

## SISTEMI RADAR

### CAPITOLO 1

#### RICHIAMI DI INGEGNERIA DEGLI APPARATI RADAR

§ 1.1	<b>Il Radar: scopo e funzionamento</b> .....	1
§ 1.2	<b>Le Sub-Unità Radar</b> .....	12
	1.2.1 I Trasmettitori.....	12
	1.2.2 Le Antenne.....	20
§ 1.3	<b>I Parametri Radar</b> .....	26
	1.3.1 La Frequenza.....	26
	1.3.2 La Durata Dell'impulso .....	27

### CAPITOLO 2

#### L'AMBIENTE RADAR: IL CLUTTER

	Introduzione .....	29
§ 2.1	<b>Modello di clutter superficiale e di volume</b> .....	30
§ 2.2	<b>Effetto della rugosità della superficie (clutter di superficie)</b> .....	31
§ 2.3	<b>Dipendenza di <math>\sigma_0</math> dall'angolo di grazing (clutter di superficie)</b> .....	33
§ 2.4	<b>Modello semplificato per il clutter di terra (clutter di superficie)</b> .....	37
§ 2.5	<b>Andamento della radar cross section con la distanza</b> .....	38
§ 2.6	<b>Statistiche del clutter</b> .....	39
	2.6.1 Statistiche spaziali e temporali del clutter .....	42
	2.6.2 Spettri del clutter .....	46
	2.6.3 Statistiche del clutter di superficie (casi tipici) .....	47
§ 2.7	<b>Statistiche del clutter di volume</b> .....	49

### CAPITOLO 3

#### I DISPOSITIVI ANTICLUTTER

	Introduzione .....	55
§ 3.1	<b>Metodi di riduzione del clutter agendo sulla trasmissione</b> .....	55
§ 3.2	<b>Metodi di riduzione del clutter in ricezione</b> .....	58
	3.2.1 Clutter Fix .....	58
	3.2.2 Adaptive Clutter Attenuator.....	58
	3.2.3 Cenni sul ricevitore logaritmico .....	59
	3.2.4 Autogate o CFAR Threshold o Mean Level Detector.....	60

3.2.5	Altre tecniche comunemente impiegate per ridurre gli effetti del clutter: FAN, TWS.....	62
3.2.6	Impiego del sistema MTD per rivelare bersagli mobili nel clutter .....	63
3.2.7	Ulteriori note sul funzionamento del Processore MTD.....	65
3.2.8	Confronto tra MTD e MTI .....	69

## CAPITOLO 4

### I RADAR METEOROLOGICI

	Introduzione .....	73
§ 4.1	<b>I bersagli meteorologici</b> .....	73
4.1.1	La radar Cross Section ed il fattore di riflettività .....	73
4.1.2	Legame tra fattore di riflettività $Z$ ed intensità di precipitazione $r$ .....	76
4.1.3	La Drop Size Distribution.....	77
4.1.4	Calcolo della relazione $Z - r$ .....	80
§ 4.2	<b>L'equazione del radar meteorologico</b> .....	83
4.2.1	L'equazione di Probert-Jones .....	83
4.2.2	L'attenuazione .....	86
§ 4.3	<b>Il radar meteorologico polarimetrico</b> .....	88
4.3.1	La riflettività assoluta e differenziale.....	89
4.3.2	Lo spostamento di fase differenziale.....	91
§ 4.4	<b>L'architettura di un radar meteo</b> .....	93
4.4.1	Gamme di frequenze e coperture radar .....	94
§ 4.5	<b>L'elaborazione del segnale</b> .....	94
4.5.1	Caratterizzazione statistica e spettrale del segnale radarmeteorologico .....	94
4.5.2	Velocità radiale e turbolenza .....	96
4.5.3	Stima della velocità radiale e della turbolenza.....	98
§ 4.6	<b>Problematiche connesse al radar meteo</b> .....	100
§ 4.7	<b>Presentazione dei dati</b> .....	102
§ 4.8	<b>Il Sistema Radar Meteorologico NEXRAD</b> .....	107

## CAPITOLO 5

### RADAR IN ONDA CONTINUA (CW)- RADAR ALTIMETRI - NOISE RADAR

§ 5.1	<b>Introduzione ai Radar CW</b> .....	111
5.1.1	Caratteristiche dei Segnali LPI.....	111
5.1.2	Calcolo Della Frequenza Doppler in un Radar CW .....	113
5.1.3	Problemi dovuti al non perfetto isolamento tra Trasmettitore e Ricevitore .....	116
5.1.4	Applicazioni del Radar CW .....	117
5.1.5	Equazione del Radar CW .....	118

5.1.6	I radar ad onda continua modulati in frequenza (FMCW).....	118
5.1.7	Modulazione di frequenza lineare di tipo triangolare .....	119
§ 5.2	<b>Radar-Altometri</b> .....	124
5.2.1	Cenni storici sull'altimetria.....	124
5.2.2	Componenti e caratteristiche di un Sistema Radar Altimetrico a Corto Raggio (0 - 4000 piedi) .....	126
5.2.3	Altimetri con Radar ad impulsi e con Radar FMCW.....	130
5.2.4	Radar Cross Section (RCS) del clutter superficiale .....	132
5.2.5	Eco di ritorno da una superficie.....	139
5.2.6	Applicazioni dei Radar altimetrici al telerilevamento .....	142
5.2.7	Altimetri per uso civile e militare .....	143
§ 5.3	<b>Introduzione ai Noise Radar</b> .....	146
5.3.1	Classificazione dei Noise Radar .....	146
5.3.2	CW Noise Radar.....	147
5.3.3	Bersaglio fisso: uscita del ricevitore a correlazione .....	150
5.3.4	Lobi laterali in distanza (Range Sidelobes) e rapporto picco/lobi .....	152
5.3.5	Bersaglio in movimento .....	153
5.3.6	Rumore a banda stretta.....	154
5.3.7	Noise Radar con processamento spettrale doppio degli echi radar .....	157
5.3.8	Utilizzo del Noise Radar in applicazioni real time.....	160

## CAPITOLO 6

### I RADAR PER IL CONTROLLO DEL TRAFFICO AEREO

	Generalità; radar primari e radar secondari .....	163
§ 6.1	<b>Radar Primari: requisiti e prestazioni</b> .....	163
6.1.1	Descrizione di radar primari.....	165
6.1.1.1	L'ATCR-33 K.....	165
6.1.1.2	L'ATCR-33 S .....	167
6.1.1.3	ATCR-44 S.....	170
6.1.1.4	ARSR-4 .....	177
6.1.2	L'elaborazione dei segnali negli ATCR.....	179
6.1.2.1	Generalità.....	179
6.1.2.2	Canale Target e Canale Weather .....	180
6.1.2.3	MTD .....	181
6.1.2.4	DET (criteri di rivelazione, soglie fisse e CFAR) .....	183

§ 6.2 Radar secondari (SSR: secondary surveillance radar) e di modo S.....	184
6.2.1 Generalità, segnali di interrogazione e risposta .....	184
6.2.2 Interferenze e metodi per combatterle .....	189
6.2.3 Evoluzione del SSR: Monopulse e Modo S .....	190
6.2.4 Principali aspetti operativi del Modo S.....	194
6.2.4.1 Indirizzo univoco.....	194
6.2.4.2 Codice IC.....	194
6.2.4.3 Elementary Surveillance.....	194
6.2.4.4 Enhanced Surveillance .....	194
6.2.5 Segnali Up-Link e Down-Link del Modo S .....	194
6.2.6 Extended squitter del transponder di Modo S.....	202
6.2.7 Capacità dei transponder .....	203
6.2.8 Cenni sulle architetture di sistema .....	203
§ 6.3 Un moderno sistema di sorveglianza (radar primario + secondario) per gli USA .....	209

## CAPITOLO 7

### INSEGUIMENTO MEDIANTE RADAR

Introduzione.....	211
§ 7.1 Radar di inseguimento: misura della distanza e degli angoli .....	212
Cenni sulla tecnica di Sequential Lobing.....	214
§ 7.2 Radar di inseguimento moderni e ricevitore monopulse.....	216
7.2.1 La tecnica monopulse: funzionamento e architetture.....	216
7.2.2 Estrazione dei parametri angolari in un sistema monopulse .....	223
7.2.3 Parametri di un sistema ricevente monopulse .....	224
7.2.4 Elaborazione monopulse .....	225
7.2.5 Errore di stima monopulse .....	228
7.2.6 Altri fenomeni che causano errori nella stima del monopulse.....	230
§ 7.3 Tecniche monopulse nei radar di sorveglianza.....	231
Ricevitore logaritmico .....	232
Rappresentazione dei rapporti di ampiezza come informazione di fase.....	232
§ 7.4 Elaborazione dei dati radar.....	234
7.4.1 Generalità e scopo.....	234
7.4.2 Filtraggio e predizione .....	237
7.4.3 Inizializzazione e terminazione.....	239
7.4.4 Correlazione plot-traccia .....	239

**CAPITOLO 8****LA DIFESA ELETTRONICA**

Introduzione .....	241
§ 8.1 <b>L'Elettronica nei Sistema d'Arma</b> .....	243
8.1.1 I Sistemi un Tempo Differito: L'intelligence dei Segnali .....	246
8.1.2 I Sistemi in Tempo Reale: il sistema integrato .....	246
8.1.3 I Sistemi in Tempo Reale: La Componente ESM .....	247
8.1.3.1 Classificazione e ruolo dei sistemi ESM .....	247
8.1.3.2 Differenze tra un ricevitore ESM ed un ricevitore per comunicazioni .....	248
8.1.3.3 L'ambiente radar .....	248
8.1.3.4 I dati di sorveglianza .....	249
8.1.3.5 Probabilità di intercettazione e caratteristiche di un ricevitore .....	250
8.1.3.6 Ricevitore Crystal Video .....	251
8.1.3.7 Ricevitore Super-Het .....	252
8.1.3.8 Ricevitore IFM .....	253
8.1.3.9 Ricevitore canalizzato e a "folding" di banda .....	254
8.1.3.10 Il problema degli impulsi sovrapposti e le architetture dei ricevitori ESM .....	256
8.1.4 Evoluzione dei Ricevitori ESM .....	263
8.1.5 I sistemi in tempo reale: la componente ECM (Electronic Counter Measures) .....	263
8.1.6 I sistemi in tempo reale: la geometria operativa .....	265
8.1.7 Tecniche Attive di Contro Misura (ECM Radar) .....	267
8.1.8 Le Contro Contro Misure Radar (ECCM) .....	273
8.1.9 Considerazioni finali sulle ECCM Radar .....	282
8.1.10 Le antenne phased array e le shared apertures .....	283

**CAPITOLO 9****LA DIFESA TERRESTRE, NAVALE ED AEREA**

Introduzione .....	287
§ 9.1 <b>La Difesa Terrestre di Punto</b> .....	287
La sequenza logico-temporale .....	289
Le caratteristiche dell'ambiente e i dati di progetto .....	293
§ 9.2 <b>La Difesa Navale di Punto</b> .....	298
La piattaforma: operatività in movimento (search on move) .....	298
La piattaforma: operatività in ambiente ristretto .....	300
La Minaccia .....	300
La propagazione ed il clutter .....	301
Applicazioni particolari .....	301
Le ECM specifiche .....	302

<b>§ 9.3 La Difesa Aerea Territoriale</b> .....	303
La Minaccia .....	306
Il livello gerarchico inferiore .....	306
I livelli gerarchici superiori.....	312
9.3.1 Il radar RAT 31DL .....	316
9.3.2 Esempi di tecniche e architetture d'antenna per sistemi radar 3D.....	321
9.3.3 Il radar EMPAR (European Multifunction Phased Array Radar).....	323
9.3.3.1 Le soluzioni tecniche e tecnologiche di EMPAR .....	326
9.3.3.2 L'evoluzione di EMPAR .....	332

## CAPITOLO 10

### RADAR A PHASED ARRAY (PAR) E MULTIFUNZIONALI

<b>§ 10.1 IL CONCETTO DI MULTIFUNZIONALITÀ</b> .....	335
<b>§ 10.2 Sistemi Phased Array</b> .....	338
10.2.1 Phased Array Attivi e Passivi.....	338
10.2.2 Array con scansione in un solo piano .....	339
10.2.3 Digital Beamforming .....	341
10.2.4 Vantaggi del Digital Beamforming .....	344
10.2.5 Miglioramento della tecnica del <i>nulling</i> adattivo del pattern.....	344
10.2.6 Generazione di fasci multipli molto ravvicinati.....	345
10.2.7 Correzione del pattern di un singolo elemento dell'array .....	345
10.2.8 Auto-calibrazione dell'antenna e lobi secondari molto bassi.....	346
10.2.9 Super-risoluzione.....	346
10.2.10 Flessibilità nella gestione della potenza fornita al radar e nella gestione dei tempi operativi .....	346
10.2.11 Implementazione del Digital Beamforming .....	347
10.2.12 Principali caratteristiche di un sistema DBF.....	348
<b>§ 10.3 Phased Array Multifunzionale</b> .....	351
10.3.1 Caratteristiche generali.....	351
10.3.2 Applicazioni dei radar a phased array .....	352
10.3.3 Requisiti operativi di un Phased Array Radar (PAR) .....	353
<b>§ 10.4 Phased Array Adattivi</b> .....	355
10.4.1 Uso dell'adattività nei Phased-Array.....	355
10.4.2 Open-loop adaptive array .....	356
10.4.3 Closed-loop adaptive array .....	357
<b>§ 10.5 La funzione e le tecniche di inseguimento</b> .....	360

§ 10.6 Radar a Phased Array per il controllo del traffico aereo .....	365
10.6.1 Multifunctional Phased Array Radar (MPAR) .....	365
I subarray in un Radar MPAR .....	368
Un esempio di dimensionamento di MPAR .....	369
10.6.2 Radar “GAP-FILLER” .....	373
§ 10.7 Esempi di Radar a Phased Array .....	374

## CAPITOLO 11

### I RADAR AD APERTURA SINTETICA (SAR)

Introduzione .....	377
§ 11.1 Principio di funzionamento del SAR .....	378
11.1.1 Lo Strip-Map SAR .....	379
11.1.2 Lo Spot-Light SAR .....	381
11.1.3 I sistemi ISAR .....	382
§ 11.2 Risoluzione azimutale nei radar ad apertura reale e sintetica .....	383
§ 11.3 Ambiguità in distanza ed in azimut .....	385
§ 11.4 Il fenomeno dello speckle e la tecnica multilook .....	390
§ 11.5 L'elaborazione SAR .....	391
§ 11.6 Il SAR interferometrico e cenni sulla polarimetria .....	392
§ 11.7 Telerilevamento e Sorveglianza della Regione Amazzonica .....	396

## CAPITOLO 12

### I RADAR AVIONICI

Caratteristiche generali dei radar avionici di scoperta .....	399
§ 12.1 Radar avionici multifunzionali .....	399
§ 12.2 AEW&C (Airbone Early Warning and Command) – La Tecnologia .....	402
12.2.1 Radar AESA .....	403
12.2.2 Evoluzione storica .....	403
§ 12.3 AWACS E-3C 707 .....	404
12.3.1 L'aereo AWACS .....	405
12.3.2 Il radar .....	406

§ 12.4 AWACS 767 .....	406
12.4.1 Il radar del 767 AWACS.....	407
12.4.2 Specifiche tecniche 767 AWACS.....	408
§ 12.5 HAWKEYE.....	409
12.5.1 Specifiche Tecniche E2C Hawk Eye .....	410
§ 12.6 AEW&C WEDGETAIL.....	411
12.6.1 Il radar MESA .....	411
12.6.2 Specifiche Tecniche 737 AEW&C.....	413
§ 12.7 JOINT STARS E-8C.....	414
12.7.1 Il radar .....	415
12.7.2 Specifiche tecniche JSTARS .....	417
§ 12.8 ASTOR (Airbone Stand Off Radar) .....	418
12.8.1 Il radar .....	418
12.8.2 L'aereo .....	420
12.8.3 Specifiche tecniche Astor Sentinel R1 .....	421

## CAPITOLO 13

### SVILUPPO DEI RADAR PER APPLICAZIONI AUTOMOBILISTICHE (AUTOMOTIVE RADAR)

§ 13.1 introduzione.....	423
13.1.1 Definizione di Automotive Radar.....	423
13.1.2 Storia degli Automotive Radar e Requisiti.....	423
13.1.3 Tipi di Automotive Radar.....	424
13.1.3.1 Long Range Radar (LRR) a 77 GHz.....	425
13.1.3.2 Short Range Radar (SRR) a 24 GHz.....	425
13.1.4 Applicazioni degli Automotive Radar.....	426
13.1.5 Problemi per la progettazione degli Automotive Radar.....	429
13.1.6 Regolamentazione delle frequenze .....	430
13.1.7 Prospettive future .....	431
13.1.7.1 Long Range Radar a 77 GHz.....	431
13.1.7.2 Ultra-wide-band Short Range Radar a 79 Ghz.....	431
§ 13.2 Long Range Radar a 77 GHz .....	432



---

§ 13.3 Short Range Radar a 24 GHz.....	436
13.3.1 Tecniche di modulazione per i Short Range Radar .....	438
13.3.2 Allocazione delle frequenze per gli SRR .....	438
13.3.3 Soluzioni tecnologiche .....	439
Rete di sensori HRR .....	439
Pattern di riflessione per bersagli estesi .....	440
Elaborazione dei segnali radar per bersagli estesi .....	442
13.3.4 Sensori SRR.....	442
§ 13.4 Esempi .....	443
13.4.1 Adaptive Cruise Control della Visteon.....	443
13.4.2 Automotive radar della smart microwave sensors GmbH.....	444
§ Appendice A - Antenne “Phased Array” .....	447
§ Appendice B - Calcolo del rapporto segnale-disturbo in un Array.....	463
§ Appendice C - Stimatori degli osservabili radar meteorologici e loro proprietà statistiche .....	465

