

## VERIFICA DIMENSIONALE DI UN'ANTENNA *CHOKE RING* PER IL MONITORAGGIO DEL TERRITORIO

Piero DE FAZIO

ENEA, Ente per le Nuove tecnologie, l'Energia e l'Ambiente – C.R. Trisaia s.s. 106 Jonica km. 419,500  
75026 Rotondella (MT) – tel. : 0835974711 fax: 0835 974350 e-mail: defazio@trisaia.enea.it

### Riassunto

Il lavoro presenta le prove condotte presso il Centro Integrato di Metrologia dell'ENEA all'interno del C.R. Trisaia su un'antenna *choke ring GPS* al fine di verificare le sue eventuali variazioni dimensionali subite in seguito a sollecitazioni termiche ed ambientali protratte nel tempo e riprodotte artificialmente all'interno di camere climatiche. Le caratteristiche dimensionali sono state determinate mediante una macchina di misura a coordinate. La conservazione nel tempo della geometria e delle dimensioni dell'antenna, normalmente utilizzata nelle stazioni permanenti per il monitoraggio ed il controllo del territorio, è fondamentale per l'attenuazione del fenomeno del multipath e quindi per la diminuzione di fonti di errore nella misura.

### Abstract

This paper present the results of some test conducted at the ENEA's Metrology Center inside the Trisaia Research Center on a Choke Ring Ground Plane antenna in order to verify its possible geometrical and dimensional variations resulting from environmental stresses (temperature, humidity, etc.), protracted over time and artificially reproduced inside climatic rooms. The dimensional features have been determined by a coordinate-measuring machine. The preservation of the antenna geometry and dimensions over time is essential for the mitigation of the multipath.

### Premessa

Notevole è oramai il numero di stazioni permanenti *GPS* diffuse sul territorio ed organizzate in forma di reti regionali, nazionali, europee, mondiali.

Il loro compito principale è essenzialmente quello di produrre, archiviare e distribuire con continuità i dati, sia di codice che di fase, acquisiti nel tempo.

Gli obiettivi, come noto, sono molteplici: il monitoraggio delle deformazioni crostali e più in generale del territorio, il mantenimento del sistema di riferimento, l'uso cartografico, la navigazione terrestre, l'uso catastale, l'uso ingegneristico, ecc.

Componente fondamentale del *sistema* "stazione permanente *GPS*" è l'antenna, il cui scopo è quello di ricevere i segnali dai satelliti e di trasmetterli al ricevitore; essa è progettata in modo tale da minimizzare o, nel migliore dei casi annullare, gli effetti del *multipath*.

Il *multipath* del segnale *GPS* si verifica quando l'antenna del ricevitore è posizionata vicino ad una superficie riflettente, ovvero nella maggioranza dei casi operativi; il segnale non si dirige direttamente sull'antenna bensì colpisce l'oggetto vicino e viene riflesso, dando luogo quindi ad una falsa misurazione che ha come diretta conseguenza sul risultato finale un errore che varia da alcuni centimetri sull'osservabile di fase ad alcuni metri su quella di *pseudorange*, non compatibile con le accuratezze richieste nel caso di misure geodetiche di precisione.

Tre sono essenzialmente i metodi per mitigare od annullare il fenomeno del percorso multiplo del segnale:

- evitare di compiere misure in aree in cui è ragionevole aspettarsi fenomeni di *multipath*. È chiaro che questa è soltanto una soluzione teorica e radicale anche se, durante le applicazioni in campo, è buona norma considerare un angolo di elevazione sull'orizzonte maggiore di 15° così da limitare gli effetti del *multipath*.
- Separare mediante tecniche di processamento i segnali "buoni" da quelli "cattivi".
- Proteggere fisicamente l'antenna GPS dai segnali indiretti attraverso una sorta di ombrello protettivo rovesciato; è proprio questo il caso della *choke ring* in cui la presenza di un piatto orizzontale (*ground plane*) scherma l'antenna vera e propria rispetto ai segnali provenienti dal basso. Il piatto è poi dotato di nervature concentriche, in genere in numero superiore a tre, il cui scopo è quello di neutralizzare gli effetti sulla misura dovuti alle onde riflesse.

Il disegno della *choke ring* è dovuto alla NASA, in particolare al *Jet Propulsion Laboratory* e consente di eliminare il segnale riflesso attraverso l'interferenza tra le sue componenti. Come è possibile osservare nello schema grafico successivo l'onda riflessa si può pensare divisa in due componenti:

- 1) la primaria che si propaga attraverso il piatto orizzontale e che arriva quindi all'antenna senza interessare le nervature;
- 2) la secondaria prodotta proprio dal campo elettromagnetico dovuto alle stesse scanalature.

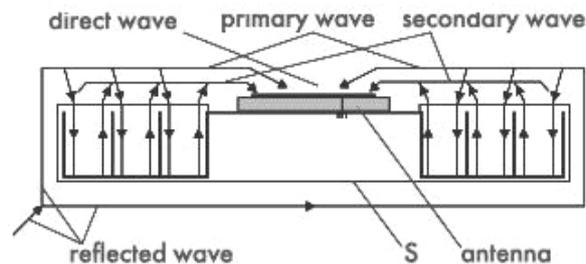


Figura 1 – Propagazione delle onde elettromagnetiche in un'antenna choke ring

L'onda secondaria, a causa del percorso aggiuntivo che deve necessariamente compiere per arrivare all'antenna e che è dovuto alla presenza delle nervature, è caratterizzata da una differenza di fase ( $\Delta \phi$ ) rispetto alla primaria tale da determinare il loro reciproco annullamento.

È quindi necessario che la geometria dell'intera antenna, sia da un punto di vista dimensionale che morfologico, garantisca che le due componenti dell'onda riflessa abbiano la stessa ampiezza ma  $\Delta \phi = 180^\circ$ .

Da quanto esposto appare evidente come una geometria così definita consenta di annullare o comunque di attenuare fortemente soltanto il *multipath* dovuto a quei segnali aventi una frequenza ben determinata; a causa della presenza delle due lunghezze d'onda nel segnale GPS, lo schema di una *choke ring* è quindi calibrato per minimizzare gli effetti della L2 rispetto a quelli dovuti alla L1. In tale ottica è quindi di rilevante importanza la conoscenza del comportamento nel tempo del materiale di cui è costituita l'antenna ovvero della sua durabilità intesa, in questo caso specifico, come capacità di conservare, sotto l'influenza degli agenti atmosferici ed ambientali previsti durante il normale esercizio, caratteristiche geometriche e dimensionali tali da garantire lo svolgimento delle funzioni richieste durante un periodo di tempo specificato.

Questo lavoro presenta i risultati ottenuti dalla verifica dimensionale dell'antenna a seguito di trattamento accelerato in camera climatica, cioè una macchina in grado di simulare gli effetti di sollecitazioni termiche così da indagare il comportamento del materiale dell'antenna stessa sottoposta a ripetuti cicli di stress termico.

### Caratteristiche dell'antenna *Choke Ring*

Le antenne *choke ring* sono in genere realizzate dalla lavorazione di un unico blocco di alluminio 6061-T6. L'alluminio, come la totalità dei metalli, non è utilizzato allo stato puro ma è legato ad altri componenti a formare delle leghe; in particolare per l'antenna *GPS* oggetto del presente lavoro, una lega a base di magnesio e silicio classificata al numero 61 nel catalogo ASTM e sottoposta a trattamento termico di tempra e rinvenimento.

Nel caso della *choke ring* LEICA AT504 utilizzata nei test descritti, l'antenna effettiva è costituita da un elemento a dipolo Dorne & Margolin ed è dotata di una struttura del tipo *choke ring round plane* opportunamente dimensionata e costituita da 4 anelli concentrici

### Verifica Geometrica

La verifica geometrica dell'antenna *Choke Ring* LEICA AT504 è stata condotta presso il laboratorio di Lunghezza del Centro Integrato di Metrologia del Dipartimento *FIM* (Tecnologie Fisiche e Nuovi Materiali) dell'ENEA, situato all'interno del C.R. Trisaia, mediante una Macchina di misura a coordinate (*CMM*). Una *CMM* è uno strumento utilizzato per le più diverse e complesse misurazioni dimensionali e geometriche, in ambiente industriale e non, ed è in grado di operare con accuratezze comprese tra 1  $\mu\text{m}$  e 100  $\mu\text{m}$ .

Mediante un sistema tastatore è possibile determinare sia la posizione di un punto in termini di coordinate spaziali all'interno di un volume di lavoro sia di associare fra loro più punti; l'invio delle coordinate misurate ad un sistema CAD permette la generazione di un modello matematico di forme geometriche che meglio li approssima e, quindi, di ottenere un modello geometrico adeguato ed utilizzabile in altre applicazioni.

È inoltre possibile ricavare, come nel caso dell'antenna *choke ring*, le caratteristiche dimensionali e geometriche per la verifica della conformità dei componenti misurati alle rispettive specifiche di progetto.

Recuperato il diagramma dimensionale dell'antenna LEICA AT504 e le dimensioni *standard* relative, si è deciso di indagare solo quelle caratteristiche dimensionali ritenute più significative ai fini dello smorzamento dell'effetto di *multipath* e riportate nello schema grafico seguente: il diametro totale del disco ( $F$ ), l'altezza della nervatura più esterna rispetto alla superficie interna del piatto ( $B$ ), la distanza tra le singole nervature misurate radialmente ( $H1$ ,  $H2$ ,  $H3$ ,  $H4$ ), l'altezza dell'antenna rispetto alla superficie di appoggio ( $A$ ).

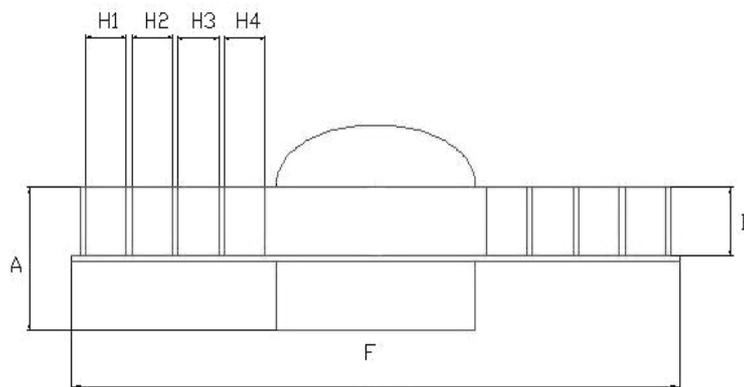


Figura 2 – elementi dimensionali dell'antenna LEICA AT 504 determinati mediante CMM

Le misure sono state eseguite in due tempi successivi  $T1$  e  $T2$  relativi all'inizio ed alla fine dell'invecchiamento all'interno della camera climatica. La tabella successiva riporta le dimensioni *standard* di progetto, i valori misurati, le differenze relative. È bene osservare che i valori misurati

sono espressi in accordo al grado di accuratezza ottenibile con la *CMM* e che ciascun dato è la media di tre osservazioni successive, così da evitare la possibilità di errori grossolani nella misura.

	Dimensioni di progetto (mm)	Dimensioni al tempo T1 (mm)	Dimensioni al tempo T2 (mm)	$\Delta 2 - \Delta 1$ (mm)
F	379,4	379,4360	379,3618	0,0742
A	101,2	100,9315	100,8949	0,0366
H1	25,1	25,0891	25,0879	0,0012
H2	25,4	25,3881	25,3770	0,0111
H3	25,4	25,3883	25,33769	0,0114
H4	25,1	25,0884	25,0856	0,0028
B	37,8	37,5036	37,4369	0,0667

Tabella 3 – tabella di raffronto tra i valori standard ed i valori misurati al tempo T1 ed al tempo T2

L'esame dei dati registrati consente le seguenti osservazioni:

- I valori *standard* sono in linea con quelli registrati al tempo T1 approssimati al decimo di millimetro ad eccezione dell'elemento B ed A. È necessario però sottolineare come l'antenna esaminata non fosse nuova ma già precedentemente utilizzata.
- Il trattamento in camera climatica e quindi lo *stress* termico cui il materiale è stato sottoposto ha determinato, alla fine del ciclo, una variazione dimensionale permanente che in media è di circa tre centesimi di mm.

### Test con la camera climatica

I test definiti normalmente di *invecchiamento* accelerato in camera climatica rientrano nelle cosiddette analisi non distruttive ed in linea generale consentono di conoscere le caratteristiche strutturali dei materiali sottoposti a indagine senza alterarne l'integrità e mantenendo quindi intatta la loro funzionalità. Nel caso specifico, come ricordato precedentemente, l'interesse della prova è concentrato sulla capacità del materiale e quindi dell'oggetto di mantenere intatte le proprie caratteristiche geometriche e dimensionali al variare ciclico della temperatura. (Carrino et al., 2003) Le prove sono state condotte all'interno del laboratorio di durabilità del già citato Centro Integrato di Metrologia; l'antenna è stata inserita all'interno di una delle camere climatiche ed è stata sottoposta a ripetuti shock termici le cui temperature sono variate in un range compreso tra -20°C e +30°C secondo cicli di temperatura con variazioni a rampa.

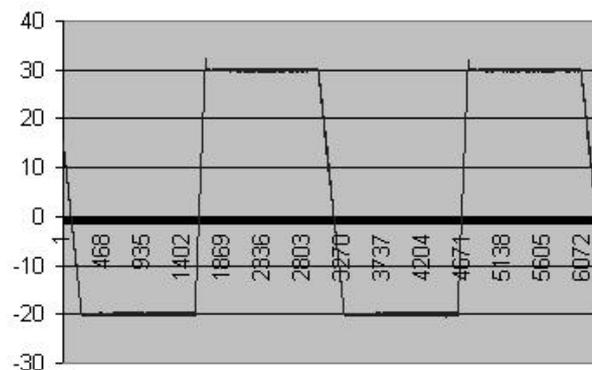


Figura 4 – Schema della variazione ciclica della temperatura

Si è deciso di non stressare in maniera eccessiva il ciclo termico considerando temperature limite ancora più accentuate in modo da simulare le temperature medie raggiungibili alle nostre latitudini durante l'anno.

L'antenna è stata poi dotata di due *strain gage* (estensimetri), strumenti in grado di misurare la deformazione e la dilatazione dei materiali attraverso uno specifico congegno elettrico costituito da un particolare tipo di sensore utilizzato per rilevare le deformazioni fisiche di un corpo sottoposto a sollecitazioni meccaniche; se infatti si tira un filamento di metallo l'effetto ottenuto, oltre al suo allungamento, è una variazione, seppur piccola, della sua resistenza elettrica proporzionale all'allungamento.

Nel caso specifico le sollecitazioni meccaniche sono state provocate dalla dilatazione e dal successivo ritiro della superficie dell'antenna a cui sono stati applicati gli *strain gage*, a seguito delle variazioni termiche.

La variazione di resistenza elettrica ha quindi consentito di misurare l'allungamento o il ritiro del materiale in funzione dell'aumento o della diminuzione della temperatura lungo la direzione di applicazione degli estensimetri, cioè quelle radiali.

Per la gestione di tutto il sistema è stato sviluppato dai tecnici del Dipartimento FIM di ENEA, un apposito software in linguaggio *LabVIEW* che permette la gestione della camera ed è installato su un computer dotato di una scheda per l'interfacciamento con gli *strain gage*.

Le prove accelerate di stress termico sono durate in tutto 15 giorni per un totale di circa 30 cicli termici; è bene sottolineare, infatti, come ciascun ciclo completo di variazione termica è stato impostato su una durata di 12 ore, per cui ogni giornata ha compreso due cicli.

Il diagramma successivo è relativo ad una parte dell'andamento ciclico delle deformazioni registrate dal software di controllo lungo la direzione radiale del piatto della *choke ring*.

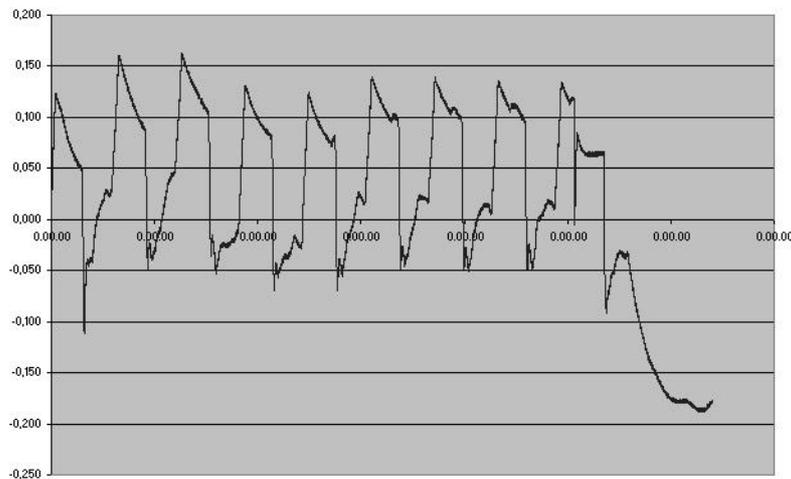


Figura 5 – Andamento ciclico delle deformazioni in funzione della variazione di temperatura

I valori medi di deformazione sono compresi tra  $-0,05$  mm e  $0,13$  mm e l'andamento deformativo si può considerare pressoché costante anche se analizzando l'intera serie dei dati è possibile osservare come il valore assoluto delle deformazioni vada gradatamente diminuendo, pur se di quantità dell'ordine del centesimo di millimetro a testimonianza del fatto che il materiale non conserva una memoria di forma ma subisce delle deformazioni permanenti. Il comportamento anomalo alla fine del ciclo è dovuto ad una non perfetta aderenza dell'estensimetro alla superficie del *ground plane*, a causa delle cattive condizioni di incollaggio.

### Calcolo del *multipath*

Prima dei *test* sopra descritti, ed alla loro conclusione si sono effettuate delle sessioni di misura GPS in modalità statica con tempi di acquisizione di 30 sec., durata di 3 ore ed angolo di inclinazione sull'orizzonte maggiore di 15°, all'interno del campo prova topografico presente nel C.R. Trisaia. Le sessioni sono state eseguite a distanza di 15 giorni, alla stessa ora, con lo stesso strumento ed in corrispondenza dello stesso pilastro del campo prova.

I risultati ottenuti sono stati poi elaborati con il software TEQC, sviluppato da UNAVCO (University NAVstar Consortium), che consente, tra le altre opzioni, di effettuare un controllo sulla qualità del file GPS con particolare riferimento alla stima dei valori di *multipath* MP1 e MP2 rispettivamente sulle frequenze L1 e L2.

Al tempo T1 i valori medi sono MP1 = 0,131383 m e MP2 = 0,132006 m con un andamento di MP1 in genere migliore di MP2 in funzione dell'angolo di inclinazione sull'orizzonte, così come evidenziato nella parte A della figura 6. Al tempo T2, invece, i valori medi sono MP1 = 0,131427 m e MP2 = 0,132089 m., leggermente maggiori rispetto a quelli del tempo T1. I grafici mostrano come i valori di Mp1 e Mp2 sono comunque simili in entrambi i casi ed il lieve peggioramento potrebbe essere attribuito alle mutate condizioni dimensionali dell'antenna.

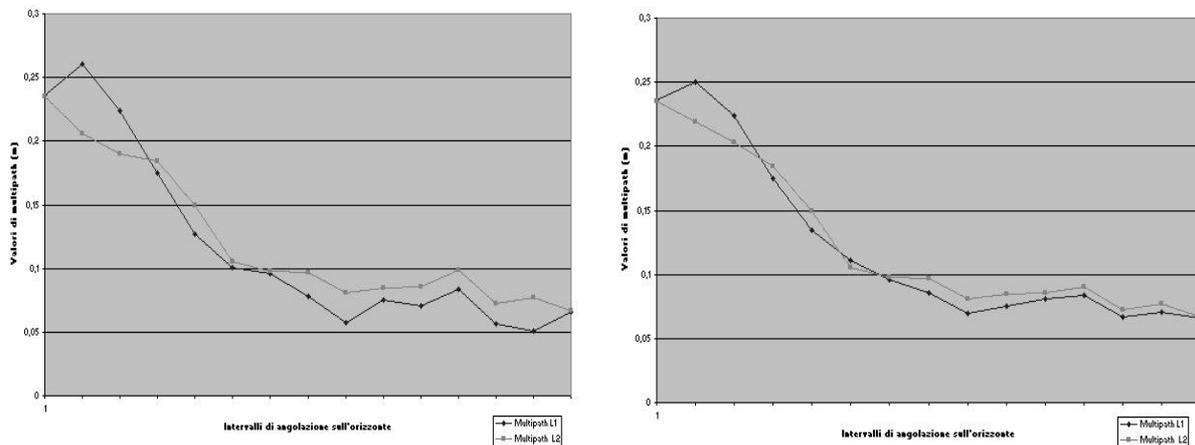


Figura 6 A – Andamento del *multipath* al tempo T1

Figura 6 b – Andamento del *multipath* al tempo T2

### Conclusione

Come tutti i materiali, anche quello costituente l'antenna *choke ring* subisce delle alterazioni temporali. Ulteriori ricerche in questo campo potranno portare probabilmente ad una modellizzazione del comportamento dimensionale dell'antenna nel tempo in seguito a sollecitazioni ambientali. Gli sviluppi del lavoro consisteranno nel ricavare attraverso la MCC il modello geometrico in 3D dell'antenna sottoposta a cicli incamera climatica più lunghi e comprensivi di ulteriori sollecitazioni ambientali, verificando l'eventuale modificazione delle attenuazioni nei confronti del *multipath*.

Si ringrazia *Leica Geosystem* nella persona del Geom. Giovanni Abate per l'assistenza prestata durante la sperimentazione.

### Bibliografia

Carrino L., Giorleo G., Polini W., Prisco U., (2003) Topography of turned surfaces, 6th International ESAFORM Conference on Material Forming, pp. 551-554, Salerno, Italy.  
 Braasch M.S. (1994) "Mitigation of multipath in DGPS Ground Reference Stations" Atti dell'Institute of Navigation National Technical Meeting, San Diego, California (USA)-