

Giampiero De Meis
Manuale sull'impiego dei droni

Proprietà letteraria riservata.
© 2017 Giampiero De Meis

© 2017 Phasar Edizioni, Firenze.
www.phasar.net
© 2018 Seconda edizione riveduta.

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 argomento, 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

| IN BREVE: aaaaaaaaa | |
|---------------------------------|--------------------|
| Bbbbbbbbbbbbbbbbbbbbbbbbbbb | bbbbbbbbbbbbbbbbbb |
| bbbbbbbbbbbbbbbbbb bbbbbbbbbbb. | |

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 questi casi 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 | 4 |
| 1.4.1 | Gli aerei SAPR..... | 4 |
| 1.4.2 | Il Multicottero..... | 5 |
| 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 | PRINCIPI GENERALI DI AERODINAMICA..... | 27 |
| 3.1 | La spinta del rotore (o dell'elica) | 27 |
| 3.2 | Nomenclatura dei profili alari | 28 |
| 3.3 | Aerodinamica in breve..... | 28 |
| 3.4 | L'equazione di Bernoulli e l'effetto Venturi | 29 |
| 3.5 | La portanza e la resistenza..... | 30 |
| 3.6 | Il principio di funzionamento dell'elica..... | 34 |
| 3.7 | Influenza della densità sulle prestazioni..... | 35 |
| 3.8 | Gli assi e i movimenti di rotazione | 37 |
| 3.9 | La stabilità | 37 |
| 3.10 | Virata, fattore di carico e velocità di accostata | 39 |
| 4 | PRINCIPI DEL VOLO DELL'ALA ROTANTE | 41 |

| | | |
|--------|--|----|
| 4.1 | La teoria della pala singola..... | 41 |
| 4.2 | Potenza Necessaria e Potenza disponibile..... | 43 |
| 4.3 | La spinta e la manovra del multicottero | 45 |
| 4.4 | La coppia | 48 |
| 4.5 | I fenomeni aerodinamici caratteristici dell'ala rotante | 49 |
| 4.5.1 | Effetto suolo..... | 49 |
| 4.5.2 | Perdita di quota con potenza, o "anello vorticoso"..... | 49 |
| 4.5.3 | I vortici | 51 |
| 4.5.4 | Effetti nel passaggio dall'hovering al volo traslato | 51 |
| 4.6 | Il bilanciamento | 53 |
| 4.7 | Aerodinamica dell'elicottero | 54 |
| 4.7.1 | La spinta del rotore | 55 |
| 4.7.2 | Il flappeggio | 56 |
| 4.7.3 | Il controllo della direzione | 57 |
| 5 | I PRINCIPI DEL VOLO DELL'AEREO | 61 |
| 5.1 | Nomenclatura dell'aereo | 61 |
| 5.2 | Aerodinamica dell'ala | 64 |
| 5.3 | La portanza | 66 |
| 5.4 | La resistenza..... | 67 |
| 5.5 | Una complicazione in più per il progettista di un aereo: | |
| | il passo dell'elica..... | 69 |
| 5.6 | Equilibrio delle forze..... | 70 |
| 5.7 | Potenza richiesta..... | 70 |
| 5.8 | I controlli | 74 |
| 5.8.1 | Stabilità longitudinale..... | 76 |
| 5.8.2 | Stabilità direzionale..... | 78 |
| 5.8.3 | Stabilità laterale | 79 |
| 5.9 | Lo stallo | 80 |
| 5.9.1 | Stallo accelerato | 81 |
| 5.9.2 | Il recupero dallo stallo | 82 |
| 5.9.3 | La vite (Spin) | 83 |
| 5.10 | Alcuni effetti fisici..... | 83 |
| 5.10.1 | Effetto della coppia | 83 |
| 5.10.2 | Effetto giroscopico | 84 |
| 5.10.3 | Effetto suolo..... | 84 |
| 6 | CENNI DI METEOROLOGIA..... | 85 |
| 6.1 | L'atmosfera | 86 |
| 6.2 | La circolazione generale | 87 |
| 6.3 | La pressione e la densità con l'altezza | 88 |
| 6.4 | I venti | 89 |
| 6.5 | Effetti delle ostruzioni sul vento..... | 92 |
| 6.6 | La stabilità dell'aria..... | 96 |
| 6.7 | L'umidità | 97 |
| 6.7.1 | Rugiada, brina e ghiaccio | 98 |

| | | |
|-------|---|-----|
| 6.7.2 | La nebbia e la foschia | 98 |
| 6.7.3 | Le nuvole | 99 |
| 6.8 | I fronti | 103 |
| 6.8.1 | Il Fronte Freddo..... | 104 |
| 6.8.2 | Il fronte caldo | 105 |
| 6.8.3 | Il fronte occluso | 106 |
| 6.9 | Le previsioni del tempo..... | 106 |
| 6.9.1 | Il METAR..... | 107 |
| 6.9.2 | I TAF | 112 |
| 7 | CENNI DI CARTOGRAFIA | 115 |
| 7.1 | Premessa | 115 |
| 7.2 | La carta geografica..... | 115 |
| 7.2.1 | Cosa è una carta geografica | 115 |
| 7.2.2 | La scala di una carta | 116 |
| 7.2.3 | La cartografia elettronica..... | 117 |
| 7.3 | Il riferimento terrestre: Paralleli e Meridiani..... | 118 |
| 7.4 | Le coordinate..... | 120 |
| 7.4.1 | Il Datum | 120 |
| 7.4.2 | Il reticolato geografico | 122 |
| 7.4.3 | Il miglio nautico | 125 |
| 7.4.4 | Le coordinate UTM (chilometriche)..... | 125 |
| 7.5 | La Quota | 128 |
| 7.6 | Le coordinate polari..... | 131 |
| 7.7 | Alcuni tipi di carta geografica..... | 133 |
| 7.7.1 | La carta aeronautica | 133 |
| 7.7.2 | Le carte IGM | 135 |
| 7.7.3 | Le carte commerciali | 136 |
| 7.7.4 | Carte elettroniche e software disponibili | 137 |
| 8 | REGOLE DELL'ARIA..... | 141 |
| 8.1 | Premessa | 141 |
| 8.2 | Le norme della Circolazione Aerea ed i diversi attori | 141 |
| 8.3 | I servizi della Circolazione Aerea..... | 142 |
| 8.4 | La Classificazione degli spazi aerei | 143 |
| 8.5 | CTR ed ATZ | 144 |
| 8.6 | Zone soggette a restrizioni | 148 |
| 8.7 | Servizio Informazioni Aeronautiche | 150 |
| 8.7.1 | AIP-Italia | 151 |
| 8.7.2 | NOTAM..... | 151 |
| 8.7.3 | AIC – Circolari di Informazioni Aeronautiche | 151 |
| 8.7.4 | Lista controllo NOTAM | 152 |
| 8.7.5 | Dove reperire le informazioni aeronautiche | 152 |
| 8.8 | L'alfabeto ICAO | 153 |

| | | |
|--------|--|-----|
| 9 | LA NORMATIVA ENAC SUI SAPR..... | 155 |
| 9.1 | Premessa..... | 155 |
| 9.2 | La normativa di riferimento sui SAPR..... | 155 |
| 9.3 | SAPR, Aeromodello o Giocattolo? | 157 |
| 9.4 | Le Classi e Categorie dei SAPR..... | 159 |
| 9.5 | Le operazioni critiche e non critiche | 160 |
| 9.6 | Tipologia di operazioni | 161 |
| 9.6.1 | VLOS (Visual Line Of Sight) - Art 24 | 161 |
| 9.6.2 | EVLOS (Extended Visual Line Of Sight) Art 25..... | 164 |
| 9.6.3 | BVLOS (Beyond Visual Line Of Sight) - Art 26..... | 165 |
| 9.7 | Le distanze di sicurezza in Operazioni Non Critiche..... | 166 |
| 9.8 | Le distanze di sicurezza in Operazioni Critiche | 166 |
| 9.8.1 | Gli Scenari Standard..... | 167 |
| 9.8.2 | Persone ammesse nella zona Operazioni e nel buffer | 170 |
| 9.8.3 | Area di Buffer e cavo di ritenzione | 170 |
| 9.9 | Classi di peso particolari | 173 |
| 9.9.1 | Gli APR sotto i 2 kg inoffensivi | 174 |
| 9.9.2 | Gli APR sotto i 300 g..... | 174 |
| 9.10 | Servizi offerti e precedenze..... | 175 |
| 9.11 | Requisiti generali per l'impiego dei SAPR (Art 8)..... | 175 |
| 9.12 | Dotazione che deve essere sempre portata | 176 |
| 9.13 | Le sanzioni per l'inosservanza al Regolamento..... | 177 |
| 9.14 | METTERSI IN REGOLA PER LAVORARE | 177 |
| 9.14.1 | Le figure riconosciute da ENAC | 177 |
| 9.14.2 | L'Attestato di Pilota | 180 |
| 9.14.3 | Accreditarsi presso ENAC..... | 181 |
| 9.14.4 | La Security..... | 184 |
| 9.14.5 | Protezione dei dati e privacy | 184 |
| 9.15 | L'obbligo di segnalazione in caso di incidente | 185 |
| 9.16 | Gli aeromodelli | 190 |
| 10 | SICUREZZA DEL VOLO | 191 |
| 10.1 | Premessa..... | 191 |
| 10.2 | Cos'è la Sicurezza Volo? | 191 |
| 10.3 | Hazard (Causa o Pericolo) | 193 |
| 10.4 | Il modello delle 5 M | 195 |
| 10.5 | Il Safety Risk management | 196 |
| 10.5.1 | Identificare le cause potenziali | 196 |
| 10.5.2 | Definire il rischio | 197 |
| 10.6 | Il Modello "SHELL" per l'identificazione degli Hazard | 201 |
| 10.7 | Il comportamento umano..... | 203 |
| 10.8 | I fattori fisiologici che influiscono sulle performance del pilota | 204 |
| 10.8.1 | Iperventilazione..... | 205 |
| 10.8.2 | Stress | 206 |

| | | |
|---------|--|-----|
| 10.8.3 | Fatica | 206 |
| 10.8.4 | Disidratazione | 208 |
| 10.8.5 | Colpo di calore | 209 |
| 10.8.6 | Medicine | 209 |
| 10.8.7 | Alcool | 210 |
| 10.8.8 | Considerazioni finale sulle capacità fisiche..... | 212 |
| 10.9 | Esempio di checklist di identificazione dell’Hazard | 212 |
| 11 | IL CONTROLLO DELL’APR..... | 219 |
| 11.1 | Introduzione..... | 219 |
| 11.2 | Il posizionamento satellitare | 220 |
| 11.2.1 | Il sistema satellitare in breve | 220 |
| 11.2.2 | Precisione Vs Accuratezza..... | 221 |
| 11.2.3 | I fattori che influenzano l’accuratezza del punto satellitare..... | 221 |
| 11.2.4 | Come migliorare le prestazioni satellitari | 224 |
| 11.3 | I pericoli di interferenze elettromagnetiche | 226 |
| 11.4 | Ardupilot | 227 |
| 11.4.1 | L’Hardware..... | 227 |
| 11.4.2 | Il Firmware | 227 |
| 11.4.3 | Il Software | 228 |
| 11.4.4 | I modi di controllo del APR | 228 |
| 11.4.5 | I Failsafe | 231 |
| 11.4.6 | Radio Failsafe | 231 |
| 11.4.7 | Battery Failsafe | 232 |
| 11.4.8 | GCS Failsafe..... | 233 |
| 11.4.9 | EKF Failsafe | 234 |
| 11.4.10 | Geofence “Simple” | 235 |
| 11.4.11 | GeoFence poligonale | 237 |
| 11.4.12 | Crash check | 238 |
| 11.5 | DJI..... | 238 |
| 11.5.1 | L’Hardware..... | 238 |
| 11.5.2 | Il software..... | 239 |
| 11.6 | La gestione delle emergenze..... | 240 |
| 11.6.1 | Perdita del Link Telemetrico..... | 240 |
| 11.6.2 | Avaria di un motore | 240 |
| 11.6.3 | Perdita del segnale del Radiocomando | 241 |
| 11.6.4 | Perdita del segnale GPS | 241 |
| 11.6.5 | Basso livello di tensione della batteria..... | 241 |
| 11.6.6 | Perdita della funzionalità della centralina | 242 |
| 12 | CREARE E CONTROLLARE UNA MISSIONE AUTOMATICA | 243 |
| 12.1 | Mission Planner | 244 |
| 12.1.1 | Prefetching..... | 245 |
| 12.1.2 | Pianificazione con waypoint | 246 |
| 12.1.3 | L’impostazione della quota..... | 251 |

| | | |
|--------|--|-----|
| 12.1.4 | Pianificazione di una missione di rilevamento | |
| | utilizzando i poligoni..... | 255 |
| 12.2 | Caricare una missione..... | 261 |
| 12.3 | Impiego di TOWER | 262 |
| 12.3.1 | Uso dei poligoni per la missione di sorveglianza | |
| | con Tower..... | 266 |
| 12.3.2 | Caricare la missione sul drone con Tower | 266 |
| 12.4 | Eeguire la missione | 267 |
| 12.4.1 | La modalità Flight Data di Mission Planner | 267 |
| 12.4.2 | Monitorare una missione automatica | 274 |
| 13 | PREPARIAMO UNA GIORNATA OPERATIVA..... | 279 |
| 13.1 | Introduzione | 279 |
| 13.1.1 | Checklist di missione | 280 |
| 13.2 | La manutenzione..... | 283 |
| 13.3 | Verifica del personale..... | 284 |
| 13.4 | Preparazione del materiale | 284 |
| 13.4.1 | Il drone | 284 |
| 13.4.2 | Ground Station..... | 285 |
| 13.4.3 | Batterie e Caricabatterie | 285 |
| 13.5 | Le limitazioni | 292 |
| 13.6 | Le checklist di volo | 293 |
| 13.6.1 | Procedura e checklist pre-volo..... | 293 |
| 13.6.2 | Procedura e checklist pre-decollo (arming) | 294 |
| 13.6.3 | Procedura di decollo | 295 |
| 13.6.4 | Procedura di atterraggio | 295 |
| 13.6.5 | Procedura e checklist post-volo | 295 |
| 13.6.6 | Procedure di emergenza..... | 296 |
| 13.6.7 | Il significato dei segnali video e luminosi..... | |
| | della Centralina Pixhawk..... | 297 |

