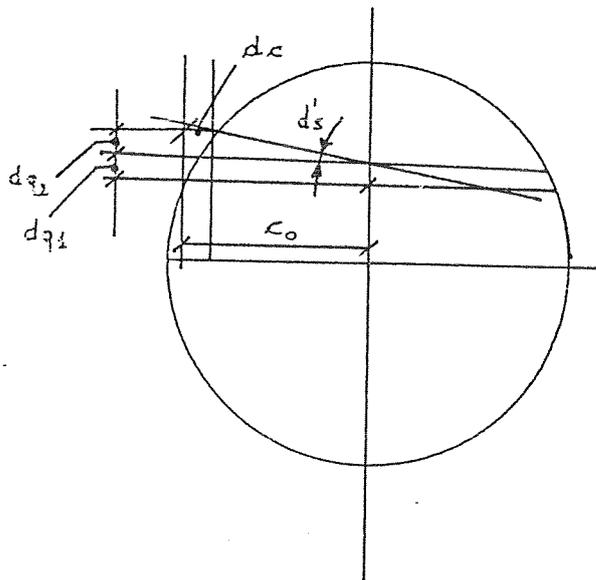


Fig. 3.2.4.

4. Calcolo degli scostamenti dall'asse di puntamento per punti qualsiasi

Si consideri un punto P_1 sulla superficie terrestre distante dal SAP in condizioni ideali P_0 . Tenuto conto delle dimensioni degli angoli in gioco, si può ragionevolmente pensare che gli scostamenti dall'asse di puntamento, per il punto P_1 , conservino ancora componenti fluttuanti del tipo di quelle calcolate per il punto P_0 , traslate, di un valore costante che dipende dalla distanza di P_1 da P_0 .

Siano S_v' e S_o gli scostamenti sul piano verticale e sul piano orizzontale e siano k_1 ed l_1 la latitudine e la longitudine del punto P_1 rispettivamente. Abbiamo che:

$$S_v' = g - g' - ds \operatorname{sen} (W + \omega + M - a + 90^\circ) + \frac{n'ds}{Gr} \operatorname{sen} (W + \omega + M - a) + \frac{D}{D - R \cos k_1 \cos (l_1 - l_n)} i \operatorname{sen} (M + \omega) \quad [4.1]$$

$$S_o' = n - n' + 0.98(0.109 ds \operatorname{sen} (W + \omega + M - a) - ds \operatorname{sen} (W + \omega + M - a + 90^\circ) + i \operatorname{sen} (M + \omega)) \quad [4.2]$$

dove:

$$g' = \operatorname{arctg} \frac{R \operatorname{sen} k_1}{D - R \cos k_1 \cos (l_1 - l_n)}$$

$$n' = \operatorname{arctg} \frac{R \operatorname{sen} k_1 \operatorname{sen} (l_1 - l_n)}{D - \cos k_1 \cos (l_1 - l_n)}$$

essendo l_n la longitudine media del SSP.

Per i valori di S_v' ed S_o' si può tenere in considerazione anche quanto è espresso relativamente agli errori di puntamento nel documento citato al riferimento [3].

Il guadagno di antenna relativo al punto P_1 può essere calcolato facilmente se si è in possesso del diagramma di irradiazione in forma tridimensionale.

Riferimenti

- 1 - Sirio e Pacecraft Operational Manual - Finocchi Bertoldi
(C.I.A. S-OM-001 del 3.11.1976).
- 2 - An Introduction to Celestial Mechanics - Theodore E. Sterne 1960.
- 3 - Rapporto sulle prove di Operational Spin Condotte sul Satellite
F.U. - Grana (C.I.A. S-TR-091 del 18.6.1977).