



Giampiero De Meis  
Manuale sull'impiego dei droni

Proprietà letteraria riservata.  
© 2017 Giampiero De Meis

© 2017 Phasar Edizioni, Firenze.  
[www.phasar.net](http://www.phasar.net)

I diritti di riproduzione e traduzione sono riservati.  
Nessuna parte di questo libro può essere usata, riprodotta o diffusa con un mezzo qualsiasi  
senza autorizzazione scritta dell'autore.

Progetto di copertina: David Tavanti  
Grafica di copertina: David Tavanti

Stampato in Italia.

ISBN 978-88-6358-416-5

GIAMPIERO DE MEIS

**MANUALE SULL'IMPIEGO DEI DRONI**  
(SISTEMI AEROMOBILI A PILOTAGGIO REMOTO)

PHASAR EDIZIONI



## Guida alla lettura di questo Manuale

Il Manuale cerca di illustrare tutta la materia in modo organico e continuo. Tuttavia, ci si rende conto che se si partisse da zero sarebbe difficile, o quantomeno noioso, seguire la lettura entrando nel dettaglio per ogni materia, senza aver compreso inizialmente il quadro generale.

Di conseguenza, si è cercato di facilitare una lettura incrementale, in modo che chi voglia partire inizialmente dagli argomenti di base (quelli necessari al conseguimento dell'Attestato di Pilota di SAPR) possa seguire solo queste nozioni, e poi ritornare ad approfondire, capitolo per capitolo, gli argomenti relativi all'“Abilitazione alle Operazioni Critiche”, o magari, ad analizzare altri concetti non previsti dai Syllabus, ma di interesse per padroneggiare meglio la materia.

Considerando di base le materie dell'Attestato, sono stati quindi evidenziati, inserendoli in cornici, gli argomenti da poter trattare in un secondo tempo, relativi all'Abilitazione o quelli di “approfondimento professionale”. In rari casi, per semplicità di presentazione, al contrario, la cornice include un riassunto del capitolo che potrà bastare al neo pilota per comprendere i concetti base necessari al pilotaggio, senza approfondimenti ulteriori.

Il titolo della cornice evidenzierà comunque il livello del contenuto: *In dettaglio, In breve, Un approfondimento, ...*

Ad esempio

<b>IN BREVE: aaaaaaaaa</b>	
Bbbbbbbbbbbbbbbbbbbbbbbbbbb	bbbbbbbbbbbbbbbbbb
bbbbbbbbbbbbbbbbbb	bbbbbbbbbbbbb

Talvolta il livello di aderenza al syllabus è evidente da solo, come ad esempio l'utilizzo dei programmi di pianificazione del volo, che, in pratica, rientra solo marginalmente nei programmi ENAC. In questo caso nulla è stato indicato.

# Sommario

1	INTRODUZIONE.....	1
1.1	Premessa .....	1
1.2	SAPR, Drone, RPAS, UAV, UAS.....	2
1.3	Come nascono i droni.....	3
1.4	I diversi tipi di Drone .....	3
1.4.1	Gli aerei SAPR.....	3
1.4.2	Il Multicottero.....	4
2	LA STRUTTURA DEL DRONE .....	7
2.1	Il telaio del multicottero.....	7
2.2	Il Sistema di propulsione.....	9
2.2.1	Il motore Brushless .....	10
2.2.2	L'elica.....	12
2.3	I Servomeccanismi .....	14
2.4	I sensori e dispositivi essenziali .....	14
2.4.1	IMU (Inertial Measurement Unit) .....	14
2.4.2	Altimetro barometrico .....	16
2.4.3	Il GPS e bussola magnetica .....	16
2.4.4	La centralina elettronica .....	17
2.4.5	La ricetrasmittente.....	18
2.4.6	La Gimbal.....	18
2.5	I sensori e dispositivi complementari .....	19
2.5.1	L'anemometro .....	19
2.5.2	Il misuratore di distanza .....	20
2.5.3	La telemetria .....	20

2.5.4	Il paracadute.....	21
2.6	L'alimentazione elettrica.....	22
2.6.1	La Batteria .....	22
2.6.2	L'ESC .....	24
3	AERODINAMICA.....	27
3.1	Nomenclatura.....	27
3.2	Aerodinamica in breve.....	30
3.3	L'equazione di Bernoulli e l'effetto Venturi.....	30
3.4	La forza aerodinamica.....	31
3.5	La portanza .....	34
3.6	Lo stallo .....	35
3.7	La resistenza.....	37
3.7.1	Il principio di funzionamento dell'elica .....	40
3.7.2	Effetto suolo.....	41
4	PRESTAZIONI.....	43
4.1	Potenza richiesta.....	43
4.2	Influenza dell'altitudine sulle prestazioni.....	46
5	I CONTROLLI DI VOLO E .....	
	IL COMPORTAMENTO DINAMICO DELL'AEREO .....	49
5.1	I controlli .....	49
5.2	La stabilità.....	51
5.2.1	Stabilità longitudinale .....	52
5.2.2	Stabilità direzionale.....	53
5.2.3	Stabilità laterale .....	54
5.2.4	Effetto della coppia .....	55
5.2.5	Effetto giroscopico .....	56
5.2.6	Virata, fattore di carico e stallo accelerato.....	56
5.2.7	Il recupero dallo stallo .....	58
5.2.8	La vite (Spin) .....	59
6	TEORIA DEL VOLO DELL'ALA ROTANTE .....	61
6.1	La spinta del rotore .....	62

6.2	Il flappeggio .....	65
6.3	Il controllo della direzione .....	66
6.4	La spinta del multicottero .....	67
6.1	La coppia.....	70
6.2	Potenza Necessaria e Potenza disponibile .....	70
6.3	I fenomeni aerodinamici caratteristici dell'ala rotante.....	73
6.3.1	Effetto suolo .....	73
6.3.2	Perdita di quota con potenza, o l'anello vorticoso.....	73
6.3.3	I vortici .....	75
6.3.4	Effetti nel passaggio dall'hovering al volo traslato .....	75
7	CENNI DI METEOROLOGIA .....	77
7.1	L'atmosfera.....	78
7.2	La circolazione generale.....	79
7.3	La pressione e la densità con l'altezza .....	80
7.4	I venti.....	81
7.5	Effetti delle ostruzioni sul vento .....	84
7.6	La stabilità dell'aria.....	85
7.7	L'umidità.....	86
7.7.1	Brina e rugiada.....	87
7.7.2	La nebbia e la foschia .....	87
7.7.3	Le nuvole .....	88
7.8	I fronti .....	91
7.8.1	Il Fronte Freddo.....	92
7.8.2	Il fronte caldo .....	93
7.8.3	Il fronte occluso.....	94
7.9	Le previsioni del tempo.....	94
7.9.1	Il METAR.....	95
7.9.2	I TAF .....	100
8	CENNI DI CARTOGRAFIA .....	103
8.1	Premessa .....	103



8.2	La carta geografica .....	103
8.2.1	Cosa è una carta geografica.....	103
8.2.2	La scala di una carta.....	104
8.2.3	La cartografia elettronica .....	105
8.3	Il riferimento terrestre: Paralleli e Meridiani .....	106
8.4	Le coordinate .....	108
8.4.1	Il Datum .....	108
8.4.2	Il reticolato geografico.....	110
8.4.3	Il miglio nautico .....	113
8.4.4	Le coordinate UTM (chilometriche) .....	113
8.5	La Quota .....	116
8.6	Le coordinate polari.....	119
8.7	Alcuni tipi di carta geografica.....	121
8.7.1	La carta aeronautica .....	121
8.7.2	Le carte IGM.....	123
8.7.3	Le carte commerciali.....	124
8.7.4	Carte elettroniche e software disponibili.....	125
9	REGOLE DELL'ARIA.....	129
9.1	Premessa.....	129
9.2	Le norme della Circolazione Aerea ed i diversi attori.....	129
9.3	I servizi della Circolazione Aerea .....	130
9.4	La Classificazione degli spazi aerei.....	130
9.5	CTR ed ATZ.....	132
9.6	Zone soggette a restrizioni .....	136
9.7	Servizio Informazioni Aeronautiche .....	137
9.7.1	AIP-Italia .....	138
9.7.2	NOTAM.....	139
9.7.3	AIC – Circolari di Informazioni Aeronautiche.....	139
9.7.4	Lista controllo NOTAM.....	139
9.7.5	Dove reperire le informazioni aeronautiche.....	140
10	LA NORMATIVA ENAC SUI SAPR.....	141

10.1	Premessa .....	141
10.2	La normativa di riferimento sui SAPR .....	141
10.3	SAPR o Aeromodello?.....	143
10.4	Le Classi e Categorie dei SAPR.....	145
10.5	Le operazioni critiche e non critiche.....	145
10.6	Area di Buffer e cavo di ritenzione .....	146
10.7	Tipologia di operazioni.....	149
10.7.1	VLOS (Visual Line Of Sight) - Art 24 .....	150
10.7.2	EVLOS (Extended Visual Line Of Sight) Art 25 .....	151
10.7.3	BVLOS (Beyond Visual Line Of Sight) - Art 26 .....	152
10.8	Le distanze di sicurezza nelle operazioni non critiche.....	153
10.9	Servizi offerti e precedenza .....	154
10.10	Requisiti generali per l'impiego dei SAPR (Art 8).....	155
10.11	Dotazione che deve essere sempre portata.....	155
10.12	Le sanzioni per l'inosservanza al Regolamento .....	156
10.13	METTERSI IN REGOLA PER LAVORARE.....	157
10.13.1	Le figure riconosciute da ENAC .....	157
10.13.2	L'Attestato di Pilota .....	159
10.13.3	Accreditarsi presso ENAC .....	160
10.13.4	La Security .....	164
10.13.5	Protezione dei dati e privacy .....	165
10.14	Qualche classe di peso particolare .....	165
10.14.1	Gli APR sotto i 2 kg inoffensivi .....	165
10.14.2	Gli APR sotto i 300 g .....	166
10.15	L'obbligo di segnalazione in caso di incidente .....	166
10.16	Gli aeromodelli .....	169
11	SICUREZZA DEL VOLO.....	171
11.1	Premessa .....	171
11.2	Cos'è la Sicurezza Volo?.....	171
11.3	Hazard (Causa o Pericolo) .....	173

11.4	Il modello delle 5 M .....	175
11.5	Il Safety Risk management .....	176
11.5.1	Identificare le cause potenziali .....	176
11.5.2	Definire il rischio .....	177
11.6	Il Modello “SHELL” per l’identificazione degli Hazard .....	181
11.7	Il comportamento umano.....	183
11.8	Esempio di checklist di identificazione dell’Hazard .....	184
12	PILOTARE L’APR.....	189
12.1	Introduzione .....	189
12.2	Le limitazioni .....	190
12.3	I pericoli di interferenze elettromagnetiche .....	191
12.4	Ardupilot.....	192
12.4.1	L’Hardware .....	192
12.4.2	Il Firmware.....	192
12.4.3	Il Software.....	193
12.4.4	I modi di controllo del APR.....	193
12.4.5	I Failsafe .....	196
12.4.6	Radio Failsafe.....	197
12.4.7	Battery Failsafe.....	198
12.4.8	GCS Failsafe .....	199
12.4.9	EKF Failsafe .....	200
12.4.10	Geofence “Simple” .....	201
12.4.11	GeoFence poligonale.....	203
12.4.12	Crash check.....	204
12.4.13	La gestione delle emergenze .....	204
12.5	DJI .....	206
12.5.1	L’Hardware .....	207
12.5.2	Il software .....	207
12.6	Creare una missione .....	208
12.6.1	Prefetching: .....	209
12.6.2	Pianificazione .....	210

12.6.3	Usò dei poligoni per una missione di rilevamento.....	216
12.7	Caricare una missione.....	222
12.8	Impiego di TOWER.....	223
12.8.1	Usò dei poligoni per la missione di sorveglianza ..... con Tower .....	227
12.8.2	Caricare la missione sul drone con Tower.....	227
12.9	Eseguire la missione .....	228
12.9.1	La modalità Flight Data di Mission Planner.....	228
12.9.2	Monitorare una missione automatica.....	235
13	DALLA TEORIA ALLA PRATICA .....	239
13.1	Introduzione.....	239
13.1.1	Checklist di missione.....	239
13.2	La manutenzione .....	242
13.3	Preparazione del materiale .....	243
13.3.1	Il drone.....	243
13.3.2	Ground Station.....	243
13.3.3	Batterie e Caricabatterie.....	243
13.4	Le checklist di volo .....	250
13.4.1	Procedura e checklist pre-volo .....	250
13.4.2	Procedura e checklist pre-decollo (arming) .....	251
13.4.3	Procedura di decollo .....	251
13.4.4	Procedura di atterraggio.....	252
13.4.5	Procedura e checklist post-volo.....	252
13.4.6	Procedure di emergenza .....	253
13.4.7	Il significato dei segnali video e luminosi .....	
	della Centralina Pixhawk .....	254