

APPUNTI PER LE LEZIONI DEL CORSO DI

PROGETTO DELLE IMBARCAZIONI A VELA

CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA NAUTICA

DITEN – DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA NAVALE, ELETTRICA,
ELETTRONICA E DELLE TELECOMUNICAZIONI

SCUOLA POLITECNICA - UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI GENOVA

POLO UNIVERSITARIO G. MARCONI – LA SPEZIA

Indice

1	1 Criteri di progettazione.....	8
1.1	1.1 Cenni storici.....	8
1.1.1	1.1.1 L'influenza delle regole di stazza.....	9
1.2	1.2 Il progetto della barca a vela.....	16
1.3	1.3 Definizione delle caratteristiche principali dell'imbarcazione.....	18
1.4	1.4 Definizione delle dimensioni principali – Dati statistici e barche allotrope.....	19
1.4.1	1.4.1 Rapporto lunghezza su larghezza massima L_h / B_{max}	23
1.4.2	1.4.2 Rapporto lunghezza al galleggiamento su immersione LWL / T.....	23
1.4.3	1.4.3 Rapporto lunghezza al galleggiamento su immersione dello scafo LWL / T_c	23
1.4.4	1.4.4 Rapporto lunghezza al galleggiamento su volume di carena LWL / $DISV^{1/3}$	25
1.4.5	1.4.5 Rapporto lunghezza di costruzione su lunghezza al galleggiamento L_h / LWL	25
1.4.6	1.4.6 Bordi liberi.....	25
1.4.7	1.4.7 Rapporto peso della chiglia su dislocamento $P_k / DISW$	28
1.5	1.5 Ulteriori informazioni statistiche utili nelle fasi iniziali del progetto.....	28
1.5.1	1.5.1 Piano velico.....	28
1.5.2	1.5.2 Albero e sartieme.....	32
1.5.3	1.5.3 Altezza del baricentro della barca vacante.....	32
1.5.4	1.5.4 Peso dell'equipaggio.....	32
1.5.5	1.5.5 Dislocamento.....	35
1.5.6	1.5.6 Momento raddrizzante ad 1° e altezza metacentrica.....	35
1.5.7	1.5.7 Potenza del motore ausiliario.....	35
1.6	1.6 Analisi dei costi di produzione.....	37
1.7	1.7 Impostazione del disegno dello scafo.....	38
2	2 Principali software utilizzati nello sviluppo del progetto.....	40
3	3 I CAD navali.....	45
4	4 La specifica tecnica.....	50
4.1	4.1 Parte generale.....	50
4.2	4.2 Scafo e sovrastrutture.....	51
4.3	4.3 Pitturazione.....	51
4.4	4.4 Attrezzatura velica.....	52
4.5	4.5 Allestimento esterno.....	52
4.6	4.6 Propulsione ausiliaria e elica di manovra.....	52
4.7	4.7 Impianti.....	52
4.8	4.8 Allestimenti interni.....	53
5	5 Normativa.....	54
5.1	5.1 Lunghezza di scafo L_h	54
5.2	5.2 Categoria di progettazione (Direttiva 2013/53/EU).....	55
5.3	5.3 Significato delle categorie e limiti di navigazione per natanti e imbarcazioni battenti bandiera italiana.....	56
5.4	5.4 L' "omologazione CE" - Direttive e norme armonizzate.....	58
5.4.1	5.4.1 Ambito di applicazione della Direttiva 2013/53/EU.....	61
5.4.2	5.4.2 Requisiti essenziali.....	61
5.5	5.5 Regolamenti per la costruzione e la classificazione di unità da diporto di lunghezza L_h maggiore di 24 m.....	65
6	6 Il vento.....	67
6.1	6.1 Il vento reale e il vento apparente.....	67
6.2	6.2 Andature e bordeggio.....	73
6.3	6.3 Diagramma polare delle velocità della barca.....	74
7	7 Superfici e profili atti a generare controllo e spinta.....	80
7.1	7.1 Forza fluidodinamica: portanza e resistenza.....	82
8	8 Forze aerodinamiche e idrodinamiche.....	86
8.1	8.1 Equilibrio sul piano orizzontale.....	87

8.2	Equilibrio sul piano trasversale.....	89
8.3	Equilibrio sul piano longitudinale.....	90
8.4	Equazioni di equilibrio.....	90
8.5	Centro di spinta della parte immersa dello scafo e delle appendici, CRL.....	92
8.6	Centro di spinta delle vele, CE.....	93
8.7	Bilanciamento fra i centri di spinta.....	93
8.8	Avanzo della vela – lead.....	94
8.9	Bilanciamento del timone.....	96
9	Stabilità.....	97
9.1	Stabilità trasversale e longitudinale a piccoli angoli.....	97
9.2	Angolo di Dellenbaugh e periodo di rollio.....	98
9.3	Curva dei bracci di stabilità.....	100
9.4	Momento raddrizzante in presenza di onde.....	102
9.5	Stabilità dinamica.....	106
9.5.1	Rollio indotto aerodinamicamente.....	106
9.5.2	Smorzamento aerodinamico.....	107
9.5.3	Modello fisico della barca a vela sottoposta a rollio.....	108
9.5.4	Rollio indotto dalle onde.....	108
9.5.5	Effetti del movimento della barca sull'equipaggio.....	110
9.6	Verifiche di stabilità per imbarcazioni ($L_H \leq 24$ m), ISO 12217-2.....	111
9.6.1	Dynamic stability factor – fattore di stabilità dinamica (FDS).....	112
9.6.2	Inversion recovery factor – fattore di raddrizzamento (FIR).....	112
9.6.3	Knockdown recovery factor – fattore di recupero (FKR).....	112
9.6.4	Displacement length factor – fattore DISW/L (FDL).....	112
9.6.5	Beam displacement factor – fattore B/DISW (FBD).....	112
9.6.6	Wind moment factor – fattore raffica (FWM).....	113
9.6.7	Downflooding factor – fattore d'allagamento (FDF).....	113
9.6.8	Downflooding height - altezza di allagamento.....	113
9.6.9	Downflooding angle - angolo di allagamento.....	113
9.6.10	Minimum righting energy - minima energia di raddrizzamento.....	114
9.6.11	Angle of vanishing stability - angolo di capovolgimento.....	114
9.7	Verifiche di stabilità per navi ($L_H > 24$ m), MCA LY3.....	115
10	Resistenza al moto della carena.....	120
10.1	Viscosità.....	120
10.2	Numero di Reynolds.....	120
10.3	Numero di Froude.....	120
10.4	La resistenza della carena.....	120
10.5	Resistenza viscosa.....	122
10.5.1	Resistenza d'attrito.....	124
10.5.2	Pressione viscosa.....	126
10.5.3	Rugosità della carena.....	128
10.6	Resistenza d'onda.....	130
10.7	Le serie sistematiche di Delft.....	133
10.7.1	Serie di Delft – Resistenza residua.....	134
10.7.2	Influenza del dislocamento sulla resistenza residua.....	138
10.7.3	Influenza del rapporto lunghezza/dislocamento sulla resistenza residua.....	139
10.7.4	Influenza del coefficiente prismatico sulla resistenza residua.....	139
10.7.5	Influenza della posizione del centro di carena sulla resistenza residua.....	139
10.7.6	Influenza dei rapporti L/B e B/T sulla resistenza residua.....	139
10.8	Resistenza di sbandamento.....	139
10.9	Resistenza aggiunta.....	141
10.10	Potenza del motore ausiliario.....	144
10.10.1	Diametro dell'elica.....	146
10.11	Resistenza dell'elica in navigazione a vela.....	147
11	Le appendici: deriva e timone.....	151

11.1	Flusso intorno ad un'ala.....	151
11.2	Teoria della linea portante di Prandtl (lifting line theory).....	154
11.3	Forma dell'estremità inferiore del profilo.....	158
11.4	Portanza e resistenza indotta della barca.....	161
11.5	Chiglie con alette (winged keel).....	162
11.6	Timone di prua (canard wing).....	164
11.7	Doppia deriva (tandem keels).....	165
11.8	Deriva basculante (canting keel).....	166
11.9	Esperimenti di Gerritsma e Keuning su interazione scafo-deriva.....	167
11.10	La forma delle sezioni delle appendici.....	169
11.11	Disegno pratico delle derive e dei timoni.....	176
11.11.1	Deriva.....	176
11.11.2	Timone.....	176
11.11.3	Effetto della forma del naso del profilo.....	177
11.11.4	Effetto della rugosità.....	177
11.11.5	Forma del bordo d'uscita.....	178
11.12	Progettazione avanzata della sezione del profilo.....	179
11.13	Scelta delle superfici di deriva e timone.....	180
11.14	Timone singolo e doppio timone.....	181
12	Le vele.....	184
12.1	Il flusso intorno alla vela.....	184
12.2	Forma delle vele.....	186
12.3	Freccia della vela (camber).....	189
12.4	Interferenza dell'albero.....	192
12.5	Forma del sartiame.....	195
12.6	Modello di Hazen per l'aerodinamica delle vele e dell'attrezzatura.....	197
12.6.1	Riduzione e appiattimento delle vele (reefing e flattening).....	199
12.7	Forza motrice e forza laterale.....	199
12.8	Calcolo delle forze aerodinamiche con il modello del VPP ORC.....	202
12.8.1	Ottimizzazione e riduzione della superficie velica.....	203
12.8.2	Randa.....	203
12.8.3	Genoa e fiocco.....	204
12.8.4	Spinnaker e gennaker.....	206
12.8.5	Vele in testa non inferite (Code 0).....	209
12.8.6	Resistenza del vento sull'e parti esposte (windage).....	209
12.8.7	Portanza e resistenza aerodinamiche totali.....	211
12.9	Parametri statistici per il piano velico.....	211
13	Dimensionamento dell'albero e del sartiame.....	214
13.1	Metodi numerici.....	215
13.2	Il metodo Nordic Boat Standard.....	215
13.2.1	Forze agenti sulle sartie.....	218
13.2.2	Forze agenti su stralli e paterazzi.....	221
13.2.3	Scelta dei cavi per sartie, stralli e paterazzi.....	222
13.2.4	Dimensionamento dell'albero.....	226
13.2.5	Dimensionamento dell'estremità superiore degli alberi frazionati.....	229
13.2.6	Scelta del profilo dell'albero.....	229
13.2.7	Dimensionamento del boma.....	229
13.2.8	Dimensionamento delle crocette.....	231
13.2.9	Fori nell'albero.....	232
13.3	Il metodo del Bureau Veritas.....	234
13.3.1	Materiali.....	234
13.3.2	Albero incastrato senza sartie.....	235
13.3.3	Albero con sartie.....	239
13.3.4	Boma.....	240
13.3.5	Crocette.....	240

13.4 Il metodo di Skene.....	242
13.5 Componenti di albero e sartame.....	246
14 Dimensionamento della deriva zavorrata.....	248
14.1 Barca sbandata a 90°.....	248
14.2 Incaglio longitudinale.....	250
14.3 Dimensionamento della deriva zavorrata secondo la norma ISO 12215-9.....	251
14.3.1 Caso 1: chiglia fissa con barca inclinata di 90°.....	251
14.3.2 Caso 2: chiglia basculante con barca inclinata di 30° e sovraccarico dinamico.....	252
14.3.3 Caso 3: incaglio verticale.....	253
14.3.4 Caso 4: incaglio longitudinale.....	253
14.3.5 Caso 5: deriva mobile di dinghy.....	253
14.3.6 Caso 6: deriva o dagger board sopravvento non zavorrate.....	254
14.3.7 Sollecitazioni combinate.....	254
14.3.8 Robustezza delle strutture per derive con accoppiamenti piani allo scafo.....	254
Determinazione delle sollecitazioni su ogni madiera – Caso 1.....	257
Determinazione delle sollecitazioni su ogni madiera – Caso 3.....	257
Determinazione delle sollecitazioni su ogni madiera – Caso 4.....	257
14.3.9 Robustezza delle strutture per accoppiamenti particolari.....	259
14.3.10 Dimensionamento delle pinne di deriva.....	260
14.3.11 Dimensionamento dei perni delle derive imbullonate.....	260
Perni di ugual diametro e materiale – caso 1.....	262
Perni di diametri differenti e ugual materiale – caso 1.....	263
Perni di ugual diametro e materiale – caso 4.....	263
Perni di diametri differenti – caso 4.....	263
Scelta finale del diametro dei perni.....	263
14.3.12 Compressione nel punto di contatto fra deriva e scafo.....	263
14.3.13 Conclusioni sull'applicazione della norma ISO 12215-9.....	264
14.3.14 Esempio di calcolo (metodo veloce).....	264
14.3.15 Esempio di calcolo (ISO 12215-9).....	266
15 Dimensionamento del timone.....	267
15.1 Dimensionamento del timone secondo la norma ISO 12215-8.....	269
15.1.1 Momento flettente del timone, reazioni sulla losca e momento torcente.....	273
15.1.2 Dimensionamento dell'asse del timone.....	274
15.1.3 Flessione dell'asse fra le boccole.....	276
15.1.4 Diametro equivalente alla sommità dell'asse.....	276
15.1.5 Boccole dell'asse, agugliotti e perni.....	277
15.1.6 Pala del timone.....	277
16 Dimensionamento dell'attrezzatura di coperta.....	280
16.1 Carichi sulle scotte e sulle drizze.....	280
16.2 Il sistema della manovra della vela di prua.....	281
16.3 Il sistema di manovra della randa.....	283
16.4 I winch.....	286
16.5 Esempio di calcolo.....	289
17 Richiami di meccanica dei fluidi.....	292
17.1 Equazione di Bernoulli.....	293
17.2 Effetto dell'attrito sugli schemi di flusso.....	295
17.3 Circolazione ed effetto Magnus.....	297
17.4 Il rotore di Flettner.....	300
17.5 Generazione di portanza da un profilo alare.....	302
17.6 Ipotesi di Kutta-Joukowski.....	303
18 La previsione delle prestazioni.....	308
18.1 I programmi di calcolo delle prestazioni.....	310
18.2 Metodologia di calcolo dei VPP.....	311
19 Impianti di bordo.....	315
19.1 Impianto di sentina.....	315

19.2	Impianto acque nere e grigie.....	319
19.3	Impianto del gasolio.....	327
19.4	Impianto acqua di lavanda.....	331
19.5	Impianto GPL.....	333
19.6	Ventilazione vano motore o sala macchine.....	334
20	Appendice A – Tipi di vele e di armi.....	337
20.1	Vela quadra.....	337
20.2	Vela latina.....	338
20.3	Vela al terzo.....	339
20.4	Vela a tarchia.....	340
20.5	Vela aurica.....	341
20.5.1	Vela portoghese.....	341
20.6	Vela Marconi o bermudiana.....	342
20.7	Tipi di armi.....	343
20.7.1	Nave.....	343
20.7.2	Nave a palo.....	343
20.7.3	Brigantino.....	344
20.7.4	Brigantino a palo.....	344
20.7.5	Goletta (schooner).....	345
20.7.6	Brigantino goletta.....	345
20.7.7	Nave goletta.....	346
20.7.8	Sloop.....	347
20.7.9	Cutter.....	347
20.7.10	Cat.....	348
20.7.11	Yawl.....	349
20.7.12	Kechth.....	350
21	Appendice B – Nomenclatura.....	351
22	Appendice C – Andature e manovre.....	362
23	Appendice D – Il vento.....	363
23.1	Caratteristiche del vento.....	366
23.2	Scala Beaufort.....	367
23.3	Brezza.....	367
23.3.1	Brezza di mare.....	367
23.3.2	Effetto girasole.....	369
23.3.3	Brezza di terra.....	370
23.4	Alisei.....	370
23.5	Le raffiche.....	371
24	Appendice E – Le onde.....	373
24.1	Teoria lineare del moto ondoso.....	374
24.2	Fetch.....	376
24.3	Altezza significativa dell'onda.....	376
24.4	Scala Douglas.....	377
25	Appendice F – Esempio di calcolo della stabilità secondo la norma ISO 12217-2.....	378
25.1	Calcolo dell'altezza di allagamento – downflooding height.....	378
	Nomenclatura e riferimenti.....	392
25.2	Calcolo degli angoli di allagamento e di capovolgimento – downflooding angle and angle of vanishing stability.....	393
25.3	Calcolo dell'energia di raddrizzamento – righting energy.....	393
25.4	Calcolo dello STIX.....	393
25.4.1	Dynamic stability factor - fattore di stabilità dinamica - FDS.....	393
25.4.2	Inversion recovery factor – fattore di raddrizzamento - FIR.....	394
25.4.3	Knockdown recovery factor – fattore di recupero - FKR.....	394
25.4.4	Displacement-length factor – fattore DISW/L – FDL.....	394
25.4.5	Beam-displacement factor – fattore B/DISW – FBD.....	395
25.4.6	Wind momenti factor – fattore raffica – FWM.....	395

25.4.7 Downflooding factor – fattore d'allagamento – FDF.....	395
25.4.8 Stability index - indice di stabilità - STIX.....	395
26 Appendice G – Esempio di calcolo della stabilità secondo la norma MCA LY3.....	396
26.1 Calcolo degli angoli notevoli.....	396
27 Appendice H – Esempi di dimensionamento analitico dell'albero.....	416
27.1 Metodo Nordic Boat Standard.....	417
27.2 Metodo Bureau Veritas.....	420
27.3 Confronto fra i metodi NBS e BV.....	422
28 Bibliografia.....	423