

COMUNE DI TRAPANI
PORTO DI TRAPANI

MARINA DI SAN FRANCESCO
PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN'APPRODO TURISTICO (art. 2 c.b DPR 509/97)

PROGETTO DEFINITIVO
Conferenza dei Servizi presso il Comune di Trapani del 18/04/2012
concernente l'approvazione del progetto preliminare

OPERE A MARE

Elaborato:

RELAZIONE IDRAULICO MARITTIMA

Scala:

Data:

Aprile 2013

Progettisti:

Dott. Ing. Rocco Ricevuto

Arch. Biancamaria Verde

Geom. Benedetto Lupo

data

revisione

descrizione

Società proponente

Cantiere navale Drepanum s.r.l.

Elaborato:

C1.1/M

PREMESSE

La presente relazione tecnica, redatta ai sensi dell'allegato II del Decreto 14 aprile 1998, riporta lo sviluppo degli studi di prima approssimazione dei quali le conclusioni sono sintetizzate nella relazione generale.

Il presente elaborato comprende:

- uno studio anemologico, (Capitolo 1 – Regime dei venti), basato sulle informazioni raccolte dalla stazione di Trapani dell'Aeronautica Militare Italiana inteso a definire il regime anemologico locale;

- lo studio delle caratteristiche meteomarine al largo (Capitolo 2 – Previsione del moto ondoso a largo) attraverso la definizione statistica degli eventi estremi, con il metodo tradizionale dell'altezza d'onda significativa (SMB);

- uno studio sulla propagazione del moto ondoso sottocosta (Capitolo 3 – Evoluzione del moto ondoso sottocosta - rifrazione e frangimento) con la costruzione dei cosiddetti piani d'onda usando il metodo delle ortogonali (rifrazione diretta);

- una analisi dello stato di agitazione (Capitolo 4 – Agitazione interna - diffrazione) all'interno del porto di Trapani attraverso il modello numerico VEGA per prevedere il livello di agitazione del moto ondoso residuo (diffrazione);

- uno studio specifico per definire le caratteristiche del moto ondoso in corrispondenza dello specchio acqueo oggetto della domanda di concessione (Capitolo 5 – previsione del moto ondoso in acque basse e per fetch limitati);

- infine, una analisi della sicurezza degli ormeggi in relazione al clima ondoso e agli standard di settore raccomandati dalla vigente normativa (Capitolo 6 – verifica della sicurezza degli ormeggi).

1. REGIME DEI VENTI

Il presente studio raccoglie ed elabora le osservazioni anemometriche triorarie registrate, dal 1962, nella stazione di Trapani raccolte e fornite dall'Aeronautica Militare Italiana.

Lo studio anemometrico è stato condotto in prima analisi con riferimento a tutti i dati disponibili. Successivamente tali dati sono stati divisi per stagione e si è eseguito il medesimo studio per inverno, primavera, estate ed autunno.

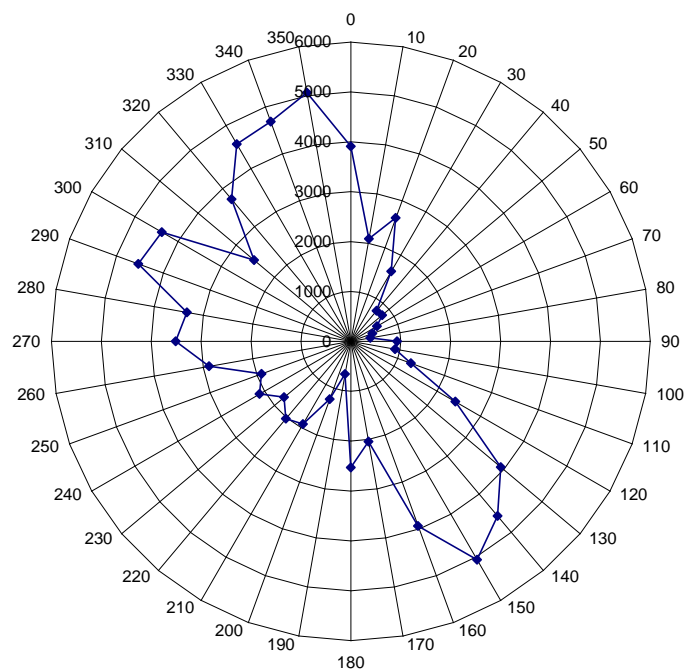


Figura 1- Frequenze totali di apparizione del vento a Trapani.

La direzione a cui compete la massima frequenza, appartiene al settore 350°, seguita dalla direzione 150°.

Il diagramma di figura 1 non contiene informazioni circa l'intensità degli eventi analizzati. Lo studio che segue vuole entrare, quindi, in tal dettaglio.

Le osservazioni del vento sono state divise per direzione di provenienza e per intensità. I risultati di tale classificazione sono tabellati di seguito.

| Direzione | Tra 1 e 5 nodi | Tra 5 e 9 nodi | Tra 9 e 13 nodi | Tra 13 e 17 nodi | Tra 17 e 21 nodi | Tra 21 e 25 nodi | Tra 25 e 29 nodi | Tra 29 e 33 nodi |
|-----------|----------------|----------------|-----------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| 0 | 330 | 1092 | 1236 | 746 | 320 | 105 | 44 | 19 |
| 10 | 317 | 724 | 603 | 260 | 90 | 32 | 17 | 13 |
| 20 | 401 | 1063 | 651 | 286 | 136 | 40 | 18 | 11 |
| 30 | 313 | 650 | 342 | 175 | 83 | 30 | 16 | 5 |
| 40 | 156 | 334 | 194 | 66 | 37 | 8 | 8 | 0 |
| 50 | 223 | 385 | 138 | 43 | 22 | 3 | 3 | 1 |
| 60 | 175 | 305 | 85 | 24 | 10 | 3 | 2 | 0 |
| 70 | 163 | 221 | 56 | 16 | 4 | 0 | 0 | 0 |
| 80 | 129 | 195 | 48 | 11 | 8 | 1 | 2 | 1 |
| 90 | 397 | 399 | 109 | 14 | 4 | 3 | 0 | 0 |
| 100 | 285 | 416 | 126 | 37 | 14 | 6 | 8 | 3 |
| 110 | 285 | 552 | 187 | 103 | 61 | 34 | 27 | 19 |
| 120 | 285 | 793 | 428 | 255 | 171 | 127 | 156 | 76 |
| 130 | 313 | 1012 | 705 | 507 | 414 | 276 | 283 | 198 |
| 140 | 312 | 1156 | 916 | 705 | 571 | 387 | 272 | 150 |
| 150 | 477 | 1543 | 1022 | 851 | 595 | 304 | 164 | 64 |
| 160 | 468 | 1383 | 848 | 589 | 350 | 169 | 90 | 25 |
| 170 | 284 | 670 | 474 | 316 | 174 | 65 | 36 | 16 |
| 180 | 346 | 900 | 620 | 372 | 178 | 65 | 39 | 7 |
| 190 | 58 | 199 | 183 | 124 | 65 | 24 | 9 | 5 |
| 200 | 203 | 457 | 302 | 158 | 79 | 22 | 8 | 5 |
| 210 | 222 | 721 | 601 | 244 | 78 | 25 | 18 | 3 |
| 220 | 184 | 773 | 628 | 270 | 100 | 44 | 15 | 7 |
| 230 | 133 | 718 | 456 | 225 | 129 | 42 | 22 | 12 |
| 240 | 185 | 868 | 543 | 258 | 155 | 55 | 34 | 7 |
| 250 | 142 | 638 | 451 | 298 | 214 | 86 | 43 | 15 |
| 260 | 240 | 920 | 688 | 456 | 308 | 151 | 78 | 30 |
| 270 | 345 | 1154 | 775 | 499 | 327 | 177 | 133 | 55 |
| 280 | 243 | 821 | 649 | 608 | 451 | 263 | 150 | 82 |
| 290 | 366 | 1213 | 1071 | 843 | 539 | 217 | 162 | 68 |
| 300 | 386 | 1370 | 1141 | 688 | 427 | 168 | 107 | 48 |
| 310 | 183 | 834 | 652 | 404 | 225 | 94 | 73 | 41 |
| 320 | 357 | 1280 | 975 | 532 | 270 | 125 | 88 | 44 |
| 330 | 439 | 1719 | 1305 | 576 | 288 | 106 | 69 | 30 |
| 340 | 448 | 1574 | 1374 | 730 | 327 | 126 | 64 | 23 |
| 350 | 696 | 1769 | 1417 | 736 | 271 | 89 | 58 | 15 |

Tabella 1: Numero di eventi classificati per direzione e intensità (tra 1 e 33 nodi)

| Direzione | Tra 33 e 37 nodi | Tra 37 e 44 nodi | Tra 44 e 51 nodi | Tra 51 e 58 nodi | Tra 58 e 65 nodi | Tra 65 e 72 nodi | Tra 72 e 79 nodi | Tra 79 e 85 nodi | Maggiori di 85 nodi |
|-----------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|---------------------|
| 0 | 3 | 5 | 2 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| 10 | 7 | 3 | 4 | 3 | 3 | 0 | 3 | 5 | 2 |
| 20 | 6 | 4 | 5 | 1 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 |
| 30 | 2 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 40 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 50 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 60 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 70 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 80 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 90 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 100 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 110 | 8 | 5 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 120 | 53 | 59 | 12 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 130 | 109 | 77 | 27 | 2 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 140 | 66 | 31 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 150 | 24 | 9 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 160 | 12 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 170 | 5 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 180 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 190 | 0 | 2 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 200 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 |
| 210 | 3 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 |
| 220 | 4 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 230 | 2 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 240 | 5 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 250 | 13 | 4 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| 260 | 12 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 270 | 24 | 13 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 280 | 42 | 22 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 290 | 26 | 19 | 2 | 0 | 2 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 300 | 18 | 14 | 3 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 310 | 11 | 7 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 320 | 27 | 15 | 3 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 330 | 16 | 13 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 340 | 13 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 350 | 4 | 3 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Tabella 2: Numero di eventi classificati per direzione e intensità (superiore a 33 nodi)

Per meglio rappresentare i risultati della classificazione, si riportano nei diagrammi polari i medesimi risultati. Per comodità del lettore si è preferito presentare gli esiti in tre diagrammi.

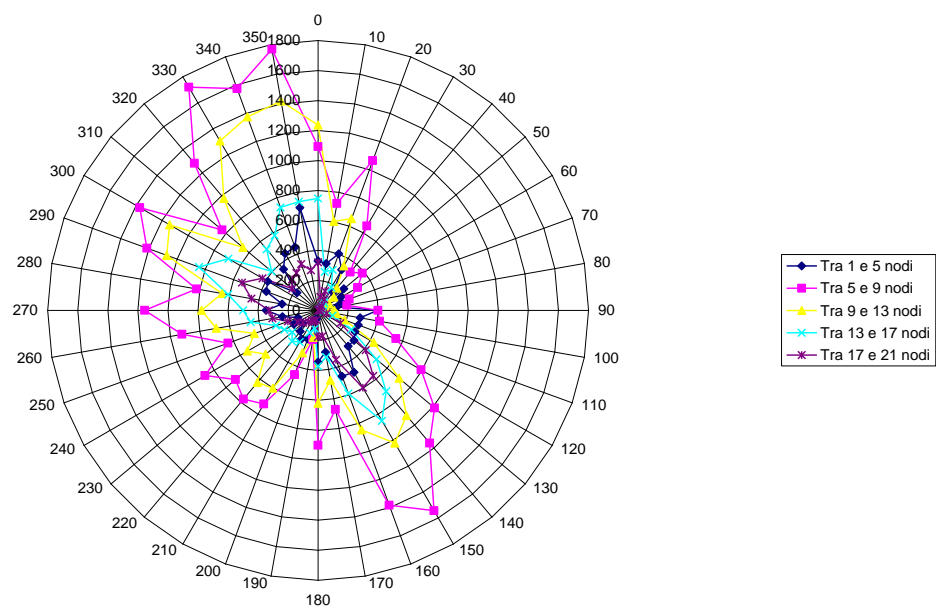


Figura 2: Frequenze di apparizione del vento, di intensità compresa tra 1 e 21 nodi, a Trapani.

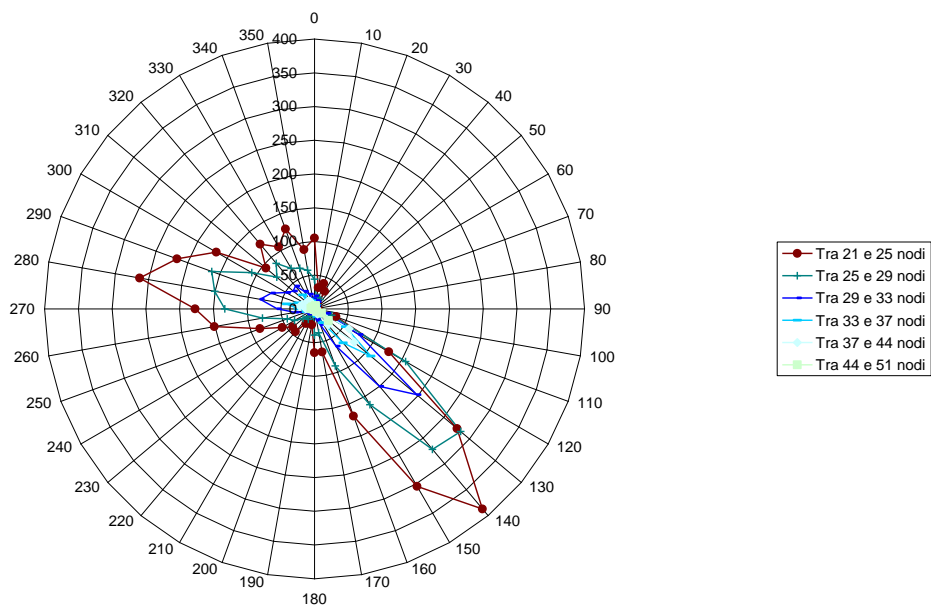


Figura 3: Frequenze di apparizione del vento, di intensità compresa tra 21 e 51 nodi, a Trapani.

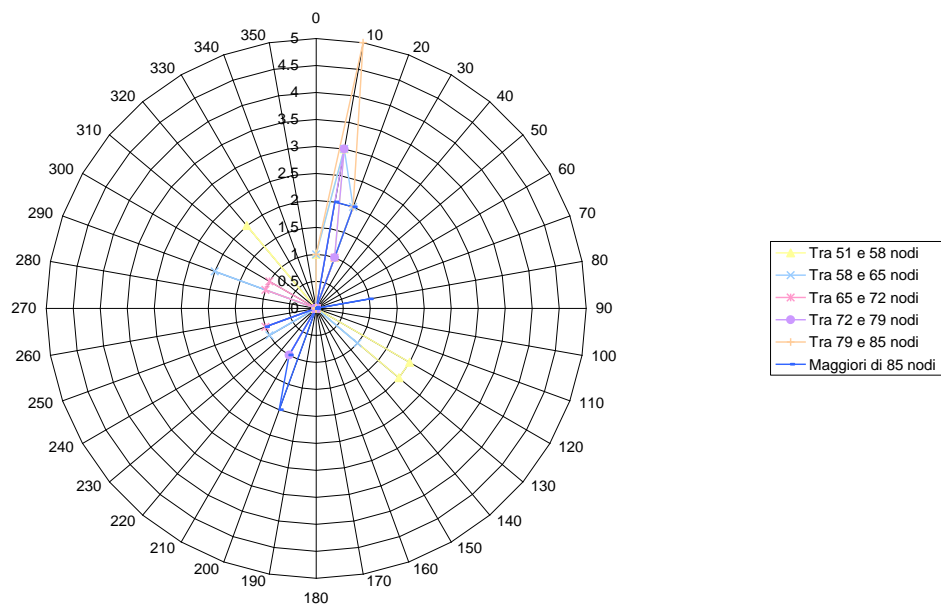


Figura 4: Frequenze di apparizione del vento, di intensità maggiore a 51 nodi, a Trapani.

Può essere interessante ragionare sull'intensità del vento registrato. A tal proposito si osservi l'istogramma a tal proposito redatto.

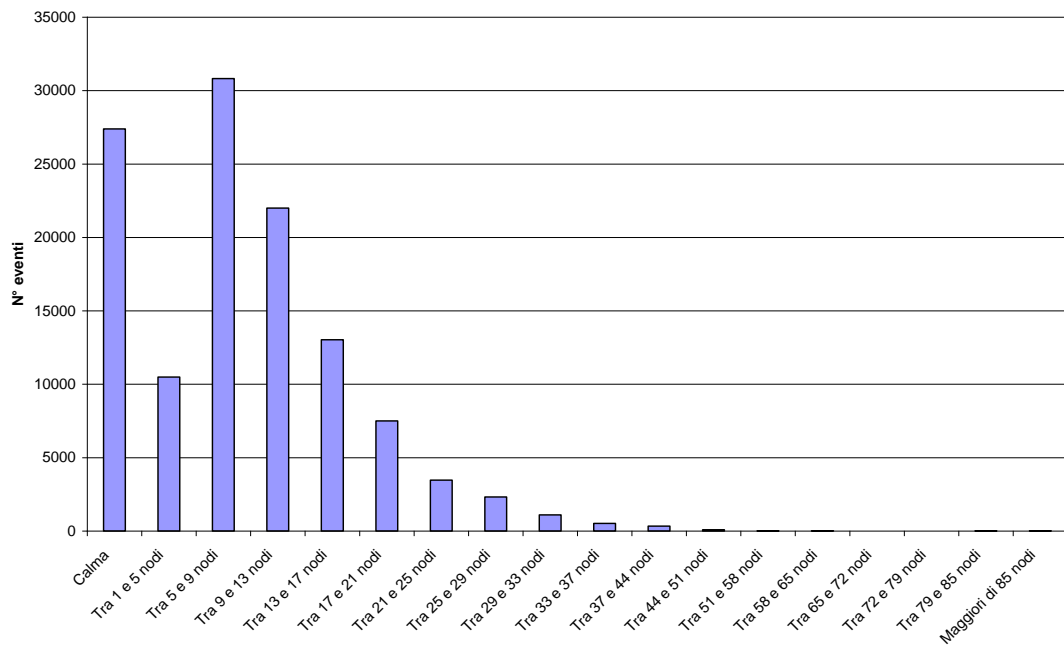


Figura 5: Intensità del vento.

Gli eventi con velocità compresa tra 5 e 9 nodi sono i più frequenti, seguiti dagli eventi di calma. Come fisicamente è lecito attendersi, gli eventi cui è associata velocità maggiore sono i meno frequenti.

Studio stagionale del vento

L'analisi stagionale del vento che in questa sede si vuol condurre, principia con l'analisi del vento primaverile.

La più alta frequenza di apparizione compete alla calma che si è presentata per circa il 30% dei casi, gli altri eventi sono sintetizzati nel diagramma polare di fig.6

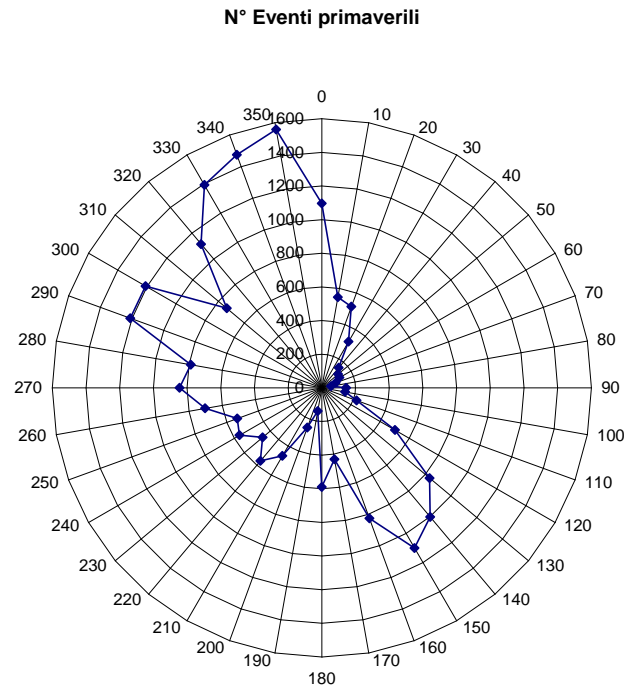


Figura 6- Frequenze primaverili di apparizione del vento a Trapani.

La direzione a cui compete la massima frequenza, appartiene al settore 350°, seguita dalla direzione 150°.

Le osservazioni del vento sono state divise per direzione di provenienza e per intensità. I risultati di tale classificazione sono tabellati di seguito.

| Direzione | Tra 1 e 5 nodi | Tra 5 e 9 nodi | Tra 9 e 13 nodi | Tra 13 e 17 nodi | Tra 17 e 21 nodi | Tra 21 e 25 nodi | Tra 25 e 29 nodi | Tra 29 e 33 nodi |
|-----------|----------------|----------------|-----------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| 0 | 86 | 306 | 344 | 247 | 88 | 14 | 7 | 2 |
| 10 | 107 | 203 | 136 | 64 | 19 | 4 | 2 | 1 |
| 20 | 88 | 215 | 123 | 47 | 22 | 4 | 2 | 2 |
| 30 | 67 | 145 | 61 | 30 | 9 | 2 | 2 | 0 |
| 40 | 27 | 77 | 37 | 9 | 5 | 1 | 1 | 0 |
| 50 | 38 | 64 | 15 | 6 | 4 | 0 | 0 | 0 |
| 60 | 37 | 66 | 14 | 2 | 2 | 1 | 0 | 0 |
| 70 | 32 | 41 | 10 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 80 | 16 | 25 | 9 | 3 | 2 | 0 | 0 | 1 |
| 90 | 62 | 51 | 22 | 8 | 2 | 0 | 0 | 0 |
| 100 | 35 | 66 | 22 | 10 | 3 | 3 | 2 | 0 |
| 110 | 58 | 81 | 33 | 18 | 10 | 6 | 4 | 6 |
| 120 | 57 | 144 | 73 | 46 | 42 | 28 | 48 | 13 |
| 130 | 59 | 171 | 127 | 112 | 100 | 64 | 65 | 60 |
| 140 | 62 | 208 | 163 | 175 | 119 | 101 | 78 | 52 |
| 150 | 98 | 296 | 212 | 191 | 152 | 69 | 50 | 21 |
| 160 | 96 | 270 | 168 | 132 | 92 | 40 | 14 | 8 |
| 170 | 53 | 131 | 102 | 74 | 45 | 17 | 5 | 4 |
| 180 | 82 | 214 | 150 | 86 | 39 | 10 | 9 | 0 |
| 190 | 14 | 43 | 46 | 28 | 6 | 3 | 1 | 0 |
| 200 | 37 | 87 | 66 | 41 | 14 | 6 | 0 | 0 |
| 210 | 48 | 178 | 159 | 62 | 17 | 2 | 0 | 1 |
| 220 | 47 | 222 | 191 | 79 | 17 | 8 | 0 | 2 |
| 230 | 41 | 194 | 130 | 55 | 28 | 7 | 3 | 0 |
| 240 | 40 | 254 | 145 | 71 | 36 | 14 | 3 | 0 |
| 250 | 41 | 196 | 136 | 86 | 48 | 19 | 5 | 1 |
| 260 | 61 | 249 | 187 | 99 | 64 | 27 | 13 | 2 |
| 270 | 101 | 303 | 179 | 126 | 73 | 30 | 18 | 10 |
| 280 | 73 | 263 | 163 | 136 | 84 | 38 | 20 | 8 |
| 290 | 98 | 349 | 330 | 233 | 128 | 42 | 18 | 7 |
| 300 | 122 | 400 | 348 | 190 | 94 | 30 | 18 | 5 |
| 310 | 70 | 275 | 211 | 119 | 44 | 9 | 6 | 0 |
| 320 | 110 | 447 | 317 | 149 | 67 | 13 | 5 | 4 |
| 330 | 126 | 586 | 426 | 167 | 65 | 15 | 5 | 2 |
| 340 | 145 | 554 | 440 | 214 | 86 | 27 | 5 | 2 |
| 350 | 197 | 588 | 422 | 252 | 75 | 12 | 11 | 2 |

Tabella 3: Numero di eventi primaverili classificati per direzione e intensità (tra 1 e 33 nodi)

| Direzione | Tra 33 e 37 nodi | Tra 37 e 44 nodi | Tra 44 e 51 nodi | Tra 51 e 58 nodi | Tra 58 e 65 nodi | Tra 65 e 72 nodi | Tra 72 e 79 nodi | Tra 79 e 85 nodi | Maggiori di 85 nodi |
|-----------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|---------------------|
| 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 10 | 1 | 0 | 2 | 1 | 1 | 0 | 2 | 4 | 0 |
| 20 | 2 | 2 | 3 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| 30 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 40 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 50 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 60 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 70 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 80 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 90 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 100 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 110 | 3 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 120 | 21 | 26 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 130 | 38 | 25 | 13 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 140 | 29 | 13 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 150 | 7 | 4 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 160 | 5 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 170 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 180 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 190 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 200 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 210 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 220 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 230 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 240 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 250 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 260 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 270 | 3 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 280 | 3 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 290 | 3 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 300 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 310 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 320 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 330 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 340 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 350 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Tabella 4: Numero di eventi primaverili classificati per direzione e intensità (superiore a 33 nodi)

Per meglio rappresentare i risultati della classificazione, si riportano nei diagrammi polari i medesimi risultati. Per comodità del lettore si è preferito presentare gli esiti in tre diagrammi.

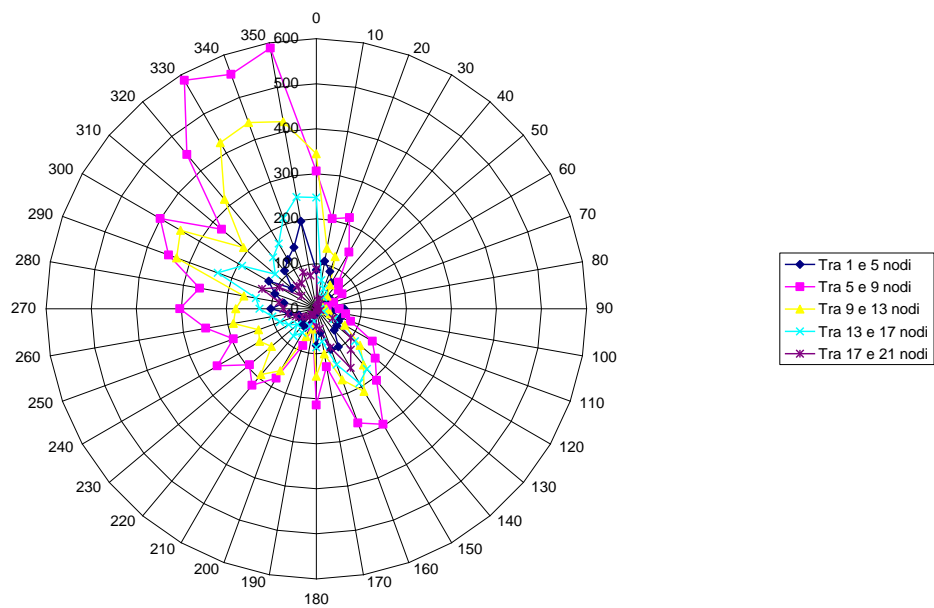


Figura 7: Frequenze di apparizione del vento, di intensità compresa tra 1 e 21 nodi, a Trapani. (PRIMAVERA)

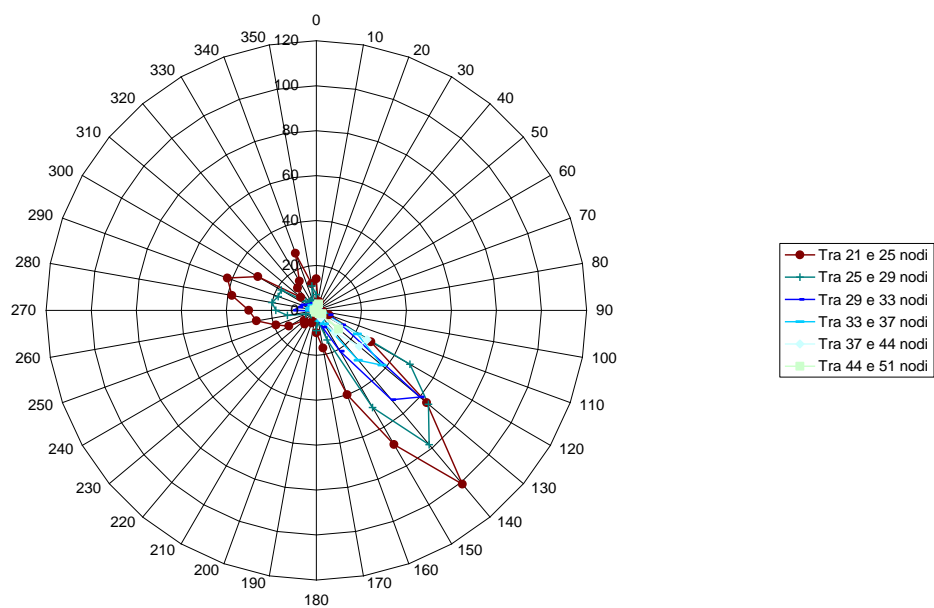


Figura 8: Frequenze di apparizione del vento, di intensità compresa tra 21 e 51 nodi, a Trapani. (PRIMAVERA)

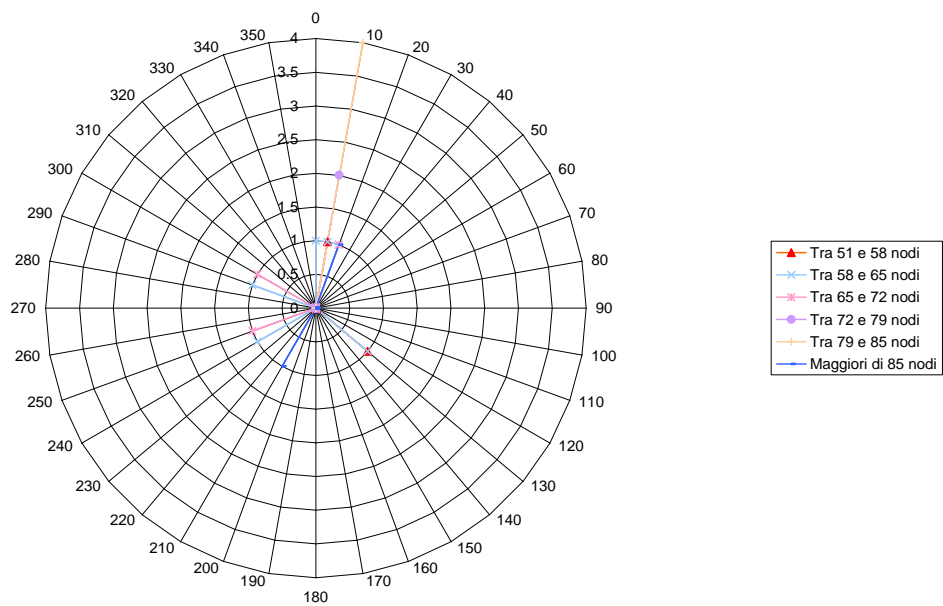


Figura 9: Frequenze di apparizione del vento, di intensità maggiore a 51 nodi, a Trapani. (PRIMAVERA)

Come per i precedenti casi si propone di seguito l'istogramma delle intensità del vento

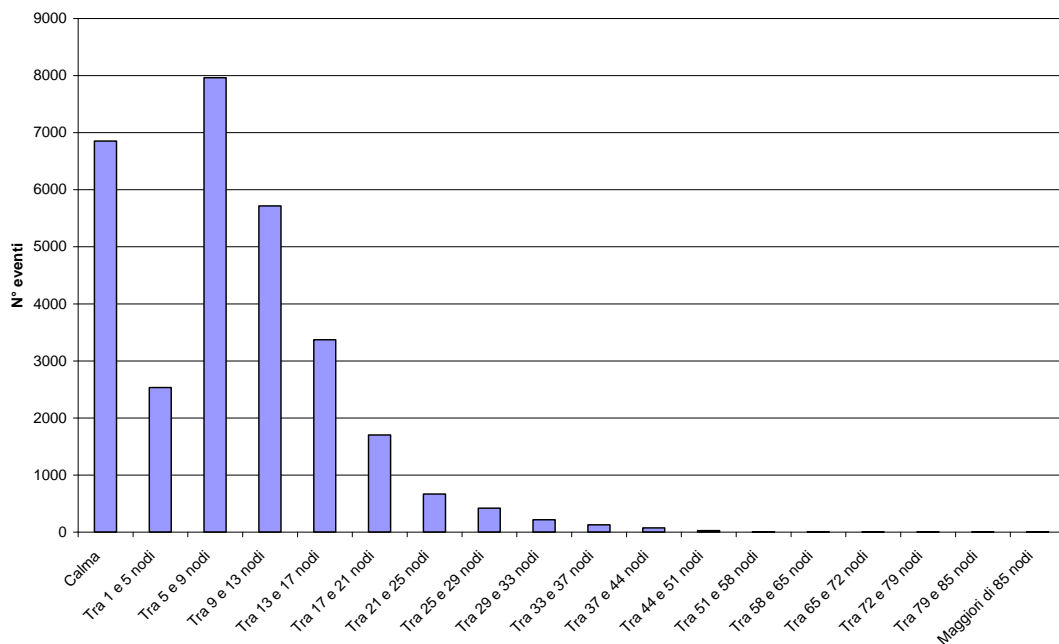


Figura 10: Intensità del vento. (PRIMAVERA)

Come già osservato in precedenza gli eventi con velocità compresa tra 5 e 9 nodi sono i più frequenti, seguiti dagli eventi di calma.

L'analisi stagionale del vento prosegue con l'analisi del vento estivo

La più alta frequenza di apparizione compete alla calma che si è presentata per circa il 30% dei casi, gli altri eventi sono sintetizzati nel diagramma polare di fig.11

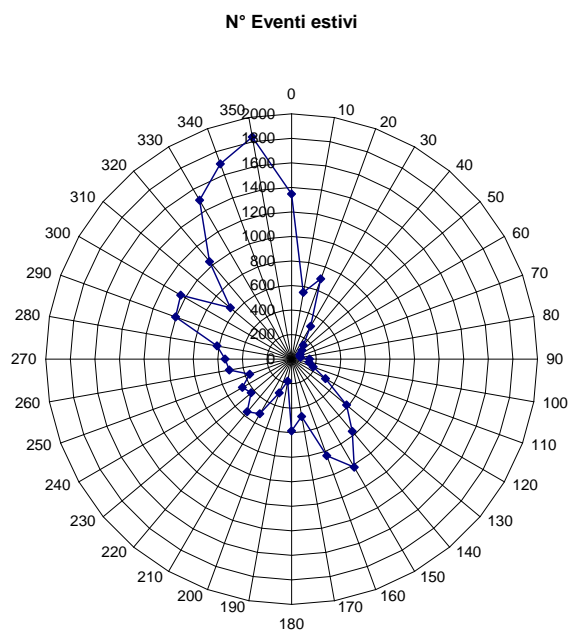


Figura 11- Frequenze estive di apparizione del vento a Trapani.

La direzione a cui compete la massima frequenza, appartiene sempre al settore 350°, seguita dalla direzione 150°. Il diagramma polare estivo è molto meno disperso che non nei precedenti casi. Le direzioni più frequenti sono infatti chiaramente distinte dalle restanti.

Come prima, le osservazioni del vento sono state divise per direzione di provenienza e per intensità. I risultati di tale classificazione sono tabellati di seguito.

| Direzione | Tra 1 e 5 nodi | Tra 5 e 9 nodi | Tra 9 e 13 nodi | Tra 13 e 17 nodi | Tra 17 e 21 nodi | Tra 21 e 25 nodi | Tra 25 e 29 nodi | Tra 29 e 33 nodi |
|-----------|----------------|----------------|-----------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| 0 | 104 | 351 | 474 | 281 | 94 | 27 | 13 | 3 |
| 10 | 79 | 207 | 179 | 60 | 22 | 3 | 1 | 0 |
| 20 | 140 | 312 | 152 | 48 | 25 | 5 | 1 | 4 |
| 30 | 78 | 126 | 48 | 27 | 21 | 6 | 1 | 1 |
| 40 | 36 | 56 | 39 | 6 | 8 | 0 | 3 | 0 |
| 50 | 40 | 50 | 15 | 3 | 3 | 0 | 0 | 0 |
| 60 | 22 | 51 | 5 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 70 | 31 | 30 | 6 | 3 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 80 | 25 | 40 | 5 | 0 | 2 | 0 | 2 | 0 |
| 90 | 76 | 60 | 9 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 100 | 48 | 70 | 18 | 2 | 1 | 1 | 1 | 2 |
| 110 | 51 | 79 | 27 | 14 | 7 | 4 | 3 | 2 |
| 120 | 61 | 113 | 57 | 24 | 22 | 11 | 17 | 7 |
| 130 | 69 | 178 | 124 | 80 | 40 | 30 | 39 | 12 |
| 140 | 67 | 240 | 182 | 93 | 89 | 51 | 35 | 6 |
| 150 | 129 | 358 | 171 | 175 | 102 | 53 | 19 | 7 |
| 160 | 106 | 316 | 192 | 134 | 53 | 22 | 15 | 0 |
| 170 | 68 | 156 | 120 | 85 | 35 | 8 | 3 | 1 |
| 180 | 95 | 194 | 159 | 81 | 43 | 4 | 8 | 2 |
| 190 | 18 | 65 | 47 | 37 | 14 | 2 | 0 | 0 |
| 200 | 61 | 85 | 82 | 44 | 11 | 8 | 1 | 1 |
| 210 | 63 | 178 | 190 | 62 | 17 | 3 | 2 | 0 |
| 220 | 45 | 228 | 200 | 71 | 13 | 2 | 2 | 0 |
| 230 | 42 | 198 | 119 | 44 | 20 | 3 | 0 | 2 |
| 240 | 60 | 242 | 120 | 29 | 7 | 2 | 1 | 0 |
| 250 | 34 | 195 | 95 | 24 | 10 | 3 | 1 | 1 |
| 260 | 75 | 237 | 133 | 49 | 11 | 7 | 1 | 0 |
| 270 | 75 | 274 | 112 | 56 | 11 | 8 | 4 | 0 |
| 280 | 56 | 201 | 138 | 119 | 63 | 32 | 5 | 0 |
| 290 | 101 | 342 | 262 | 171 | 103 | 13 | 8 | 1 |
| 300 | 113 | 411 | 287 | 135 | 66 | 17 | 10 | 2 |
| 310 | 33 | 250 | 216 | 81 | 44 | 16 | 6 | 3 |
| 320 | 90 | 377 | 337 | 163 | 54 | 8 | 8 | 0 |
| 330 | 146 | 618 | 507 | 165 | 46 | 11 | 2 | 0 |
| 340 | 143 | 522 | 568 | 307 | 110 | 30 | 13 | 0 |
| 350 | 233 | 602 | 577 | 294 | 95 | 26 | 11 | 0 |

Tabella 5: Numero di eventi estivi classificati per direzione e intensità (tra 1 e 33 nodi)

| Direzione | Tra 33 e 37 nodi | Tra 37 e 44 nodi | Tra 44 e 51 nodi | Tra 51 e 58 nodi | Tra 58 e 65 nodi | Tra 65 e 72 nodi | Tra 72 e 79 nodi | Tra 79 e 85 nodi | Maggiori di 85 nodi |
|-----------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|---------------------|
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 20 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 2 | 1 |
| 30 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 40 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 50 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 60 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 70 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 80 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 90 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 100 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 110 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 120 | 4 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 130 | 9 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 140 | 4 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 150 | 4 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 160 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 170 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 180 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 190 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 200 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 210 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 220 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 230 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 240 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 250 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 260 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 270 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 280 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 290 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 300 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 310 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 320 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 330 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 340 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 350 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Tabella 6: Numero di eventi estivi classificati per direzione e intensità (superiore a 33 nodi)

Per meglio rappresentare i risultati della classificazione, si riportano nei diagrammi polari i medesimi risultati. Per comodità del lettore si è preferito presentare gli esiti in tre diagrammi.

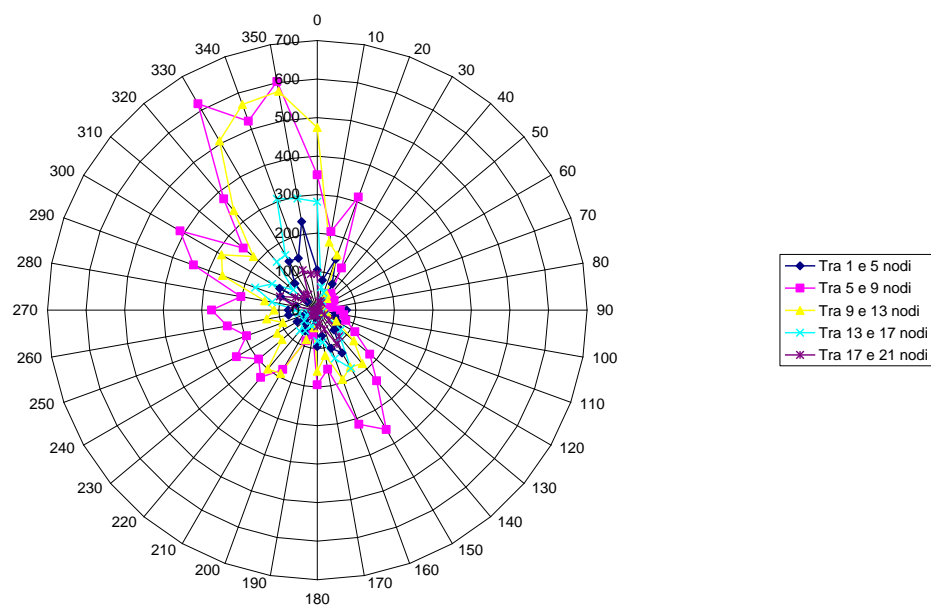


Figura 12: Frequenze di apparizione del vento, di intensità compresa tra 1 e 21 nodi, a Trapani. (ESTATE)

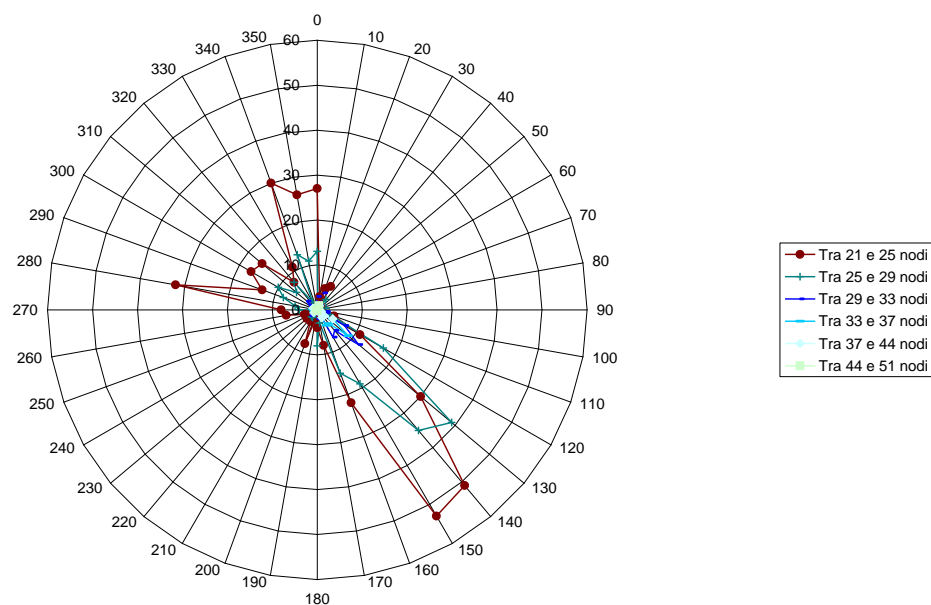


Figura 13: Frequenze di apparizione del vento, di intensità compresa tra 21 e 51 nodi, a Trapani. (ESTATE)

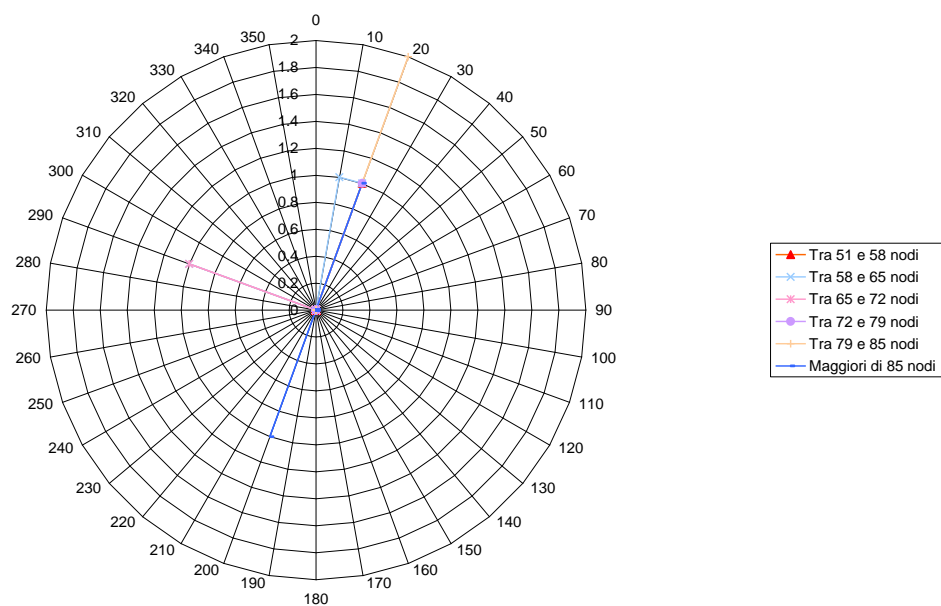


Figura 14: Frequenze di apparizione del vento, di intensità maggiore a 51 nodi, a Trapani. (ESTATE)

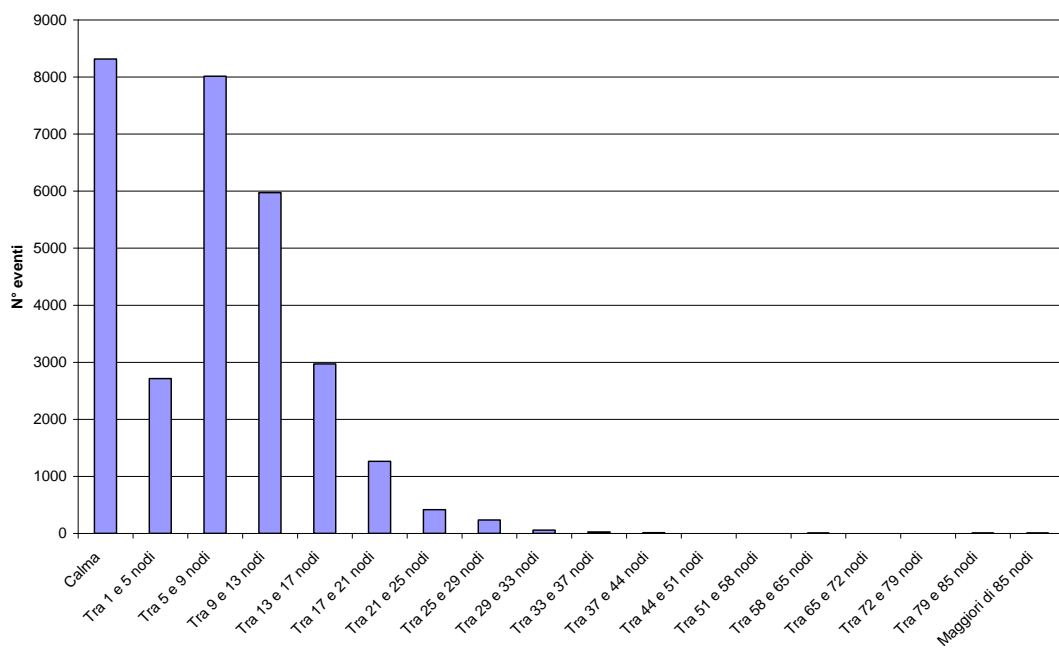


Figura 15: Intensità del vento. (ESTATE)

Si vuole ora eseguire l'analisi del vento autunnale.

Si rappresentano di seguito in fig. 16 gli eventi autunnali.

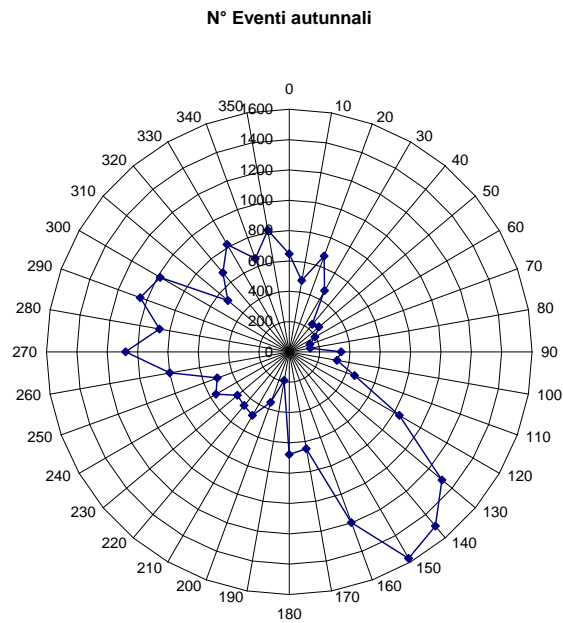


Figura 16- Frequenze autunnali di apparizione del vento a Trapani.

La direzione a cui compete la massima frequenza, appartiene sempre al settore 150°.

Come prima, le osservazioni del vento sono state divise per direzione di provenienza e per intensità. I risultati di tale classificazione sono tabellati di seguito.

| Direzione | Tra 1 e 5 nodi | Tra 5 e 9 nodi | Tra 9 e 13 nodi | Tra 13 e 17 nodi | Tra 17 e 21 nodi | Tra 21 e 25 nodi | Tra 25 e 29 nodi | Tra 29 e 33 nodi |
|-----------|----------------|----------------|-----------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| 0 | 73 | 200 | 187 | 94 | 57 | 20 | 10 | 4 |
| 10 | 59 | 163 | 146 | 67 | 21 | 11 | 5 | 2 |
| 20 | 92 | 252 | 186 | 82 | 35 | 14 | 5 | 2 |
| 30 | 79 | 199 | 106 | 50 | 19 | 7 | 6 | 0 |
| 40 | 51 | 92 | 54 | 21 | 13 | 2 | 3 | 0 |
| 50 | 78 | 118 | 45 | 10 | 2 | 1 | 1 | 0 |
| 60 | 68 | 88 | 32 | 8 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 70 | 52 | 76 | 17 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 80 | 50 | 69 | 20 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 90 | 140 | 155 | 45 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 100 | 102 | 148 | 46 | 12 | 6 | 1 | 3 | 1 |
| 110 | 89 | 204 | 70 | 37 | 26 | 9 | 16 | 4 |
| 120 | 83 | 279 | 163 | 93 | 59 | 51 | 55 | 31 |
| 130 | 82 | 363 | 259 | 186 | 158 | 90 | 82 | 49 |
| 140 | 93 | 369 | 340 | 234 | 189 | 137 | 81 | 42 |
| 150 | 123 | 463 | 373 | 252 | 204 | 100 | 43 | 10 |
| 160 | 145 | 404 | 254 | 185 | 108 | 53 | 37 | 8 |
| 170 | 91 | 215 | 145 | 95 | 55 | 25 | 14 | 4 |
| 180 | 82 | 228 | 164 | 105 | 50 | 29 | 13 | 4 |
| 190 | 15 | 42 | 53 | 33 | 24 | 13 | 4 | 4 |
| 200 | 58 | 138 | 81 | 36 | 28 | 5 | 6 | 2 |
| 210 | 57 | 191 | 117 | 62 | 25 | 14 | 13 | 1 |
| 220 | 46 | 166 | 120 | 65 | 43 | 15 | 2 | 3 |
| 230 | 23 | 174 | 96 | 55 | 48 | 27 | 15 | 6 |
| 240 | 33 | 190 | 152 | 83 | 57 | 22 | 12 | 4 |
| 250 | 36 | 126 | 112 | 85 | 82 | 36 | 13 | 6 |
| 260 | 49 | 214 | 178 | 145 | 119 | 52 | 29 | 10 |
| 270 | 84 | 303 | 254 | 160 | 128 | 61 | 55 | 20 |
| 280 | 58 | 180 | 157 | 182 | 125 | 78 | 44 | 25 |
| 290 | 88 | 265 | 215 | 194 | 138 | 67 | 48 | 17 |
| 300 | 73 | 266 | 232 | 177 | 113 | 50 | 33 | 22 |
| 310 | 37 | 146 | 112 | 90 | 62 | 25 | 23 | 17 |
| 320 | 68 | 221 | 134 | 98 | 58 | 39 | 27 | 17 |
| 330 | 91 | 257 | 199 | 114 | 74 | 37 | 28 | 6 |
| 340 | 72 | 231 | 172 | 86 | 48 | 18 | 14 | 8 |
| 350 | 131 | 287 | 202 | 96 | 44 | 32 | 15 | 4 |

Tabella 7: Numero di eventi autunnali classificati per direzione e intensità (tra 1 e 33 nodi)

| Direzione | Tra 33 e 37 nodi | Tra 37 e 44 nodi | Tra 44 e 51 nodi | Tra 51 e 58 nodi | Tra 58 e 65 nodi | Tra 65 e 72 nodi | Tra 72 e 79 nodi | Tra 79 e 85 nodi | Maggiori di 85 nodi |
|-----------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|---------------------|
| 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 10 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| 20 | 2 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 30 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 40 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 50 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 60 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 70 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 80 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 90 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 100 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 110 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 120 | 12 | 9 | 1 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 130 | 23 | 16 | 6 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 140 | 10 | 4 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 150 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 160 | 3 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 170 | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 180 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 190 | 0 | 2 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 200 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 210 | 3 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 220 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 230 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 240 | 4 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 250 | 8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 260 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 270 | 9 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 280 | 13 | 4 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 290 | 6 | 6 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 300 | 6 | 8 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 310 | 5 | 6 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 320 | 12 | 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 330 | 8 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 340 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 350 | 1 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Tabella 8: Numero di eventi autunnali classificati per direzione e intensità (superiore a 33 nodi)

Per meglio rappresentare i risultati della classificazione, si riportano nei diagrammi polari i medesimi risultati. Per comodità del lettore si è preferito presentare gli esiti in tre diagrammi.

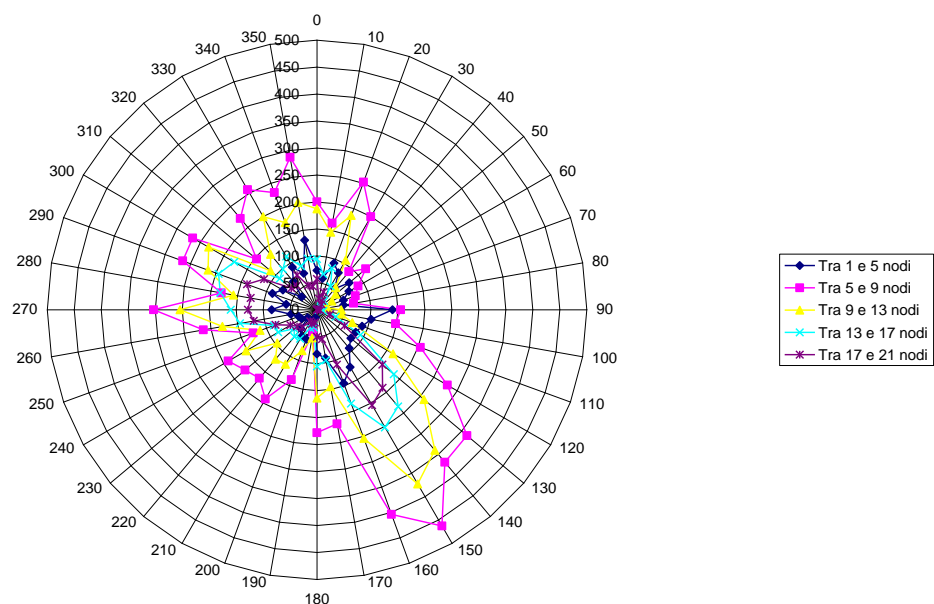


Figura 17: Frequenze di apparizione del vento, di intensità compresa tra 1 e 21 nodi, a Trapani. (AUTUNNO)

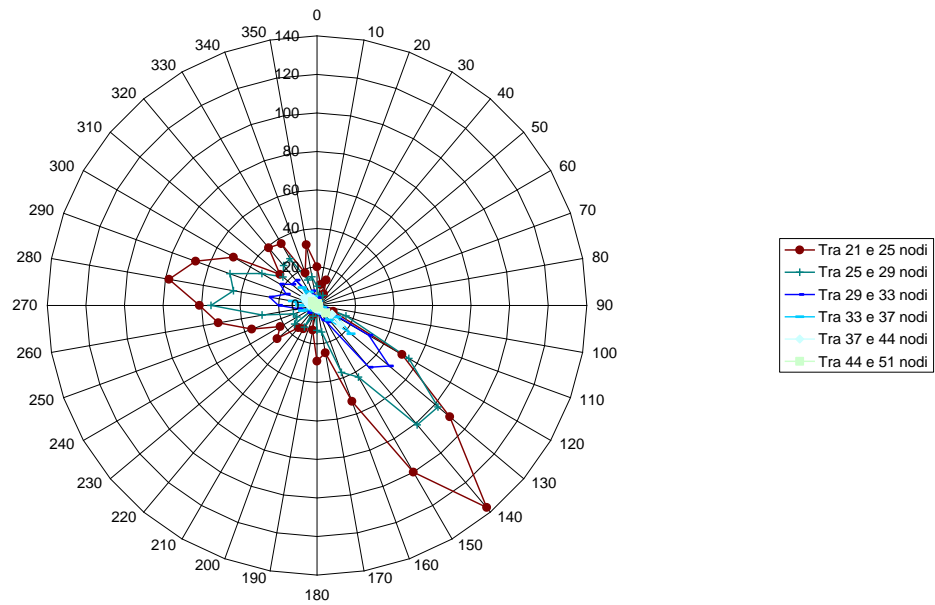


Figura 18: Frequenze di apparizione del vento, di intensità compresa tra 21 e 51 nodi, a Trapani. (AUTUNNO)

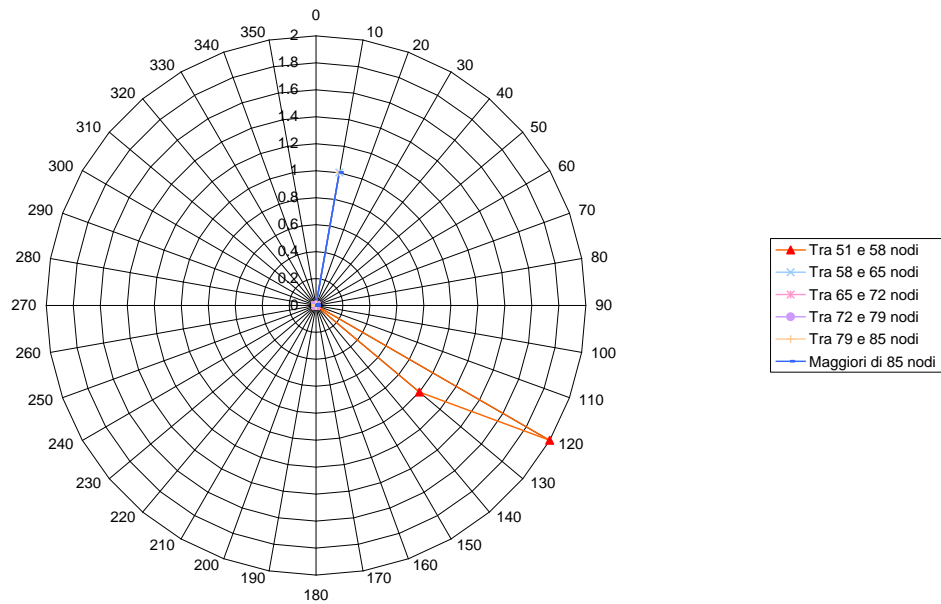


Figura 19: Frequenze di apparizione del vento, di intensità maggiore a 51 nodi, a Trapani. (AUTUNNO)

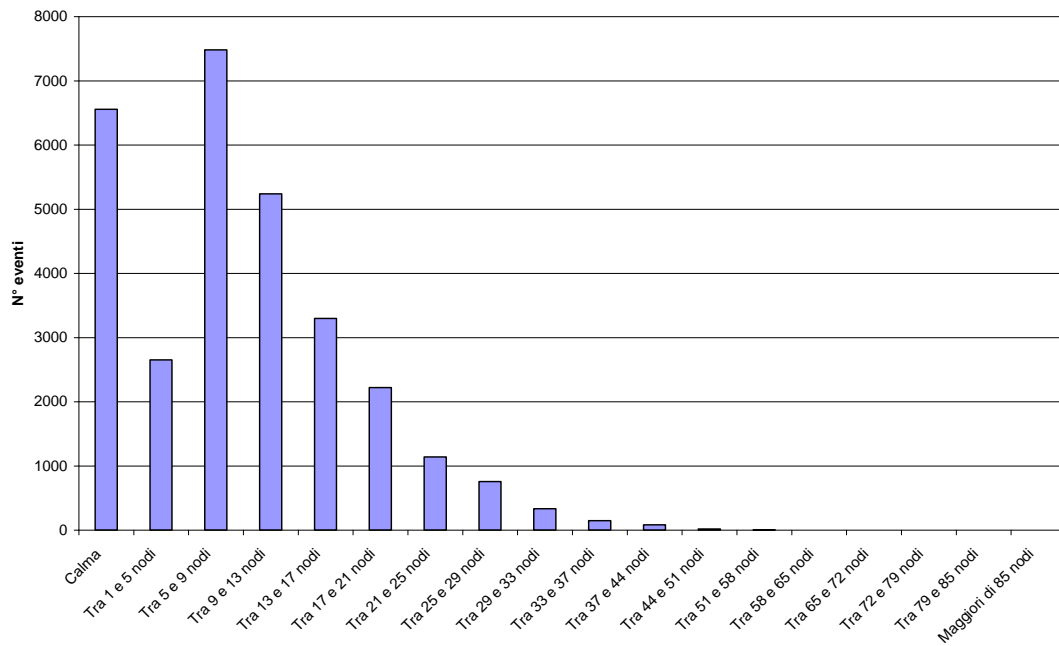


Figura 20: Intensità del vento. (AUTUNNO)

Si conclude l'analisi anemometria con l'analisi del vento invernale

Si rappresentano di seguito in fig. 21 gli eventi invernali.

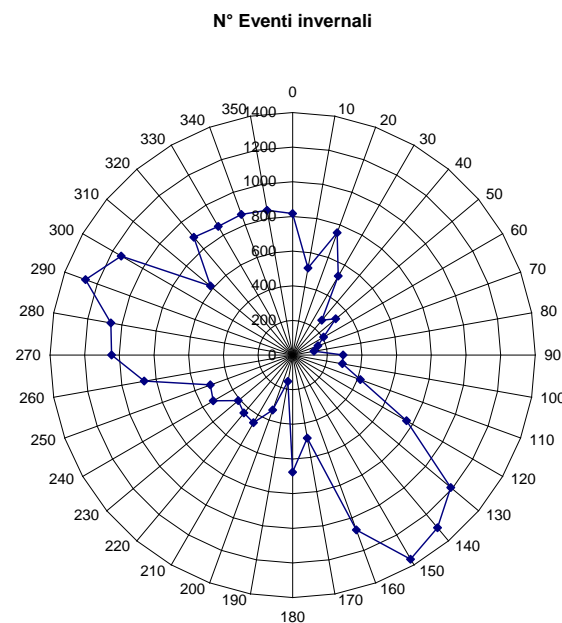


Figura 16- Frequenze invernali di apparizione del vento a Trapani.

La direzione a cui compete la massima frequenza, appartiene al settore 150°, seguito da 290°N.

Come per tutti i casi precedenti, le osservazioni stagionali del vento sono state divise per direzione di provenienza e per intensità. I risultati di tale classificazione sono tabellati di seguito.

| Direzione | Tra 1 e 5 nodi | Tra 5 e 9 nodi | Tra 9 e 13 nodi | Tra 13 e 17 nodi | Tra 17 e 21 nodi | Tra 21 e 25 nodi | Tra 25 e 29 nodi | Tra 29 e 33 nodi |
|-----------|----------------|----------------|-----------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| 0 | 67 | 235 | 231 | 124 | 81 | 44 | 14 | 10 |
| 10 | 72 | 151 | 142 | 69 | 28 | 14 | 9 | 10 |
| 20 | 81 | 284 | 190 | 109 | 54 | 17 | 10 | 3 |
| 30 | 89 | 180 | 127 | 68 | 34 | 15 | 7 | 4 |
| 40 | 42 | 109 | 64 | 30 | 11 | 5 | 1 | 0 |
| 50 | 67 | 153 | 63 | 24 | 13 | 2 | 2 | 1 |
| 60 | 48 | 100 | 34 | 12 | 8 | 2 | 2 | 0 |
| 70 | 48 | 74 | 23 | 8 | 3 | 0 | 0 | 0 |
| 80 | 38 | 61 | 14 | 7 | 3 | 1 | 0 | 0 |
| 90 | 119 | 133 | 33 | 2 | 2 | 2 | 0 | 0 |
| 100 | 100 | 132 | 40 | 13 | 4 | 1 | 2 | 0 |
| 110 | 87 | 188 | 57 | 34 | 18 | 15 | 4 | 7 |
| 120 | 84 | 257 | 135 | 92 | 48 | 37 | 36 | 25 |
| 130 | 103 | 300 | 195 | 129 | 116 | 92 | 97 | 77 |
| 140 | 90 | 339 | 231 | 203 | 174 | 98 | 78 | 50 |
| 150 | 127 | 426 | 266 | 233 | 137 | 82 | 52 | 26 |
| 160 | 121 | 393 | 234 | 138 | 97 | 54 | 24 | 9 |
| 170 | 72 | 168 | 107 | 62 | 39 | 15 | 14 | 7 |
| 180 | 87 | 264 | 147 | 100 | 46 | 22 | 9 | 1 |
| 190 | 11 | 49 | 37 | 26 | 21 | 6 | 4 | 1 |
| 200 | 47 | 147 | 73 | 37 | 26 | 3 | 1 | 2 |
| 210 | 54 | 174 | 135 | 58 | 19 | 6 | 3 | 1 |
| 220 | 46 | 157 | 117 | 55 | 27 | 19 | 11 | 2 |
| 230 | 27 | 152 | 111 | 71 | 33 | 5 | 4 | 4 |
| 240 | 52 | 182 | 126 | 75 | 55 | 17 | 18 | 3 |
| 250 | 31 | 121 | 108 | 103 | 74 | 28 | 24 | 7 |
| 260 | 55 | 220 | 190 | 163 | 114 | 65 | 35 | 18 |
| 270 | 85 | 274 | 230 | 157 | 115 | 78 | 56 | 25 |
| 280 | 56 | 177 | 191 | 171 | 179 | 115 | 81 | 49 |
| 290 | 79 | 257 | 264 | 245 | 170 | 95 | 88 | 43 |
| 300 | 78 | 293 | 274 | 186 | 154 | 71 | 46 | 19 |
| 310 | 43 | 163 | 113 | 114 | 75 | 44 | 38 | 21 |
| 320 | 89 | 235 | 187 | 122 | 91 | 65 | 48 | 23 |
| 330 | 76 | 258 | 173 | 130 | 103 | 43 | 34 | 22 |
| 340 | 88 | 267 | 194 | 123 | 83 | 51 | 32 | 13 |
| 350 | 135 | 292 | 216 | 94 | 57 | 19 | 21 | 9 |

Tabella 9: Numero di eventi invernali classificati per direzione e intensità (tra 1 e 33 nodi)

| Direzione | Tra 33 e 37 nodi | Tra 37 e 44 nodi | Tra 44 e 51 nodi | Tra 51 e 58 nodi | Tra 58 e 65 nodi | Tra 65 e 72 nodi | Tra 72 e 79 nodi | Tra 79 e 85 nodi | Maggiori di 85 nodi |
|-----------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|---------------------|
| 0 | 1 | 5 | 2 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| 10 | 6 | 2 | 2 | 2 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 |
| 20 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 30 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 40 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 50 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 60 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 70 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 80 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 90 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 100 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 110 | 2 | 3 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 120 | 16 | 20 | 8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 130 | 39 | 34 | 8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 140 | 23 | 13 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 150 | 8 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 160 | 3 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 170 | 2 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 180 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 190 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 200 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 210 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 220 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 230 | 1 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 240 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 250 | 4 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 260 | 8 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 270 | 12 | 8 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 280 | 25 | 18 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 290 | 17 | 11 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 300 | 12 | 6 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 310 | 5 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 320 | 12 | 9 | 3 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 330 | 8 | 9 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 340 | 8 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 350 | 2 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Tabella 10: Numero di eventi invernali classificati per direzione e intensità (superiore a 33 nodi)

Per meglio rappresentare i risultati della classificazione, si riportano nei diagrammi polari i medesimi risultati. Per comodità del lettore si è preferito presentare gli esiti in tre diagrammi.

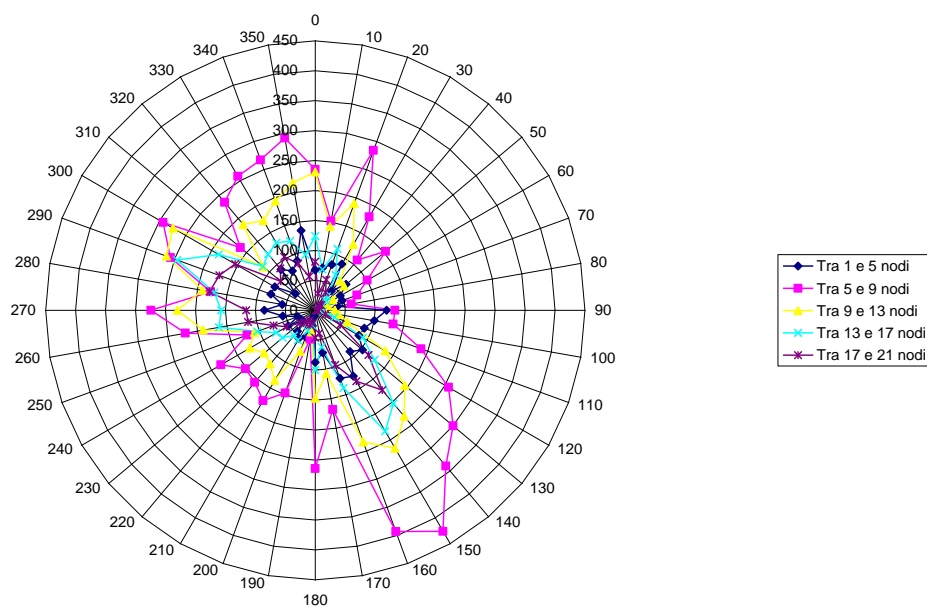


Figura 17: Frequenze di apparizione del vento, di intensità compresa tra 1 e 21 nodi, a Trapani. (INVERNO)

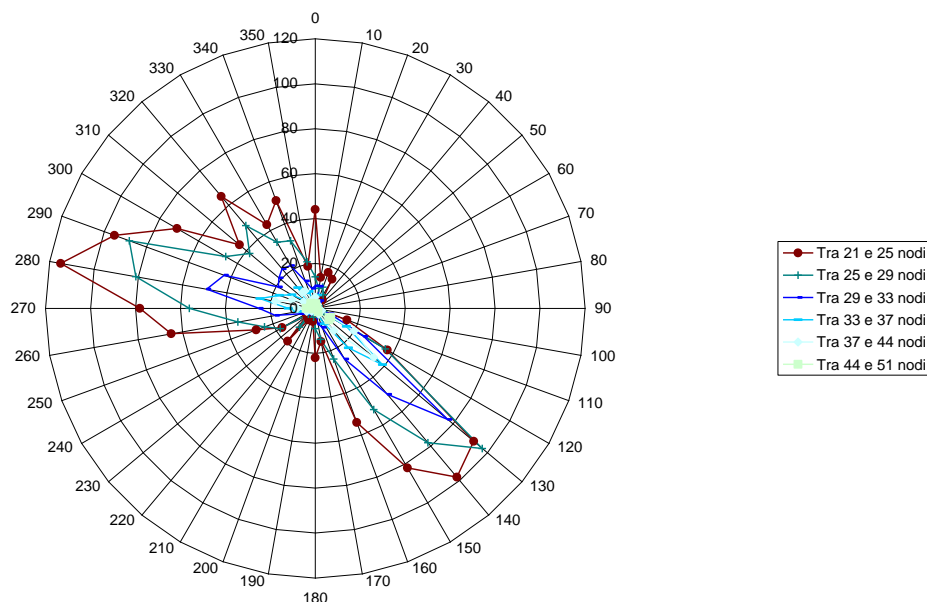


Figura 18: Frequenze di apparizione del vento, di intensità compresa tra 21 e 51 nodi, a Trapani. (INVERNO)

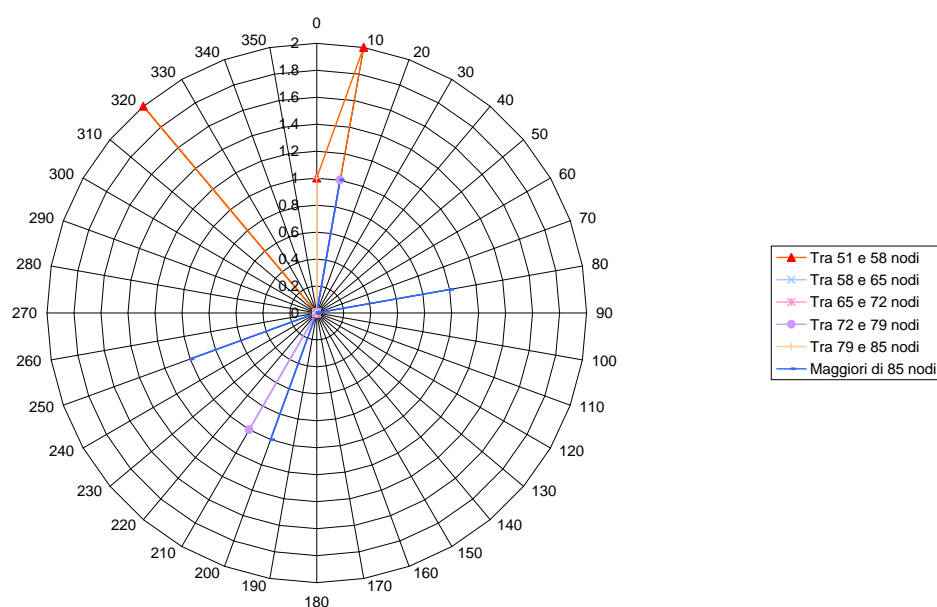


Figura 19: Frequenze di apparizione del vento, di intensità maggiore a 51 nodi, a Trapani. (INVERNO)

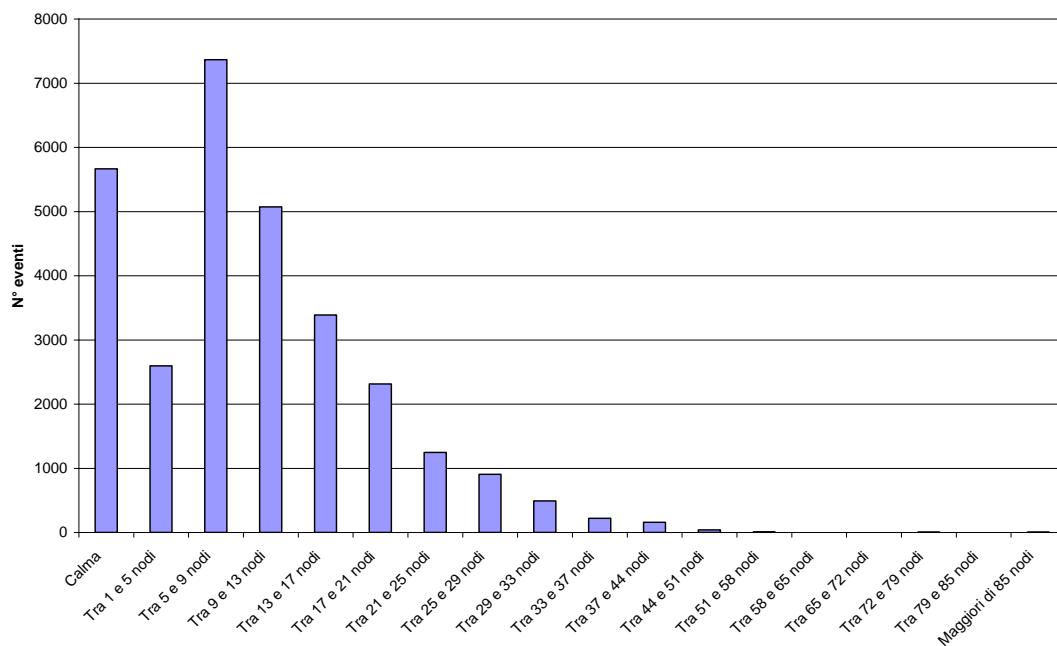


Figura 20: Intensità del vento. (INVERNO)

1.3 ULTERIORI DATI DISPONIBILI

Per un'analisi esaustiva del regime dei venti si è fatto riferimento alla tavola tematica pubblicata dal TCI-CNR ove sono riportate le “rose dei venti” delle stazioni gestite dal Servizio Meteorologico dell’Aeronautica Militare (CNMCA).

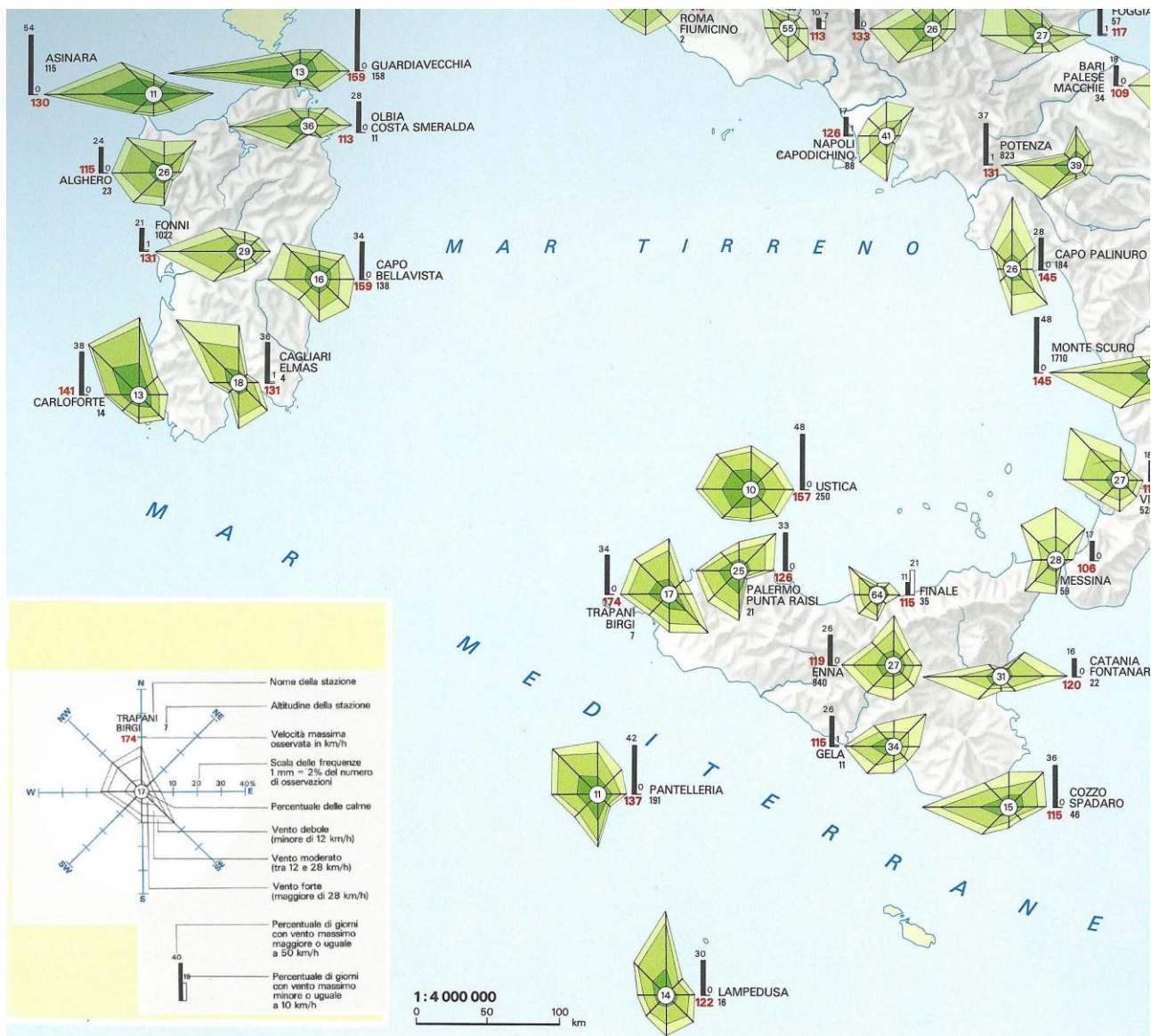


fig. 1.3.1 - Regime di esposizione ai venti per il mar tirreno centro-meridionale

Dalla figura si evince che il settore di traversia ove si esplicano i fenomeni di generazione delle mareggiate che possono interessare il litorale in esame è dominato dai venti di ponente, maestrale e tramontana. In particolare si è fatto riferimento ai dati delle Stazioni Meteo di Trapani Birgi e Trapani Chinisia gestite dall'Aeronautica Militare (I.T.A.V.-C.N.M.C.A Ispettorato Trasmissioni e Assistenza al Volo – Centro Nazionale di Meteorologia e Climatologia Aeronautica).

Inoltre sono stati esaminati anche i dati relativi alle osservazioni sugli stati di vento effettuate dalla stazione semaforica della Marina Militare posta sull'Isola di Favignana (dati archiviati

dall'Istituto Idrografico della Marina Militare e pubblicati in "Il vento e lo stato del Mare", 1978).

Stazione semaforica di Isola Favignana (Marina Militare)
 Periodo di osservazione 1930-42 1947-60
 Distribuzione delle frequenze annuali(*)

| Direzioni di provenienza degli stati di vento osservati (°Nord) | | | | | | | | | | |
|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| Forza vento (Beaufort) | 337.5 | 22.5 | 67.5 | 112.5 | 157.5 | 202.5 | 247.5 | 292.5 | 337.5 | Totale |
| | 22.5 | 67.5 | 112.5 | 157.5 | 202.5 | 247.5 | 292.5 | 337.5 | | |
| 1 ÷ 2 | 1.75 | 2.25 | 1.00 | 1.05 | 2.20 | 1.65 | 1.80 | 2.85 | | 14.55 |
| 3 ÷ 4 | 4.50 | 5.60 | 1.35 | 3.35 | 6.70 | 4.30 | 4.95 | 10.35 | | 41.10 |
| 5 ÷ 6 | 3.05 | 3.65 | 0.70 | 3.20 | 5.25 | 2.40 | 3.40 | 7.05 | | 28.70 |
| 7 ÷ 12 | 0.80 | 1.10 | 0.20 | 1.85 | 2.85 | 0.70 | 0.90 | 2.25 | | 10.65 |
| | 10.10 | 12.60 | 3.25 | 9.45 | 17.00 | 9.05 | 11.05 | 22.50 | | 95.00 |

Coordinate geografiche della stazione: 37° 56' Lat.N ; 12° 19' Long E
 Stazione posta ad un'altezza di 328 m sul livello del mare

(*) Valori percentuali

1.4 CONCLUSIONI

Dall'esame dei dati rilevati alla stazione di Trapani –Birgi per il periodo considerato, sono emersi tre settori prevalenti di provenienza del vento, centrati sulle direzioni di Scirocco, Ponente e Maestrale, che complessivamente comprendono il 51% dei dati disponibili.

In generale si riscontra che tutti i venti risultano distribuiti piuttosto uniformemente su tutti i mesi, mentre per i venti più intensi si è notata una certa concentrazione negli ultimi mesi dell'anno.

In sintesi i dati raccolti mostrano che:

- i venti regnanti (associati a maggiori frequenze di accadimento) provengono da ponente e tramontana seguiti da quelli provenienti da scirocco;
- i venti dominanti (più intensi con classi di velocità superiori a 24 nodi o forza vento in scala Beaufort superiore a 6) sono quelli provenienti da scirocco.
- la stazione semaforica di Favignana fornisce indicazioni analoghe a quelle delle stazioni meteo di Trapani anche se riferite a tre osservazioni giornaliere a vista.

2. PREVISIONE DEL MOTO ONDOSO A LARGO

Il presente studio è costituito da tre parti: la prima è la ricostruzione della serie ondometrica al largo di Trapani tramite un modello matematico: ciò consente di determinare il clima ondoso al largo. La seconda parte studia il trasferimento delle onde dal largo a sottocosta. L'ultima parte è invece dedicata all'analisi del clima ondoso residuo all'interno della struttura portuale.

La prima parte, si diceva, è lo studio del clima di moto ondoso in un punto al largo del paraggio di Trapani. La definizione del clima di moto ondoso al largo di un paraggio risulta fondamentale per impostare gran parte degli studi che vengono eseguiti nel campo delle costruzioni marittime e più in generale dell'ingegneria costiera.

L'analisi è stata condotta seguendo la classica metodologia, che, partendo dalle osservazioni anemometriche registrate nella stazione di Trapani, perviene alle caratteristiche del moto ondoso tramite il metodo detto dell'onda significativa o SMB.

Le osservazioni anemometriche costituiscono l'input del metodo SMB. Un algoritmo matematico consente il calcolo delle altezze e dei periodi delle onde significative.

Nell'ambito del presente approccio si è pervenuti ad una serie di onde "in continuo", e cioè una serie di altezze d'onda e di periodi simili a quelli storici; la conoscenza di tale serie ha consentito, appunto, di determinare il clima ondoso in un punto al largo di Trapani, appresso indicato in figura 1.1.

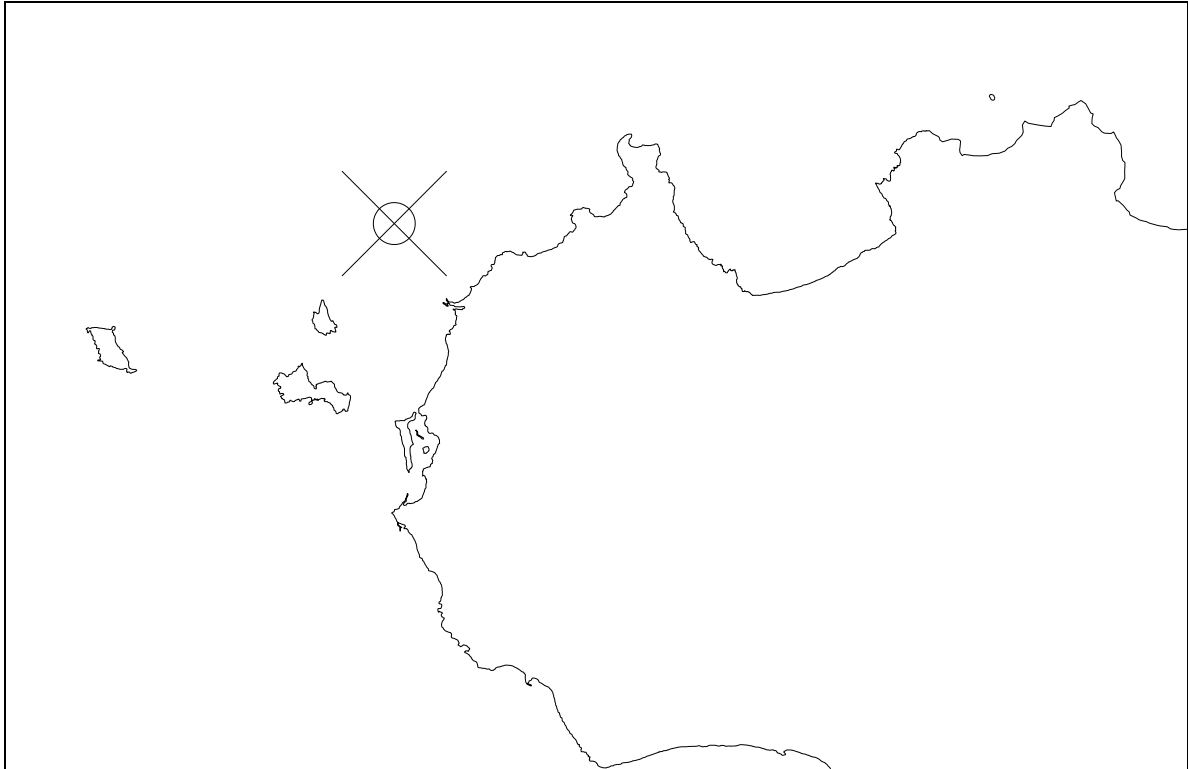


Figura 1.1. Punto di analisi al largo di Trapani.

La ricostruzione della serie storica delle altezze d'onda e dei relativi periodi è stata eseguita con un modello matematico basato sulle collaudate relazioni fornite da Sverdrup Munk e Breschneider, dal nome dei quali trae origine l'acronimo SMB. Il metodo SMB richiede in input le grandezze fetch, velocità e durata del vento. Come output fornisce l'altezza e il periodo dell'onda significativa.

L'ipotesi base del metodo è strettamente connessa al dominio di taratura del modello stesso.

Il metodo SMB è stato originariamente tarato nei grandi laghi americani e successivamente ulteriormente verificato in una miriade di situazioni differenti, tanto da farne, certamente il criterio maggiormente utilizzato; esso può essere ragionevolmente applicato in situazioni geografiche che presentino fetch limitati, dell'ordine del centinaio di chilometri, condizioni nelle quali è plausibile l'ipotesi secondo cui il campo di vento si possa ritenere costante, in direzione e intensità, su tutta l'estensione della zona di generazione delle onde.

L'applicazione del metodo SMB prevede il calcolo preventivo dello *wind stress factor*, e il calcolo dei fetch efficaci,

I dati di vento vengono forniti in nodi. L'algoritmo SMB richiede invece il cosiddetto *wind stress factor*, ricavabile dai dati di vento, combinando questi con alcune informazioni facilmente reperibili.

Le velocità del vento, espresse in origine in nodi, vengono trasformate in m/s tramite la:

$$U(z) = 0.5144 * U(z)$$

dove a primo membro le velocità sono in nodi, mentre a secondo membro risultano in m/s.

Il vento è stato registrato va ridotto ad un'altezza di 10m s.l.m. Tale operazione viene eseguita tramite l'espressione seguente:

$$U(10) = U(z) \cdot \left(\frac{10}{z} \right)^{\frac{1}{7}}$$

dove z indica, in metri la quota sul livello del mare.

Una ulteriore correzione al vento è quella detta di stabilità. Se la differenza di temperatura tra aria e mare,

$$\Delta T_{as} = T_a - T_s$$

è nulla, la superficie di separazione si trova in una sorta di equilibrio instabile, e non è necessaria nessuna correzione. Se ΔT_{as} è negativo la superficie di separazione è instabile e la velocità del vento ha più potere nello generare le onde. Se ΔT_{as} è positivo invece, la superficie di separazione è stabile e la velocità del vento ha meno effetto. Il fattore di correzione, R_T , è una funzione di ΔT_{as} ed è stata definita da Resio e Vincent (1977). La relazione è riportata nel grafico 2.2.1 appresso riportato:

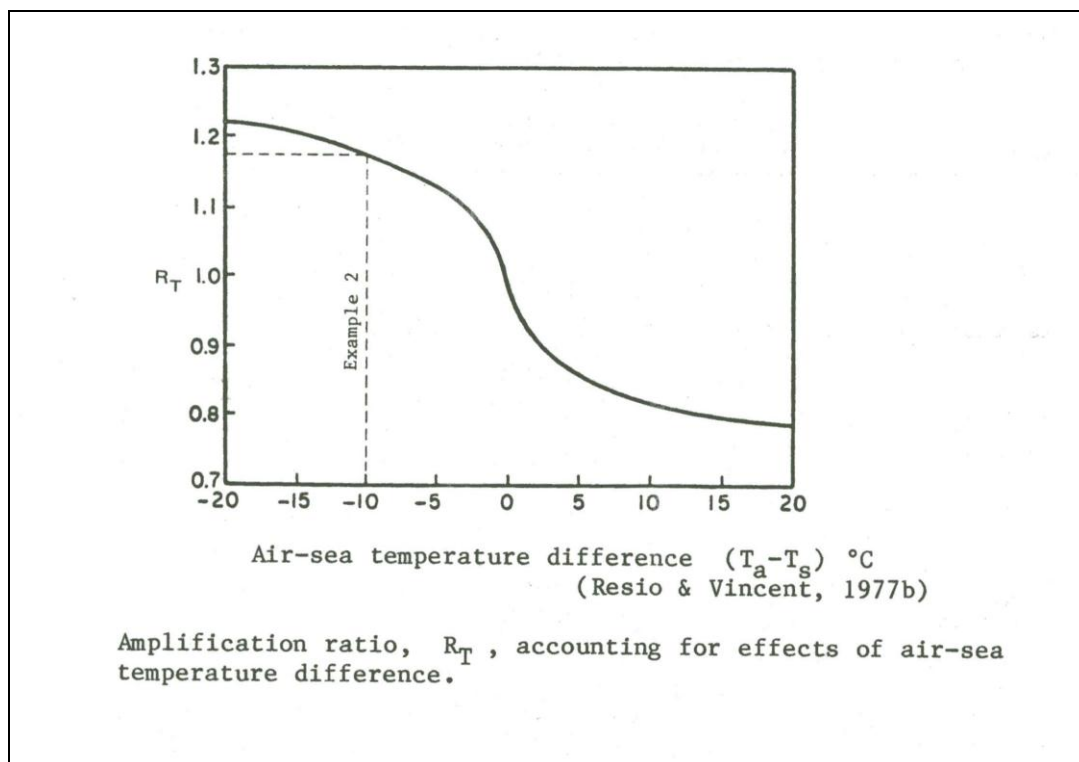


Figura 2.2.1 - Determinazione del parametro R_T

La velocità del vento, a seguito dell'introduzione del parametro R_T , si modifica come segue:

$$U = R_T \cdot U(10)$$

Sulle coste siciliane è lecito supporre che, la temperatura del mare è mediamente maggiore di quella dell'aria, e più precisamente è maggiore mediamente di 5°C.

Una ulteriore correzione al vento va fatta se la stazione di misura è situata entroterra, come è nel caso in esame. È possibile *traslare* i dati di vento da condizioni *overland* a situazioni *overwater* qualora il gradiente di pressione sia lo stesso nei differenti punti, e l'unica differenza risieda nel coefficiente di scabrezza delle superfici. Il fattore di locazione è indicato con R_L ed è funzione della velocità registrata entroterra. La relazione è riportata in figura 2.2.3.

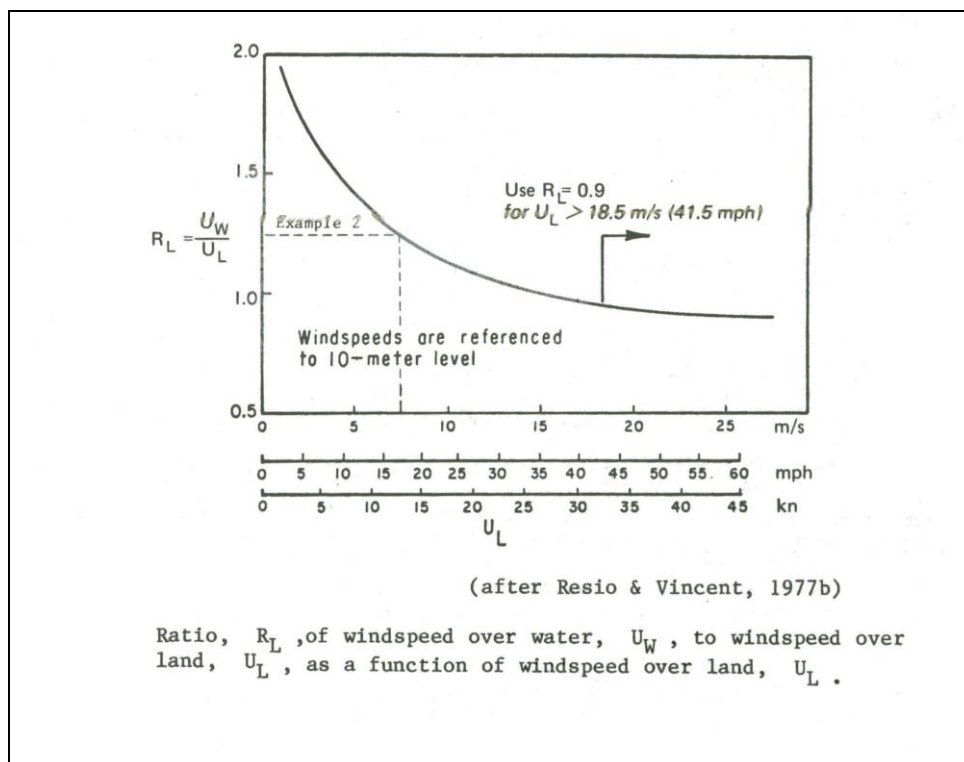


Figura 2.2.3 -Determinazione del parametro R_L

La velocità del vento, a seguito dell'introduzione del parametro R_L , si modifica come segue:

$$U = R_L \cdot U(10)$$

Infine si calcola lo *wind stress factor*, grandezza che poi comparirà in tutte le espressioni del calcolo dell'altezza e del periodo dell'onda significativa, tramite la:

$$U_A = 0.71 \cdot U^{1.23}$$

Il fetch è la dimensione dell'area di generazione delle onde nella direzione del vento, velocità e durata hanno un significato più intuitivo.

Il fetch come è noto non è individuabile attraverso come la distanza sopravento della costa più vicina; bensì tenendo in opportuna considerazione il contributo sulla formazione del moto ondoso delle azioni ventose distanze relative alle direzioni adiacenti a quella principale di propagazione; si è pertanto introdotto il concetto di fetch efficace F_e , che mette in conto il rilievo assunto dalle direzioni trasversali rispetto alla prefissata distanza di mare libero.

Il settore di traversia geografico relativo al punto in cui si vuole eseguire l'analisi ondometrica è delimitato a nord est da Capo San Vito, e a sud ovest dall'isola di Marittimo.

Il valore più elevato della lunghezza del fetch geografico si ha secondo la direzione 270°N, e cioè nella direzione delle coste spagnole. La tabella 2.3.1 riporta gli stessi valori in forma numerica.

| Dir. | Fetch geografico (m) |
|------|-------------------------|
| 0 | 383404.5 |
| 10 | 346641.6 |
| 20 | 348714.8 |
| 30 | 302232.2 |
| 40 | 329466.6 |
| 50 | 315167.4 |
| 60 | 328663.4 |
| 70 | 25841.5 |
| 80 | 26175.5 |
| 90 | 19409.7 |
| 100 | 16720.2 |
| 110 | 11569.3 |
| 120 | 11235.5 |
| 130 | 10846.3 |
| 140 | 11812.3 |
| 150 | 12784.4 |
| 160 | 16238.3 |
| 170 | 22996.1 |
| 180 | 536950.8 |
| 190 | 501734.3 |
| 200 | 18734.5 |
| 210 | 12572 |
| 220 | 11564.6 |
| 230 | 221870.5 |
| 240 | 212364.7 |
| 250 | 33134.2 |
| 260 | 710687.3 |
| 270 | 1089568 |
| 280 | 776075.2 |
| 290 | 299737.3 |
| 300 | 269968 |
| 310 | 295859.8 |
| 320 | 335662.5 |
| 330 | 491861.5 |
| 340 | 536839.5 |
| 350 | 472620.3 |

Tabella 2.3.1 - fetchs geografici

Il grafico 2.3.1 riporta gli stessi valori in forma grafica.

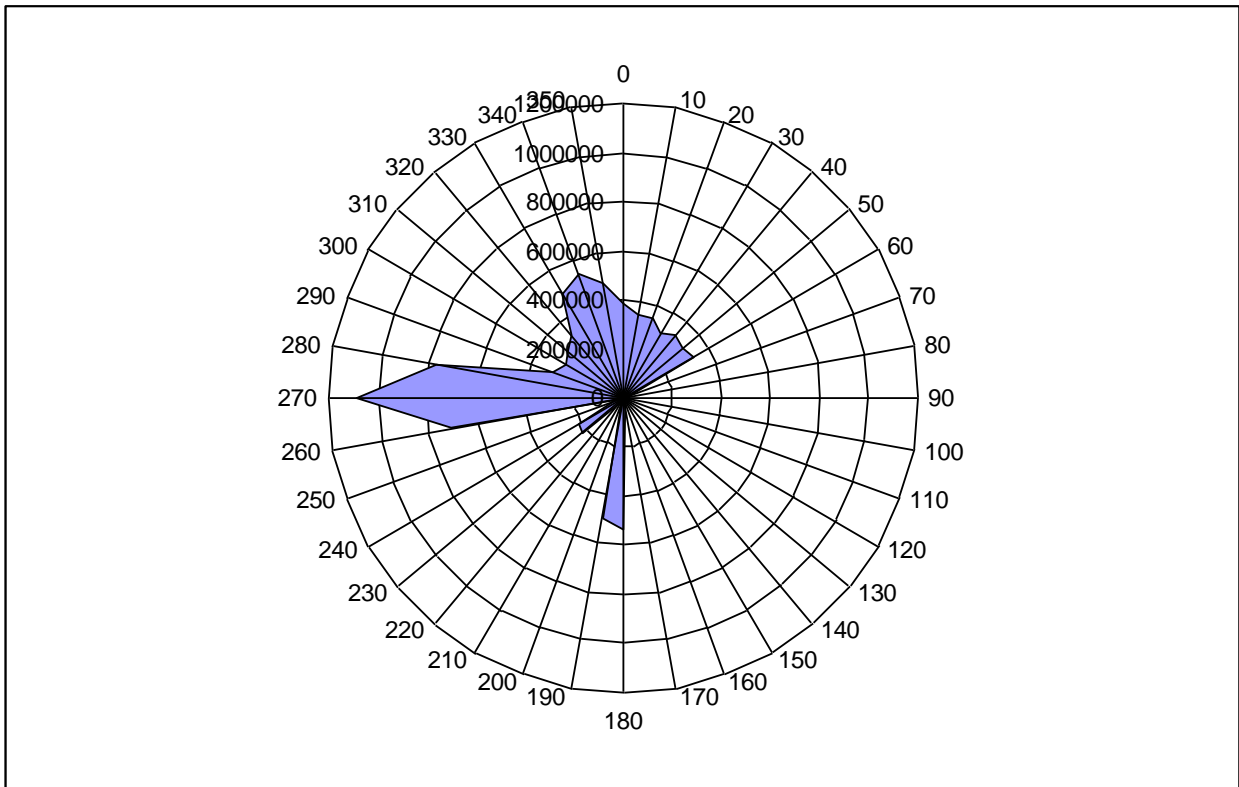


Figura 2.3.1- Fetchs geografici a Trapani

I *fetch* efficaci F_e si ottengono utilizzando la formula

$$F_e = \frac{\sum_{\vartheta=\vartheta_m-45^\circ}^{\vartheta_m+45^\circ} F_g(\vartheta) \cdot \cos^3(\vartheta - \vartheta_m)}{\cos^2 \vartheta}$$

E sono riportati nel diagramma polare di figura 2.3.2 e nella tabella 2.3.2. Il fetch efficace massimo ottenuto risulta pari a circa 427 km ed è riferito al settore di 300°N.

| Dir. | Fetch geografico (m) |
|------|----------------------|
| 0 | 358506.2 |
| 10 | 348813.2 |
| 20 | 323378.9 |
| 30 | 281557.5 |
| 40 | 240213.8 |
| 50 | 201067 |
| 60 | 162366.1 |

| | |
|-----|----------|
| 70 | 123936.4 |
| 80 | 89085.4 |
| 90 | 56918.7 |
| 100 | 30282.1 |
| 110 | 14621.3 |
| 120 | 13165.9 |
| 130 | 13150.4 |
| 140 | 36031.6 |
| 150 | 63871.9 |
| 160 | 75989.9 |
| 170 | 84707.9 |
| 180 | 89396.4 |
| 190 | 98584.1 |
| 200 | 106781.2 |
| 210 | 105109.4 |
| 220 | 131506.3 |
| 230 | 184051.9 |
| 240 | 238676.1 |
| 250 | 293198.9 |
| 260 | 338023.5 |
| 270 | 372808.9 |
| 280 | 391630.2 |
| 290 | 408228.5 |
| 300 | 427423.4 |
| 310 | 413996.2 |
| 320 | 372314.1 |
| 330 | 353654.1 |
| 340 | 359107.8 |
| 350 | 361449.8 |

Tabella 2.3.2 - Fetchs efficaci

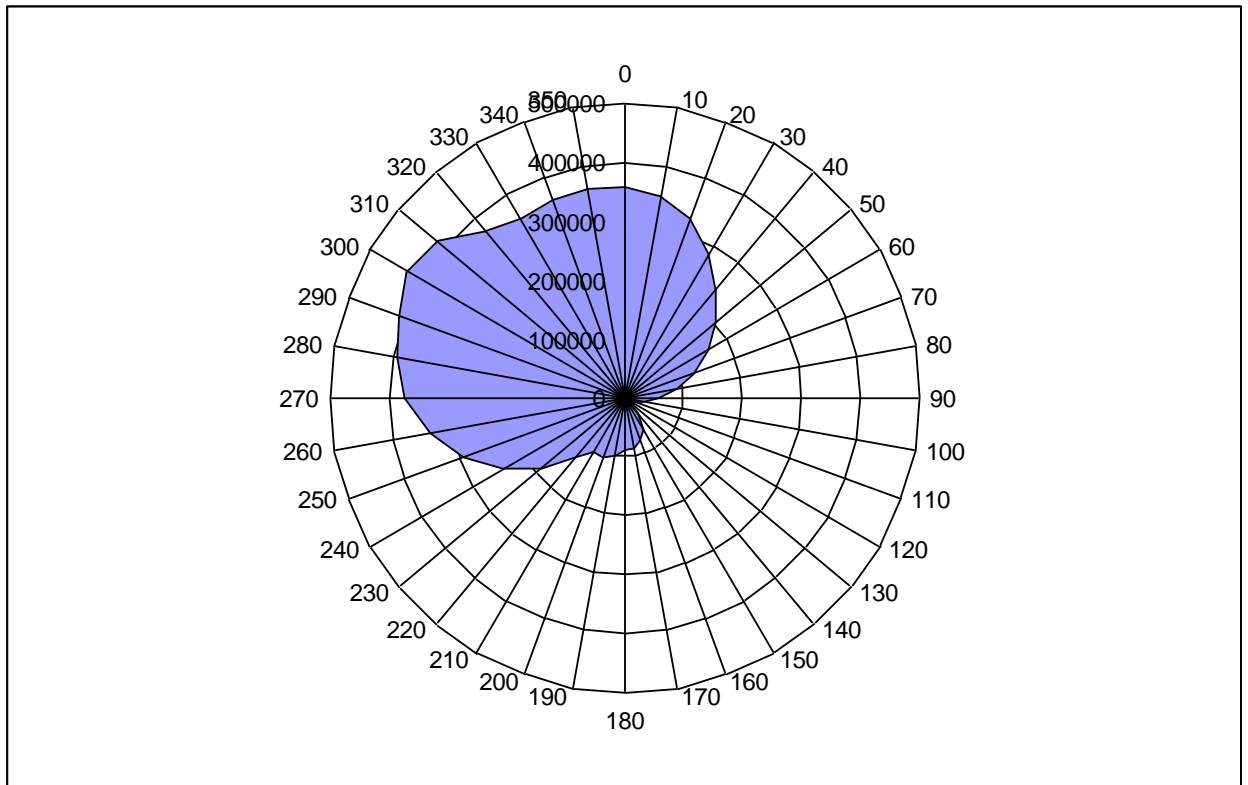


Figura 3.3.2 - Fetchs efficaci

Si vogliono ora riportare i fetches geografici e quelli efficaci calcolati. In verde vengono riportati i fetch geografici, in rosso quelli efficaci.

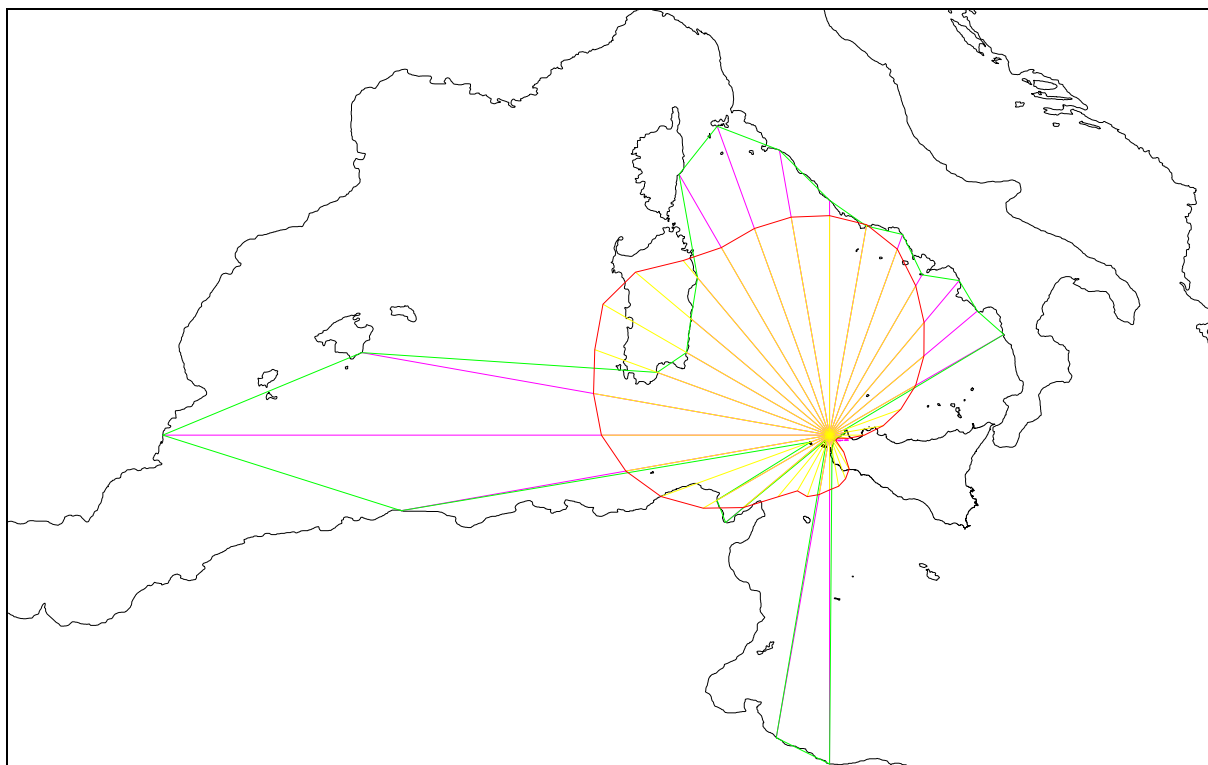


Figura 3.3.3 - Fetchs geografici (verde) ed efficaci (rosso).

A questo punto sono state elaborate le serie storiche dei dati del vento disponibili (velocità, durata e direzione) ottenendo apposite curve di regolarizzazione generale del vento (a titolo esemplificativo si riportano nelle fig. 2.1 e 2.2 quelle per le direzioni di W e S), nonché, per successiva elaborazione statistica, si sono ottenute delle curve del vento per fissata direzione e tempo di ritorno, che evidenziano l'andamento del legame tra durata e velocità del vento per assegnato tempo di ritorno (nel caso in esame si riportano, nei grafici da fig.2.3 a fig.2.8, le curve del vento per le direzioni foranee principali di W e S e per i tempi di ritorno di 3, 5 e 10 anni).

Si è pertanto proceduto ad elaborare i dati anemometrici al fine di valutare alcuni parametri statistici, relativi all'analisi dei dati stessi (come ad esempio la frequenza storica), nell'intento di ricavare dall'esame della serie storica disponibile i parametri di una serie più lunga. Ciò ha comportato la definizione della frequenza probabile da assegnare, nella nuova serie, ad un evento di cui sia nota la frequenza storica nella più limitata serie originaria. Le tabb. da 2.1 a 2.3 riportano in funzione del tempo di ritorno e della velocità del vento, la durata del vento espressa in ore, per i venti più significativi, della sola stazione di Pantelleria

che presenta valori superiori rispetto a quelli di Ustica, provenienti dalle direzioni d'indagine di 247.50° N, 270.00° N e 292.50° .

Quindi si è proceduto ad una valutazione delle caratteristiche del moto ondoso in termini di tempo di ritorno.

I parametri da cui dipendono le caratteristiche ondometriche sono la velocità del vento U , la relativa durata t e la lunghezza del fetch F .

Per la previsione del moto ondoso al largo si è utilizzato il metodo di Sverdrup-Munk e Bretshneider con il quale è stato possibile ricavare l'altezza dell'onda ed il periodo significativo per ogni prefissata terna di valori del fetch F , della velocità e della durata t del vento, in funzione del tempo di ritorno. Si sono considerate le direzioni: 247.50° N, 270.00° N e 292.50° , ed i relativi fetches. Per ognuna di esse si è fatto variare il tempo di ritorno, da 3 a 100 anni, per 8 classi di velocità del vento, da 30 a 100 nodi.

Per le direzioni d'indagine considerate si sono determinati i valori dell'altezza d'onda significativa $H_{1/3}$, cioè il valore medio delle altezze possedute dal terzo delle onde più alte, ed i periodi corrispondenti; i risultati (solo quelli relativi alla elaborazione dei dati della stazione di Pantelleria che danno valori superiori) sono stati riportati nelle tabb. da 2.4 a 2.9.

Dall'esame delle superiori tabelle, si evince che le onde più alte al largo, per un intervallo di ricorrenza pari a 30 anni hanno un'altezza pari a 7.49 m e periodo di 10.88 s e sono associate alla direzione di provenienza di 292.50° N. Per un tempo di ritorno di 10 anni l'altezza d'onda si riduce a 6.01, il periodo a 9.75 s con la medesima direzione di provenienza di 292.50° N. Per un tempo di ritorno di 5 anni l'altezza si riduce ulteriormente a 5.14 m ed il periodo a 9.02 s; infine, per un tempo di ritorno di 3 anni l'altezza si riduce ancora a 4,10 m ed il periodo a 8.02 s sempre per la stessa direzione di provenienza al largo di 292.50° N.

3. EVOLUZIONE DEL MOTO ONDOSO SOTTOCOSTA STUDIO DELLA RIFRAZIONE E DEL FRANGIMENTO

Si sono esaminate poi le trasformazioni che il treno d'onde subisce nel propagarsi verso riva; più in particolare, attraverso il fenomeno della rifrazione delle onde le cui caratteristiche al largo sono state precedentemente valutate.

Quando un'onda monocromatica si approssima alla riva, ad uno stesso fronte competono punti caratterizzati da celerità tanto minori quanto più basse sono le profondità. I fronti d'onda subiscono, pertanto, una rotazione che tende a disporli parallelamente alle batimetriche; a ciò consegue una variazione d'altezza d'onda che può essere valutata tracciando le ortogonali, distanti b_0 al largo e b in corrispondenza del paraggio in esame cui compete la profondità h .

Mediante un apposito modello matematico è stato possibile tracciare un numero elevato di ortogonali per ogni valore della direzione di provenienza al largo e del periodo.

Le figg. da 3.1 a 3.4 riportano, a campione, il tracciamento delle ortogonali d'onda aventi al largo la direzione di 270.00° N, per i periodi di 6, 8, 10 e 12 s, mentre le tabelle, da tab. 3.1 a 3.6, riportano le altezze dell'onda per le direzioni 247.50° N, 270.00° N e 292.50° e le corrispondenti direzioni con cui si presentano sottocosta.

La rappresentazione di cui sopra, pur possedendo i requisiti ed i vantaggi di una incisiva visualizzazione del fenomeno, non si presta bene ad una rapida valutazione dell'altezza d'onda sottocosta dal momento che, volendo considerare con dettaglio l'influenza della variazione del periodo, per ogni direzione bisogna tracciare un numero elevatissimo di ortogonali. Si è adottato, inoltre, un sintetico tipo di rappresentazione, in aggiunta al precedente, atto a fornire il valore del coefficiente di altezza nel prefissato punto sottocosta, per un qualunque valore del periodo di un treno d'onde proveniente da qualsivoglia direzione compresa nel settore di traversia effettivo. In un diagramma polare che abbia per anomalia la direzione di provenienza al largo e come modulo il periodo dell'onda, si sono tracciate delle

curve aventi per parametro il coefficiente d'altezza. Tale rappresentazione sintetica consente di concentrare in un unico elaborato di rapida consultazione i risultati dei calcoli relativi ad un numero elevatissimo di periodi e direzioni.

Il grafico di fig. 3.5 permette, infatti, di ricavare il valore del coefficiente di altezza per qualunque coppia di valori del periodo e dell'angolo di incidenza al largo. Il grafico di fig. 3.6 riporta, invece, in funzione della provenienza al largo e del periodo, la rotazione subita dalle ortogonali d'onda allorquando raggiungono un punto posto poco al largo del sito in esame.

L'altezza d'onda più alta sottocosta per un tempo di ritorno di 30 anni si presenta con un valore di 5.07 m ed un'incidenza di 279.14°N proveniente al largo da 292.50°N . Quella relativa ad un tempo di ritorno di 10 anni si presenta, invece, con un valore di 4.39 m ed un'incidenza di 281.37°N proveniente al largo da 292.50°N . Per un tempo di ritorno di 5 anni l'altezza d'onda sottocosta più elevata, si riduce a 3,97 m con direzione 283.03°N proveniente al largo da 292.50°N . Infine, per un tempo di ritorno di 3 anni l'altezza d'onda sottocosta più elevata si riduce a 3,41 m con direzione 284.42°N proveniente al largo sempre da 292.50°N .

Non tutte le suddette onde raggiungono la zona in esame poiché interviene, com'è noto, il fenomeno del frangimento. Un'onda, evolvendosi su fondali prossimi alla riva raggiunge una rapidità (H/L) in corrispondenza della quale diventa instabile e frange.

Con lo studio del frangimento si è proceduto a valutare, attraverso la determinazione delle condizioni di rottura delle onde, le caratteristiche dell'onda frangente e la profondità del frangimento. Nei grafici da fig. 3.7 a fig. 3.12, a titolo di esempio, si riportano i risultati dello studio del frangimento per le direzioni al largo di 270.00°N e 292.50°N .

Inoltre, in unica tabella (tab. 3.7) si sono riportate le caratteristiche del moto ondoso al largo, quelle sottocosta e le caratteristiche dell'onda frangente per gli attacchi ondosi al largo provenienti da 247.50°N , 270.00°N e 292.50°N . e per i tempi di ritorno di 3, 5, 10 e 30 anni.

4. VERIFICA DELL'AGITAZIONE INTERNA

4.1 PREMESSE

La presente relazione riassume in modo sintetico i risultati dello studio che è stato sviluppato per simulare con modello numerico il livello di agitazione del moto ondoso residuo (diffrazione). Si è proceduto partendo dalle analisi meteomarine effettuate nel presente progetto per derivare le condizioni al contorno di base per gli studi di dettaglio sulla penetrazione del moto ondoso nel bacino portuale.

L'obiettivo principale di questo studio è quello di verificare l'agibilità nautica del porto in corrispondenza dello specchio acqueo portuale oggetto della domanda di concessione ai fini di realizzarvi un approdo per imbarcazioni da diporto.

A tal fine viene utilizzato un modello matematico del tipo "agli elementi di contorno", per la cui descrizione si rimanda al paragrafo successivo, che simula la penetrazione del moto ondoso nel bacino governata dai due meccanismi principali della diffrazione e della riflessione sulle opere perimetrali.

4.2 IL MODELLO MATEMATICO "VEGA" DI AGITAZIONE ONDOSA

Il modello numerico VEGA è classificabile come modello irrotazionale lineare bidimensionale per onde armoniche. Il modello è basato sull'equazione di Helmholtz valida sotto le seguenti ipotesi:

- irrotazionalità del moto;
- rapporto $H/L \ll 1$ dove H ed L sono rispettivamente l'altezza e la lunghezza d'onda;
- assenza di dissipazioni;
- assenza di forze legate alla rotazione terrestre (forza di Coriolis);
- profondità del fondale costante;
- fondo impermeabile;
- variazione verticale del potenziale della velocità coincidente con la soluzione per onde progressive lineare su fondale costante;
- onde armoniche nel tempo (monocromatiche).

L'equazione di Helmholtz viene usualmente espressa nella seguente forma:

$$\nabla^2 \phi + k^2 \phi = 0$$

dove:

k = numero d'onda calcolato tramite la relazione di dispersione della teoria lineare;

$$\omega^2 = gk \cdot \operatorname{tgh}(k \cdot h)$$

$\phi(x,y)$ = potenziale complessivo bidimensionale delle velocità orbitali delle particelle;

∇^2 = operatore di Laplace definito nel piano x,y coincidente con il livello medio marino.

Con le ipotesi poste tale equazione è in grado di simulare correttamente il fenomeno combinato di diffrazione-riflessione di onde armoniche lineari. Per risolvere l'equazione di Helmholtz, di tipo ellittico, è necessario porre condizioni al contorno note su tutta la frontiera del dominio di integrazione. Nel caso di bacini portuali si pone lungo l'imboccatura portuale (o comunque lungo i contorni di continuità con semispazio infinito escluso dal dominio di integrazione) che venga soddisfatta una opportuna condizione di radiazione. Contemporaneamente lungo il resto della frontiera vengono imposte condizioni sulla derivata direzionale del potenziale delle velocità (totale o parziale riflessione).

Il modello numerico VEGA risolve l'equazione di Helmholtz tramite la tecnica numerica degli elementi di contorno. La tecnica consiste nel ridurre l'equazione ellittica di Helmholtz definita sul campo bidimensionale di calcolo ad un'equazione integrale definita sulla sola frontiera del campo. La discretizzazione della frontiera permette quindi di ridurre l'equazione integrale ad un sistema di equazioni lineari definite nel campo complesso dove le incognite sono costituite da un sistema di sorgenti distribuite sulla frontiera discretizzata. La risoluzione del sistema di equazioni, che costituisce la parte più onerosa dal punto di vista computazionale del modello numerico, è ottenuta utilizzando il metodo delle eliminazioni successive di Gauss. La dimensione del sistema di equazioni dipende dal numero di sorgenti incognite introdotte sulla frontiera che risulta essere a sua volta funzione della lunghezza d'onda (sono necessarie almeno 5 sorgenti per lunghezza d'onda) e della dimensione dell'elemento (banchina, canale) più corto presente nell'area da simulare (sono necessarie almeno 5 sorgenti per ogni elemento). Risolto il sistema di equazioni è quindi possibile calcolare in ogni punto del campo di potenziale delle velocità orbitali delle particelle idriche in superficie, l'altezza d'onda e la sua fase. Come già accennato, per l'applicazione del modello di propagazione del moto ondoso VEGA il perimetro portuale del porto preso in esame viene schematizzato per mezzo di una serie di "segmenti" ciascuno contraddistinto da una coppia di numeri rappresentanti i vertici (iniziale e finale) del contorno stesso. Ciascun segmento è

caratterizzato da una spezzata con tratti di lunghezza compresi tra $1/6$ ed $1/7$ della lunghezza d'onda rispettivamente per i periodi simulati assicurandosi in tal modo che in tutte le simulazioni vengano introdotte almeno 5 sorgenti per ogni elemento considerato.

In corrispondenza della retta $Y = 0$ m del dominio di calcolo vengono imposte le caratteristiche del moto ondoso incidente (altezza, direzione e periodo). Tale retta praticamente rappresenta un generatore di moto ondoso e viene trattata dal modello come un contorno di radiazione, cioè la perturbazione riflessa dalle strutture portuali è libera di transitare per tale contorno irradiandosi al largo nel campo, supposto infinito, posto all'esterno del dominio schematizzato. Inoltre, le resistenze offerte dal fondo sono del tutto trascurabili a causa della limitata area di propagazione presa in esame. Simile considerazione può essere fatta per le dissipazioni viscosive interne al fluido che generalmente risultano trascurabili rispetto agli altri fenomeni in gioco; è comunque da sottolineare che trascurando i fenomeni dissipativi si opera in favore di sicurezza.

Il modello VEGA fornisce come risultati i valori dell'altezza d'onda relativa, del potenziale, delle velocità e della fase nei nodi della griglia del dominio. L'analisi dei risultati può essere condotta elaborando i valori di output del modello con un programma di interpolazione.

Il programma di interpolazione restituisce una rappresentazione grafica delle elaborazioni nelle quali i dati vengono interpolati con curve di uguale intensità dell'agitazione ondosa e scale cromatiche differenziate.

I risultati delle elaborazioni, indicano la distribuzione dei coefficienti di diffrazione con una scala di intensità avente una risoluzione di 0.1. Per una migliore esposizione del grafico vengono evidenziate le curve di iso-altezza d'onda pari a 0.1-0.3-0.5 in quanto rappresentano valori di maggiore interesse all'interno del bacino portuale. Essendo il modello lineare, il coefficiente di diffrazione che esprime, com'è noto, il rapporto tra l'altezza d'onda calcolata nel punto e l'altezza dell'onda incidente. Per ottenere il valore dell'altezza d'onda in un punto è sufficiente, quindi, moltiplicare il coefficiente di diffrazione per l'altezza dell'onda incidente in corrispondenza dell'imboccatura.

4.3 DEFINIZIONE DELLE CONDIZIONI DI INPUT

Il modello d'agitazione interna richiede la predefinitone dei principali parametri ondosi (altezza, periodo, direzione) all'esterno dell'imboccatura portuale. A tal fine è necessario ricorrere ai risultati dello studio del regime ondoso al largo ed operarne preliminarmente il "trasferimento" in prossimità della zona di "ingresso" del moto ondoso per l'area discretizzata con il modello. La porzione di mare discretizzata con il modello è contraddistinta da fondali al largo pari a -20 m l.m.m.. Per la definizione delle condizioni di moto ondoso si è fatto riferimento ai piani d'onda redatti nell'ambito del presente progetto.

In definitiva, considerando i risultati dei precedenti studi, si sono assunte come condizioni ondose d'ingresso per le simulazioni del modello quattro direzioni d'attacco con due periodi d'onda differenti.

In ogni situazione sono stati definiti dei coefficienti di riflessione per ogni tratto del contorno portuale.

Le suddette configurazioni geometriche sono illustrate negli schemi che precedono i risultati delle simulazioni, tutte riportate insieme in Appendice.

4.4 RISULTATI DELLE SIMULAZIONI NUMERICHE

I risultati delle elaborazioni (per un totale di 8 simulazioni) sono allegati in sequenza per ogni schema in forma di grafici che indicano la distribuzione in pianta dei coefficienti di agitazione (moltiplicatori dell'altezza d'onda incidente).

L'esame delle simulazioni permette di formulare alcune osservazioni sullo stato del mare in corrispondenza dello specchio acqueo oggetto della domanda di concessione demaniale.

Si osserva che gli stati di mare provenienti dal largo da cui si derivano le altezze d'onda più significative, arrivano sottocosta con direzione compresa tra 247.50° e 270° (cap. 3), e che tali direzioni non incidono sull'area in esame che si presenta completamente riparata.

Per studiare meglio le condizioni meteo- marine, sullo specchio acqueo richiesto in concessione, occorre perciò indagare, non sugli stati di mare che si generano al largo ma bensì sulla previsioni del moto ondoso direttamente incidenti sulle strutture in progetto, caratterizzate quindi da condizioni di bassi fondali e generazione limitata per fetch e non per durata per cui si rimanda al capitolo successivo.

5. PREVISIONE DEL MOTO ONDOSO IN ACQUE BASSE E PER FETCH LIMITATI.

Preliminarmente sono stati determinati i fetches in corrispondenza dell'imboccatura della darsena portuale in progetto. Come si osserva immediatamente la darsena è esposta ai venti provenienti dai quadranti meridionali, pertanto si decide di analizzare due direzioni principali di provenienza del vento e cioè $D=225^\circ$ (libeccio) e $D=135^\circ$ (scirocco) per le quali si riportano nelle seguenti tabelle i corrispondenti valori del fetches effettivo.

| calcolo del fetches effettivo per $D=225^\circ N$ (libeccio) | | | | | | | | |
|--|-------|---------------|-----------|----------------|-------------------|--|-------|--------|
| α | rad | $\cos \alpha$ | X_i (m) | X_i (miglia) | $X_i \cos \alpha$ | | | |
| 42 | 0,733 | 0,743 | 2357 | 1,46 | 1,09 | | | |
| 36 | 0,628 | 0,809 | 1699 | 1,06 | 0,85 | | | |
| 30 | 0,524 | 0,866 | 872 | 0,54 | 0,47 | | | |
| 24 | 0,419 | 0,914 | 911 | 0,57 | 0,52 | | | |
| 18 | 0,314 | 0,951 | 2287 | 1,42 | 1,35 | | | |
| 12 | 0,209 | 0,978 | 3911 | 2,43 | 2,38 | | | |
| 6 | 0,105 | 0,995 | 2631 | 1,64 | 1,63 | | | |
| 0 | 0,000 | 1,000 | 1018 | 0,63 | 0,63 | | | |
| 6 | 0,105 | 0,995 | 917 | 0,57 | 0,57 | | | |
| 12 | 0,209 | 0,978 | 843 | 0,52 | 0,51 | | | |
| 18 | 0,314 | 0,951 | 812 | 0,50 | 0,48 | | | |
| 24 | 0,419 | 0,914 | 815 | 0,51 | 0,46 | | | |
| 30 | 0,524 | 0,866 | 815 | 0,51 | 0,44 | | | |
| 36 | 0,628 | 0,809 | 980 | 0,61 | 0,49 | | | |
| 42 | 0,733 | 0,743 | 1147 | 0,71 | 0,53 | | | |
| | | 13,511 | | | 12,40 | | Feff: | |
| | | | | | | | 0,92 | miglia |
| | | | | | | | 1469 | metri |
| | | | | | | | 4818 | feet |

| calcolo del fetches effettivo per D=135°N (scirocco) | | | | | | | | |
|--|-------|--------------|--------|-------------|----------------|--|-------|--------|
| α | rad | cos α | Xi (m) | Xi (miglia) | Xicos α | | | |
| 42 | 0,733 | 0,743 | 1277 | 0,79 | 0,59 | | | |
| 36 | 0,628 | 0,809 | 1220 | 0,76 | 0,61 | | | |
| 30 | 0,524 | 0,866 | 1280 | 0,80 | 0,69 | | | |
| 24 | 0,419 | 0,914 | 1136 | 0,71 | 0,64 | | | |
| 18 | 0,314 | 0,951 | 903 | 0,56 | 0,53 | | | |
| 12 | 0,209 | 0,978 | 625 | 0,39 | 0,38 | | | |
| 6 | 0,105 | 0,995 | 511 | 0,32 | 0,32 | | | |
| 0 | 0,000 | 1,000 | 476 | 0,30 | 0,30 | | | |
| 6 | 0,105 | 0,995 | 362 | 0,22 | 0,22 | | | |
| 12 | 0,209 | 0,978 | 365 | 0,23 | 0,22 | | | |
| 18 | 0,314 | 0,951 | 365 | 0,23 | 0,22 | | | |
| 24 | 0,419 | 0,914 | 322 | 0,20 | 0,18 | | | |
| 30 | 0,524 | 0,866 | 283 | 0,18 | 0,15 | | | |
| 36 | 0,628 | 0,809 | 256 | 0,16 | 0,13 | | | |
| 42 | 0,733 | 0,743 | 236 | 0,15 | 0,11 | | | |
| | | 13,511 | | | 5,30 | | Feff: | |
| | | | | | | | 0,39 | miglia |
| | | | | | | | 627 | metri |
| | | | | | | | 2058 | feet |

Per dato valore del fetch i corrispondenti valori dell'altezza d'onda H e del periodo T sono determinati utilizzando le curve di previsione di Bretschneider, fissando i valori della velocità del vento U della profondità media del fondale d e del bottom friction factor che, come d'uso, si assume pari a 0.01. Si avverte che le misure delle distanze sono riportate in piedi perché le curve di previsione di Bretschneider, sono disegnate per tale unità di misura. I valori di U si possono derivare dallo studio anemologico al cap. 1 della presente relazione. Si evidenzia infatti che per entrambe le direzioni considerate si riscontrano eventi di intensità prossima ai 50 nodi. Si osserva inoltre che le relative frequenze di apparizione per tale classe di intensità sono di gran lunga più alte per gli eventi da scirocco (vento dominante).

Per i valori:

D=225°N

Feff= 4818 feet

d= 40 feet

U=50 knots

Si ottiene dalla curva a) riportata nel seguito H= 2,4 f cioè H= 0.75 m e T= 2.9 s.

Per i valori:

$D=135^\circ N$

$F_{eff}= 2058$ feet

$d= 25$ feet

$U=50$ knots

Si ottiene dalla curva b) riportata nel seguito $H=1,7$ f cioè $H= 0,51$ m e $T= 2,4$ s

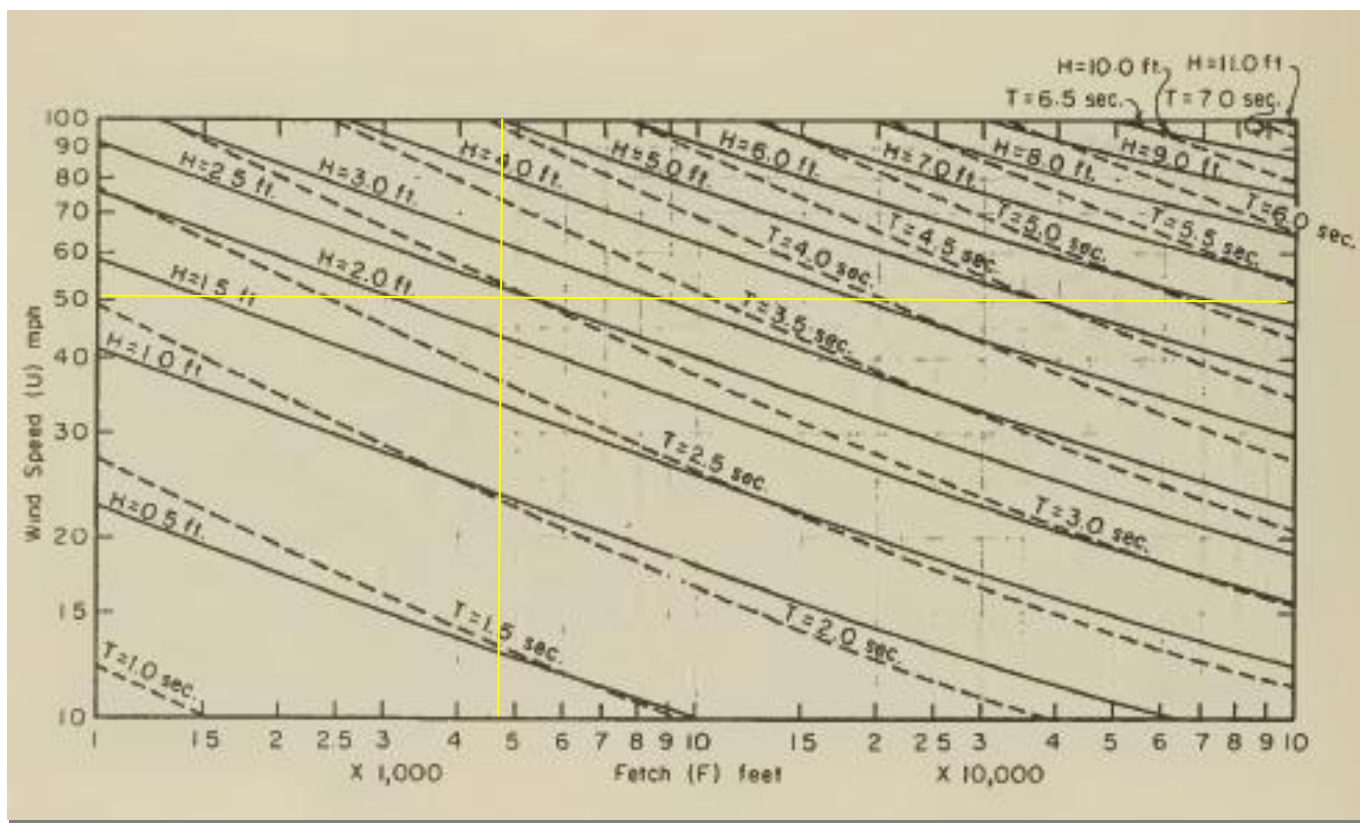


Figura a) curva di previsione di Bretschneider per valori $d=40$ f

Si nota che i valori di altezza d'onda per $D=225^\circ$ poiché riferiti a valori del fetches che provengono attraverso l'imboccatura portuale vanno rapportati ai coefficienti di diffrazione (agitazione interna portuale) riportati in allegato per $D=225^\circ$, che nello specchio acqueo in esame sono compresi tra 0,3 e 0,6.

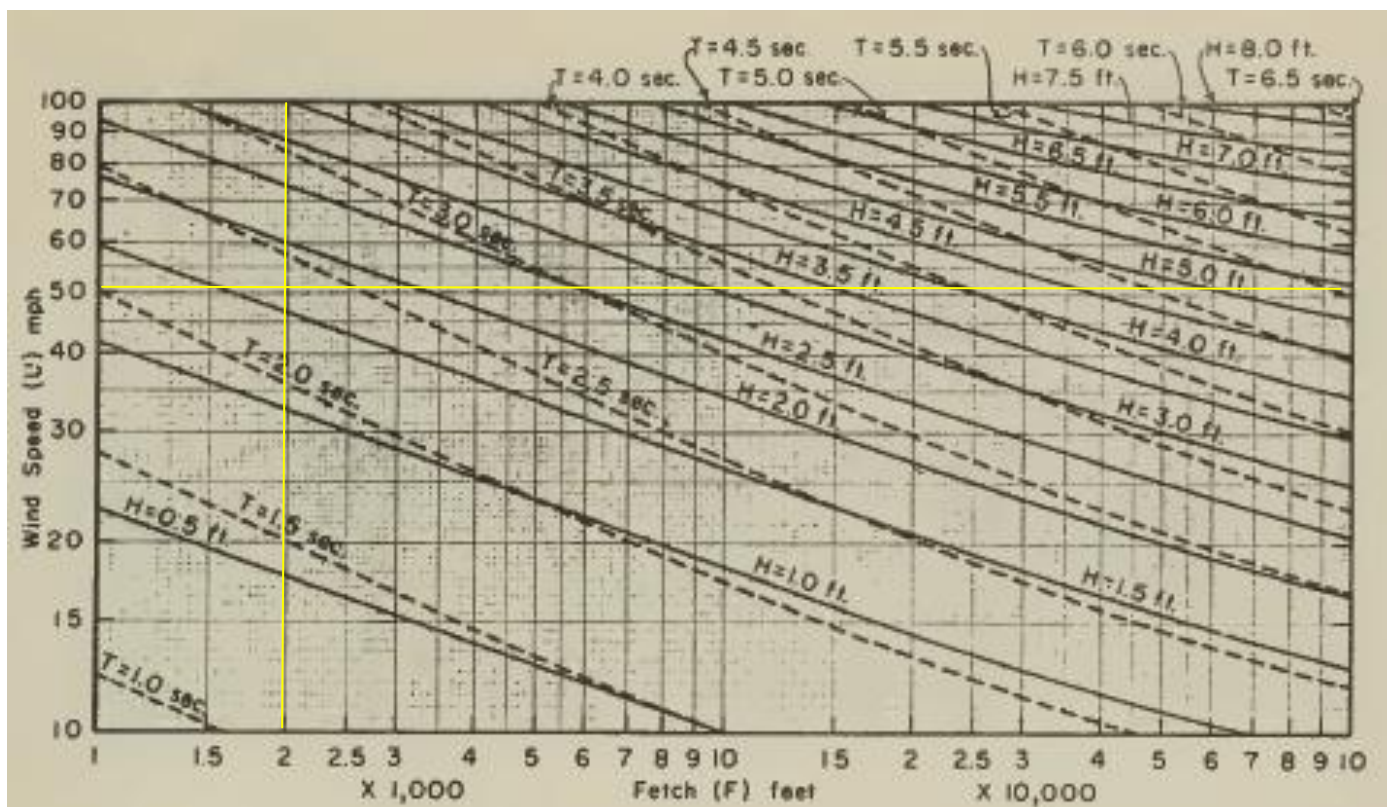


Figura b) curva di previsione di Bretschneider per valori $d=25 f$

6. VERIFICA DELLA SICUREZZA DEGLI ORMEGGI

Una volta definito il quadro di agitazione prevedibile nello specchio acqueo di cui trattasi, si vuole esaminare se la configurazione progettuale descritta riesca a garantire condizioni di confort alle imbarcazioni che vi si trovano.

Preliminarmente si ricordano i valori di agitazione interna individuati dalle “Raccomandazioni tecniche per la progettazione dei porti turistici” che costituiscono gli “standard di settore prodotti dall’Associazione Internazionale Permanente dei Congressi di Navigazione” approvati dalla terza Sezione del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici che con voto del 27.02.2002 n.212 ha espresso parere favorevole sulle raccomandazioni tecniche di che trattasi.

I valori che si prenderanno a riferimento sono pertanto i seguenti:

Valori raccomandati della altezza d’onda significativa ammissibile all’interno del porto (con periodi di picco compresi tra 2 e 8 s):

- condizione di “comfort” (particolarmente importante nel caso di porti in cui si prevede la presenza prolungata di persone a bordo delle imbarcazioni):

$H_s = 0.15$ m per eventi con frequenza massima complessiva indicativamente non superiore a 5 giorni/anno;

- condizione di “sicurezza”:

$H_s = 0.30$ m per eventi con periodo di ritorno indicativamente non inferiore a 5 anni;

- condizione “limite”:

$H_s = 0.50$ m per eventi con periodo di ritorno indicativamente non inferiore a 50 anni.

Premesso tutto ciò, come illustrato nei capitoli precedenti, **si è verificato che lo specchio acqueo in esame è soggetto ai venti provenienti dai quadranti meridionali, (con maggiore frequenza di scirocco), che in corrispondenza ad eventi di particolare intensità, generano un moto ondoso caratterizzato da onde corte con periodo di circa 3 s ed altezza pari a 0,5 m – 0,75 m. Tali condizioni, oggi, rendono lo specchio acqueo poco idoneo all’ormeggio dei natanti.**

Per tale motivo, come mostrato negli elaborati grafici allegati al progetto, la protezione dello specchio acqueo è stata demandata ad un cosiddetto break water galleggiante che si sviluppa per 92 m in direzione nord-sud, cioè con giacitura perpendicolare alla banchina di riva, e poi per circa 75 m in direzione 230° per massimizzare la protezione dai venti di scirocco.

Il ricorso a tale tipologia di moli frangiflutti è sempre più frequente in Europa e nel mondo per i notevoli vantaggi che comportano, solo per citarne alcuni sono “ecocompatibili”:

- non interferiscono con l’equilibrio dell’ambiente marino (non influiscono sui movimenti dei pesci e neppure sul trasporto del sedime);
- non bloccano la visuale tra interno ed esterno come accade invece per le barriere fisse;
- presentano caratteristiche di flessibilità e reversibilità. Sono rimovibili qualora necessario ed opportuno;

Dal punto di vista idraulico, al fine di descrivere i limiti di applicazione delle predette strutture e le attenuazioni ottenibili e valutare quindi l'applicabilità e l'efficacia di queste strutture al caso in specie si fa riferimento ai risultati degli studi condotti in proposito su modello fisico tridimensionale e pubblicati in occasione della V edizione delle Giornate italiane di ingegneria costiera – AIPCN. “Studi sperimentali nelle applicazioni di breakwaters galleggianti” S. Lanzoni – L. Amadori (sistema walcon s.r.l. - Ferrara).

Gli studi disponibili, riepilogati in sintesi nelle seguenti tabelle mostrano che:

- Il breakwaters galleggiante è maggiormente efficace nell'attenuare l'onda che un periodo basso. All'aumentare del periodo il grado di protezione diminuisce annullandosi praticamente a $T=6$ s;
- il massimo grado di protezione ($A=70\%$) è raggiunto per moto ondoso incidente caratterizzato da basso periodo dell'onda (3s).
- il massimo grado di attenuazione (70%) si ha in corrispondenza delle onde più corte.

| Hs (nom.) | Tp | A |
|-----------|-----|-------|
| m | s | % |
| 0,3 | 3,0 | 67,50 |
| 0,4 | 3,0 | 70,73 |
| 0,5 | 3,0 | 70,41 |
| 0,6 | 3,0 | 68,95 |
| 1,2 | 3,5 | 40,71 |
| 1,0 | 3,5 | 46,60 |
| 0,5 | 3,5 | 56,52 |
| 1,5 | 4,0 | 12,00 |
| 1,0 | 4,0 | 33,68 |
| 0,5 | 4,0 | 38,98 |
| 0,5 | 4,5 | 33,87 |
| 1,0 | 4,5 | 26,73 |
| 1,5 | 4,5 | 21,77 |
| 1,0 | 4,5 | 20,00 |
| 1,0 | 6,0 | 1,83 |
| 2,0 | 6,0 | 0,00 |

Fig. 1 – risultati delle prove per il rilievo del grado di attenuazione dell'onda

La tabella (fig.1) riporta le condizioni nominali di prova e la percentuale di attenuazione dell'onda

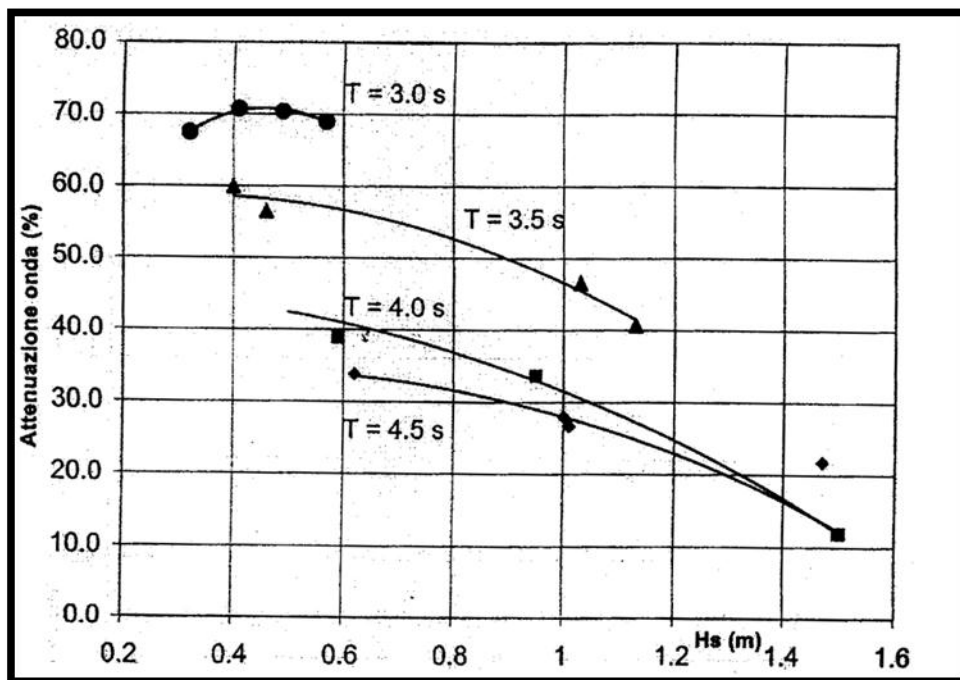


Fig. 2 – andamento della percentuale di attenuazione dell'onda in funzione dell'altezza significativa in funzione del periodo

La fig. 2 riporta l'andamento della percentuale di attenuazione in funzione dell'altezza d'onda significativa per diversi valori del periodo dell'onda

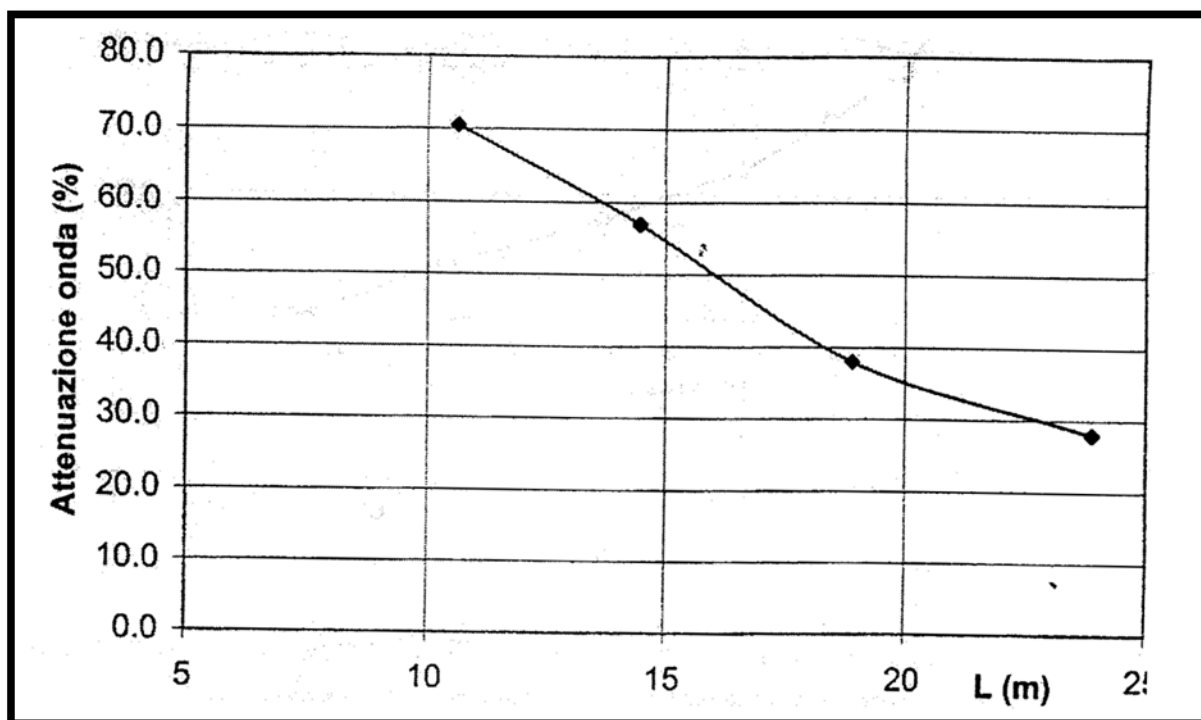


Fig. 3 – andamento della percentuale di attenuazione in funzione della lunghezza d'onda incidente

La fig. 3 riporta l'andamento della curva di attenuazione in funzione della lunghezza dell'onda incidente.

In sintesi sulla scorta degli studi sperimentali citati si può concludere che il breakwaters galleggiante è più efficace nell'attenuazione delle onde corte cioè il potere di attenuazione di tale tipologia di strutture è inversamente proporzionale al periodo dell'onda.

Il tipo di protezione prevista in progetto, il break water galleggiante, trova quindi nella situazione meteo marina locale le condizioni ideali d'utilizzo.

Pertanto alla luce di quanto sopra, si ha che per venti provenienti dai quadranti meridionali aventi intensità prossima a 50 nodi, il clima ondoso generato da tali venti ($H=0,5\text{ m} - 0,7\text{ m}$), può essere efficacemente abbattuto di valori vicini al 70% attraverso l'istallazione del breakwaters galleggiante di progetto. Tale soluzione riesce a garantire, all'interno dell'approdo, i valori d'altezza d'onda ($H=0,1\text{ m} - 0,15\text{ m}$) corrispondenti alle condizioni di *comfort* specificate nelle precitate raccomandazioni ministeriali.