UNA TECNICA DI MISURA PER IL TEST DI FULL PHASED ARRAY IN SITO

A.Durantini N.Galatolo B.Mercanti

AMS S.p.A, Reparto Antenne-Roma
Via Tiburtina Km 12.400, 00131 Roma (Italy)
adurantini@amsjv.it ngalatolo@amsjv.it bmercanti@amsjv.it

Abstract

Calibration techniques and internal circuital BITE performed on the antenna are indispensable tools to control always more sophisticated radiating systems during their operative life. This paper describes a monitoring technique for active/passive full phased antenna systems. It is external measurement based and can be applied to localize failures and to estimate the main radiating parameters. A probe antenna is used to transmit the reference signal. The experimental results, in good agreement with the theoretical simulation, are shown for a known test configuration.

INTRODUZIONE

La possibilità di monitorare in tempo reale le condizioni operative di sistemi radianti complessi rappresenta una crescente necessità specie considerando il numero di siti radar civili e militari dislocati in luoghi spesso difficilmente accessibili che devono essere continuamente operativi con elevata affidabilità.

In questo lavoro viene presentata una metodologia di misura in campo vicino che è stata sviluppata per array di tipo full-phased. Questa consente di verificare le prestazioni di radiazione dell'antenna sotto test e di localizzare la presenza di eventuali guasti a carico dei singoli elementi radianti a partire da misure *fuori tutto* realizzate mediante un probe esterno. Il principio fondamentale su cui è basata la tecnica prende spunto dalla peculiarità dei full phased array per cui è possibile modificare elettricamente la fase di ogni singolo elemento radiante mentre tutti gli altri rimangono fissi in una configurazione di puntamento scelta. La procedura di test impone una sequenza di transizioni di fase su ogni sfasatore dell'array, uno sfasatore per volta. Un probe viene utilizzato per trasmettere un segnale continuo di riferimento. Il segnale misurato è quello ricevuto dall'antenna sotto test ed è variabile con la transizione di fase. L'estrazione dell'informazione avviene elaborando la misura sulla base del un modello di funzionamento dell'intero processo di misura. La forza di questo metodo, confermata dai risultati ottenuti, è principalmente dovuta alla sua robustezza e alla relativa semplicità della sua implementazione che può essere realizzata su sito e *on line* utilizzando la catena ricevente del sistema radar. Tale metodo è suscettibile di notevoli miglioramenti che al momento non sono stati implementati vista la sua effettiva efficacia.

METODO

Si consideri un array di N elementi configurato in una condizione di puntamento scelta. Ad ogni elemento corrisponde uno sfasatore a *nb* bit in grado di assumere 2^{nb} stati di fase equispaziati in $[0,2\pi)$. Un horn posizionato di fronte all'antenna poco lontano da questa e al di fuori del tubo di flusso trasmette un segnale CW a radiofrequenza. La procedura di misura prevede che la fase di ciascun elemento radiante, un elemento alla volta, sia modificata mediante un segnale numerico di controllo e assuma una sequenza scelta di stati di fase. Il segnale complesso misurato all'ingresso dell'antenna si può scrivere come

$$M_{ik} = S_{ik} + R_i$$

in cui i è relativo all'elemento sotto test, k indica lo stato di fase corrente dell'elemento stesso, S_{ik} è il contributo dell'elemento che sta variando, R_i è il contributo degli N-1 elementi fissi dell'array, di effetti di mutuo accoppiamento e rumore di fondo. Una rappresentazione geometrica di M_{ik} nel diagramma di Argand è mostrata in fig.1. Il centro del cerchio di best-fit delle misure fornisce una stima di R_i, mentre il raggio rappresenta il valore medio dell'ampiezza di S_{ik}. L'elaborazione dei dati di misura consente di estrarre la sequenza dei contributi associati all'elemento sotto test al fine di ricavare l'illuminazione dell'intera antenna (elemento per elemento) e di verificare il funzionamento degli sfasatori a partire dall'osservazione delle variazioni di fase di ciascuno.

RICOSTRUZIONE DEI PATTERN

Le prestazioni di radiazione dell'antenna sono state ricavate sulla base del modello di funzionamento dell'intero sistema di misura, mediante una trasformazione inversa che consente di risalire al campo, in ampiezza e fase, sull'apertura dell'antenna. Per ottenere questo risultato è necessario conoscere informazioni specifiche di sistema sotto test e dunque la geometria dell'array, il fattore di elemento attivo, la posizione del probe relativa al centro di fase dell'array ed il suo orientamento. L'eccitazione ricavata per il singolo elemento

$$s_n \propto \frac{e^{-j2\pi \frac{r_n}{\lambda}}}{r_n} Fe_n \; Fh_n \; i_n \; e^{j\phi_n}$$

dove λ è la lunghezza d'onda, Fe_n il fattore d'elemento attivo, Fh_n il fattore del probe nella direzione dell'elemento n-imo, r_n è la distanza tra il probe e l'elemento n-imo, i_n è l'ampiezza della misura relativa dell'elemento e ϕ_n è la fase dell'elemento n-imo nella configurazione di puntamento selezionata.

IDENTIFICAZIONE DEGLI SFASATORI GUASTI

Al fine di individuare eventuali sfasatori guasti è stato necessario identificare un modello di funzionamento degli stessi. Tale modello deve tener conto di tutti gli stati che l'elemento sotto test può assumere e quindi lo stato di corretto funzionamento e tutti i possibili stati di guasto di ampiezza e fase. Dall'analisi di dati misurati su elementi malfunzionanti si è scelto di considerare stati di guasto quelli dovuti al mancato inserimento di uno o più bit (in tutto N-1 con N=2nb). Le grandezze di interesse sono le transizioni di fase dell'elemento sotto test. E' stato assunto come indicatore di guasto una combinazione lineare delle transizioni di fase

$$I = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{N} \left| \psi_i - \frac{2\pi}{N} + \varepsilon_{\psi_i} \right|$$

dove ψ_i rappresenta il set di transizioni di fase di S_{ik} tra due misure nella sequenza di test, ε_{ψ_i} dipende dal rumore di misura. Il valore di I dipende dal tipo di guasto, dalla sequenza di stati trasmessa e dal livello di rumore. In condizioni deterministiche I consente di discriminare tra i diversi stati di guasto. In presenza di rumore il problema si riconduce ad una stima in condizione di rumore. Per questo motivo è stata individuata una caratterizzazione statistica dell'indicatore al fine adattare la soglia delle regola di decisione alla reali condizioni di rumore dell'ambiente di misura.

RISULTATI SPERIMENTALI

La metodologia di misura finora descritta è stata applicata ad un array in banda C di circa 2000 elementi, a ciascuno dei quali corrisponde uno sfasatore a 4 bit (16 stati di fase). Il sistema di misura è riportato nello schema in fig.2. L'analizzatore di rete vettoriale è utilizzato come modulo Tx\Rx per misurare l'ampiezza e la fase di inserzione tra la porta di uscita dell'antenna e quella del probe. Il software, installato su un personal computer, gestisce la procedura di misura, controlla la variazione dello stato di fase degli elementi dell'array e acquisisce le misure. In fig.3 è mostrato il diagramma di Argand relativo alle misure di due elementi non funzionanti dell'array. La rappresentazione geometrica mostra che la variazione della fase non è corretta. Nel primo caso (a) la rottura corrisponde allo stato di fase corrispondente a 22.5°; nel secondo (b) il bit guasto è quello che inserisce 180°. I risultati dell'applicazione del metodo descritto in ambiente anecoico sono stati confrontati con misure a banco degli sfasatori (per questo è stato necessario smontare gli sfasatori dall'array). L'accuratezza ottenuta nella detezione dei guasti è pari circa al 5%. Tuttavia la bontà dei risultati dipende dall'implementazione del sistema di misura e può variare con la posizione del probe, il livello del segnale trasmesso, le condizione ambientali. Risultati ancora migliori possono essere ottenuti ripetendo la procedura di misura in tempi diversi e\o a frequenze distinte. In fig.4 è mostrato un confronto tra il pattern ricostruito applicando la procedura descritta sopra e il pattern ottenuto mediante misure in campo vicino e in ambiente anecoico. L'accordo risulta essere molto soddisfacente.

CONCLUSIONI

In questo lavoro è descritto un metodo per il monitoraggio di array di tipo full phased, di controllare le prestazioni di radiazione dell'antenna. La forza del metodo è principalmente dovuta ai seguenti punti:

1) è una procedura "fuori tutto" in grado di monitorare le caratteristiche di radiazione dell'array completo; 2) consente di ridurre fisicamente la complessità del BITE di calibrazione interno in quanto fornisce informazioni sulle caratteristiche di funzionamento degli elementi sfasatori: 3) la sua implementazione è relativamente semplice, economica e veloce. Un ulteriore sviluppo del metodo consiste nell'implementazione *on line* della procedura nel sistema radar col vantaggio di ridurre il tempo di misura e la strumentazione.

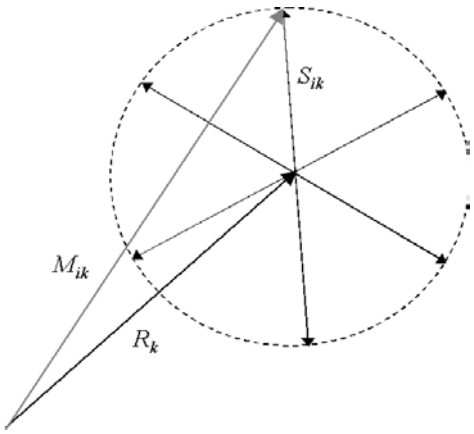

fig.1: Rappresentazione nel piano complesso della misura dell'elemento *k*-imo, M_{ik}, nel diagramma di Argand {*i=1:N*}, *N*=6.

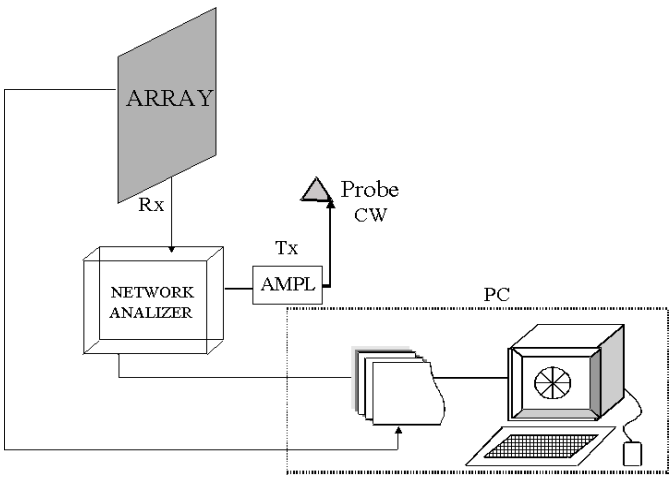

fig.2: Schema del set up di misura.

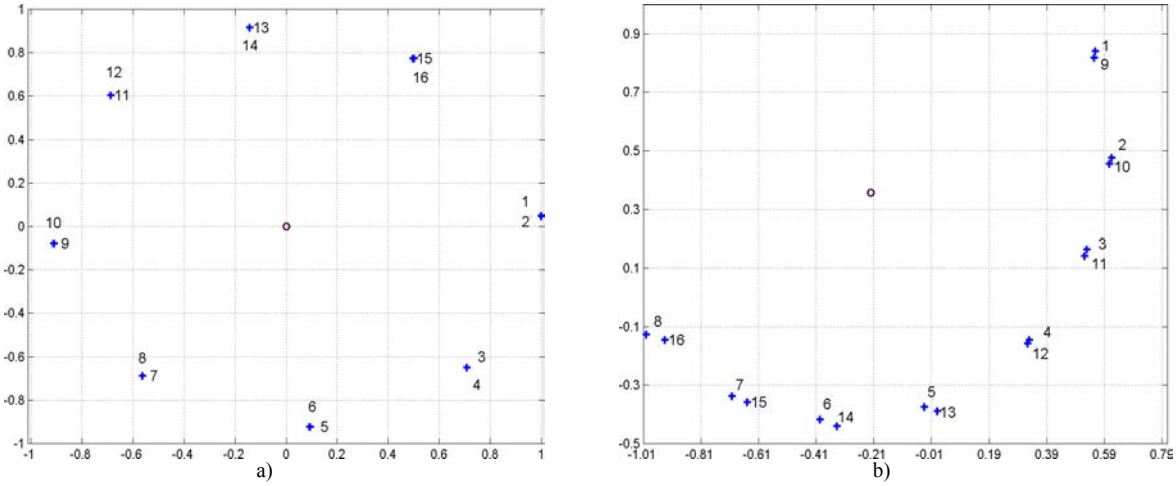

fig.3: Rappresentazione geometrica nel piano di Argand delle misure di S_{ik}, gli stati di fase sono numerati da 1 a 16 in senso crescente; i bit guasti sono quelli corrispondenti a 22.5° (a) e 180° (b).

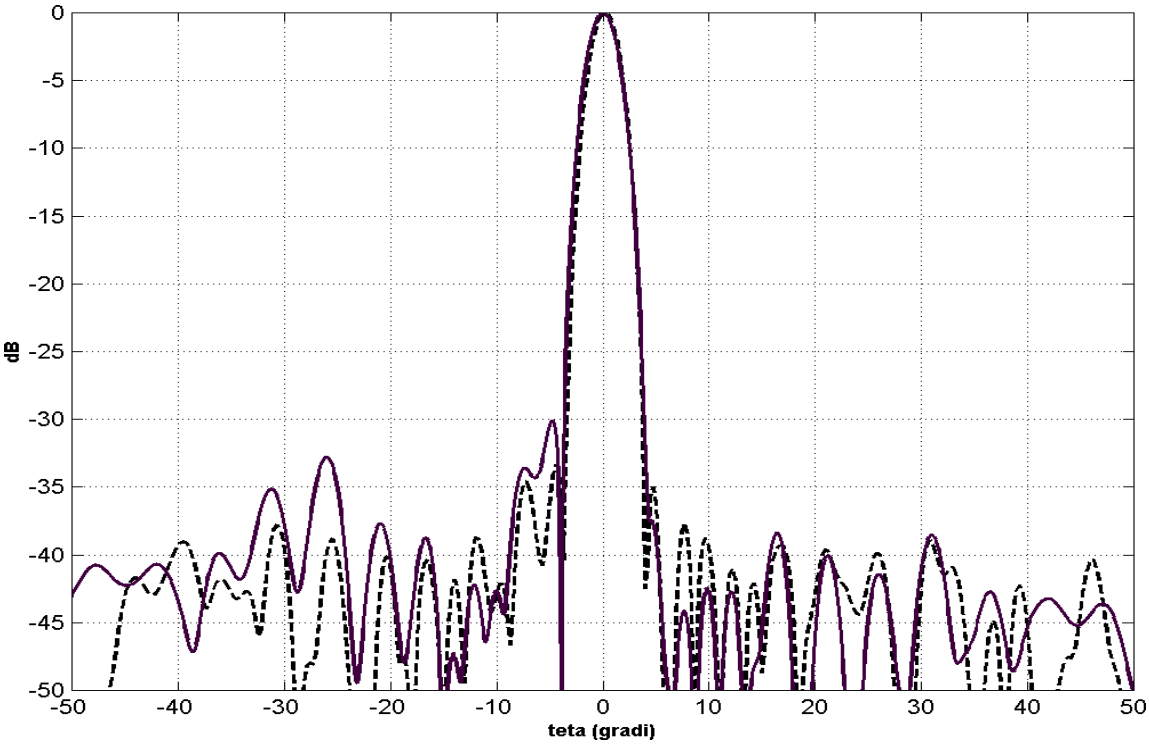

fig.4: Confronto tra il pattern dell'array ricostruito da misura su sito mediante la procedura descritta (linea continua) e quello ottenuto da misure in campo vicino (linea tratteggiata), H-plane.

BIBLIOGRAFIA

[1] E.K.L.Hung, N.Ross Fines, R.M.Turner, "A technique to estimate the Relative Gains, Tuning phases, and RF Phase Shifts of the elements of a Phased-Array Radar", IEEE Trans. On Antennas and Propagation, vol. AP-33, NO. 3, March 1985;

[2] F.Madia, N.Galatolo, B.Mercanti, "Phased Array Antenna Monitoring Systems", Internal Report, AMS Spa Roma, Italy