

# ONDE MARINE

## Generalità

La superficie libera del mare è in continuo movimento rispetto alla superficie orizzontale di equilibrio che costituisce il livello medio del mare. L'onda si può perciò definire come una perturbazione della superficie del mare.

Le onde possono essere provocate da scambi energetici di varia natura:

- Azione del vento (cinetica)
- Azione delle maree (attrazione lunisolare)
- Esplosioni sottomarine
- Movimenti tettonici

La turbolenza da esse provocata favorisce, fra l'altro, lo scambio dei gas e quindi l'arricchimento dell'ambiente marino e la pulizia dei fondali costieri dai sedimenti alluvionali.

Lo spostamento medio, funzione dello spazio e del tempo, secondo una funzione del tipo  $\eta = \eta(x, t)$ , definisce il moto ondoso.

Anche se a prima vista potrebbe apparire tale, il moto ondoso non è un fenomeno periodico. Può però essere studiato statisticamente sia in funzione del tempo che dello spazio, mantenendo cioè rispettivamente costanti la variabile  $x$  o la variabile  $t$ , nella funzione che rappresenta il moto ondoso.

Le onde legate ai processi meteorologici sono dette onde di vento e si originano per effetto dell'azione del vento sulla superficie del mare. Il processo ha inizio con la presenza di piccole increspature sulla superficie (ben note a chi va a vela), le quali si amplificano con il persistere della causa, portandolo, al momento in cui si raggiunge l'equilibrio energetico, alle condizioni di mare completamente sviluppato.

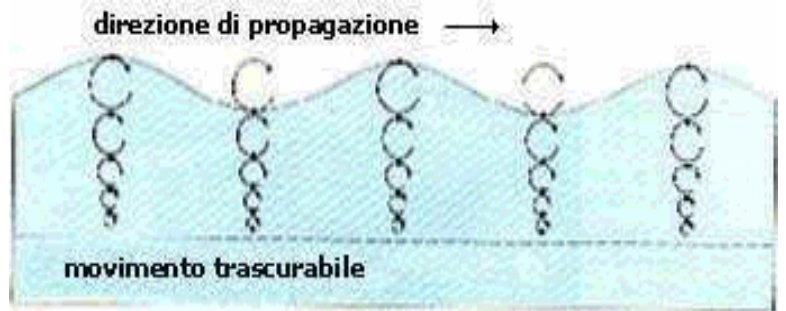


Fig. 1 Il moto delle particelle nell'onda.

## La rappresentazione delle onde marine

La descrizione dei fenomeni ondosi avviene per lo più avvalendosi di modelli: il modello più semplice utilizzabile per descrivere il moto ondoso è il modello dell'onda trocoidale.

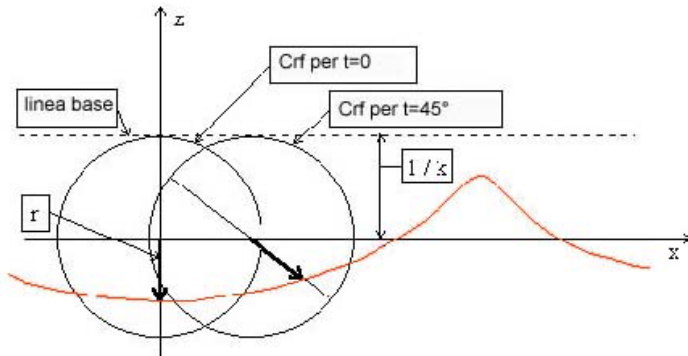


Fig. 2 Descrizione del moto trocoidale.

Il moto trocoidale è il moto composto di un punto posto su una circonferenza di centro  $C$  e di raggio  $r$  che rotola senza strisciare con moto rettilineo uniforme. Di conseguenza, mentre il centro della circonferenza si muove di moto rettilineo uniforme, il punto descrive il moto trocoidale (Fig. 2).

A rigore questa situazione si verifica realmente solo dove le onde assumono una forma più liscia e regolare (si parla di onde significative), per esempio al di là di una tempesta.

Al di là della sua rappresentazione analitica, un'onda può essere descritte attraverso due differenti modalità:

1. Descrizione in funzione del tempo
2. Descrizione in funzione dello spazio

## Descrizione in funzione del tempo

Per la descrizione di un'onda in funzione del tempo, esistono due metodologie:

- Mare lungo
- Mare vivo

**Mare lungo:** è caratterizzato da onde simili, con parametri pressoché costanti. Di conseguenza la descrizione del fenomeno ondoso può essere effettuata considerando i seguenti parametri:

1. Lunghezza ( $L$ )
2. Ampiezza ( $A$ )

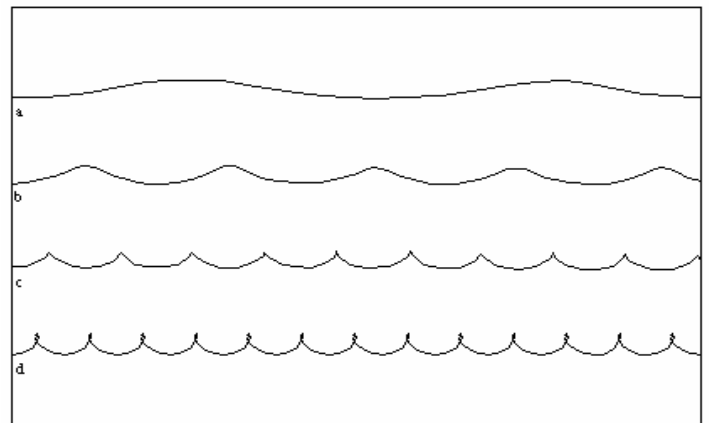


Fig. 3 Processo di sviluppo dell'onda trocoidale ( $kr$ ).

## ONDE MARINE

3. Altezza (H)
4. Velocità di propagazione (spazio percorso nell'unità di tempo, c)
5. Periodo (tempo impiegato dall'onda per percorrere lo spazio di una lunghezza d'onda, T)
6. Ripidità ( $\delta = H/L$  da essa dipende il frangersi delle creste, anche senza l'azione dinamica del vento. Infatti, se la ripidità  $H/L > 1/7$  (onda che si accorcia e diviene ripida), le creste diventano vere e proprie cuspidi e si rompono generando spuma. Tale fenomeno può talora essere utile per avvistare una zona di bassifondi. Infatti, vedendo, per esempio, una zona dove le onde frangono senza un apparente motivo, se ne può dedurre la presenza di un bassifondo, poiché questo, rallentando per attrito le onde, praticamente le accorcia fino a che queste si trovano nella condizione di frangere).

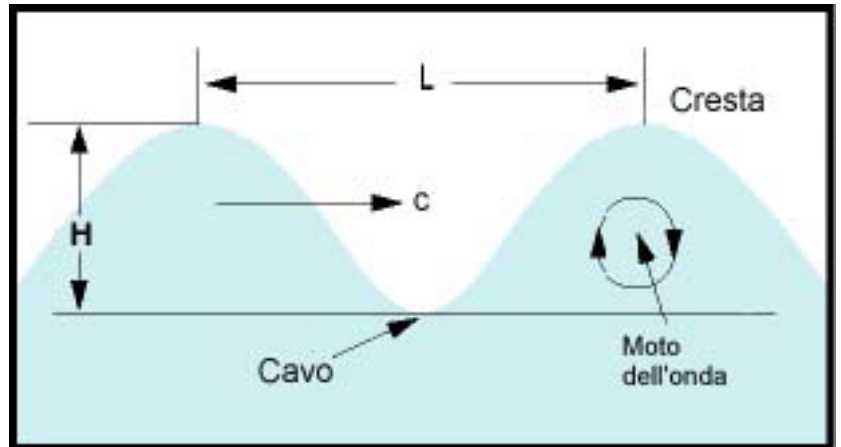


Fig. 4 Principali parametri caratterizzanti l'onda.

Mare vivo: è caratterizzato da onde diverse e pertanto si può rappresentare e descrivere solo attraverso parametri di tipo statistico.

1. Altezza media ( $\langle H \rangle$ )
2. Altezza media delle onde più significative (definita come la media delle altezze eseguite su un campione delle onde più alte pari ad 1/3 di quelle registrate nel corso dell'analisi,  $H_{1/3}$ )
3. Altezza media delle onde più probabili (esprime la media delle altezze eseguite su un numero di onde più alte pari ad 1/10 di quelle registrate,  $H_{1/10}$ ). Evidentemente,  $H_{1/10} > H_{1/3}$ .
4. Altezza delle onde caratteristiche (rappresenta la media delle altezze eseguite su un numero di 15-20 onde meglio sviluppate per ogni gruppo di onde osservato,  $H_c$ . In particolare si ha che  $H_c \sim H_{1/3}$ ).
5. Periodo dell'onda media ( $\langle T \rangle$ )
6. Periodo delle onde caratteristiche (si ricava a partire dal numero di onde osservate in funzione dell'intervallo di osservazione,  $T_c$ ).
7. Età del mare: (è definito come il rapporto tra la velocità dell'onda e quella del vento:  $\beta = c/V$ . L'età del mare dipende dalla durata del vento e dal Fetch, definiti rispettivamente come il tempo ed il tratto di mare su cui il vento agisce con parametri costanti).

Il mare vivo è contraddistinto dalle creste che si formano sulla cima dell'onda.

Spesso si parla di onde lunghe o corte, alte o basse. Esiste a tal proposito una distinzione. Per quanto riguarda l'altezza:

- onde basse hanno un'altezza inferiore ai 2 metri
- onde medie sono alte tra 2 e 4 metri
- onde alte superano i 4 metri

Per quanto riguarda la lunghezza:

- onde corte se sono inferiori a 100 metri
- onde medie fra 100 e 200 metri
- onde lunghe oltre i 200 metri.

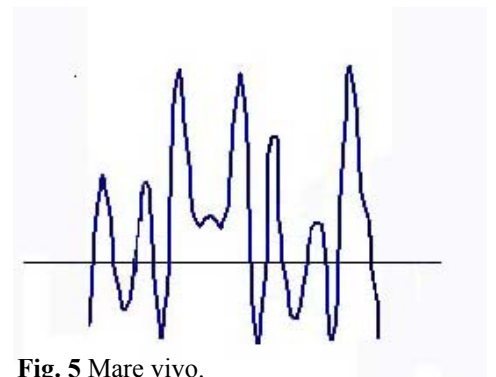


Fig. 5 Mare vivo.

### Descrizione in funzione dello spazio

Nella descrizione in funzione dello spazio si procede effettuando l'analisi dello spettro delle onde che si ottiene riportando su un diagramma cartesiano il quadrato dell'ampiezza dell'onda in funzione della frequenza oppure del periodo dell'onda (si ricordi che  $f = 1/T = c/\lambda$ ).

Il moto ondoso può essere infatti pensato come una serie di oscillazioni con andamento sinusoidale caratterizzati da periodo ed ampiezza differenti.

L'intensità dell'onda risulta essere pari a:

$$I = 2(\pi f V \rho)^2 A^2$$

L'energia dell'onda è data invece dalla relazione:

$$E = 1/2 \rho g A^2 L$$

Pertanto:

$$E \propto I \propto A^2$$

Nel grafico in figura, l'area sottesa rappresenta l'energia dell'onda. Si può allora osservare come gran parte dell'energia sia concentrata a cavallo del massimo ( $f_{\max}$  o  $T_{\max}$ ).

## ONDE MARINE

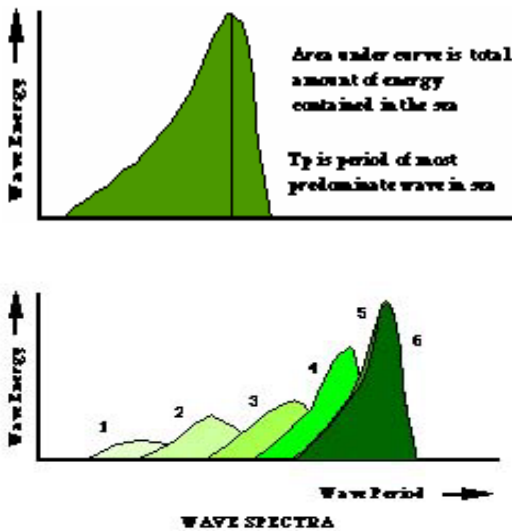


Fig. 6 Descrizione in funzione dello spazio di un'onda e di onde generate da regimi di vento diversi.

La frequenza massima per ( $f_{max}$ ) è funzione della velocità del vento (espressa in nodi) secondo la relazione:

$$f_{max} = 2,476/V$$

### Propagazione delle onde

Le componenti che mantengono oppure riportano l'acqua nella posizione orizzontale sono individuabili da:

1. Tensione superficiale: innesca le onde capillari, che sono le prime increspature che si possono osservare sulla superficie del mare con l'alzarsi del vento, cioè le increspature secondarie che si sviluppano su onde già formate. Le onde capillari si caratterizzano per una lunghezza d'onda molto piccola ( $<2\text{cm}$ , 1,73 per la precisione) ed un'altezza altrettanto ridotta ( $<<1\text{cm}$ ). Il periodo dell'onda è  $T < 1/10\text{s}$ . Vengono studiate solo a scopo scientifico.
2. Forza di gravità: provoca le onde di gravità, che si caratterizzano per i seguenti parametri:  $T = 1+30\text{s}$ ;  $\sim 2 \leq L \leq \sim 100\text{m}$ ,  $H \leq 20\text{m}$  (condizione quest'ultima che, nel suo estremo di destra, definisce le onde anomale).

Le onde di gravità si distinguono inoltre in due sottoclassi:

- Onde corte o di acqua profonda se, definita con  $d$  la profondità del mare, risulta che:  $d > L/2$ . Queste onde presentano una velocità di propagazione proporzionale alla lunghezza d'onda.
- Onde lunghe o di acqua bassa se invece si ha che:  $d > L/25$ . Si caratterizzano per una velocità di propagazione condizionata dalla profondità del mare, in maniera tale che valga la relazione:  $>d \Rightarrow >H$ .

### Effetto della costa

Le onde si formano ad una certa distanza dalla costa, si accrescono e si rompono in prossimità della riva. Al largo, i fronti d'onda formano un certo angolo con la spiaggia; man mano che si avvicinano alla terra ferma, però, le creste si dispongono parallelamente alla costa e si trasformano in frangenti (refrazione della costa). La zona di frangimento, cioè la fascia marina entro la quale le onde si rompono, è indicatrice della profondità dell'acqua: se il fondale è fortemente inclinato si hanno onde di piccole dimensioni, che frangono sulla riva; nel caso di fondali debolmente digradanti, con numerose barre sommerse, invece, le onde si rompono più a largo.

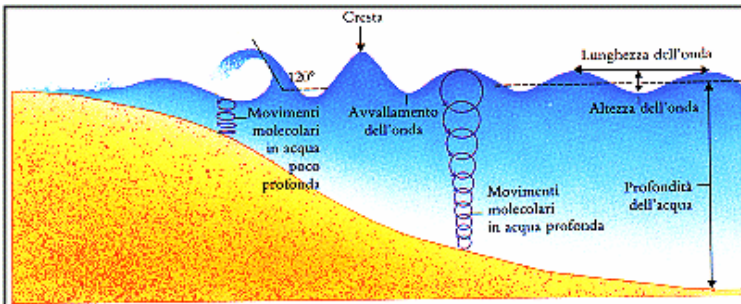


Fig. 7 Onde marine di tipo trasversale.

Anche se l'onda, nel suo complesso, si sposta costantemente verso la riva, le particelle d'acqua che la costituiscono si muovono secondo orbite approssimativamente circolari; queste, in superficie, hanno raggi ampi, ma, con l'aumentare della profondità decrescono fino ad annullarsi. In prossimità della costa, dove il mare è poco profondo, le orbite delle particelle più superficiali sono ancora circolari, ma quelle descritte dalle particelle dei livelli d'acqua profondi cominciano ad appiattirsi, diventando ellittiche, fino a non potersi più muovere in senso verticale. Tale distorsione delle orbite provoca un rallentamento dell'intera onda; il periodo di tempo che intercorre tra il passaggio di un'onda e quello della successiva, invece, rimane costante e per tale motivo le onde diventano più alte e più ripide, fino a rompersi in avanti.



Fig. 8 Deformazione delle onde in prossimità della costa.

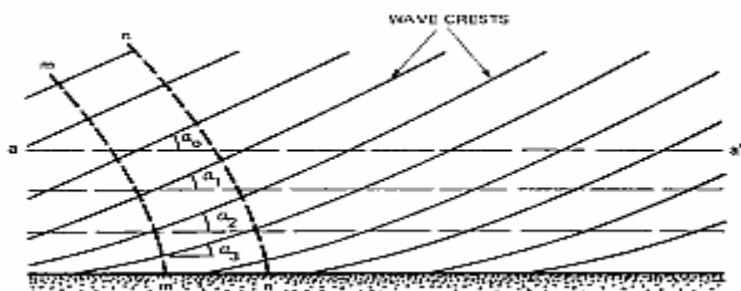


Fig. 9 Refrazione della costa.

### Mare completamente sviluppato

Le onde che hanno origine all'insorgere del vento, si presentano, nella fase iniziale del fenomeno, come una serie di increspature sulla superficie del mare. Con il persistere della causa, esse si amplificano sempre di più, finché non viene raggiunto un equilibrio tra energia acquisita (dal vento) ed energia



## ONDE MARINE

dissipata per effetto dell'attrito di movimento delle particelle che compongono l'onda.

Quando queste condizioni vengono realizzate, il mare diventa stabile e si parla di mare completamente sviluppato.

Fattori responsabili sono:

1. Velocità del vento
2. Durata del vento
3. Fetch
4. Profondità dell'acqua
5. Instabilità dell'aria: l'aria, in media più fredda dell'acqua, essendo riscaldata dal basso, tende ad allontanarsi dal suolo, lasciando un vuoto che viene colmato da movimenti di tipo avvertivo a raffiche da parte dell'aria circostante, con ripercussioni sulla ripidità ( $\delta = H/L$ ).
6. Correnti marine: portano ad un aumento oppure una diminuzione della ripidità, a seconda di come è diretta.

Da osservare che i parametri di durata e fetch sono tabulati e, unitamente alla velocità del vento, sono legati fra loro da leggi di proporzionalità diretta. Ogni volta che i valori calcolati risultano inferiori a quelli tabulati, il mare non è completamente sviluppato.

In sostanza, all'aumentare dell'intensità del vento, l'onda si sviluppa secondo valori di H ed L sempre più grandi. Contestualmente i valori di fetch e di durata devono essere più lunghi, come riportato in figura.

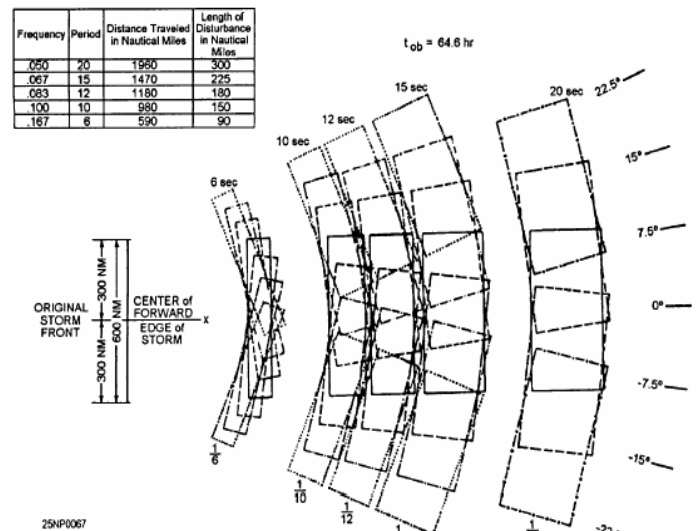
Velocità del Vento (km/h)	Fetch (km)	Durata (h)	Altezza (m)	Lunghezza (m)	Periodo (s)
20	24	2.75	0.33	10.6	3.2
40	176	11.50	1.80	39.7	6.2
60	660	27.50	5.10	89.2	9.1
80	1682	50.00	10.30	158.6	12.4

**Tab. 1** Parametri dell'onda a partire dall'intensità del vento.

In particolare, dalla tabella è possibile osservare come per una velocità del vento di 40km/h, se il fetch è inferiore a 176 km, cioè se la durata del vento è inferiore a 11,5 ore, il mare non può essere completamente sviluppato.

Si può perciò concludere che fetch e durata del vento rappresentano i fattori responsabili della possibilità o meno di avere un mare completamente sviluppato.

Una volta prodotta, l'onda si propaga secondo lo schema di figura 10.



**Fig. 10** Distribuzione spaziale delle onde dopo 64,6 ore dall'uscita dal fetch.

### Determinazione dello stato del mare

Il calcolo dello stato del mare può essere effettuato in base a due metodi:

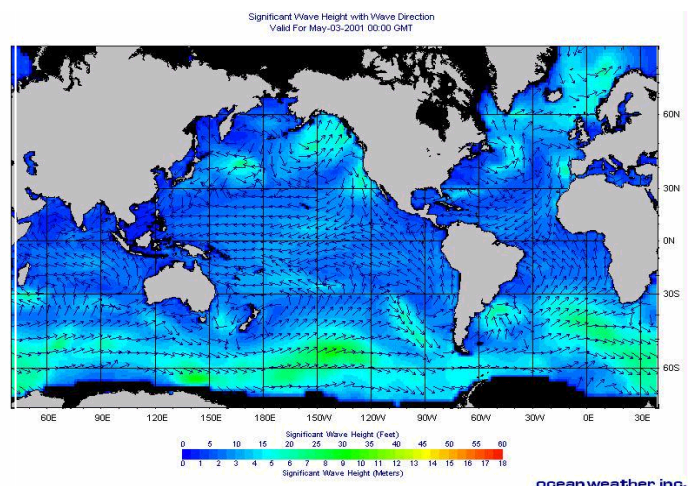
1. Manuale, basato sull'intensità del vento
2. Numerico, grazie a modelli e all'uso del calcolatore.

Le dimensioni delle onde, ossia la forza del mare, possono inoltre essere misurate sulla base della scala di Douglas, riportata in tabella 2.

Lo studio delle onde, correlato ai processi meteorologici, consente infine di effettuare la previsione delle onde.

SCALA DOUGLAS		
FORZA DEL MARE	DESCRIZIONE	ALTEZZA DELLE ONDE (m)
0	calmo	0
1	quasi calmo	0,10
2	poco mosso	0,10 - 0,50
3	mosso	0,50 - 1,25
4	molto mosso	1,25 - 2,50
5	agitato	2,50 - 4
6	molto agitato	4 - 6
7	grosso	6 - 9
8	molto grosso	9 - 14
9	tempestoso	15

**Tab. 2** Scala Douglas per la determinazione dello stato del mare.



**Fig. 11** Previsione dell'altezza delle onde.

## ONDE MARINE

### **Riferimenti Bibliografici**

- ❑ Barry Chorley "Atmosphere, weather & climate" Ed. Routledge, Londra
- ❑ Halliday Resnick Krane "Fondamenti di Fisica" Ed. Ambrosiana
- ❑ <http://apollo.lsc.vsc.edu/>
- ❑ <http://pcangelo.eng.unipr.it/dispense98/Delsoldato113961/Delsoldato113961.htm>
- ❑ <http://w3.ime.net/~nmorse/thesis/>
- ❑ <http://www.geologi.it/>
- ❑ [http://www.geologia.com/area\\_raga/coste/coste.html](http://www.geologia.com/area_raga/coste/coste.html)
- ❑ [http://www.luda.it/~musrosi\\_gruppi\\_biologia\\_pp.sm](http://www.luda.it/~musrosi_gruppi_biologia_pp.sm)
- ❑ <http://www.nautica.it/info/tecnica/onde.htm>
- ❑ <http://www.oceanweather.com/data/global.html>
- ❑ <http://www.tpub.com/weather1/6c.htm>
- ❑ Istituto Idrografico della Marina "Manuale dell'Ufficiale di Rotta"
- ❑ Mosetti "Fondamenti di Oceanologia e Idrologia" Ed UTET
- ❑ Sannino "Meteorologia Nautica" Ed. Italibri
- ❑ Stravisi Dispense di "Oceanografia" Università degli Studi di Trieste (<http://www.dst.univ.trieste.it/OM/OM.html>).