



# REGIONE PUGLIA

## COMUNE DI TORCHIAROLO



Piano Paesaggistico Territoriale Regionale  
Progetti Integrati di Paesaggio

### Concorso per la valorizzazione e riqualificazione integrata dei paesaggi costieri ad alta valenza naturalistica della Puglia

Procedura aperta sotto soglia comunitaria | Codice identificativo gara (CIG): 6139801411



PROGETTO:

**Arch. Inmaculada JANSANA FERRER** CAPOGRUPPO

**Arch. Nicola DESIMINI**

**Ing. Francesca GRECO**

**Ing. Marco GIUSTO**

CONSULENTI:

**Dott. Geol. Gianvito TEOFILÒ** - aspetti geologici

**Dott. Forest. Antonio BERNARDONI** - aspetti botanico | vegetazionali

ALLEGATO

ELABORATO:

TAVOLA N°

C

**RELAZIONE GEOLOGICA**

DATA:

**SETTEMBRE 2015**

# RIPRISTINO E SALVAGUARDIA DEGLI EQUILIBRI IDRAULICI E GEOMORFOLOGICI DELLA COSTA DI TORCHIAROLO

## 1. Caratteri generali della penisola Salentina

La penisola salentina (fig. 1) rappresenta la parte emersa più meridionale dell'avampaese apulo. In questo settore la serie geologica affiorante è costituita dalle unità calcareo-dolomitiche della Piattaforma apula, da diverse unità carbonatiche, di diverso spessore, di età compresa tra l'Eocene medio ed il Pleistocene inferiore e termina con un complesso di depositi marini, prevalentemente carbonatico-terrigeni, ascrivibili al Pleistocene medio-superiore. Tali depositi, indicati complessivamente con il nome di Depositi Marini Terrazzati, ai quali sarebbero ascrivibili la prevalenza degli affioramenti di Torchiarolo, sono riferiti a diverse trasgressioni marine che hanno interessato estesamente i settori interno, occidentale, settentrionale della penisola salentina e marginalmente la fascia costiera a Nord di Otranto, mentre i settori orientale e meridionale probabilmente sono rimasti emersi.

Dal punto di vista geomorfologico, il Salento è una penisola poco rilevata sul livello del mare il cui paesaggio fisico può essere descritto a grande scala come un complesso di diverse ed ampie superfici, quasi tutte di età quaternaria, disposte tra 160 m e pochi metri s.l.m., raccordate da scarpate di faglia rielaborate dall'erosione, orientate prevalentemente NW-SE e NNW-SSE, da scarpate di erosione selettiva e da paleoripide di abrasione marina. La parte settentrionale è la cosiddetta Piana brindisina, corrispondente strutturalmente al Bacino di Brindisi. La Piana suddivide l'esteso affioramento del substrato carbonatico cretaceo delle Murge dai meno rilevati ed estesi affioramenti del Salento centrale e meridionale ed è una ampia superficie terrazzata degradata di età medio-pleistocenica dove affiorano quasi esclusivamente i Depositi marini terrazzati; inoltre, è attraversata da una fitta rete idrografica esoreica attiva, poco gerarchizzata. Le diverse incisioni torrentizie presenti si sviluppano in direzione grossomodo normale alla linea di costa attuale e si raccordano presumibilmente con una linea di costa sommersa. A Sud di Brindisi è evidente come tali solchi erosivi siano, almeno nei loro tratti terminali, sovralluvionati e tagliati dalla falesia attuale.

La dinamica della costa pugliese è il risultato di complesse relazioni tra la morfologia del paesaggio costiero sia emerso che sommerso, le caratteristiche idrologiche ed oceanografiche e le condizioni climatiche e del moto ondoso. Nel corso del tempo storico queste relazioni sono state fortemente modificate dalla crescente pressione antropica. Estese opere di bonifica in corrispondenza delle aree costiere ed opere idrauliche lungo i maggiori corsi d'acqua sono state realizzate sin dall'epoca greco-romana e sono continuate fino ai nostri giorni. Durante gli ultimi decenni alcuni tratti del paesaggio costiero pugliese sono stati fortemente modificati a causa dell'azione antropica. Le numerose opere idrauliche costruite lungo tutti i principali corsi d'acqua hanno determinato una brusca diminuzione del volume di sedimenti recapitati alla foce e l'insorgere di vistosi fenomeni di erosione delle spiagge. Le spiagge pugliesi che sino alla fine degli anni '50 del secolo scorso erano state caratterizzate da progradazione hanno invertito drammaticamente la loro tendenza tanto che circa il 30% degli arenili e alcuni tratti di costa rocciosa si presentano oggi in forte erosione. D'altra parte le numerose strutture portuali ed opere di difesa costiera impediscono fortemente la mobilità dei sedimenti lungo costa mentre nuove ed estese aree costiere sono state urbanizzate divenendo in tal modo estremamente sensibili ai fenomeni di arretramento. L'attenzione su questa problematica è legata non solo all'importanza socio-economica delle

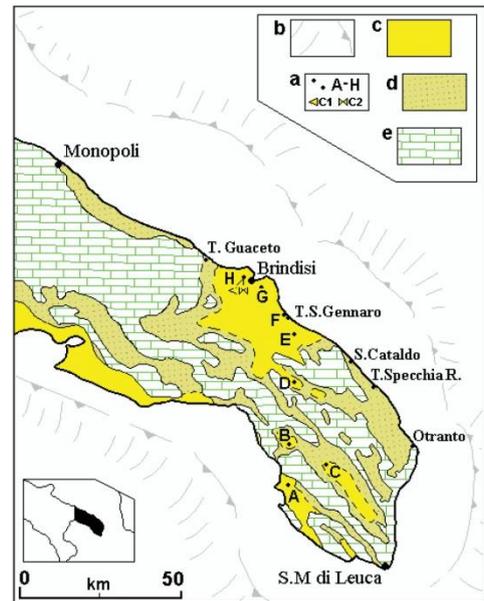


Figura 1 – Schema geologico del Salento. b) margine e scarpata piattaforma continentale; c) depositi sequenza Pleistocene Inf.-Med., dei DTM e delle spiagge tirreniane; d) depositi della sequenza Pliocene Inf.-Pleistocene Inf.; e) substrato pre-pliocenico. (Delle Rose & Elia, 2008).

attività turistico-ricreative, ma anche a questioni di tipo geo-ambientali, quali la perdita di biodiversità in aree costiere emerse sommerse o l'incremento della salinizzazione di acquiferi costieri, che hanno contribuito complessivamente alla crescita della domanda di operazioni per la stabilizzazione degli arenili mediante interventi di conservazione e, laddove necessario, di restauro.

## 2. La costa di Torchiarolo

La costa di Torchiarolo si sviluppa per 4.370 m, riprendendo i caratteri geo-morfologici della Penisola salentina, è caratterizzata da luoghi e territori molto diversi tra loro, alcuni di lunga e altri di recente formazione, aree naturalistiche di alto pregio e di grande funzione ecologica, e aree fortemente insediate. Fasce litoranee di sezioni molto strette si alternano a sezioni ampie, porzioni costeggiate da vegetazione e porzioni dai confini labili. Morfologicamente si caratterizza per l'alternanza di spiagge basse sabbiose, sabbioso-ciottolose e rocciose, con prevalenza delle prime e, la presenza di una falesia sabbioso-calcarenitica, che raggiunge localmente altezza max di ca. 4 m (fig. 2). Ulteriore caratteristico elemento è la presenza di sistemi dunali, sottoposti a forti, e in alcuni casi devastanti, modificazioni dell'assetto naturale (fig. 2a).



**Figura 2 – Morfotipi costieri del territorio di Torchiarolo. a) spiaggia bassa sabbiosa ciottolosa e sistema dunale retrostante sottoposto a importanti modificazioni dell'assetto naturale; b) falesia sabbioso-calcarenitica in evidente stato di erosione, con al piede spiaggia ciottolosa.**

A nord nel territorio insiste la marina di Torre San Gennaro; sul versante esterno, in prossimità del confine con il comune di San Pietro Vernotico, la costa si presenta con falesia alta e spiaggia ai piedi delle dimensioni molto ampie (spiaggia nota come Mare te le Fimmine). A seguito di evidenti fenomeni di arretramento della spiaggia sabbiosa, negli anni novanta sono stati realizzati alcuni frangiflutti che hanno prodotto effettivamente un avanzamento dell'arenile e la formazione di conche protette. Più a sud il tratto costiero è occupata dalla darsena del Club Nautico di Torre S. Gennaro; si tratta di un'area destinata al varo di imbarcazioni e al rimessaggio, completamente realizzata sul banco di roccia affiorante (fig. 3).



**Figure 3 – Darsena del Club Nautico di Torre San Gennaro, realizzata su banco di roccia affiorante.**

Poco più a sud si estende una spiaggia, caratterizzata dalla presenza di una piazzetta pavimentata denominata “la Rotonda” e dalla presenza del sistema dunale e della palude sub marina detta Quatina. Tale spiaggia sabbiosa di adeguata profondità con retrostante banco dunale è attraversata in parte da un canale alluvionale intubato.



Figura 4 – Sistema dunale sullo sfondo della spiaggia; in primo piano lo sbocco a mare del canale alluvionale di collegamento con la zona retrodunale denominata “Palude Quatina”.

La zona retrodunale è costituita dalla cosiddetta palude “Quatina”, alimentata dal Canale Pilella, e delimitata a nord dalle costruzioni di Torre San Gennaro e a sud da quelle di Lido Presepe, mentre ad ovest da terreni agrari.



Figura 5 – Vista della Palude Quatina dalla zona dunale antistante; a destra l’abitato di Torre San Gennaro, a sinistra si intravedono le prime costruzioni di Lido Presepe.

Ancora più a sud inizia la costa denominata Lido Presepe, porzione di costa a prevalente falesia alta, superiore a m. 1,50, con in parte spiaggia sabbiosa-ciottolosa ai piedi e in parte costa rocciosa bassa (fig. 6).



Figura 6 – Falesia con spiaggia ciottolosa al piede in località Lido Presepe.

L'ultimo tratto di costa si estende dal canale Infocaciucci (un antico corso d'acqua, canale alluvionale, che presenta forte antropizzazione per la presenza di una foce armata) al confine con il Comune di Squinzano (Marina di Lendinuso e zona Canuta). Si tratta prevalentemente di spiaggia sabbiosa bassa con segni di erosione anche significativi.



**Figura 7 – Sbocco a mare del Canale Infocaciucci; a destra inizia l'ultimo tratto di costa prevalentemente caratterizzato da spiaggia bassa sabbiosa.**

La costa di Torchiariolo si colloca all'interno della Sub Unità Fisiografica S.U.F. 4.3 "Torre Cavallo – Porto di Otranto", con una lunghezza litorale stimata di ca. 99 km, all'interno della Unità Fisiografica U.F. 4 "Brindisi-Otranto". La pendenza media della spiaggia sommersa è variabile lungo il litorale in esame ed è compresa tra 1,6%, in prossimità di Torre San Gennaro, e 1,3%, in prossimità della zona Canuta (Atlante Italiano delle Spiagge (1997). Il verso prevalente del trasporto solido longitudinale è indicato da Nord – Ovest verso Sud – Est. Nella Sub Unità negli ultimi decenni si è avuto un forte deficit sedimentario con una generale tendenza all'arretramento della linea di riva. Il deficit è imputabile alle notevoli sistemazioni dei terreni, all'aumento dell'uso del suolo e alla forte antropizzazione, infatti, numerosi sono gli insediamenti abitativi realizzati negli ultimi decenni nella fascia costiera. Al fenomeno erosivo ha contribuito certamente anche l'innalzamento del livello medio mare che, negli ultimi 50 anni è stimato di circa 9 cm e può aver determinato un arretramento della linea di riva dei litorali sabbiosi compreso tra 4,5 e 9 m, valore significativo per i litorali che avevano una larghezza della spiaggia emersa di poche decine di metri e per le spiagge sabbiose al piede di coste rocciose o di falesie. Lungo il litorale gli arretramenti della linea di riva sono evidenziati dalla scomparsa dei sedimenti dagli speroni rocciosi che delimitano le insenature e dal loro affioramento (fig. 8).



**Figura 8 – Evidenze di dissesti recenti nel Comune di Torchiariolo, assenza di una spiaggia al piede della falesia che funge da protezione contro l'azione del moto ondoso.**

Inoltre in alcuni tratti fortemente antropizzati e con una larghezza della spiaggia emersa molto ridotta gli arretramenti della linea di riva, specie nella stagione invernale e in concomitanza di mareggiate significative, sono tali che il moto ondoso investe direttamente le infrastrutture stradali e/o abitazioni realizzate sulla fascia costiera (fig. 9).



Figura 9 – Infrastruttura stradale direttamente interessata dall'erosione operata dal moto ondoso per assenza di spiaggia al piede.

### 3. Inquadramento meteo-marino della costa di Torchiarolo

Vengono presentati i risultati di una sintesi di precedenti analisi e studi di carattere meteo-marino effettuati nella zona di Torchiarolo e aree contermini, facendo inoltre riferimento ai dati ai dati resi disponibili dall'I.G.M. e dall'ISPRA (Istituto Superiore per la Protezione e il Recupero Ambientale) per la boa ondometrica di Monopoli (BA) e Brindisi in quanto le caratteristiche anemometriche e meteomarine sono omogenee alla fascia costiera oggetto di studio.

#### 3.1. Settore di traversia e fetch del paraggio

Come è noto, il settore di traversia di un paraggio A è dato dall'arco di circonferenza di centro A che comprendente tutte le direzioni da cui possono provenire le agitazioni ondose determinate dai venti foranei. La costa di Torchiarolo si estende per circa 4,3 Km tra le direzioni 318° e 126° con un angolo di circa 180°.

#### 3.2. Fetch geografici

I fetch geografici per il tratto di costa di Torchiarolo sono i seguenti:

- 312°N (con una distanza di circa 205 Km dal Gargano);
- 320°N (con una distanza di circa 710 Km dalle coste Venete);
- 327°N (con una distanza di circa 580 Km dalla Croazia settentrionale);
- 342°N (con una distanza di circa 300 Km dalla Croazia meridionale);
- 95°N (con una distanza di circa 100 Km dalla costa Albanese);
- 123°N (con una distanza di circa 150 Km dalle isole Greche);

#### 3.3. Il clima ondoso al largo

La conoscenza del clima meteomarine al largo di un paraggio è un requisito essenziale per qualsiasi tipo di intervento nella fascia costiera. Inoltre, i gravi problemi di instabilità delle spiagge che investono ormai i litorali di gran parte del bacino mediterraneo impongono attenti studi sulla caratterizzazione del clima ondoso medio.

La definizione del clima ondoso in un paraggio ha sostanzialmente due obiettivi: la ricostruzione del clima meteomarinico medio al largo di un paraggio e la determinazione della probabilità di ricorrenza delle onde estreme. Il regime medio del mare, la cui definizione è necessaria per valutare la dinamica del litorale, deriva da considerazioni energetiche; si possono cioè calcolare mareggiate aventi un flusso di energia pari quello all'intera serie storica delle mareggiate. Il calcolo delle onde estreme da utilizzare per il progetto delle strutture si effettua elaborando statisticamente le caratteristiche delle agitazioni ondose che si sono verificate nel paraggio. Per quanto riguarda il primo obiettivo, ovviamente, è opportuno considerare tutte le possibili mareggiate che si sono succedute sul litorale, anche se energeticamente modeste. Per quanto riguarda la previsione degli eventi estremi, invece, si possono considerare solo le mareggiate di maggiore intensità, giacché quelle di altezza più bassa non influenzano le previsioni effettuate.

Per ricavare la ricostruzione storica delle mareggiate al largo di un paraggio possono essere adottati sia metodi indiretti, a partire dai dati di vento disponibili in qualche stazione anemometrica vicina, sia metodi diretti, a partire da misure dirette dello stato ondoso. In entrambi i casi è necessario disporre di serie storiche piuttosto lunghe per conferire affidabilità alle procedure di tipo statistico necessarie per la previsione degli eventi estremi e per la ricostruzione del clima ondoso medio.

Per la determinazione del clima meteomarinico al largo di Torchiarolo è stato utilizzato il metodo della trasposizione geografica dei dati registrati dalla boa ondometrica ormeggiata al largo di Monopoli nel periodo 1990-2007, che è peraltro l'unica stazione ondometrica RON (Rete Ondometrica Nazionale) nel basso Adriatico.

Le condizioni essenziali su cui si basa il metodo di trasposizione geografica consistono nella vicinanza e nell'analoga esposizione fra punto di misura e paraggio da investigare. Il metodo di trasposizione si basa sull'ipotesi che le stesse condizioni anemometriche che hanno generato gli stati di mare rilevati dalla boa abbiano interessato anche l'area di generazione del paraggio in esame. Si assume, quindi, che nei due siti si verifichi un evento anemometrico con la stessa direzione di provenienza, intensità e durata. La tecnica consente di determinare la corrispondenza tra le caratteristiche del moto ondoso (direzione, altezza e periodo) rilevate dalla boa e quelle del paraggio in esame.

### ***La boa di Monopoli***

Nella tabella 1 è riportata la distribuzione delle frequenze di apparizione dei singoli stati di mare registrati dalla boa di Monopoli classificati per direzione di provenienza ed intensità. Le mareggiate sono ordinate per classi di altezza d'onda di 1.0m e per settori di provenienza di 30°, avendo assunto che le altezze d'onda inferiori a 0.25m sono calme. I dati sono stati rappresentati graficamente nel diagramma polare di figura 10 (percentuale di apparizione – direzione – intensità) e nel grafico di figura 11 (percentuale di apparizione – classe di altezza d'onda).

Dall'analisi delle registrazioni effettuate risulta che il settore di traversia del paraggio di Monopoli è costituito dalle direzioni comprese tra NNO e ESE. La massima frequenza di apparizione spetta alle mareggiate provenienti da NNO che fanno registrare una percentuale del 23.53%. Le mareggiate da ESE costituiscono il 14.19% dei dati registrati, mentre le mareggiate da Nord raggiungono il 13.85% di tutte le osservazioni. Le onde da Est sono piuttosto frequenti nel paraggio con una frequenza del 10.81%, mentre le onde da NNE ed ENE fanno registrare percentuali tra il 7.74% e l'8.99%.

Se si classificano le onde secondo l'altezza significativa (figura 11) si osserva che le onde con altezza significativa minore di 0.5m rappresentano il 25.71% di tutte le osservazioni, mentre le onde con altezza compresa tra 0.5 e 1.5m costituiscono il 49.75% delle registrazioni e sono le mareggiate più frequenti. Risulta, inoltre, che il 6.8% delle osservazioni compete ad onde con altezza compresa tra 1.5 e 2.5m. Le mareggiate

con altezza compresa tra 2.5 e 3.5m sono poco frequenti nel paraggio e fanno registrare una percentuale del 1.18%. E' stato anche osservato che lo 0.16% delle onde registrate nel paraggio ha altezza maggiore di 3.5m.

Tabella 1 - percentuali annuali di apparizione del moto ondoso ordinate per classi di altezza d'onda e per direzione.

dir (°N)	altezza significativa $H_s$ (m)						totale
	0.25 0.50	0.50 1.50	1.50 2.50	2.50 3.50	3.50 4.50	4.50 5.50	
<b>0</b>	4.58	7.20	1.65	0.36	0.06	0.00	<b>13.85</b>
<b>30</b>	2.59	4.05	0.91	0.16	0.03	0.00	<b>7.74</b>
<b>60</b>	2.72	4.63	1.26	0.33	0.04	0.01	<b>8.99</b>
<b>90</b>	5.04	5.48	0.25	0.04	0.00	0.00	<b>10.81</b>
<b>120</b>	3.51	10.15	0.52	0.01	0.00	0.00	<b>14.19</b>
<b>150</b>	0.37	0.57	0.02	0.00	0.00	0.00	<b>0.96</b>
<b>180</b>	0.21	0.24	0.01	0.00	0.00	0.00	<b>0.46</b>
<b>210</b>	0.21	0.19	0.02	0.00	0.00	0.00	<b>0.42</b>
<b>240</b>	0.16	0.21	0.01	0.00	0.00	0.00	<b>0.38</b>
<b>270</b>	0.19	0.25	0.02	0.00	0.00	0.00	<b>0.46</b>
<b>300</b>	0.50	1.20	0.14	0.02	0.00	0.00	<b>1.86</b>
<b>330</b>	5.63	15.58	2.04	0.26	0.02	0.00	<b>23.53</b>
<b>TOT</b>	<b>25.71</b>	<b>49.75</b>	<b>6.85</b>	<b>1.18</b>	<b>0.15</b>	<b>0.01</b>	<b>83.65</b>

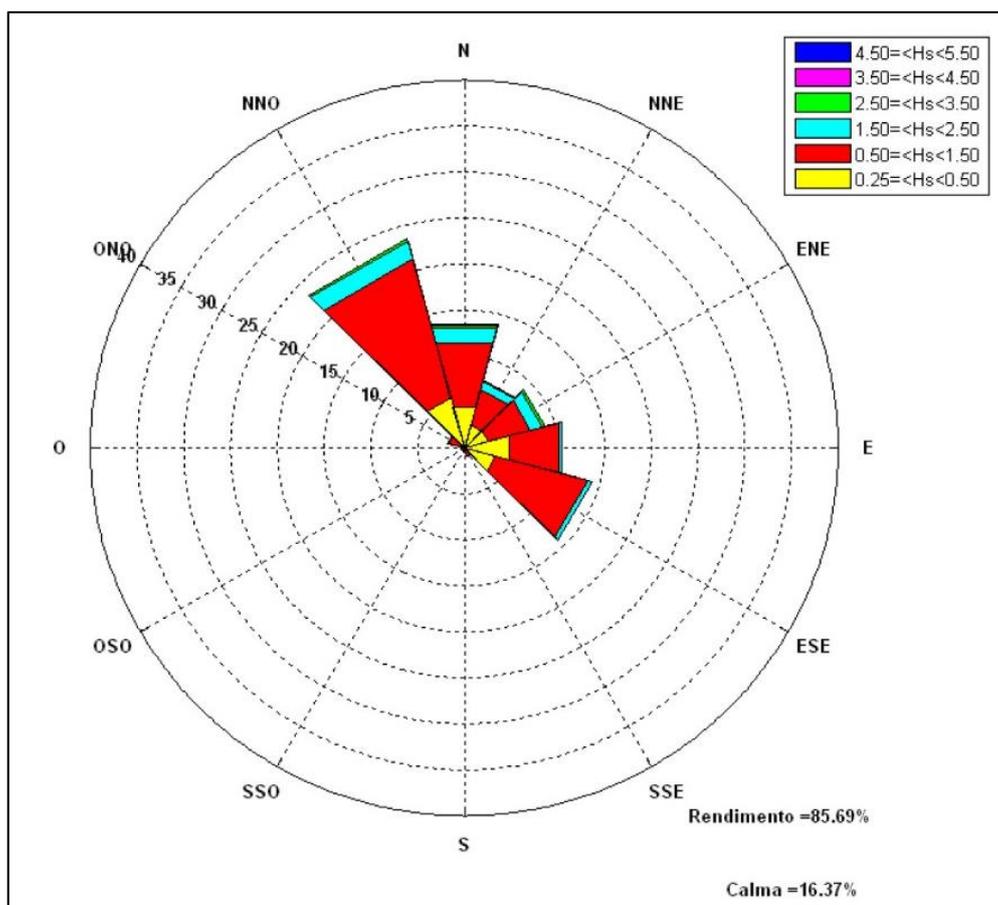


Figura 10 - frequenze di apparizione annuali (boa di Monopoli).

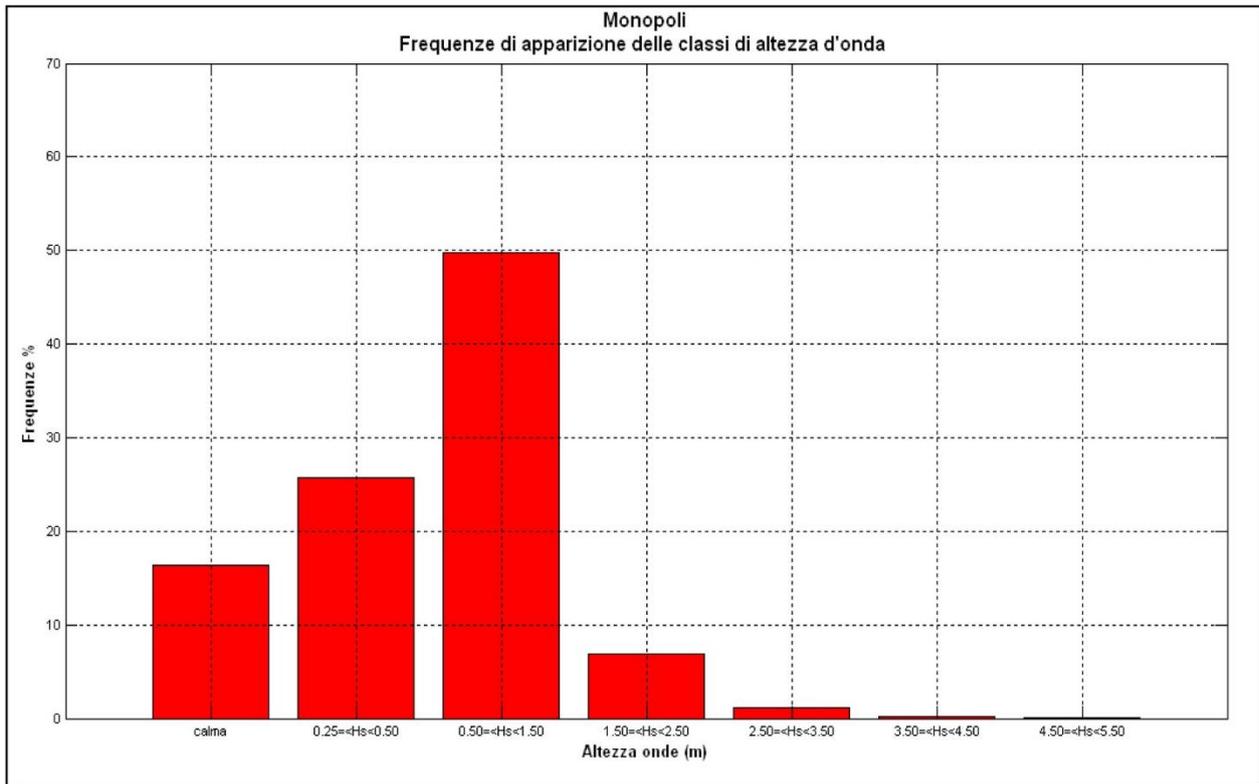


Figura 11 - Frequenze di apparizione annuali delle classi di altezza d'onda.

Nella figura 12 e nella tabella 2 i dati ondometrici della boa di Monopoli sono stati ordinati per periodo di picco e per direzione di provenienza della mareggiata.

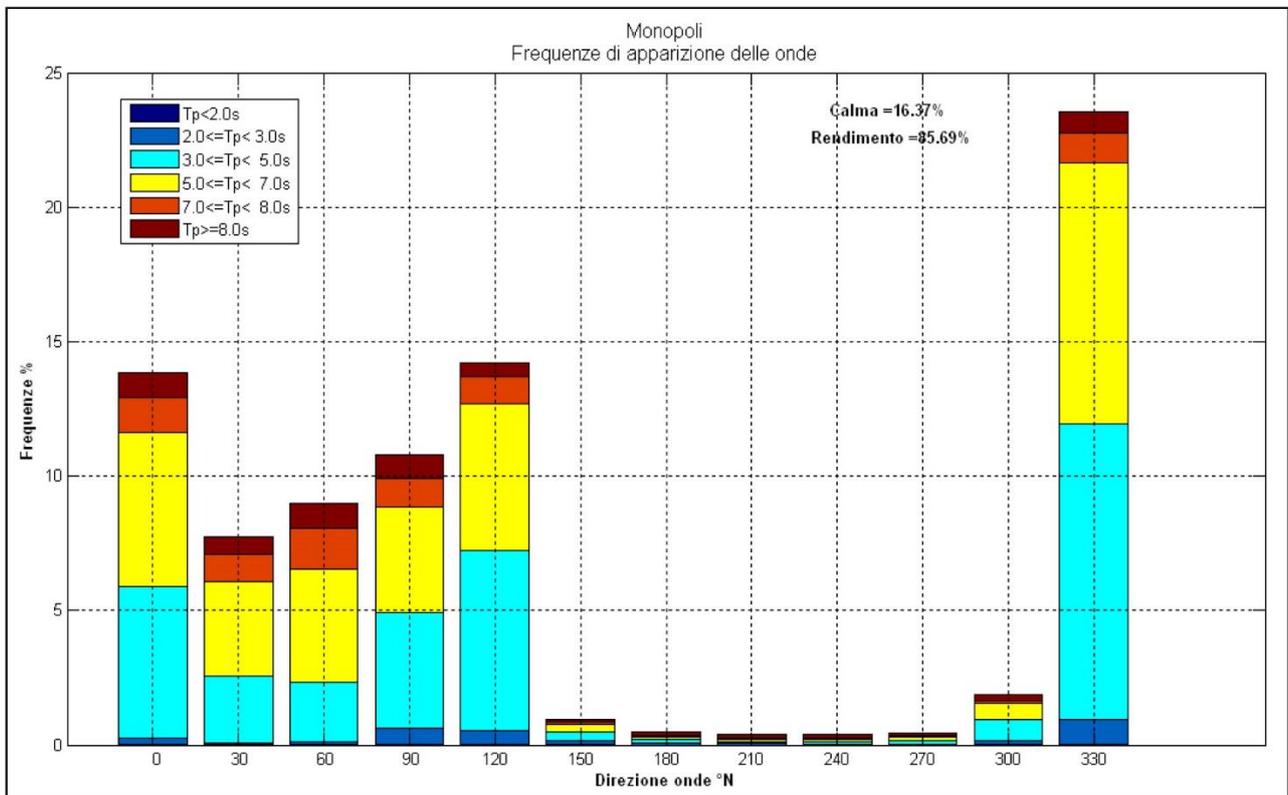


Figura 12 - classificazione delle onde per periodo di picco e per direzione del moto ondoso.

Tabella 2 - percentuali annuali di apparizione del moto ondoso ordinate per periodo di picco e per direzione.

dir (°N)	periodo di picco $T_p$ (s)						totale
	< 2.0	2.0 3.0	3.0 5.0	5.0 7.0	7.0 8.0	≥ 8.0	
<b>0</b>	0.01	0.23	5.64	5.72	1.33	0.91	<b>13.84</b>
<b>30</b>	0.00	0.08	2.48	3.53	1.00	0.62	<b>7.71</b>
<b>60</b>	0.00	0.09	2.26	4.20	1.50	0.93	<b>8.98</b>
<b>90</b>	0.00	0.63	4.31	3.90	1.06	0.91	<b>10.81</b>
<b>120</b>	0.00	0.53	6.71	5.43	1.02	0.49	<b>14.18</b>
<b>150</b>	0.00	0.14	0.34	0.26	0.09	0.14	<b>0.97</b>
<b>180</b>	0.00	0.09	0.11	0.10	0.03	0.14	<b>0.47</b>
<b>210</b>	0.00	0.06	0.08	0.09	0.03	0.16	<b>0.42</b>
<b>240</b>	0.00	0.03	0.10	0.09	0.03	0.13	<b>0.38</b>
<b>270</b>	0.00	0.04	0.14	0.13	0.03	0.11	<b>0.45</b>
<b>300</b>	0.00	0.17	0.77	0.59	0.09	0.25	<b>1.87</b>
<b>330</b>	0.02	0.94	10.97	9.73	1.11	0.76	<b>23.53</b>
<b>TOT</b>	<b>0.03</b>	<b>3.03</b>	<b>33.91</b>	<b>33.77</b>	<b>7.32</b>	<b>5.55</b>	<b>83.61</b>

Dall'analisi dei dati si osserva che la frequenza di apparizione maggiore spetta alle onde con periodo compreso tra 3 e 7 secondi (67.68%); le onde con periodo di picco minore di 3 secondi rappresentano il 3.06% del totale, mentre le onde con periodo maggiore di 7 secondi costituiscono il 12.87%. Nelle tabelle da 3 a 6 sono state riportate le percentuali di apparizione del moto ondoso suddivise per le quattro stagioni; le frequenze di apparizione stagionale sono state rappresentate nei grafici di figura 13.

Tabella 3 - percentuali di apparizione del moto ondoso durante la stagione invernale.

dir (°N)	altezza significativa $H_s$ (m)						totale
	0.25 0.50	0.50 1.50	1.50 2.50	2.50 3.50	3.50 4.50	4.50 5.50	
<b>0</b>	3.64	10.66	3.79	0.89	0.20	0.00	<b>19.18</b>
<b>30</b>	2.15	5.51	1.83	0.27	0.04	0.00	<b>9.80</b>
<b>60</b>	2.17	6.22	2.58	0.68	0.09	0.02	<b>11.76</b>
<b>90</b>	4.60	6.65	0.38	0.04	0.00	0.00	<b>11.67</b>
<b>120</b>	2.31	9.17	0.64	0.01	0.00	0.00	<b>12.13</b>
<b>150</b>	0.34	0.62	0.05	0.01	0.00	0.00	<b>1.02</b>
<b>180</b>	0.12	0.21	0.01	0.00	0.01	0.00	<b>0.35</b>
<b>210</b>	0.11	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	<b>0.18</b>
<b>240</b>	0.11	0.09	0.00	0.00	0.00	0.00	<b>0.20</b>
<b>270</b>	0.19	0.28	0.01	0.00	0.00	0.00	<b>0.48</b>
<b>300</b>	0.41	1.02	0.25	0.02	0.00	0.00	<b>1.70</b>
<b>330</b>	3.41	14.38	2.79	0.55	0.06	0.01	<b>21.20</b>
<b>TOT</b>	<b>19.56</b>	<b>54.88</b>	<b>12.33</b>	<b>2.47</b>	<b>0.40</b>	<b>0.03</b>	<b>89.67</b>

Tabella 4 - percentuali di apparizione del moto ondoso durante la stagione primaverile.

dir (°N)	altezza significativa H <sub>s</sub> (m)						totale
	0.25 0.50	0.50 1.50	1.50 2.50	2.50 3.50	3.50 4.50	4.50 5.50	
0	4.62	4.37	0.61	0.09	0.02	0.00	<b>9.71</b>
30	2.67	2.40	0.40	0.03	0.00	0.00	<b>5.50</b>
60	3.01	2.29	0.34	0.03	0.00	0.00	<b>5.67</b>
90	6.23	4.99	0.07	0.00	0.00	0.00	<b>11.29</b>
120	4.73	11.40	0.36	0.00	0.00	0.00	<b>16.49</b>
150	0.35	0.47	0.03	0.00	0.00	0.00	<b>0.85</b>
180	0.25	0.11	0.00	0.00	0.00	0.00	<b>0.36</b>
210	0.22	0.09	0.00	0.00	0.00	0.00	<b>0.31</b>
240	0.17	0.09	0.02	0.00	0.00	0.00	<b>0.28</b>
270	0.11	0.16	0.02	0.00	0.00	0.00	<b>0.29</b>
300	0.69	1.57	0.09	0.03	0.01	0.00	<b>2.39</b>
330	7.31	16.50	1.62	0.16	0.01	0.00	<b>25.60</b>
<b>TOT</b>	<b>30.36</b>	<b>44.44</b>	<b>3.56</b>	<b>0.34</b>	<b>0.04</b>	<b>0.00</b>	<b>78.74</b>

Tabella 5 - percentuali di apparizione del moto ondoso durante la stagione estiva.

dir (°N)	altezza significativa H <sub>s</sub> (m)						totale
	0.25 0.50	0.50 1.50	1.50 2.50	2.50 3.50	3.50 4.50	4.50 5.50	
0	6.61	6.33	0.54	0.02	0.00	0.00	<b>13.50</b>
30	3.10	3.07	0.12	0.00	0.00	0.00	<b>6.29</b>
60	2.34	2.50	0.19	0.00	0.00	0.00	<b>5.03</b>
90	4.32	2.08	0.04	0.00	0.00	0.00	<b>6.44</b>
120	3.41	5.44	0.01	0.00	0.00	0.00	<b>8.86</b>
150	0.23	0.37	0.00	0.00	0.00	0.00	<b>0.60</b>
180	0.16	0.15	0.00	0.02	0.00	0.00	<b>0.33</b>
210	0.12	0.14	0.00	0.00	0.00	0.00	<b>0.26</b>
240	0.12	0.07	0.01	0.00	0.00	0.00	<b>0.20</b>
270	0.16	0.17	0.02	0.00	0.00	0.00	<b>0.35</b>
300	0.54	1.52	0.08	0.01	0.00	0.00	<b>2.15</b>
330	8.63	21.54	2.14	0.11	0.00	0.00	<b>32.42</b>
<b>TOT</b>	<b>29.74</b>	<b>43.38</b>	<b>3.15</b>	<b>0.16</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>76.43</b>

Tabella 6 - percentuali di apparizione del moto ondoso durante la stagione autunnale.

dir (°N)	altezza significativa H <sub>s</sub> (m)						totale
	0.25 0.50	0.50 1.50	1.50 2.50	2.50 3.50	3.50 4.50	4.50 5.50	
0	3.43	7.69	1.80	0.47	0.03	0.00	<b>13.42</b>
30	2.40	5.32	1.33	0.32	0.07	0.00	<b>9.44</b>
60	3.30	7.60	2.02	0.62	0.08	0.01	<b>13.63</b>
90	4.95	8.25	0.50	0.11	0.00	0.00	<b>13.81</b>
120	3.50	14.45	1.06	0.02	0.01	0.00	<b>19.04</b>
150	0.57	0.82	0.02	0.00	0.00	0.00	<b>1.41</b>
180	0.30	0.49	0.03	0.00	0.00	0.00	<b>0.82</b>
210	0.38	0.46	0.06	0.00	0.00	0.00	<b>0.90</b>
240	0.24	0.56	0.03	0.00	0.00	0.00	<b>0.83</b>
270	0.29	0.38	0.03	0.00	0.01	0.00	<b>0.71</b>
300	0.34	0.71	0.16	0.01	0.00	0.00	<b>1.22</b>
330	3.04	9.88	1.68	0.23	0.00	0.00	<b>14.83</b>
<b>TOT</b>	<b>22.74</b>	<b>56.61</b>	<b>8.72</b>	<b>1.78</b>	<b>0.20</b>	<b>0.01</b>	<b>90.06</b>

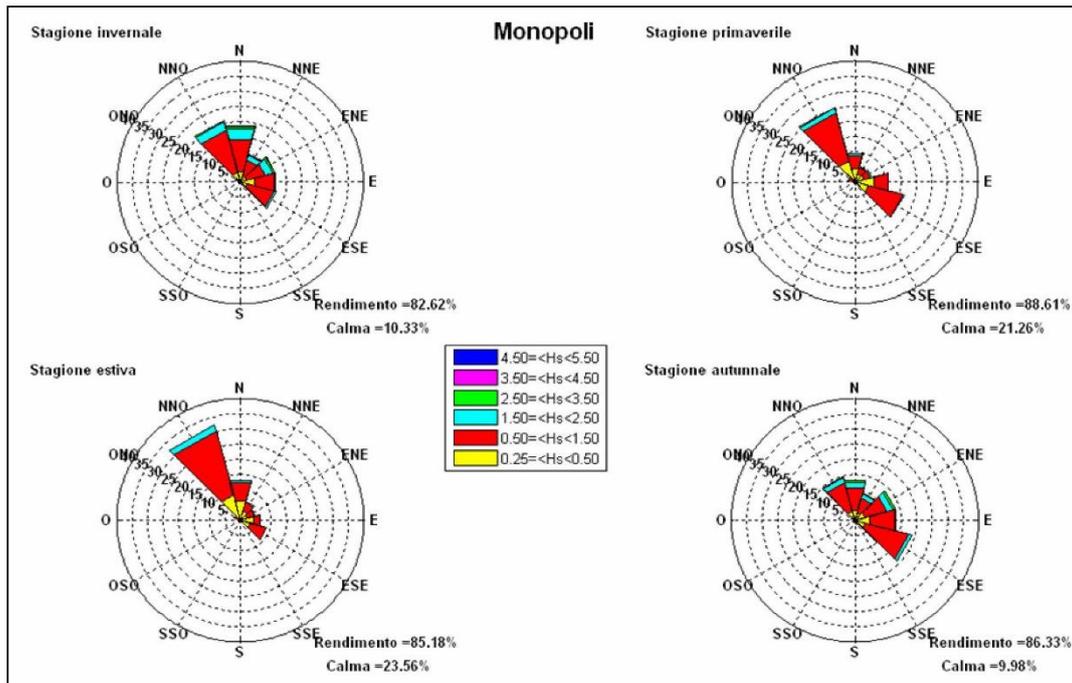


Figura 13 - frequenze di apparizione stagionali (boa di Monopoli).

Se si analizzano i dati ondametrici registrati su base stagionale si osserva che:

- in inverno le frequenze di apparizione maggiori spettano alle mareggiate da NNO (21.20%) e da Nord (19.18%); le direzioni da NNE, da ENE, da Est e da ESE fanno registrare percentuali tra il 9.80% ed il 12.13%; il 54.88% delle onde ha altezza compresa tra 0.5 e 1.5 m, mentre le onde di altezza superiore a 2.5 m costituiscono il 2.90% delle osservazioni totali stagionali;
- in primavera le frequenze di apparizione maggiori spettano alle mareggiate da NNO (25.60%), seguite dalle onde da ESE (16.49%) e dalle onde da Est (11.29%); durante la stagione primaverile si registra la più alta percentuale di onde di altezza inferiore a 0.5 m (30.36%);
- in estate le frequenze di apparizione maggiori provengono da NNO (32.42%), seguite dalle onde da Nord (13.50%); le altezze d'onda registrate in questa stagione risultano di modesta entità ed infatti le onde con altezza inferiore a 0.5 m, comprese le calme, costituiscono il 53.30% del totale delle osservazioni stagionali;
- in autunno le frequenze di apparizione maggiori spettano alle mareggiate da ESE (19.04%), mentre si riduce di molto la frequenza delle onde da NNO (14.83%) rispetto agli altri riferimenti stagionali; significativo è il valore della percentuale di onde di altezza superiore a 2.5 m pari a 1.99%.

### ***Trasposizione geografica dei dati ondametrici***

Il paraggio e il settore di traversia del tratto di costa di Torchiarolo può essere equiparato con il paraggio di Cerano (BR). Il settore di traversia geografico del paraggio di Cerano comprende tutte le direzioni tra 300°N e 140°N. La distribuzione dei fetch presenta quattro zone ben distinte: il settore compreso tra 300°N e 305°N è caratterizzato da fetch dell'ordine di 200km, limitati dal promontorio del Gargano; alle direzioni 310°N e 320°N competono i fetch più sviluppati, superiori a 500km, che si estendono fino alla costa veneta; dalla direzione 325°N alla direzione 140°N i fetch risultano limitati dalle coste iugoslave e albanesi; i fetch dalle direzioni 145°N a 295°N, sono limitati dalle coste pugliesi.

Nella tabella 7 sono riportati i risultati ottenuti dall'applicazione del metodo di trasposizione geografica dei dati della boa di Monopoli al paraggio di Cerano; le mareggiate sono state ordinate per classi di altezza d'onda di 1.0 m e per settori di provenienza di 30°, avendo assunto che le altezze d'onda inferiori a 0.25m sono calme; i dati elaborati sono stati rappresentati graficamente nel diagramma polare di figura 14 (percentuale di apparizione – direzione – intensità) e nel grafico di figura 15 (percentuale di apparizione – classe di altezza d'onda).

Tabella 7 - percentuali annuali di apparizione del moto ondoso ordinate per classi di altezza d'onda e per direzione.

dir (°N)	altezza significativa Hs (m)											TOT
	0.25	0.75	1.25	1.75	2.25	2.75	3.25	3.75	4.25	4.75	5.25	
	0.75	1.25	1.75	2.25	2.75	3.25	3.75	4.25	4.75	5.25	5.75	
0	7.15	2.75	1.41	0.81	0.37	0.17	0.06	0.03	0.01	0.00	0.00	12.77
30	4.51	1.78	0.74	0.36	0.22	0.04	0.04	0.01	0.00	0.00	0.00	7.69
60	5.04	1.83	0.81	0.54	0.24	0.10	0.02	0.02	0.00	0.00	0.00	8.60
90	4.87	0.97	0.17	0.04	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6.08
120	11.33	5.20	1.52	0.21	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	18.30
150	0.64	0.36	0.12	0.04	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.18
180	0.18	0.05	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.27
210	0.24	0.04	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.29
240	0.28	0.08	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.38
270	0.31	0.10	0.04	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.46
300	0.76	0.44	0.17	0.06	0.02	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	1.49
330	12.57	8.72	2.97	1.19	0.45	0.18	0.08	0.02	0.00	0.00	0.00	26.18
TOT	47.87	22.32	7.99	3.27	1.35	0.54	0.22	0.08	0.02	0.00	0.00	83.67

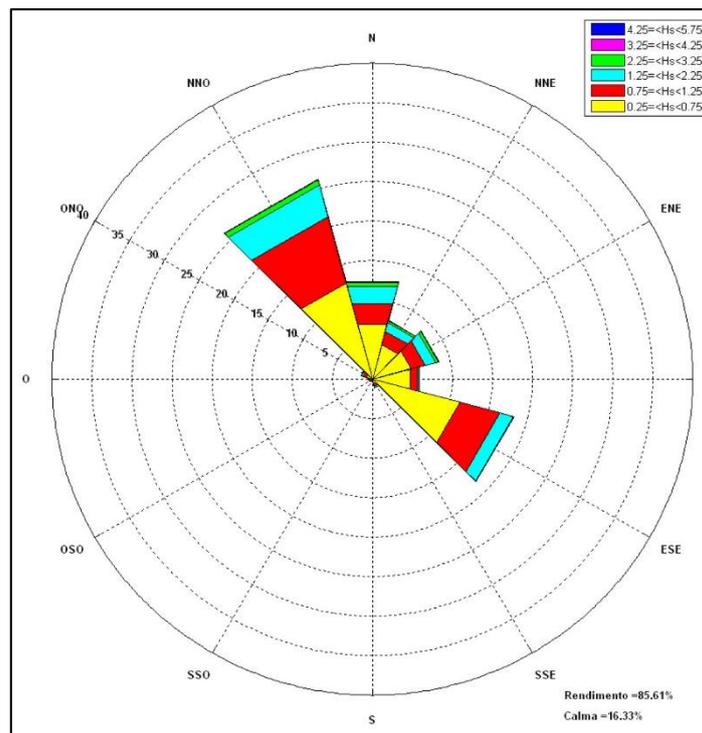


Figura 14 - frequenze di apparizione annuali.

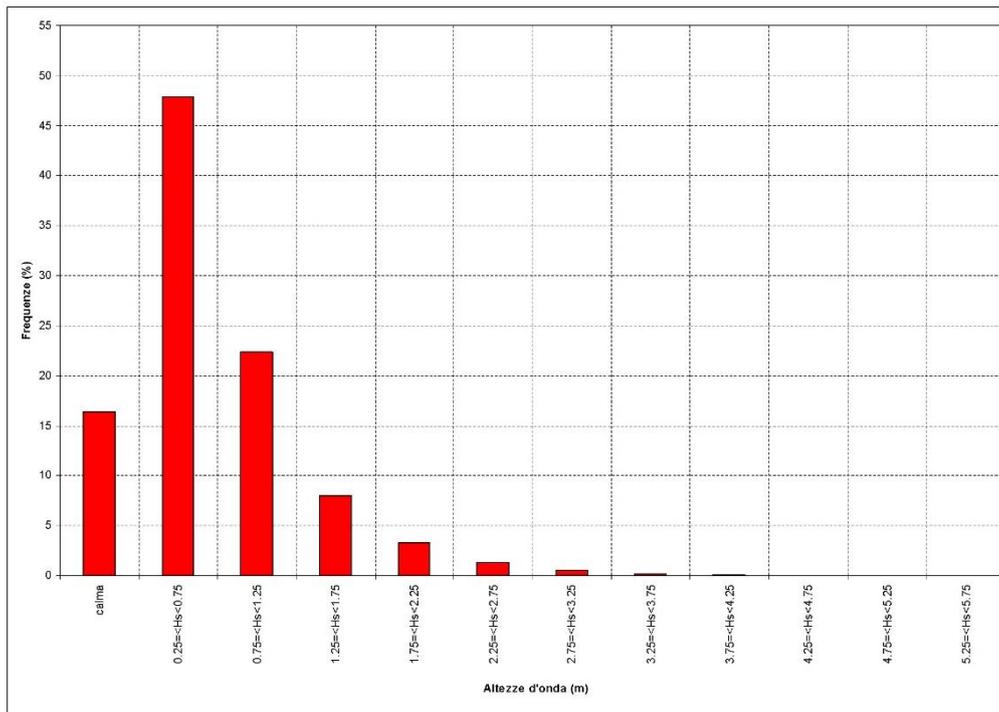


Figura 15 - frequenze di apparizione annuali delle classi di altezza d'onda.

Dall'analisi delle registrazioni effettuate risulta che il settore di traversia del paraggio è costituito dalle direzioni comprese tra NNO ed ESE. La massima frequenza di apparizione spetta alle mareggiate provenienti da NNO che fanno registrare una percentuale del 26.18%. Le mareggiate da ESE costituiscono il 18.30% dei dati registrati, mentre le mareggiate da Nord raggiungono il 12.77% di tutte le osservazioni. Le onde dal I quadrante fanno registrare percentuali tra il 6.08% e l'8.60%.

Se si classificano le onde secondo l'altezza significativa (figura 15) si osserva che le onde con altezza significativa minore di 0.75m rappresentano il 64.20% di tutte le osservazioni, mentre le onde con altezza compresa tra 0.75 e 1.75m costituiscono il 30.31% delle registrazioni. Le mareggiate con altezza maggiore di 1.75m sono poco frequenti nel paraggio e fanno registrare una percentuale del 5.49%; le mareggiate caratterizzate dalle altezze d'onda maggiori provengono prevalentemente da NNO (1.92%) e da Nord (1.45%).

Nella tabella 8 ed in figura 16 i dati ricostruiti per il paraggio di Cerano sono stati ordinati per periodo di picco e per direzione di provenienza della mareggiata. Dall'analisi dei dati si osserva che la frequenza di apparizione maggiore spetta alle onde con periodo compreso tra 5 e 7 secondi (34.64%); le onde con periodo di picco minore di 3 secondi rappresentano il 2.90% del totale, mentre le onde con periodo maggiore di 7 secondi costituiscono il 13.23%.

Tabella 8 - percentuali annuali di apparizione del moto ondoso ordinate per periodo di picco e per direzione.

dir (°N)	periodo di picco Tp (s)						totale
	< 2.0	2.0 3.0	3.0 5.0	5.0 7.0	7.0 8.0	≥ 8.0	
0	0.01	0.16	4.73	5.44	1.41	1.02	12.77
30	0.00	0.09	2.69	3.44	0.92	0.55	7.69
60	0.01	0.15	2.79	4.01	1.16	0.48	8.60
90	0.00	0.48	2.61	2.11	0.45	0.43	6.07
120	0.00	0.83	8.60	6.73	1.36	0.78	18.30
150	0.00	0.07	0.34	0.27	0.12	0.38	1.18
180	0.00	0.05	0.07	0.05	0.02	0.09	0.27
210	0.00	0.04	0.07	0.07	0.01	0.09	0.29
240	0.00	0.03	0.12	0.08	0.02	0.13	0.38
270	0.00	0.04	0.09	0.15	0.05	0.13	0.46
300	0.00	0.11	0.52	0.44	0.12	0.29	1.49
330	0.02	0.78	10.30	11.85	1.84	1.38	26.18
TOT	0.05	2.85	32.90	34.64	7.48	5.74	83.67

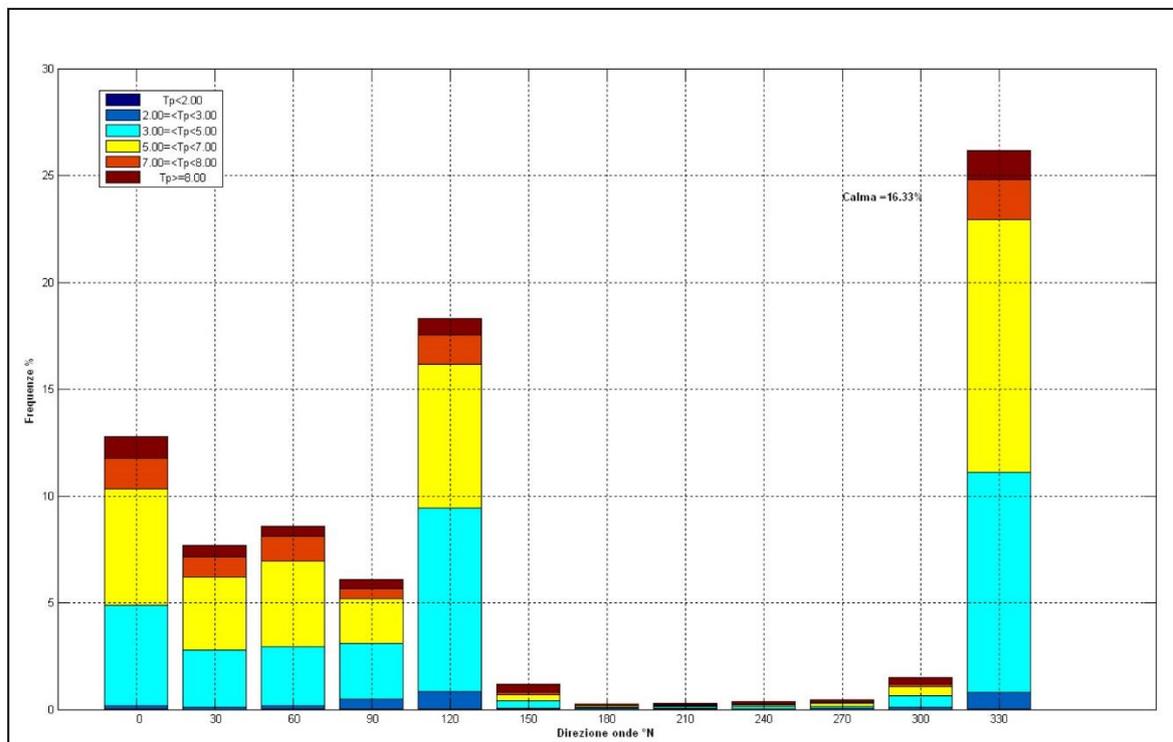


Figura 16 - classificazione delle onde per periodo di picco e per direzione del moto ondoso.

Nelle tabelle da 9 a 12 sono state riportate le percentuali di apparizione del moto ondoso suddivise per le quattro stagioni; le frequenze di apparizione stagionale sono state rappresentate nei grafici di figura 17.

Tabella 9 - percentuali di apparizione del moto ondoso durante la stagione invernale.

dir (°N)	altezza significativa Hs (m)											TOT
	0.25	0.75	1.25	1.75	2.25	2.75	3.25	3.75	4.25	4.75	5.25	
	0.75	1.25	1.75	2.25	2.75	3.25	3.75	4.25	4.75	5.25	5.75	
0	6.74	4.65	3.30	1.84	0.72	0.42	0.19	0.10	0.04	0.00	0.00	18.00
30	4.46	2.60	1.49	0.79	0.44	0.05	0.08	0.01	0.00	0.00	0.00	9.92
60	5.13	2.59	1.49	1.13	0.55	0.20	0.04	0.05	0.02	0.00	0.00	11.19
90	5.33	1.15	0.26	0.04	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6.80
120	8.76	5.25	2.06	0.26	0.03	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	16.38
150	0.54	0.33	0.16	0.07	0.03	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	1.15
180	0.11	0.02	0.04	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.19
210	0.10	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.11
240	0.18	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20
270	0.31	0.17	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.50
300	0.57	0.42	0.25	0.10	0.04	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	1.39
330	8.50	8.79	3.75	1.62	0.82	0.39	0.20	0.07	0.01	0.01	0.00	24.14
TOT	40.74	25.97	12.82	5.86	2.64	1.10	0.52	0.22	0.07	0.01	0.01	89.96

Tabella 10 - percentuali di apparizione del moto ondoso durante la stagione primaverile.

dir (°N)	altezza significativa Hs (m)											TOT
	0.25	0.75	1.25	1.75	2.25	2.75	3.25	3.75	4.25	4.75	5.25	
	0.75	1.25	1.75	2.25	2.75	3.25	3.75	4.25	4.75	5.25	5.75	
0	6.30	1.50	0.65	0.27	0.15	0.05	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	8.93
30	3.88	0.97	0.36	0.12	0.05	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.40
60	4.39	0.66	0.29	0.08	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.43
90	5.21	0.60	0.06	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.87
120	14.87	5.19	1.22	0.14	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	21.42
150	0.63	0.26	0.08	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.99
180	0.09	0.05	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.15
210	0.17	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.18
240	0.22	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.26
270	0.22	0.04	0.00	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.29
300	1.09	0.48	0.22	0.03	0.02	0.01	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	1.89
330	14.95	9.12	2.34	0.87	0.41	0.09	0.05	0.02	0.00	0.00	0.00	27.84
TOT	52.01	18.90	5.23	1.57	0.66	0.16	0.09	0.03	0.00	0.00	0.00	78.64

Tabella 11 - percentuali di apparizione del moto ondoso durante la stagione estiva.

dir (°N)	altezza significativa Hs (m)											TOT
	0.25	0.75	1.25	1.75	2.25	2.75	3.25	3.75	4.25	4.75	5.25	
	0.75	1.25	1.75	2.25	2.75	3.25	3.75	4.25	4.75	5.25	5.75	
0	8.78	2.16	0.51	0.25	0.06	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	11.78
30	4.89	0.91	0.14	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.99
60	3.37	1.00	0.18	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.58
90	3.35	0.23	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.62
120	9.43	1.74	0.13	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	11.31
150	0.49	0.32	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.85
180	0.19	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.22
210	0.14	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.18
240	0.16	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20
270	0.27	0.04	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.33
300	0.89	0.59	0.12	0.04	0.02	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.69
330	19.13	11.48	3.53	1.35	0.23	0.08	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	35.83
TOT	51.07	18.58	4.71	1.75	0.31	0.11	0.03	0.00	0.00	0.01	0.01	76.56

Tabella 12 - percentuali di apparizione del moto ondoso durante la stagione autunnale.

dir (°N)	altezza significativa Hs (m)											TOT
	0.25	0.75	1.25	1.75	2.25	2.75	3.25	3.75	4.25	4.75	5.25	
	0.75	1.25	1.75	2.25	2.75	3.25	3.75	4.25	4.75	5.25	5.75	
0	6.80	2.83	1.30	0.96	0.57	0.23	0.05	0.01	0.00	0.00	0.00	12.76
30	4.81	2.68	1.01	0.49	0.39	0.11	0.08	0.04	0.00	0.00	0.00	9.60
60	7.26	3.12	1.30	0.95	0.41	0.21	0.06	0.03	0.00	0.00	0.00	13.34
90	5.61	1.92	0.32	0.12	0.02	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.03
120	12.01	8.58	2.69	0.42	0.08	0.04	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	23.82
150	0.88	0.53	0.22	0.06	0.03	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	1.72
180	0.35	0.10	0.04	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.51
210	0.52	0.11	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.68
240	0.55	0.26	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.85
270	0.44	0.15	0.11	0.01	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.73
300	0.48	0.27	0.10	0.08	0.01	0.02	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.97
330	7.50	5.52	2.32	0.97	0.36	0.18	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	16.89
TOT	47.20	26.07	9.49	4.09	1.87	0.82	0.26	0.09	0.01	0.00	0.00	89.89

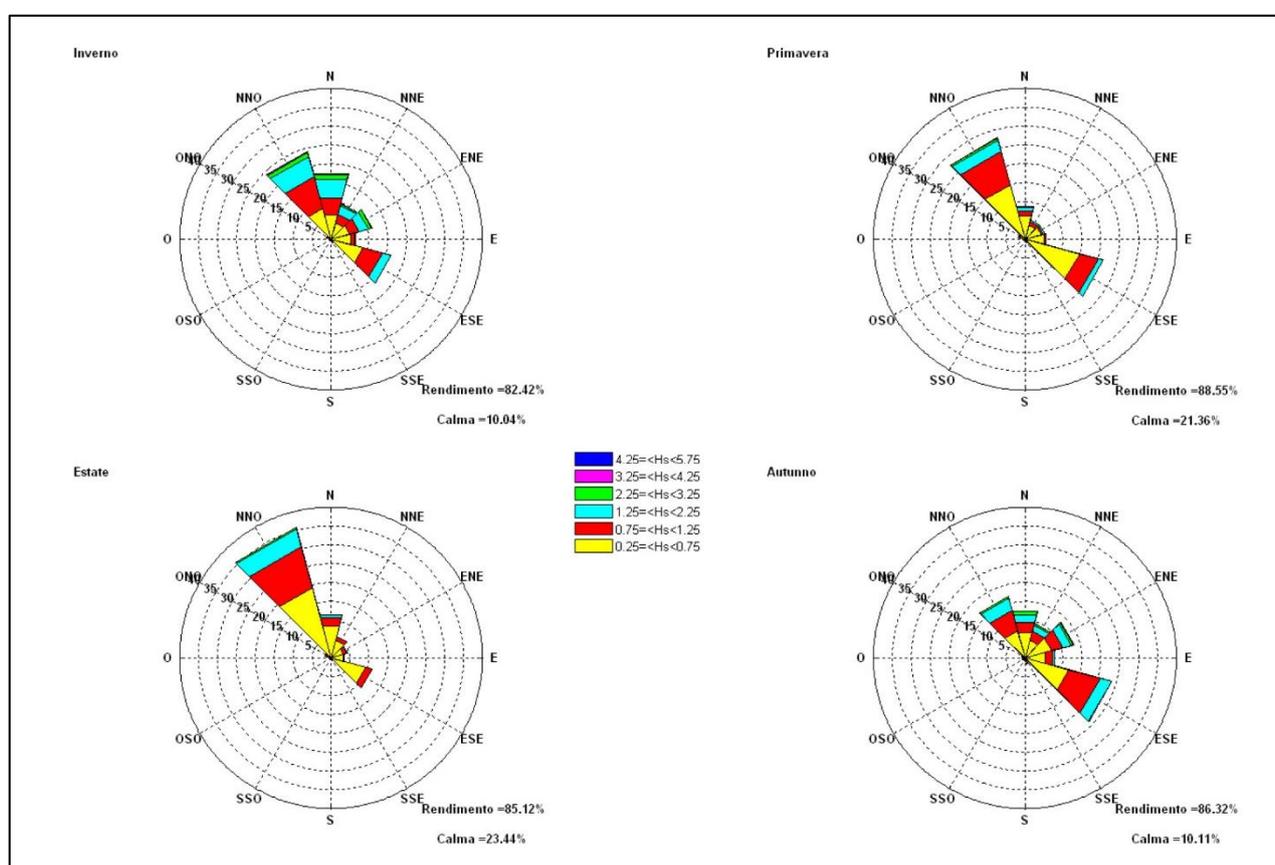


Figura 17 - frequenze di apparizione stagionali.

Se si analizzano i dati ondometrici registrati su base stagionale si osserva che:

- in inverno le frequenze di apparizione maggiori spettano alle mareggiate da NNO (24.14%), da Nord (18.00%) e da ESE (16.38%); l'89.57% delle onde ha altezza minore di 1.75m, mentre le onde di altezza superiore a 1.75m (10.43%) provengono prevalentemente da Nord (3.31%) e da NNO (3.11%);
- in primavera le frequenze di apparizione maggiori spettano alle mareggiate da NNO (27.84%), seguite dalle onde da ESE (21.42%); durante la stagione primaverile si registra una percentuale di onde di altezza inferiore a 1.75m molto alta (97.50%);

- in estate si registra la più alta percentuale di calme (23.44%); le frequenze di apparizione maggiori spettano alle mareggiate da NNO (35.83%), seguite dalle onde da Nord (11.78%) e da ESE (11.31%); le altezze d'onda registrate in questa stagione risultano di modesta entità ed infatti si registra la più elevata percentuale di onde di altezza inferiore a 1.75m (97.79%);
- in autunno le frequenze di apparizione maggiori spettano alle mareggiate da ESE (23.82%), seguite dalle onde da NNO (16.89%); le onde con altezza maggiore di 1.75m costituiscono il 7.14% delle apparizioni stagionali.

### ***Relazione tra altezza d'onda e periodo di picco***

La correlazione tra l'altezza d'onda al largo e periodo di picco corrispondente è stata individuata attraverso l'analisi dei dati ricostruiti adottando la seguente formulazione matematica:

$$T = \alpha * H_s^\beta$$

dove:

T è il periodo dell'onda espresso in secondi;

$H_s$  è l'altezza d'onda significativa espressa in metri;

$\alpha$ ,  $\beta$  sono dei coefficienti di correlazione.

### ***Clima meteo-marino equivalente del paraggio***

Ai fini della caratterizzazione della dinamica dei litorali in esame, risulta utile conoscere il clima meteo-marino equivalente annuale, ovvero la cosiddetta onda di modellazione o morfologica.

Il clima meteomarinico equivalente è stato valutato ricavando per ciascuna delle direzioni prescelte e per l'intero paraggio la mareggiata energeticamente equivalente all'intera serie storica disponibile. L'onda di modellazione è caratterizzata da un'altezza d'onda H ed un periodo d'onda T, rappresentativi del contenuto energetico per il settore considerato. Tale onda è in grado di indurre sul litorale effetti equivalenti a quelli indotti da tutte le onde sulla base delle quali è stata calcolata. Analogamente il periodo da associare alla suddetta altezza d'onda è stato ricavato come media pesata dei periodi delle singole mareggiate rispetto alle relative durate. Per quanto riguarda l'individuazione dell'onda caratterizzante l'intero paraggio, si considerano ovviamente tutte le mareggiate calcolate nell'intero settore di traversia procedendo al calcolo dell'altezza e del periodo con la stessa metodologia innanzi descritta. In questo caso però si è reso necessario anche il calcolo della direzione di provenienza della mareggiata equivalente.

Dallo studio del clima meteomarinico medio del paraggio risulta che alla direzione Nord compete l'altezza d'onda energeticamente equivalente più elevata (1.19m), con una frequenza di apparizione pari al 15%; le mareggiate equivalenti da NNO (1.11m) e da ESE (0.87m) sono le più frequenti con percentuali di apparizione pari rispettivamente al 31% e al 22%. L'onda caratteristica dell'intero paraggio ha un'altezza di 1.05m, periodo pari a 5.88s e direzione di provenienza 9°N (tabella 13).

Le onde di modellazione sono in genere utilizzate per ottenere informazioni quali-quantitative sul trasporto solido costiero; si dimostra infatti che i flussi di energia per unità di lunghezza della cresta delle onde sono proporzionali, attraverso diversi fattori, al trasporto solido longitudinale.

Tabella 13 - onde equivalenti annue.

<i>Direzione (°N)</i>	<i>H<sub>s</sub>(m)</i>	<i>T<sub>p</sub>(s)</i>	<i>Durata (ore)</i>
330	1.11	5.69	35358
0	1.19	6.01	17250
30	1.09	6.11	10386
60	1.15	5.88	11613
90	0.68	5.4	8205
120	0.87	5.33	24717
9	1.05	5.88	113016

### 3.4. Il clima anemometrico

Lo studio anemometrico dell'area in esame è stato condotto attraverso l'analisi della serie storica della stazione anemometrica di Brindisi, da cui è stato possibile ricavare una conoscenza abbastanza accurata del campo di vento in prossimità del litorale di Torchiarolo.

#### *La stazione anemometrica di Brindisi*

È stata analizzata la serie storica dei dati registrati dalla stazione di Brindisi dal 1951 fino al 31 dicembre 2005. Sono state individuate le direzioni di provenienza dei venti regnanti (venti con più alte frequenze di apparizione), dei venti dominanti (venti di elevata intensità), dei venti prevalenti (venti che combinano l'alta frequenza di apparizione con le alte velocità) e le durate dei periodi di calma che si verificano durante l'anno. Sono stati anche analizzati separatamente i diversi periodi dell'anno, per definire la distribuzione di frequenza dei venti in ogni stagione.

La serie storica disponibile è costituita dalle registrazioni acquisite nel periodo 1951-2005, durante il quale non si sono verificate interruzioni di rilievo nella raccolta dati e la percentuale di rilevazioni effettive sul totale delle misurazioni teoriche risulta di poco inferiore al 100%.

#### *Frequenze di apparizione annuali*

Dall'elaborazione statistica della serie completa delle registrazioni (tabella 14, figura 18) risulta che mediamente in un anno la classe delle calme è piuttosto frequente, esse costituiscono, infatti, il 17.93% dell'intera popolazione. Dalla distribuzione delle frequenze di apparizione dei venti per direzione di provenienza risulta che il maggior numero di osservazioni spetta ai venti da NNO, la cui percentuale di presenze rispetto all'intera popolazione è del 16.20%. Seguono i venti da ONO e da Sud con una frequenza rispettivamente del 10.99% e del 10.23%. I venti da Nord fanno registrare una percentuale pari al 7.55%, mentre a SSE compete un frequenza pari al 7.01% di tutte le osservazioni. I venti provenienti dal primo e secondo quadrante hanno un'incidenza piuttosto esigua; il vento da NNE si attesta intorno al 6.24%, mentre i venti da ENE, Est ed ESE fanno registrare il minor numero di casi con percentuali intorno al 3%.

Se si classificano i dati secondo l'intensità si osserva che i venti con velocità minore di 7 nodi (calma, I e II classe Beaufort) rappresentano il 50.53% della popolazione, pertanto, si giunge alla soglia della III classe con

una percentuale disponibile del 49.47%. I venti di III e IV classe costituiscono da soli il 39.79% della popolazione, mentre i venti con velocità maggiore di 17 nodi costituiscono il restante 9.68% del totale. Se si passa a considerare solo i venti con velocità superiore a 17 nodi si osserva che le frequenze maggiori spettano ai venti da NNO. Anche i venti spiranti da Nord, da Sud e da ONO presentano un'alta intensità, mentre i venti spiranti dalle altre direzioni sono caratterizzati da velocità piuttosto basse.

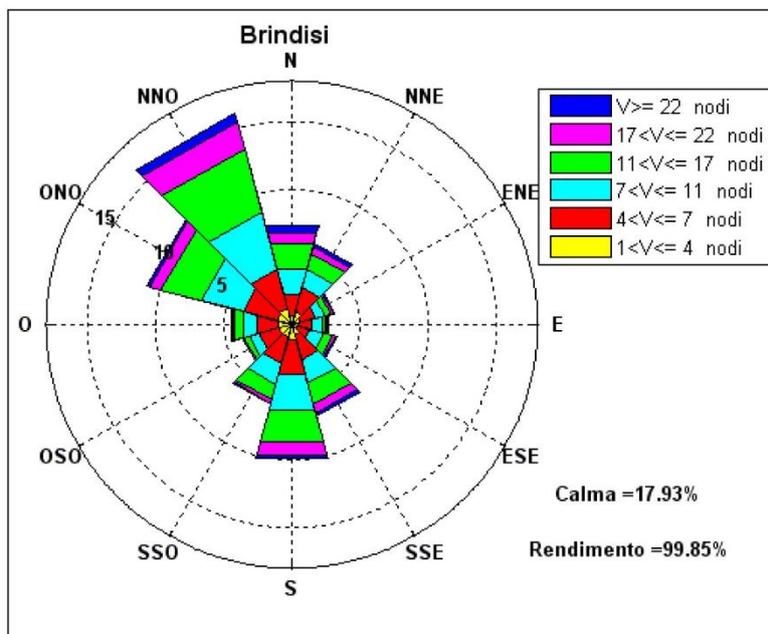


Figura 18 – frequenze di apparizione annuali.

Tabella 14 - frequenze di apparizione annuali.

dir (°N)	VELOCITA' (nodi)						TOT
	1<U≤4	4<U≤7	7<U≤11	11<U≤17	17<U≤22	U>22	
0	0.74	1.61	1.88	1.96	0.87	0.49	7.55
30	1.01	1.84	1.42	1.15	0.55	0.27	6.24
60	0.64	1.19	0.74	0.43	0.15	0.07	3.22
90	0.45	1.05	0.77	0.31	0.09	0.04	2.71
120	0.42	1.01	1.01	0.66	0.24	0.08	3.42
150	0.79	1.92	1.76	1.62	0.65	0.27	7.01
180	1.16	2.68	2.67	2.46	0.95	0.31	10.23
210	0.98	1.99	1.62	1.15	0.30	0.09	6.13
240	1.00	1.46	0.79	0.38	0.11	0.04	3.78
270	1.02	1.66	1.01	0.63	0.20	0.08	4.60
300	1.10	2.62	3.20	3.02	0.83	0.22	10.99
330	1.25	3.02	4.31	4.84	2.07	0.71	16.20
<b>TOT</b>	10.56	22.05	21.18	18.61	7.01	2.67	82.07

### Frequenze di apparizione stagionali – Inverno

Durante la stagione invernale la classe delle calme risulta meno frequente che nelle altre stagioni; esse costituiscono infatti il 15.14% dell'intera popolazione (tabella 15, figura 19). Dalla distribuzione delle frequenze di apparizione dei venti per direzione di provenienza risulta che il maggior numero di osservazioni spetta ai venti da NNO, ONO e Sud la cui percentuale di presenze rispetto all'intera popolazione si aggira intorno a valori prossimi al 12%. Al secondo posto si collocano i venti da SSE con una frequenza del 8.8%. I

venti da Nord fanno registrare una percentuale pari a circa il 7.5%, mentre al vento da NNE compete un frequenza pari al 7% di tutte le osservazioni. I restanti venti provenienti dal primo e secondo quadrante hanno un'incidenza piuttosto esigua con percentuali del 3%.

Se si classificano i dati secondo l'intensità si osserva che i venti con velocità minore di 7 nodi (calma, I e II classe Beaufort) rappresentano circa il 45% della popolazione, pertanto, si giunge alla soglia della III classe con una percentuale disponibile del 55%. I venti di III e IV classe costituiscono da soli il 41.6% della popolazione, mentre i venti con velocità maggiore di 17 nodi costituiscono il restante 13.7% del totale. Se si passa a considerare solo i venti con velocità superiore a 17 nodi si osserva che le frequenze maggiori spettano ai venti da NNO e da Nord. Anche i venti spiranti da NNE, da Sud, da ONO e da SSE presentano un'alta intensità, mentre i venti spiranti dalle altre direzioni sono caratterizzati da velocità piuttosto basse.

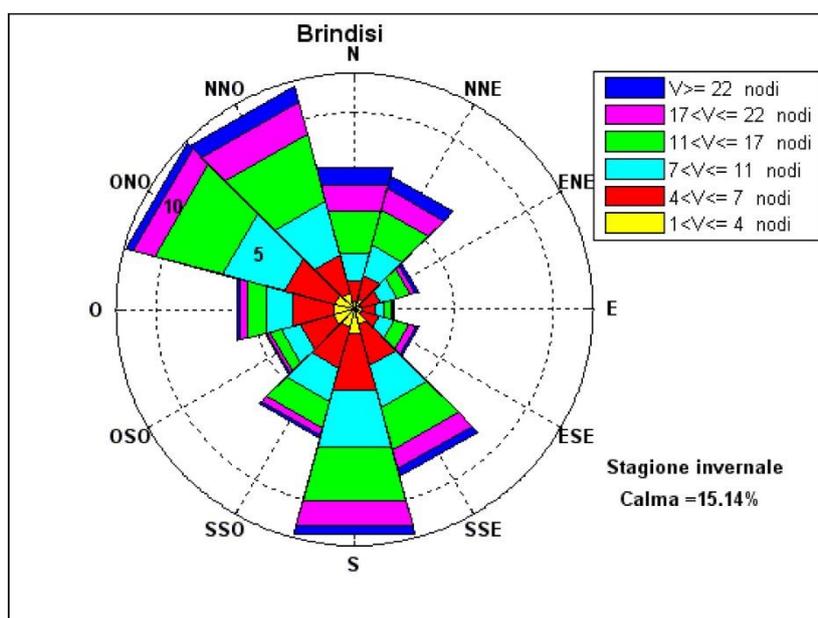


Figura 19 - frequenze di apparizione invernali

Tabella 15 - frequenze invernali.

dir (°N)	VELOCITA' (nodi)						TOT
	1<U≤4	4<U≤7	7<U≤11	11<U≤17	17<U≤22	U>22	
0	0.44	1.03	1.48	2.21	1.36	0.95	7.47
30	0.54	1.25	1.58	1.87	1.12	0.67	7.03
60	0.39	0.96	0.85	0.69	0.26	0.18	3.33
90	0.36	0.71	0.48	0.33	0.15	0.07	2.10
120	0.39	0.88	0.80	0.78	0.38	0.13	3.36
150	0.81	2.15	2.17	2.26	0.99	0.40	8.78
180	1.23	3.04	2.98	2.82	1.32	0.42	11.81
210	0.95	2.12	1.77	1.41	0.38	0.12	6.75
240	1.10	1.75	0.99	0.57	0.17	0.08	4.66
270	1.09	2.08	1.42	1.02	0.36	0.18	6.15
300	1.03	2.61	3.24	3.53	1.10	0.41	11.92
330	0.86	1.99	2.82	3.53	1.71	0.79	11.70

### ***Frequenze di apparizione stagionali – Primavera***

Dall'elaborazione delle registrazioni relative alla stagione primaverile emerge che la classe delle calme risulta molto frequente, esse costituiscono il 19.15% dell'intera popolazione (figura 20, tabella 16). Dalla distribuzione delle frequenze di apparizione dei venti per direzione di provenienza risulta che il maggior numero di osservazioni spetta ai venti da NNO la cui percentuale di presenze rispetto all'intera popolazione si aggira intorno al 17%. Al secondo posto si collocano i venti da ONO e da S rispettivamente del 11.7% e del 10.7%. I venti da Nord e da SSE fanno registrare una percentuale pari a circa il 6%, mentre al vento da SSO compete un frequenza pari al 7% di tutte le osservazioni. I venti provenienti dal primo e secondo quadrante hanno un'incidenza piuttosto esigua con percentuali mediamente del 3%.

Se si classificano i dati secondo l'intensità si osserva che i venti con velocità minore di 7 nodi (calma, I e II classe Beaufort) rappresentano il 53.16% della popolazione, pertanto, si giunge alla soglia della III classe con una percentuale disponibile del 46.8%. I venti di III e IV classe costituiscono da soli il 39.1% della popolazione, mentre i venti con velocità maggiore di 17 nodi costituiscono il restante 7.8% del totale. Se si passa a considerare solo i venti con velocità superiore a 17 nodi si osserva che le frequenze maggiori spettano ai venti da NNO. Anche i venti spiranti da Sud, da ONO e da Nord presentano un'alta intensità, mentre i venti spiranti dalle altre direzioni sono caratterizzati da velocità piuttosto basse.

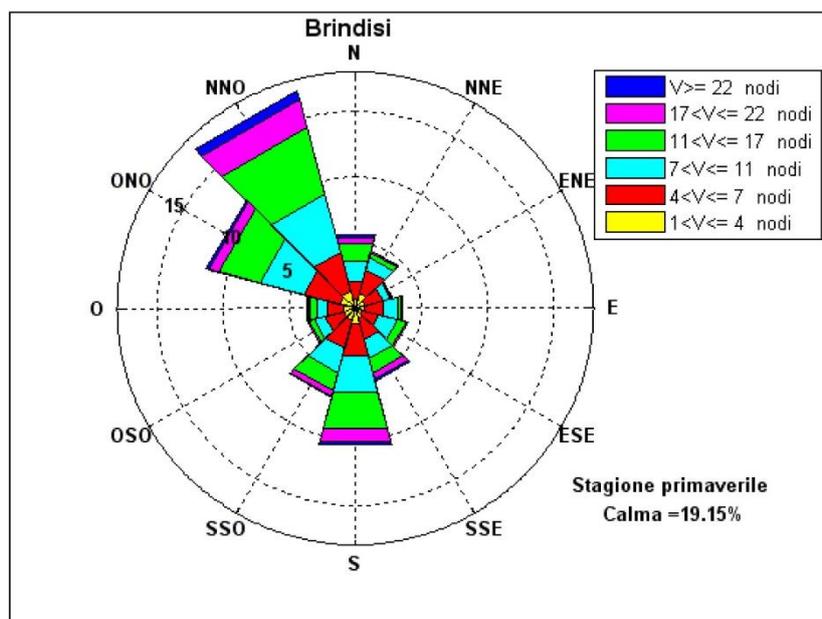


Figura 20 - frequenze di apparizione primaverili.

Tabella 16 - frequenze primaverili.

dir (°N)	VELOCITA' (nodi)						TOT
	1<U≤4	4<U≤7	7<U≤11	11<U≤17	17<U≤22	U>22	
<b>0</b>	0.72	1.40	1.60	1.33	0.50	0.23	5.78
<b>30</b>	1.17	1.90	0.96	0.38	0.12	0.03	4.56
<b>60</b>	0.79	1.35	0.61	0.16	0.03	0.00	2.94
<b>90</b>	0.65	1.58	1.10	0.26	0.04	0.01	3.64
<b>120</b>	0.53	1.35	1.41	0.68	0.15	0.02	4.14
<b>150</b>	0.80	1.71	1.44	1.14	0.48	0.18	5.75
<b>180</b>	1.19	2.55	2.81	2.92	0.97	0.31	10.75
<b>210</b>	1.01	2.17	1.89	1.47	0.39	0.10	7.03
<b>240</b>	0.94	1.48	0.85	0.36	0.14	0.04	3.81
<b>270</b>	0.94	1.29	0.75	0.55	0.15	0.05	3.73
<b>300</b>	1.23	2.81	3.45	3.21	0.79	0.18	11.67
<b>330</b>	1.34	3.11	4.52	5.25	2.20	0.69	17.11

### *Frequenze di apparizione stagionali – Estate*

Durante la stagione estiva la classe delle calme risulta molto frequente, esse costituiscono il 20.18% dell'intera popolazione (figura 21, tabella 17). Dalla distribuzione delle frequenze di apparizione dei venti per direzione di provenienza si osserva inoltre una concentrazione dei venti di NNO la cui percentuale di presenze rispetto all'intera popolazione si aggira intorno al 22.9%. Al secondo posto si collocano i venti da ONO con una frequenza superiore al 12%. I venti da Nord fanno registrare una percentuale superiore al 9%, mentre ai venti da Sud ed ENE compete un frequenza pari al 6% di tutte le osservazioni. I venti provenienti dal primo e secondo quadrante hanno un'incidenza piuttosto esigua con percentuali del 3%.

Se si classificano i dati secondo l'intensità si osserva che i venti con velocità minore di 7 nodi (calma, I e II classe Beaufort) rappresentano il 54.21% della popolazione, pertanto, si giunge alla soglia della III classe con una percentuale disponibile del 45.8%. I venti di III e IV classe costituiscono da soli il 39.3% della popolazione, mentre i venti con velocità maggiore di 17 nodi costituiscono il restante 6.5% del totale. Se si passa a considerare solo i venti con velocità superiore a 17 nodi si osserva che le frequenze maggiori spettano ai venti da NNO. Anche i venti spiranti da ONO e da Nord presentano un'alta intensità, mentre i venti spiranti dalle altre direzioni sono caratterizzati da velocità piuttosto basse.

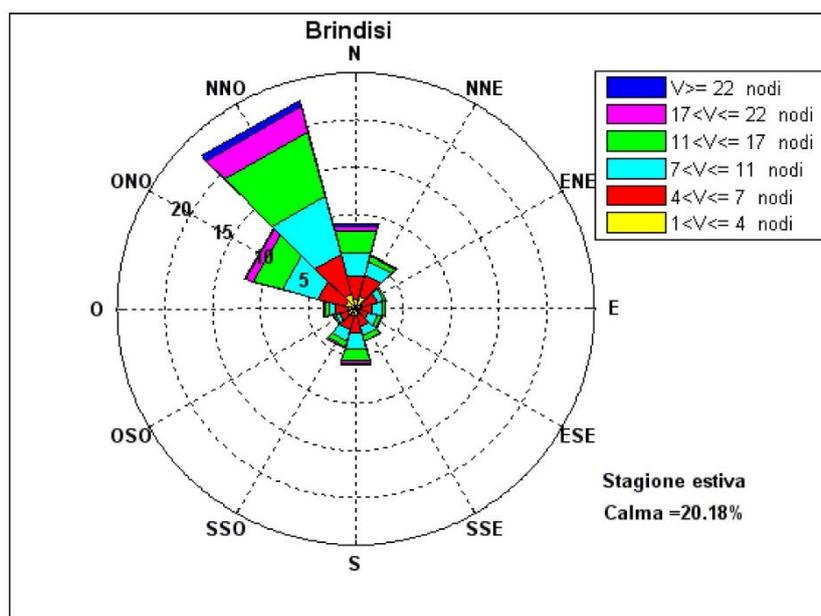


Figura 21 – frequenze di apparizione estive.

Tabella 17 - frequenze estive.

dir (°N)	VELOCITA' (nodi)						TOT
	1<U≤4	4<U≤7	7<U≤11	11<U≤17	17<U≤22	U>22	
0	1.05	2.54	2.61	2.25	0.60	0.23	9.28
30	1.32	2.47	1.43	0.62	0.13	0.04	6.01
60	0.86	1.52	0.69	0.21	0.05	0.01	3.34
90	0.51	1.29	1.04	0.27	0.03	0.00	3.14
120	0.40	1.01	1.01	0.46	0.08	0.01	2.97
150	0.73	1.30	0.91	0.60	0.11	0.01	3.66
180	0.77	1.84	1.70	1.35	0.37	0.07	6.10
210	0.81	1.55	1.16	0.71	0.14	0.03	4.40
240	0.88	0.92	0.41	0.22	0.04	0.01	2.48
270	0.84	1.33	0.73	0.40	0.10	0.02	3.42
300	1.13	2.96	3.95	3.15	0.83	0.13	12.15
330	1.62	4.38	6.38	7.02	2.77	0.71	22.88

### *Frequenze di apparizione stagionali – Autunno*

Dall'elaborazione delle registrazioni riferite alla stagione autunnale emerge che la classe delle calme risulta molto frequente, esse costituiscono il 17.28% dell'intera popolazione (tabella 18, figura 22). Dalla distribuzione delle frequenze di apparizione dei venti per direzione di provenienza risulta che il maggior numero di osservazioni spetta ai venti da NNO la cui percentuale di presenze rispetto all'intera popolazione si aggira intorno al 13%. Al secondo posto si collocano i venti da Sud con una frequenza superiore al 12%. I venti da SSE fanno registrare una percentuale pari a circa il 10%, mentre ai venti da Nord e da NNE compete un frequenza superiore al 7% di tutte le osservazioni. I venti provenienti dal primo e secondo quadrante hanno un'incidenza piuttosto esigua con percentuali del 3%.

Se si classificano i dati secondo l'intensità si osserva che i venti con velocità minore di 7 nodi (calma, I e II classe Beaufort) rappresentano il 50% della popolazione, pertanto, si giunge alla soglia della III classe con una percentuale disponibile del 50%. I venti di III e IV classe costituiscono da soli il 39.4% della popolazione,

mentre i venti con velocità maggiore di 17 nodi costituiscono il restante 10.7% del totale. Se si passa a considerare solo i venti con velocità superiore a 17 nodi si osserva che le frequenze maggiori spettano ai venti da NNO. Anche i venti spiranti da Sud, da Nord e da NNE presentano un'alta intensità, mentre i venti spiranti dalle altre direzioni sono caratterizzati da velocità piuttosto basse.

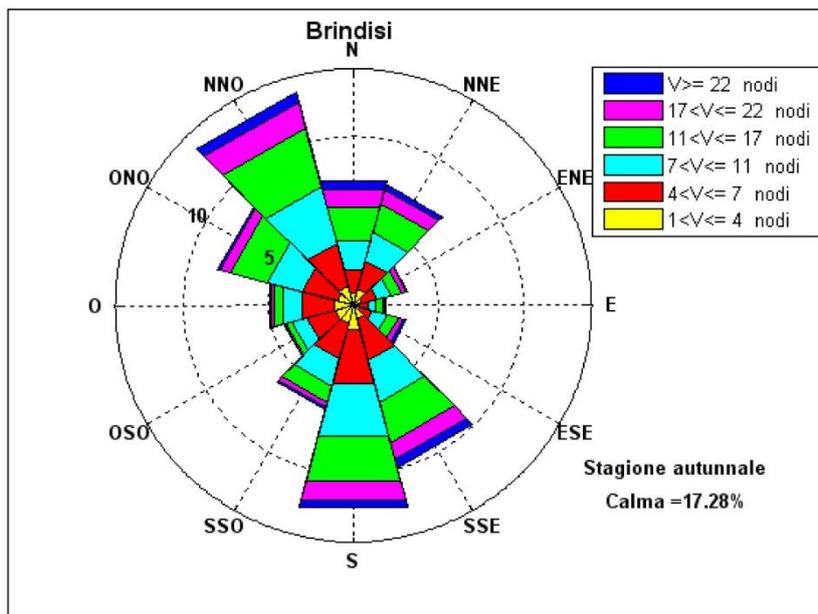


Figura 22 - frequenze di apparizione autunnali.

Tabella 18 - frequenze autunnali.

dir (°N)	VELOCITA' (nodi)						TOT
	1<U≤4	4<U≤7	7<U≤11	11<U≤17	17<U≤22	U>22	
<b>0</b>	0.72	1.44	1.82	2.04	1.02	0.58	7.62
<b>30</b>	1.01	1.75	1.73	1.74	0.85	0.33	7.41
<b>60</b>	0.54	0.91	0.83	0.67	0.28	0.09	3.32
<b>90</b>	0.30	0.62	0.46	0.37	0.14	0.09	1.98
<b>120</b>	0.36	0.82	0.84	0.73	0.33	0.16	3.24
<b>150</b>	0.84	2.55	2.51	2.50	1.00	0.50	9.90
<b>180</b>	1.45	3.31	3.23	2.79	1.15	0.46	12.39
<b>210</b>	1.13	2.14	1.66	1.02	0.28	0.10	6.33
<b>240</b>	1.10	1.71	0.92	0.38	0.11	0.03	4.25
<b>270</b>	1.20	1.94	1.13	0.57	0.19	0.06	5.09
<b>300</b>	1.00	2.11	2.18	2.20	0.61	0.17	8.27
<b>330</b>	1.17	2.61	3.51	3.56	1.58	0.63	13.06

#### 4. Criticità Idro-Geomorfologiche insistenti sul territorio costiero di Torchioralo

- **Palude Quatina e il sistema dunale.** La palude “Quatina” è l’unico punto di interesse idrogeologico poiché costituisce un piccolo bacino (circa 5 ha), un terzo dei quali ospita un’ampia depressione che si prosciuga nel periodo estivo. Negli ultimi anni la sua estensione si è ridotta di circa 2/3 in seguito ad opere di bonifica. La vegetazione è costituita per lo più da canneto, con la presenza di alcuni esemplari di giunco. L’equilibrio ambientale dell’area risulta molto compromesso da fenomeni naturali, ma soprattutto di natura antropica, che determinano una riduzione dello scambio naturale dell’acqua fra la zona umida e il mare (fig. 23).



Figura 23 – Viale delle Dune, separa artificialmente la Palude Quatina sulla sinistra e la zona dunale di Torre S. Gennaro sulla destra, costituendo un impedimento al naturale equilibrio tra la zona dunale e retrodunale.

Solo quando il gradiente idraulico si alza, in inverno, avviene il deflusso idrico. In estate, lo scorrimento è pressoché nullo perciò l’area è paludosa e si prosciuga in estate. Il collegamento tra l’area umida della Quartina ed il mare avviene mediante un breve tratto artificiale costituito da tubazioni di diametro esiguo, che attraversa la strada provinciale sotto il piano carrabile. E’ evidente che il naturale equilibrio tra apporto solido al mare e deflusso idrico attualmente è del tutto compromesso sia a causa delle infrastrutture realizzate sia per la inesatta regimentazione delle acque. La scomparsa della zona retrodunare, l’impedimento del naturale progredire della duna verso l’interno, l’erosione della duna per opera dell’uomo (apertura varchi, costruzione di parcheggi) e della natura (erosione costiera) sono solo alcuni fattori che incidono negativamente sullo stato complessivo di conservazione dell’area. I cordoni dunali infatti rappresentano l’elemento morfologico che, forse più di ogni altro qualifica paesaggisticamente la fascia costiera ed il territorio litorale nel suo complesso. La duna di lido “Presepe” è in incipiente erosione da oltre un ventennio, con una riduzione sia della profondità della spiaggia antistante che del corpo dunale vero e proprio.

- **La foce dei canali.** Rappresenta un importante elemento idrologico-idraulico costituito dall’alveo, dalle aree alluvionali adiacenti e dalla foce a mare. Nel territorio di Torchiorolo sono presenti il Canale Infocaciucci (fig. 7), caratterizzato da foce e alveo armato e rettificato, e il Canale Pilella, ancora in terra. Le foci dei canali rappresentano di fatto un corridoio ecologico, senza soluzione di continuità, connesso al deflusso idraulico delle acque di precipitazione meteorica e allo stesso tempo un corpo idrico ricettore in grado di collegare l’entroterra al mare.

E’ necessario un miglioramento idraulico del reticolo idrografico, anche da espletarsi mediante il ripristino dei collegamenti idraulici obliterati di solchi, scoline interrato e/o alvei intubati parzialmente o totalmente ostruiti.

- **Le falesie.** La costa vede alternarsi tratti a falesia e tratti a spiaggia bassa, con i primi interessati da locali fenomeni di crollo e/o smottamento dei terreni, di per sé molto erodibili, quali sono le alternanze di sabbie e calcareniti presenti (Depositi Marini Terrazzati); al fine di consolidare i tratti a falesia è

necessario procedere ad una bonifica mediante disgaggio (e/o riprofilatura) del ciglio della falesia e successivamente al fine della sua stabilizzazione a terra prevedere gli interventi di inerbimento e piantumazione. Ad esclusione delle superfici già oggetto di progetto esecutivo in fase di esecuzione, ai concorrenti è lasciato campo libero a l'ideazione di procedimenti di recupero e ricomposizione della Falesia per tutto il tratto ancora non trattato.



Figura 24 – Falesia tipicamente costituita da alternanze di sabbie e calcareniti, queste ultime vanno a costituire i ciottoli dell'antistante spiaggia ciottolosa; località Lido Presepe.

- **Lido Cipolla.** Le caratteristiche morfologiche generali del litorale risultano piuttosto irregolari: i fenomeni erosivi infatti, hanno imposto la realizzazione di diverse opere di difesa sia a mare, che a terra disposte in modo più o meno omogeneo sull'intero tratto costiero, costituendo un elemento fortemente caratterizzante del litorale in oggetto. In particolare lungo il tratto della marina denominata "la Cipolla", ubicata nella zona meridionale della fascia litoranea di competenza comunale, le opere di difesa (gabbionate), che sono ubicate quasi a diretto contatto con l'abitato, sovrastano quasi integralmente l'arenile rendendolo praticamente inutilizzabile. Partendo dal punto più a nord dell'area interessata dall'intervento, si evidenzia il cedimento strutturale di parte della gabbionata realizzata negli anni '90, causato dalla forza erosiva delle acque di dilavamento di origine piovana provenienti dalla strada sovrastante, provocando il generale distacco dalla falesia e della gabbionata con il suo ribaltamento. Risulta attualmente finanziato, in attesa di avvio lavori, un progetto che prevede la prosecuzione degli interventi di Difesa già realizzati in località "Presepe" e altri da realizzare in località "Cipolla" previsti nel Progetto di consolidamento di un tratto di Falesia, entrambi facenti parte del Piano Territoriale di Difesa della Fascia Costiera dai fenomeni di subsidenza ed erosione, approvato dai comuni di Brindisi e Torchiarolo e dagli altri Enti ed Autorità competenti.

## 5. Proposte di ripristino e salvaguardia dei naturali equilibri idrogeomorfologici

Per la conservazione delle spiagge salentine è assodato che “non potendo intervenire sulle cause naturali del degrado, bisogna studiare le strategie più opportune per contrastarne, attenuarne o eliminarne le conseguenze”. Il tratto costiero in analisi è stato oggetto di numero studi, in grado di fornire indicazioni di massima sui depositi di spiaggia, dal punto di vista tessiturale e composizionale. Si tratta di dati eterogenei in quanto a modalità e periodi di campionamento (in relazione ai cicli meteomarini) oltre che relativi a campioni prelevati in un ampio lasso di tempo, ma comunque tutti provenienti dalla fascia di spiaggia compresa tra la base delle dune e la parte sommersa a profondità non superiore a 3-4 m (teoricamente coincidente con il piede della barra esterna), dove appare più attiva la deriva longitudinale dei sedimenti e limitate sembrano le perdite verso terra e le parti più profonde dei litorali. La fascia costiera in analisi risulta soggetta a condizioni mareografiche e idrodinamiche relativamente omogenee e presenta sedimenti sabbiosi a bassissima percentuale di frazioni limoso-argillose, alternati a tratti ciottolosi che si rinvergono localmente lungo costa con ciottoli provenienti dalla disgregazione del materiale calcarenitico della falesia in erosione.



Figura 25 - Falesia tipicamente costituita da alternanze di sabbie e calcareniti, queste ultime vanno a costituire i ciottoli dell'antistante spiaggia ciottolosa; località Lido Cipolla.

Nel tratto di costa in questione, le spiagge emerse formano ampie falcature (3-5 km) delimitate da promontori altimetricamente e planimetricamente piuttosto modesti, e sono a loro volta suddivise in serie di falcature di dimensioni più contenute da scogli e opere antropiche aggettanti quali argini di foce di canale (canale Infocaciucci). Il trasporto longitudinale lungo costa dei sedimenti appare caratterizzato da cicli annuali (o di maggiore durata) con fasi alterne di movimentazione delle sabbie in direzione SE e NO a seconda delle prevalenti condizioni anemometriche di lungo periodo. In condizioni meteomarine ordinarie (quindi non con mareggiate o burrasche), sembrano inoltre mancare significativi scambi di sedimenti tra le summenzionate falcature litoranee.

L'obiettivo principale degli interventi di ripristino dovrebbe essere relativo alla possibilità di rimettere in relazione efficace la Palude Quatina con la duna, la spiaggia e il mare, considerando che tale sistema ambientale afferisce al classico sistema morfologico della letteratura geomorfologica “Spiaggia - Duna - Palude di retroduna”; deve pertanto permettersi il ripristino delle interconnessioni idrauliche-morfologiche-

ecologiche interrotte o parzialmente funzionanti ai fini di una corretta ed efficace ri-ambientalizzazione con conseguente miglioramento degli aspetti e delle funzionalità paesaggistiche.

### 5.1. La linea di costa: ripascimento artificiale protetto mediante ReefBall™

Sotto l'aspetto degli interventi specifici, è necessaria una ricostruzione della linea di costa mediante interventi di ripascimento morbido protetto (fig. 26).



Figura 26 – Esempio di ripascimento effettuato all'Isola di Ischia (fonte Atlante APAT 2007).

Scopo dell'intervento è quello di stabilizzare e ampliare la spiaggia in erosione, andando la stessa a costituire una valida difesa per gli ecosistemi dell'entroterra.

La linea di costa rappresenta in realtà una ampia fascia dinamica variabile, sulla quale è necessario disporre volumi per ca. 30.000 mc di sedimenti sabbiosi-ghiaiosi compatibili granulometricamente e mineralogicamente (previo parere ARPA), rivenienti sia da depositi sabbiosi-ghiaiosi continentali (cave terrestri) che da giacimenti marini (cave marine, in rif.to al PRC); queste ultime, eventualmente localizzate sui fondali antistanti il tratto di costa di Torchiarolo o in aree marine prossimali entro 1 km dalla linea di costa, ovvero su uno specchio d'acqua più ampio (25 kmq) tra capo di Torre Cavallo (BR) e Casalabate (LE). Al fine di poter estrarre i sedimenti sabbiosi, è necessaria una preliminare caratterizzazione stratigrafico-giacimentologica della disponibilità sabbiosa, come già fatto nell'ambito del “Rapporto tecnico sullo stato delle conoscenze e le prospettive della ricerca per il reperimento di depositi sabbiosi relitti sulle piattaforme continentali della puglia, idonei al ripascimento dei litorali in erosione” dall'Autorità di Bacino della Puglia (fig. 27), che individua una possibile area con presenza di depositi sabbiosi proprio nel tratto di costa antistante San Pietro Vernotico, a nord di Torchiarolo (fig. 27).

Le sabbie utilizzate negli ultimi decenni per i ripascimenti eseguiti in Italia comprendono una vasta gamma di materiali estratti sia da cave di terraferma (specie in alvei fluviali) che da cave in mare, oppure dragati da fondali di porti, foci e moli. Tuttavia la definizione della tipologia composizionale e granulometrica di tali materiali, nonché il relativo reperimento, costituiscono ancora argomenti particolarmente dibattuti sul piano teorico. Nell'ottica del “restauro geoambientale”, si dovrebbero usare sabbie con le stesse caratteristiche sedimentologiche di quelle degli arenili che si intendono salvaguardare o ricostruire. Tali materiali, peraltro difficilmente reperibili, saranno però soggetti agli stessi processi erosivi dei sedimenti originari, a meno di modifiche del regime idrodinamico. Nemmeno l'uso di materiali più grossolani di quelli originari può essere ritenuto un sistema valido in quanto, al di là della negatività dell'impatto paesaggistico e ambientale, tale sistema innesca gravi effetti negativi dovuti alla diversa mobilità dei sedimenti, come l'erosione delle spiagge sottoflutto, al pari della posa in opera di pennelli.

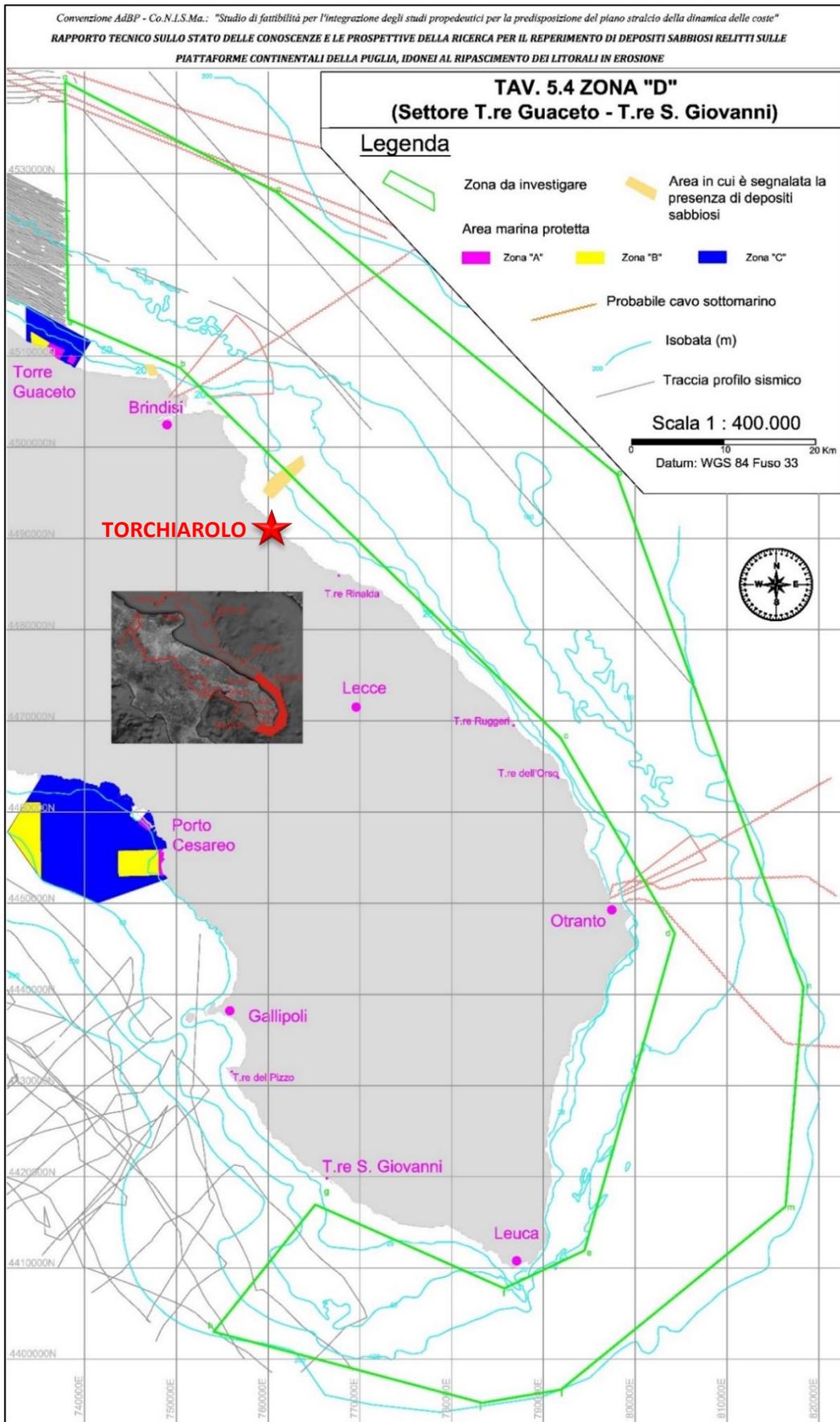


Figura 27 – “Rapporto tecnico sullo stato delle conoscenze e le prospettive della ricerca per il reperimento di depositi sabbiosi relitti sulle piattaforme continentali della puglia, idonei al ripascimento dei litorali in erosione - Tav.5.4”; viene evidenziata la presenza di depositi sabbiosi nel tratto di costa antistante San Pietro Vernotico, a nord di Torchiarolo.

Dunque, al fine di rendere più efficace l'intervento di ripascimento, si dovrebbe prevedere l'installazione di barriere sommerse (fig. 28) in grado di limitare l'azione del moto ondoso, nell'ottica di una funzione di riqualificazione e salvaguardia dei sistemi dunali e dei tratti a falesia, retrostanti le aree che saranno interessate dal ripascimento (fig. 29).

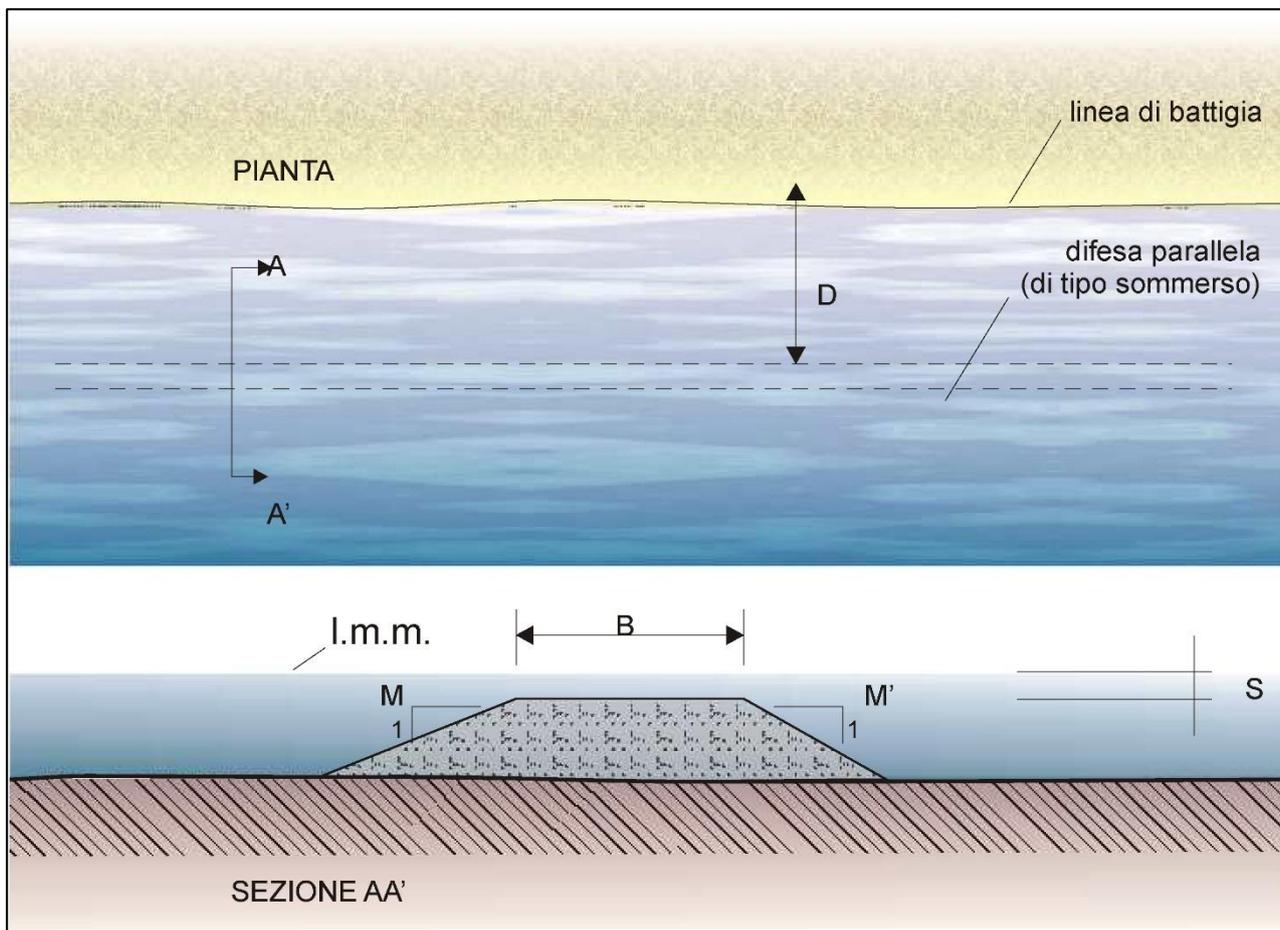


Figura 28 - Planimetria e sezione di un sistema di difesa con scogliera sommersa distanziata dalla riva (fonte Atlante APAT 2007).

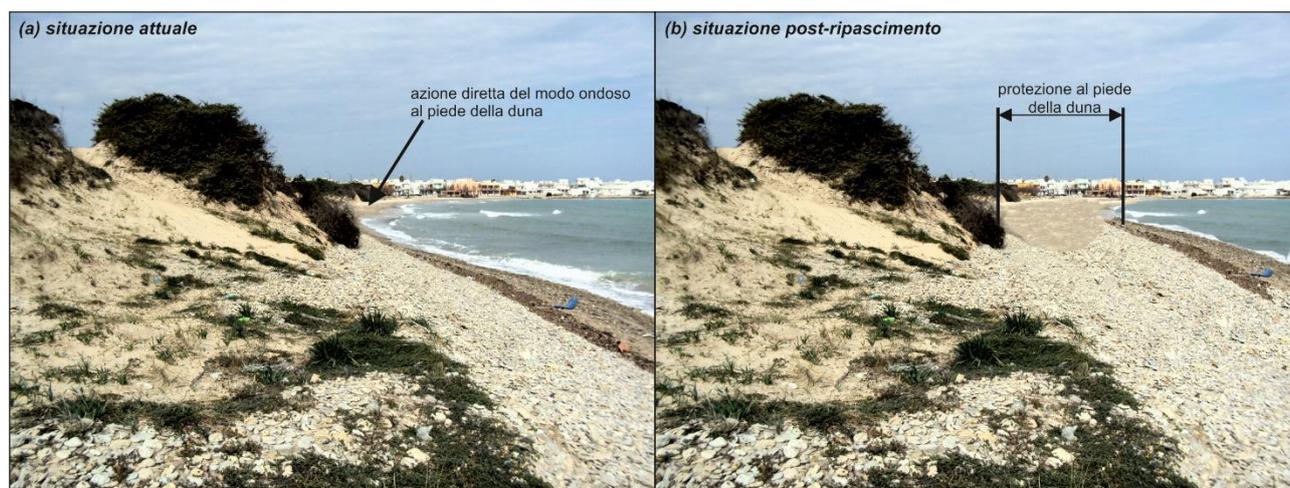


Figura 29 – (a) situazione attuale del sistema duna-spiaggia antistante la Palude Quatina, sullo sfondo si osserva la darsena del Club Nautico Torre S. Gennaro; come si vede dalla stessa foto, il mare esercita una azione diretta al piede della duna, comportando di fatto importanti squilibri dell'assetto naturale. (b) situazione post-ripascimento ottenuta mediante elaborazione computerizzata nella quale è facile intuire come l'azione di ripascimento determini un "allontanamento" del mare dal piede della duna, favorendo la conservazione e la rinaturalizzazione della stessa.

Le barriere sono tra le più comuni opere realizzate per la protezione dei litorali interessati da fenomeni erosivi di varia tipologia ed entità, e sono normalmente realizzabili in tempi relativamente brevi ed a costi accessibili. L'azione svolta dalle barriere sommerse richiama quella delle barriere coralline a difesa delle isole oceaniche.

A differenza delle barriere emergenti, quelle sommerse assicurano il ricambio d'acqua fra l'area esterna e interna, e quindi la salubrità delle acque di balneazione anche nei mesi estivi, non interrompendo in modo traumatico la naturale dinamica di trasporto dei sedimenti lungo riva; prevedendole continue inoltre, si eviterebbero i problemi delle fastidiose *rip currents* attraverso i varchi nel corso delle mareggiate. I vantaggi delle barriere sommerse rispetto a quelle emerse sono senza dubbio legati anche al minore impatto paesaggistico.

La protezione delle coste è da molti anni una delle prime necessità per lo sviluppo socioeconomico delle zone a ridosso dei litorali. L'utilizzo sempre più diffuso delle zone della fascia costiera ha incrementato questa necessità, per la salvaguardia dagli eventi estremi e per un uso razionale delle risorse costiere, nell'ottica di una pianificazione oculata del territorio. A causa dei costi elevati di esecuzione e di posa in opera delle strutture tradizionali, si stanno cercando soluzioni alternative per la protezione delle spiagge, capaci al contempo di offrire il minor impatto ambientale e paesaggistico possibile. Si sta diffondendo l'utilizzo di opere non convenzionali per la difesa della costa, intendendo per non convenzionale una struttura che può essere progettata con materiali differenti da quelli tradizionali, spesso più economici perché disponibili in situ ovvero strutture a basso impatto ambientale ovvero ancora strutture in grado di dissipare l'energia del moto ondoso con metodi alternativi, in modo da creare nuovi flussi di circolazione nelle zone nearshore ed eventualmente riuscire a limitare i processi erosivi e a facilitare la stabilizzazione della costa, creando nuovi profili di equilibrio.

Si prevede dunque l'installazione di barriere soffolte costituite da elementi prefabbricati in calcestruzzo ad elevata compatibilità ambientale, a composizione con il PH abbattuto fino ad un valore prossimo a quello del mare. Sistemi di questo tipo più utilizzati nel mondo sono i cosiddetti "Reef Ball™" (fig. 30). Progetti pilota con l'installazione di questa tipologia di strutture o equivalenti sono già partiti in Puglia (San Cataldo Lecce, Frigole), sull'onda di quanto già sperimentato con risultati soddisfacenti in alcune località marittime delle Marche e degli Abruzzi.



Figura 30 – Esempio di Reef Ball a tre mesi dalla loro installazione (fonte ENEA).

Come anticipato, i Reef Ball sono strutture in calcestruzzo di varie dimensioni, impiegate come ausilio nel controllo dell'erosione costiera, ma utilizzate anche per migliorare l'habitat e la biodiversità dell'ambiente marino. I singoli elementi hanno una forma caratteristica simile ad un igloo e vengono posizionate in fondali con sabbie o praterie algali marine. La forma a campana e la superficie costellata di molti fori di varie dimensioni favoriscono la colonizzazione da parte di varie specie, oltre a trattenere una certa quantità di sedimenti. Si tratta di un sistema flessibile in grado di arginare il lavoro costante delle correnti e delle mareggiate che specie durante l'inverno erodono ed assottigliano il litorale sabbioso. La particolarità di questa tipologia di strutture è che i blocchi che comporranno la barriera sono cavi e traforati, presentano cioè dei "buchi" che consentono all'acqua di passarvi attraverso. E questo per un duplice obiettivo. Innanzitutto quello di smorzare la pressione esercitata dalla corrente attraverso il filtro costituito dai fori (fig. 31). Un'azione che lascia inalterato il naturale ricambio tra mare e spiaggia evitando che la sabbia venga portata via dal litorale. Altro aspetto significativo è che questi stessi blocchi diverranno un rifugio per la fauna marina, favorendo così il processo di ripopolamento delle acque più prossime alla riva.

I vantaggi connessi alla realizzazione di una barriera in Reef Ball risiedono, inoltre, nell'economicità dell'intervento e nella facile realizzazione e posa in opera dei moduli. Gli elementi, realizzati mediante stampi in fibra di vetro, possono essere costruiti, ove possibile, direttamente in loco, eliminando del tutto i costi di trasporto. La produzione dei moduli avviene tramite l'impiego di stampi, le cui dimensioni sono da scegliere in funzione delle esigenze progettuali. Gli stampi sono muniti di sfere di dimensioni variabili in modo da conferire al Reef Ball la caratteristica forma campaniforme, forata lateralmente. La cavità centrale viene realizzata mediante una boa resistente alle alte temperature e pressioni raggiungibili durante il getto della miscela di calcestruzzo, che avviene dalla sommità centrale. La posa in opera viene semplicemente eseguita mediante l'impiego di chiatte e gru. In alternativa, il trasporto delle unità fino alla sezione di posa può essere effettuato mediante il galleggiamento degli elementi, preventivamente dotati di borse atte ad assolvere tale funzione, e la disposizione sul fondale viene ultimata da sub.

Eventuali problemi di instabilità sono superabili mediante l'impiego di ancoraggi, da scegliersi in funzione della movimento componente di spostamento che si intende limitare e dal tipo di fondale (morbido o duro).

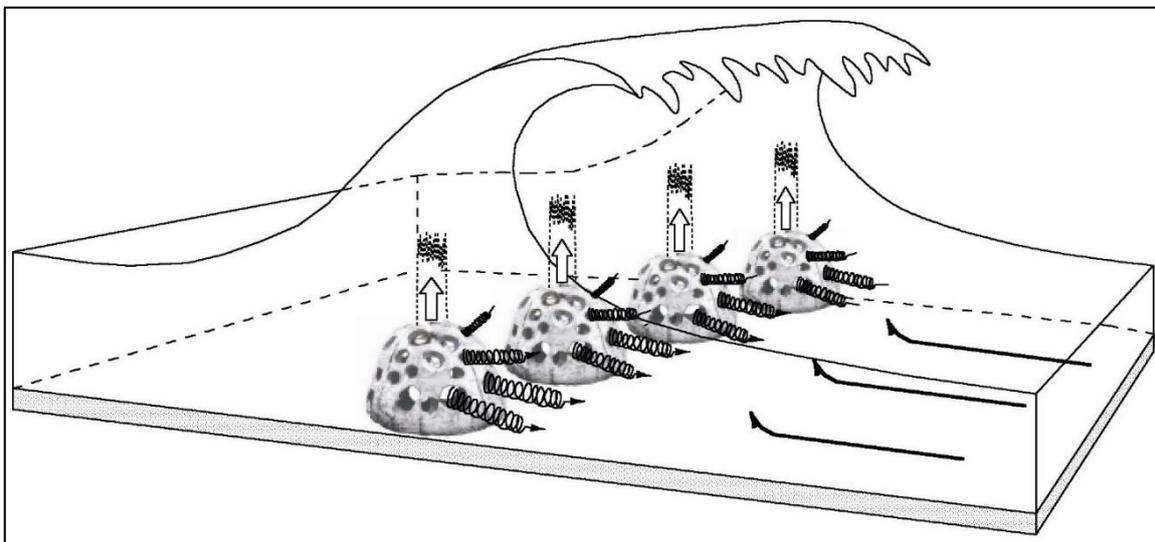


Figura 31 – Azione di attenuazione della pressione esercitata dalla corrente attraverso il filtro costituito dai fori delle reef ball (fonte ENEA).

Gli elementi andranno a costituire una barriera soffolta continua che si svilupperà in direzione parallela alla costa, partendo da una batimetrica di ca. - 3,00/2,50 m sotto il livello del mare, in modo da rimanere sempre a ca. - 0,50 m dal livello medio del mare.

Per l'intervento in progetto si prevede l'utilizzo di elementi noti come "Goliath Ball" (scheda tecnica in appendice) muniti di un sistema di ancoraggio caratterizzato da 6 coni di fondazione posti alla base di ciascun elemento in modo da limitare eventuali scorrimenti orizzontali che possono insorgere in occasione delle mareggiate più intense; essi saranno disposti in file da tre (configurazione nota in letteratura come BS-1e (Buccino et al., 2013; 2014)), sfalsate alla base di circa 80 cm (fig. 32)

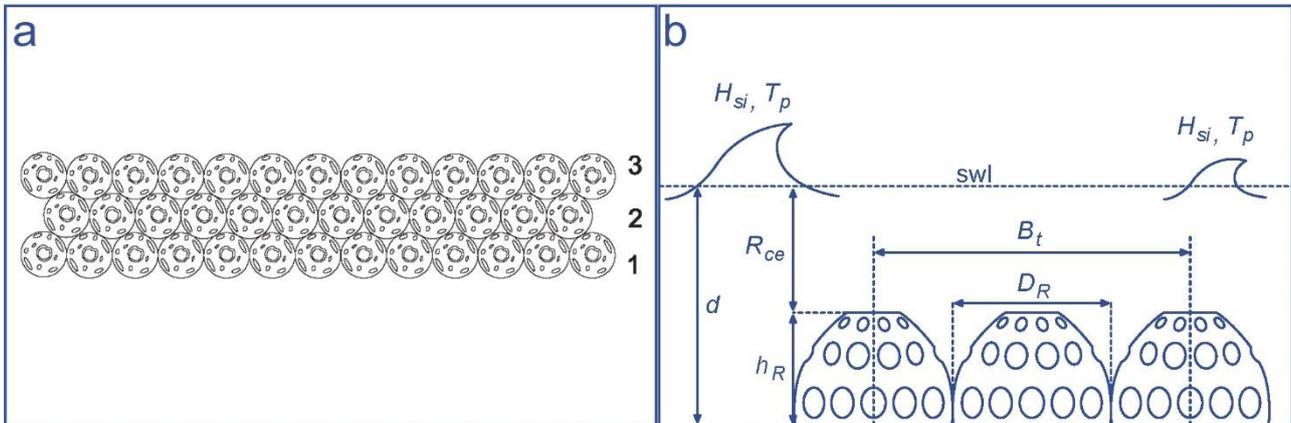


Figura 32 – Configurazione ReefBall BS-1e scelta per l'intervento; (a) vista in pianta; (b) vista in sezione con indicazione delle variabili adoperate in caso di elementi posizionati direttamente sul fondale: Hst, altezza dell'onda alle spalle dell'opera; Hsi, altezza dell'onda incidente; Rce, sommergenza della struttura; DR, diametro di base;

Nella progettazione di barriere sommerse è molto importante la stima del coefficiente di trasmissione  $K_t$ , pari al rapporto tra l'altezza d'onda alle spalle dell'opera,  $H_{st}$ , e quella incidente la stessa,  $H_{si}$ , che in pratica restituisce una stima quantitativa del grado di protezione offerto alla spiaggia.

Nel caso di strutture realizzare in elementi Reef Ball, il calcolo può essere effettuato mediante la formula di Buccino et al. (2013; 2014). Il modello di calcolo consiste in tre equazioni differenti da adoperarsi in funzione del rapporto tra la sommergenza della struttura  $R_{ce}$  e l'altezza d'onda incidente  $H_{si}$  (Fig. 33).

$$K_t = \frac{1}{1 + 0,3R^{*-1,5} b^*} \quad \text{per } R^* \geq 0,71$$

$$K_t = \left( -0,25 \min(4; b^*) + 0,9474 \right)^2 \quad \text{per } R^* \leq 0,4$$

$$K_t = a \cdot R^* + b \quad \text{per } 0,71 \geq R^* > 0,4$$

In cui:

$$R^* = \frac{R_{ce}}{H_{si}}$$

$$b^* = \frac{v \cdot (n-1) \cdot D_R}{\sqrt{H_{si} \cdot L_{0p}}}$$

Figura 33 - Equazioni differenti da adoperarsi in funzione del rapporto tra la sommergenza della struttura  $R_{ce}$  e l'altezza d'onda incidente  $H_{si}$ , per il calcolo del coefficiente di trasmissione  $K_t$  nella progettazione di barriere sommerse realizzate in elementi ReefBall (Buccino et al. (2013; 2014).

Nella definizione di  $b^*$ ,  $D_R$  è il diametro di base degli elementi ed  $n$  è il numero di file adoperate.  $L_{0p}$  è la lunghezza d'onda calcolabile, noto il periodo  $T_p$ , dalla relazione approssimata  $L_{0p} = 1,56T_p^2$ ;  $v$  è un coefficiente correttivo che vale 1 se gli elementi sono perfettamente serrati e 0,6 se gli elementi sono distanziati. I coefficienti  $a$  e  $b$  della terza relazione si ottengono come interpolazione lineare delle prime due.

## 5.2. Recupero delle dune e dei tratti a falesia

L'intervento di ripascimento morbido protetto, così realizzato, dovrebbe di conseguenza portare immediati benefici al rallentamento dei processi erosivi riguardanti il sistema dunale, e i tratti di costa a falesia, direttamente interessati dall'azione erosiva del moto ondoso.

Le dune rappresentano il risultato di lenti processi di accumulo di sedimenti ad opera del vento e costituiscono un serbatoio in grado di rifornire naturalmente le spiagge soggette ad erosione. I principali meccanismi di degrado dipendono sia da fattori naturali, quali l'erosione delle coste, le oscillazioni del livello marino e la subsidenza, sia da fattori antropici, quali l'urbanizzazione del litorale e lo sviluppo di infrastrutture lungo costa.

I cordoni dunali potrebbero beneficiare di ulteriori tecniche di restauro e conservazione, attraverso ad esempio, l'installazione di captatori passivi di sabbia di varia tipologia e forma (vimate rivestite, schermi frangivento e vegetazione resistente o adatta all'ambiente marino) in grado di simulare l'attrito prodotto dalla vegetazione; questo porterebbe garantiti benefici nel caso in cui siano presenti piccoli varchi prodotti all'interno dei cordoni dunali dal passaggio dei pedoni. Ulteriore consolidamento può essere ottenuto attraverso l'installazione di "elementi morti" quali, tavolate (in fibre di cocco o juta), ramaglie prodotte da potature di pino o eucalipto, palizzate o elementi in plastica. Tali elementi, introdotti sul sistema spiaggia-duna, rallentano l'azione del vento favorendo il deposito di sedimento e successivamente della vegetazione. Anzi, l'attecchimento della stessa vegetazione può essere favorito dalla composizione nei suoli dei captatori di natura organica.

I tratti a falesia, intesa come "costa alta" quando supera gli 1/1,5 m di altezza, costituita da un'alternanza di materiali litoidi calcarenitico-sabbiosi è soggetta localmente a vistosi fenomeni di arretramento. Anch'essa beneficerà dell'intervento di ripascimento morbido protetto, non vedendosi più interessata dall'azione diretta del moto ondoso; sarà necessario valutare, laddove necessario, interventi di disaggancio preventivo e lievi riprofilature del ciglio di scarpata mediante ad esempio la gradonatura della sezione frontemare (fig. 34), eventualmente in continuità strutturale con l'intervento previsto e già finanziato a "Lido Cipolla".

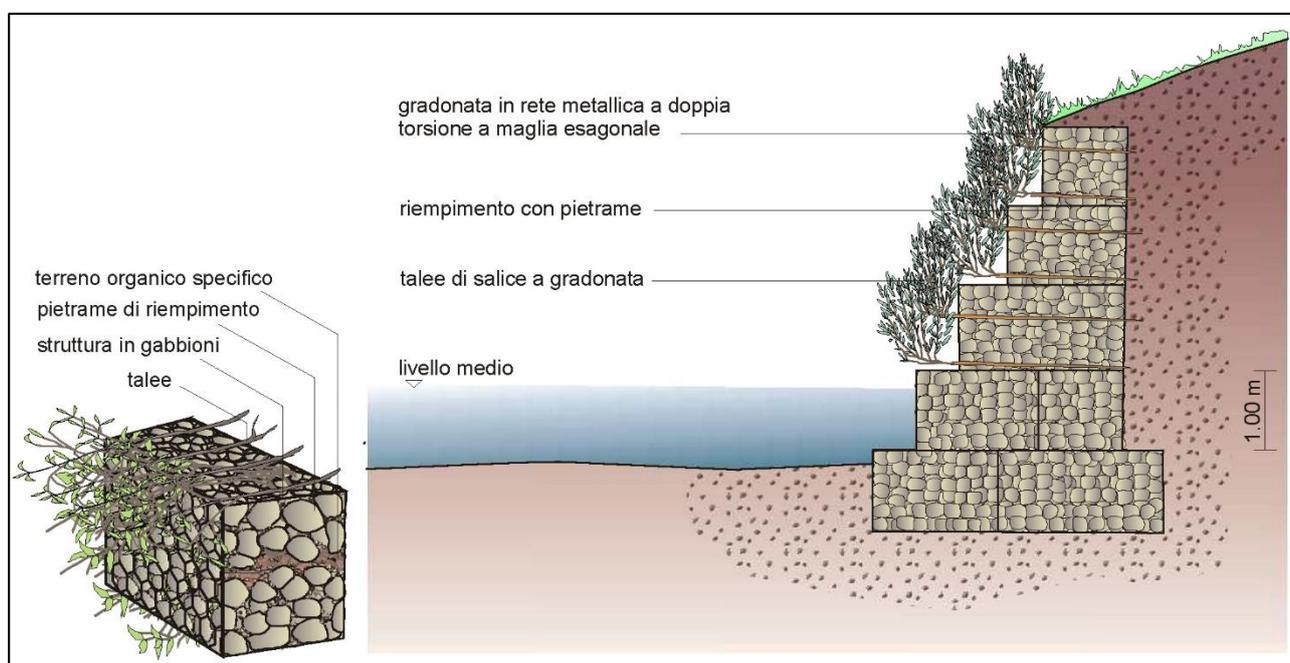


Figura 34 – Esempio di gabbionata in rete metallica zincata rinverditata, a doppia torsione con maglie esagonali tessuta con trafilato d'acciaio. Gli scatolari metallici vengono assemblati e collegati tra loro utilizzando, sia per le cuciture che per i tiranti, un filo con le stesse caratteristiche di quello usato per la fabbricazione della rete. L'abbinamento con le piante prevede l'inserimento di talee di specie arbustive dotate di buona capacità di propagazione vegetativa, all'interno del gabbione in fase di costruzione. Le talee devono attraversare completamente il gabbione ed essere inserite nel terreno retrostante per una profondità che dia garanzia di attecchimento. Tale operazione viene in genere effettuata durante il periodo di riposo vegetativo (fonte APAT).

### **5.3. Recupero e mantenimento idraulico della zona costiera umida**

La circolazione delle acque ed il ricambio idrico tra la Palude Quatina ed il mare rappresentano gli elementi primari necessari al mantenimento dei delicati equilibri fisici e biologici dell'ambiente "lagunare" e delle sue risorse. Nel caso di una circolazione idrica carente, si avrebbe, ad esempio, una naturale evoluzione verso ambienti acquitrinosi, soggetti nel tempo ad interrimento e, conseguentemente, ad una progressiva scomparsa.

Le foci dei canali necessitano di interventi di messa in sicurezza, consolidamento e miglioramento del deflusso idraulico, una sistemazione integrata di tipo idraulica, ambientale e paesaggistica. Per quanto riguarda la messa in sicurezza e il consolidamento, si fa riferimento alle aree prossimali agli argini, oramai irrigiditi dalla cementazione completa dell'alveo in prossimità delle foci a mare. Tali strutture rigide, sono soggette a svuotamento laterale dei terreni lungo-argine, a causa sia del ruscellamento erosivo operato da parte delle acque meteoriche, sia per l'erosione prodotta dalle mareggiate che si abbattano alla foce. La stabilità delle sponde deve essere spesso assicurata tramite opere di protezione e stabilizzazione, che possono essere realizzate mediante l'utilizzo di tecniche a basso impatto sull'ambiente naturale proprie dell'ingegneria naturalistica. Tra le tipologie più frequentemente adottate vi sono le difese con materiali vegetali morti o vivi. In particolare, gli interventi con specie vegetali vive costituite da piante di ambiente lagunare o paludoso, nel rispetto del sistema ecologico ospitante, risultano particolarmente efficaci. L'azione di trattenimento del suolo da parte degli apparati radicali, unitamente alla protezione superficiale conferita da fusto, rami e foglie delle specie vegetali, fanno sì che i rivestimenti di questo tipo abbiano un discreto successo nel controllo dei fenomeni erosivi.

Il miglioramento del deflusso idraulico può essere ottenuto attraverso il semplice ripristino dei collegamenti idraulici oblitterati, di solchi, scoline interrate e/o alvei intubati parzialmente o totalmente ostruiti. Questo tipo di intervento, di semplice concezione, è finalizzato, a migliorare la circolazione idrica dell'area, a prevenire l'interrimento dei canali e a ripristinare le normali caratteristiche della dinamica lagunare. Esso consiste nella ricalibratura del letto dei canali, interessati da un progressivo interrimento, mediante dragaggio. Il sedimento viene asportato mediante l'utilizzo di draghe o pompe draganti. La profondità che va raggiunta è variabile in funzione degli scopi prefissati e della morfologia dell'area. Inoltre, il materiale dragato durante queste operazioni può essere utilizzato per la ricostruzione e/o il ripascimento di dune.

Questo consentirebbe di ottenere immediati benefici anche per le aree umide e paludi annesse alle foci dei canali. Come più volte ripetuto, l'area umida più importante nel territorio di Torchiarolo è rappresentata dalla Palude Quatina. L'intervento da effettuarsi è di tipo integrato e complesso, riguardante il ripristino di un sistema paesaggistico unico a più componenti: idraulico, ambientale e morfologico. L'intervento è mirato al ripristino delle connessioni tra sistemi ambientali terrestri, di transizione e costieri. Tale ripristino, tra stagni costieri e cordoni dunali, permette di ricostituire e riequilibrare il sistema geomorfologico-ambientale "Spiaggia – Duna – Palude di retroduna" in grado di favorire le interconnessioni morfologiche-ecologiche e idrauliche progressivamente interrotte e/o obliterate dalle pressioni antropiche dell'ultimo ventennio. In quest'ottica si prevede di ripristinare l'originaria rete di scoline, solchi di ruscellamento e ogni piccolo canale che defluiva verso lo specchio d'acqua della palude Quatina, attualmente interrati, parzialmente o totalmente, da riporti e rifiuti vari.