

Paolo Dell'Oro

VELE, MOTORE DELLA STORIA

L'evoluzione delle vele nella storia



Edizioni il Frangente

Indice

5	Prefazione
13	CAPITOLO 1 - Vento e Onde
47	CAPITOLO 2 - Aerodinamica delle vele
85	CAPITOLO 3 - Il mondo antico
125	CAPITOLO 4 - La vela latina
155	CAPITOLO 5 - La vela quadra alla scoperta del mondo
193	CAPITOLO 6 - Galeoni e cannoni
223	CAPITOLO 7 - La pirateria
249	CAPITOLO 8 - Vela contro vapore
289	CAPITOLO 9 - Vele di piacere
321	CAPITOLO 10 - Vele del futuro, la rivincita
335	Glossario
353	Indice analitico

Prefazione

Le nazioni più progredite sono sempre quelle che navigano di più.

Ralph Waldo Emerson



Giacomo Balla, *Velmare*.
(Collezione Credito Emiliano – CREDEM, Reggio Emilia).

Essere attratti verso l'ignoto per svelare ciò che non si conosce, nonostante i rischi che comporta, è una tra le componenti più feconde del carattere umano. Ogni uomo primitivo coltivò dentro di sé il desiderio di svelare qualche mistero o di varcare delle personali "Colonne d'Ercole" che lo attraevano e al tempo stesso lo atterrivano. L'avventura è infatti da sempre un'impresa pericolosa che, se da un lato attira con il suo fascino misterioso, abbatte anche per le minacce inquietanti che può tenere in serbo: neofilia e neofobia, sentimenti perennemente contrapposti nel nostro animo.

Ma, tra le due, la prima deve aver avuto molte volte il sopravvenuto se l'uomo scelse così spesso di lanciarsi verso l'ignoto. E anche se

lo spirito di avventura è stato talvolta contaminato da pulsioni meno nobili come brama di ricchezza, ragioni politiche o religiose, rivalità o ambizioni personali, non v'è dubbio che poche scoperte si sarebbero compiute senza un coraggioso desiderio di nuove conoscenze.

Moltissimi grandi uomini hanno detto la loro a proposito di brama di conoscenza e di scoperta, quasi tutti mettendo in evidenza quanto gloria, ricchezza e onori contino poco al confronto dell'appagamento spirituale che si raggiunge varcando per primi una soglia che dà sul mistero. Ma, se tra filosofi, scienziati e quanti ricerchino la verità c'è unanimità di giudizio, sulla purezza d'animo dei conquistatori di nuove terre sono molti a nutrire qualche dubbio. Ecco una voce che dissente severamente da una visione troppo ottimistica e indulgente nei confronti degli uomini di mare e delle motivazioni che li spinsero a rischiare la propria vita. Cito lo storico statunitense di origine olandese Hendrik Willem van Loon, che nel 1935, con idee molto chiare al riguardo, scriveva:

L'uomo è un animale di rapina. Vive mangiando altri animali e si arricchisce delle spoglie del vicino. (...) Di solito ci studiamo di mascherare questa sgradevole verità sotto uno strato di retorica viziata. Additiamo con orgoglio le conquiste meravigliose dell'uomo nel campo della pace e del progresso. (...) Tutte le volte che lo conducevano a lontane prode, quelle traversate predatorie attingevano una specie di vago lustro, al cui chiarore gli scribi contemporanei avevano buon gioco per mettere in sordina i moventi prosaici e segnatamente utilitari che avevano sospinto gli audaci pionieri, e conferire invece alle loro gesta da pirati il sapore d'una nuova spedizione allestita alla conquista del Santo Graal.¹

Fino a tutto il XIX secolo, l'unico modo di scoprire il mondo raggiungendo altri continenti era quello di arrivarcì per mare. Quindi *Vela, motore della storia?* Ebbene sì. Come si sarebbero potuti scoprire l'America e il mondo intero senza avvalersi della spinta del vento? Ci si può figurare

¹ HENDRIK WILLEM VAN LOON, *Storia della navigazione*, Bompiani, 1935.

la traversata dell'Atlantico o il viaggio di Magellano intorno al globo a remi?² Senza vele si possono attraversare grandi bracci di mare trascinati da qualche tempesta ed avere la fortuna di sopravvivere: questo può spiegare parte della colonizzazione di sperduti arcipelagi del Pacifico.

Fintanto che la navigazione si svolgeva sottocosta o in bacini relativamente ristretti, come il Mediterraneo o il Mar Rosso, l'equazione *grandezza della nave – numero dei rematori – quantità di cibo da imbarcare per la traversata* era risolvibile. Ma per periodi di permanenza in mare aperto più lunghi di una, o al massimo di due settimane, il carico dovuto al cibo per il sostentamento dell'equipaggio, reso numeroso soprattutto dai rematori, diveniva insostenibile.

Il vento è invece un'energia gratuita che non deve essere bilanciata da un determinato numero di calorie imbarcate nella stiva. Il vento e le vele che lo catturano permettono di ridurre drasticamente l'equipaggio aumentando l'autonomia.

Ma anche con la propulsione eolica l'autonomia di una nave in mare aperto ha dei limiti che dipendono sia dal numero dei membri dell'equipaggio sia dalle tecniche di conservazione del cibo. Nel XV secolo, quando iniziarono le grandi traversate oceaniche delle navi a vela, le manovre richiedevano ancora degli equipaggi piuttosto numerosi. Ciò rendeva problematico assicurare le vettovaglie per i viaggi che duravano mesi. C'era anche il problema di non riuscire a conservare a bordo cibi freschi. La conseguente dieta, povera di vitamina C, decimava per scorbuto i membri dell'equipaggio.

Fu allora che le potenze marinare, conquistando il mondo palmo a palmo, fecero a gara per occupare isole, isolette e località sparse strategicamente lungo la costa e ad attrezzarle come stazioni di rifornimento di vegetali freschi: Sant'Elena, Maurizio, Capo Verde, Capo di Buona Speranza sono alcuni esempi.

² Da qualche anno dei prodi si cimentano nella traversata dell'Atlantico a remi. Già alcuni campioni hanno portato a termine l'impresa. La prova, impensabile in passato, è stata resa possibile dalle tecnologie moderne: barche leggerissime ma molto robuste, strumentazione elettronica, cibi liofilizzati, celle solari per l'elettricità e per la produzione di acqua potabile. C'è anche chi fa a gara nell'attraversare l'Atlantico con la barca più corta. Ho sentito di una traversata con una bagnarola di 140 cm.

In passato i marinai, durante i lunghi viaggi a vela, dovevano sopportare terribili privazioni per la mancanza di vitamine e di carne fresca. Alcuni storici ritengono che la colonizzazione dei Caraibi sarebbe stata impossibile senza le tartarughe verdi. Per i marinai del Cinquecento e del Seicento esse erano la vita.

Venivano uccise a centinaia quando raggiungevano la riva per deporre le uova.³



Il vero marinaio è come un amante infatuato; se il mare è crudele, lo ama ancora di più ed è pronto a perdonargli qualsiasi tradimento. Così scrive giustamente Courtlandt Canby in *Storia della navigazione*, perché, se l'uomo ha navigato da tempo immemorabile, il suo rapporto con il mare è sempre stato d'amore-odio e non d'amicizia. Anche dopo i progressi tecnologici dell'ultimo secolo, il mare resta sempre il padrone indiscusso che decide la vita o la morte di quanti ci si avventurano. Basta pensare al naufragio del *Titanic*, definito "inaffondabile" da una stampa sprovveduta dell'epoca, o ai più recenti disastri ecologici delle petroliere come la *Torrey Canyon*. Questa è la storia della marineria, della quale l'invenzione della vela fu senza dubbio l'evento più importante, con ricadute a dir poco rivoluzionarie sulla storia del mondo non paragonabili nemmeno a quelle della propulsione meccanica arrivata alcuni millenni più tardi.

Ripercorrere la storia della vela è cosa ardua. Pur sottoscrivendo ciò che dice Douglas Phillips-Birt nella prefazione al suo libro *Storia della Marineria*, e cioè che al giorno d'oggi il materiale a cui attingere è così ridondante che c'è il rischio di essere ottenebrati dalla valanga d'informazioni, ogni capitolo di questo libro potrebbe essere ampliato alla dimensione di molti volumi, per contro il materiale specifico sull'evoluzione delle vele è frammentario e a volte lacunoso. Il fatto è che le attrezature di coperta sono deperibili nel tempo più degli scafi e, in secondo luogo, l'aerodinamica relativa al funzionamento delle

³ JACQUES Y. COUSTEAU, *Mare ultima speranza*, Fabbri Editori, 1978.

vele non è stata mai capita interamente e resta ancora oggi con problemi insoluti. Mentre un reperto archeologico di uno scafo, per quanto malridotto possa essere, è pur sempre intelligibile, le vele, il sartiame, o le attrezzature di coperta sono i primi materiali che il tempo si porta via. Chiedersi, per esempio, se gli antichi Fenici avessero vele di lino, canapa o cuoio è una domanda che non può avere una risposta certa. Le nostre conoscenze in questo campo diventano affidabili solo due-mila anni dopo i Fenici.

Il rapporto tra vela e storia è diretto. In buona misura la Storia è la storia della vela. Oltre a permettere la scoperta del mondo, la vela ha da sempre promosso gli scambi commerciali, le colonizzazioni e, purtroppo, anche le guerre. Il mondo così come lo conosciamo è stato plasmato dal mare e non dalle conquiste via terra. Furono i popoli più progrediti negli strumenti di navigazione e nelle tecniche costruttive delle navi, ad ottenere la supremazia. La diffusione delle civiltà polinesiane, la navigazione attraverso l'Atlantico dei Vichinghi, la dominazione araba nel Mediterraneo e la sua espansione fino alla penisola iberica, la supremazia di Venezia, le grandi esplorazioni dei secoli XV e XVI su tutto il globo non sono che esempi di come la vela abbia determinato ogni importante attività umana. Lo storico Arnold Toynbee⁴ parla delle navi del XV secolo come del *principale strumento della civiltà occidentale*, e le navi di quell'epoca erano dei velieri. Si può affermare che da sempre le navi, e quindi le vele, abbiano giocato un ruolo fondamentale nel plasmare il volto geopolitico del Pianeta. *Chi domina il mare, domina il mondo; chi domina il mondo domina la sua ricchezza*. Così scriveva nel 1614 Sir Walter Raleigh nella sua opera *Storia del mondo*.⁵

La vela comunque non fu, e non è, la soluzione definitiva ad ogni problema della navigazione oceanica: i pericoli connessi a questo tipo di traversate che si affidavano ai capricci dell'atmosfera, la velocità relativamente bassa e le difficoltà nelle manovre rendevano la propulsione velica un sistema piuttosto mediocre. Però il confronto con i remi non è proponibile e per millenni, non presentandosi alternative, fu una

⁴ Arnold Joseph Toynbee (1889-1976), storico inglese.

⁵ Sir Walter Raleigh (1552-1618), uomo politico e navigatore inglese.

questione di prendere o lasciare.

Un libro di storia della navigazione è per il suo autore un'impresa particolarmente difficile. Egli dovrebbe possedere la perizia dell'architetto navale, le conoscenze dello storico, l'erudizione dell'archeologo. Se l'argomento si restringe alle vele, all'autore si chiedono anche conoscenze di aerodinamica, idrodinamica, meteorologia. Inoltre ci vorrebbero intuito, immaginazione, buon senso, obiettività per mediare, integrare, far quadrare l'infinita congerie di frammenti informativi non sempre collegabili tra loro. Infine l'autore dovrebbe essere un uomo di mare, perché solo chi ha un'esperienza diretta di un mondo così vasto e sfaccettato è in grado di parlarne.

Di tutte le doti elencate qui sopra l'autore del presente libro possiede con certezza solo l'ultima: armatore di *Effemera*, un ketch di 35', ha navigato con questa vecchia signora in lungo e in largo per il Mediterraneo per più di trent'anni dopo molti altri passati a regatare su barche altrui.

*Va lenta la penna e ognor s'arresta
perché l'arte mia a ciò non si presta.*

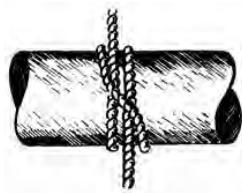
*Fra cielo e mar vissi costante,
non son scrittore, son navigante.*

Così scriveva a settant'anni Domenico Biaggini di Lerici ad epigrafe di *Memorie di un vecchio marinaio* stampato a Genova nel 1935. Io, pur avendo la penna altrettanto lenta, al suo cospetto come marinaio valgo molto meno: lui professionista, io diportista.

Tutto quanto è scritto in questo libro è stato attinto da fonti di seconda mano; come disse un eminente storico: *le mie fonti sono tutte nella mia libreria*. Quando le informazioni erano troppe, a volte anche in contraddizione tra loro, e una scelta era necessaria, il criterio è stato quello di preferire argomenti di lettura piacevole e leggera, evitando approfondimenti specialistici non adatti ad un libro che si propone di dare una visione d'insieme seppure rigorosa.



In un mio precedente libro, *Storia del punto nave*, ho trattato dell'orientamento in mare nei secoli. Il presente volume può considerarsi complementare a quello. Se il primo libro poteva riassumersi nella frase, *dove vai se non sai dove andare?*, questo che parla di vele al vento si riassume in, *come attraversi il mare se nulla ti spinge?*



Capitolo 1

Vento e Onde

*Gaia è una creatura galattica che respira aria cosmica e si nutre dei frutti dell'universo.
I venti sono il suo sistema circolatorio che trasporta energia e informazioni,
e noi siamo uno dei risultati.*
Lyall Watson, *Heaven's breath*

Il vento è forse quello che, tra tutti i fenomeni naturali, l'uomo civilizzato si sente più incapace d'influenzare.
James George Frazer, *Il ramo d'oro*



Un capitolo che parla di mare e di onde deve anzitutto rendere omaggio al comandante in capo di tutti i mari, il vento, che per noi nautici è la ragione dell'esistenza delle nostre barche e per i marinai in genere significa attenzione perenne. Ma questo invisibile mattatore voltafaccia che si affaccenda senza sosta per la superficie del globo è molto di più. Esso, cambiando sembianze, direzione, carattere e nome, è un personaggio poliedrico dai ruoli più vari: qua solleva un putiferio, scopchia le case, sradica gli alberi, là sospinge con mano delicata nella luce diffusa del tramonto un piccolo seme alato perché nasca un nuovo fiore.

Al mattino una fresca brezza increspa appena la superficie tersa del mare. Più tardi un vento impetuoso frusta le onde spumeggianti come criniere di cavalli al galoppo sulla prateria. Più in alto nel cielo, sempre il vento, gioca con le nubi, le incalza, le accumula, le lacera, le semina, e infine, quando il gioco gli viene a uggia, le spazza via.

Al vento si deve la vita sulla Terra e non solo grazie all'inseminazione anemofila o perché l'aria permette agli uccelli e agli insetti di volare, funzioni pur così fondamentali per la biosfera. Il vento, ossigenando le acque dei mari, dà inizio ad un ciclo vitale che ha come primo anello della catena la crescita delle alghe. Senza il vento gli oceani sarebbero delle pozze mineralizzate sterili e probabilmente non ci sarebbe la vita sull'intero pianeta. E ciò anche se i fattori essenziali della biologia sono tanti: lunga, casuale e "traballante" è la catena che ci ha portato ad esistere.



Questo capitolo, oltre che un omaggio al signore delle onde, tratta dei rapporti tra l'atmosfera e le acque, due contendenti in lotta in modo incessante tra loro, senza che tra i due ci sia mai un vincitore definitivo. Semmai si potrebbe dire che, mentre vento e acque si azzuffano, chi ne fa le spese è la terraferma, sistematicamente erosa dal moto ondoso.

Le onde generate dal vento ¹ sono le più comuni, ma anche le più varie e variabili e quindi difficili da inquadrare teoricamente.

Il primo passo per comprendere un fenomeno fisico è quello di cercare di riprodurlo in laboratorio, possibilmente semplificandolo con l'eliminazione di tutti i fattori non fondamentali. L'operazione viene indicata come "costruzione di un modello". È quello che è stato fatto anche nel nostro caso allestendo delle vasche di vetro lunghe e strette con ad una estremità una parete mobile che, azionata da un motore, con la sua oscillazione ciclica, crea un moto ondoso simulato. Così si sono misurati tempi, altezze, velocità e forma delle onde; si è anche riusciti

¹ Ci sono anche le onde di marea e quelle generate dai terremoti, dette *tsunami*.

nell'impresa tutt'altro che facile di dare una veste teorica al fenomeno e trovarne la conferma sperimentale.

Ma quando si è passati dal mondo del laboratorio al mare aperto, le cose sono apparse immediatamente molto più complicate: troppi i fattori in gioco come forma irregolare delle coste, loro conformazione subacquea, grandezza dei bacini, loro profondità, correnti, temperature e influenza dei mari limitrofi. Le onde del mare sono così varie e caotiche che per millenni la loro osservazione aveva dato come unico risultato che *esse sono causate dal vento e, quanto più forte è il vento, tanto più grosse sono le onde!*

Teniamo presente che le onde si propagano senza quasi nessun dispendio di energia e ciò permette ad un'onda generata, per esempio, nel sud dell'Atlantico, diciamo a Capo Horn, di percorrere indisturbata a quella latitudine tutto il giro del globo, passando dopo qualche giorno davanti a Capo di Buona Speranza e poi doppiando il sud della Tasmania per fare la sua ricomparsa, anche se indebolita, sul luogo di origine.² È vero che basta un'isola o perfino un basso fondale a farle perdere di colpo tutta la forza, ma i mari sono tanto vasti che per gran parte delle onde c'è spazio di muoversi in lungo e in largo.

Le onde che viaggiano indisturbate più lontano sono quelle parallele che si incalzano l'un l'altra. Le onde circolari, come quelle generate da un sasso lanciato in uno stagno, si smorzano presto perché si propagano allargandosi e la loro energia si distribuisce a cerchio su un fronte sempre più ampio. Un confronto tra le onde provocate dal vento e le onde dello tsunami, che partendo dall'epicentro sono circolari, può chiarire meglio il fenomeno. Le onde provocate dal vento, con il loro fronte lineare, viaggiano lontano quasi indisturbate; quelle del sisma, generate da qualche cataclisma nelle profondità marine, viste in mare aperto, sono increspature circolari dell'ordine di qualche metro. Ma a differenza delle prime, che hanno forma sinusoidale, alle spalle del fronte d'onda dello tsunami c'è un altopiano che si estende per centinaia di metri. Arrivando in costa il fondale si abbassa e l'acqua in prima linea rallenta e viene incalzata da

² A 60° di latitudine sud corre l'unico parallelo del globo non interrotto da terre emerse.

quella delle retrovie. Per la legge di conservazione del moto, l'onda aumenta in altezza raggiungendo prestissimo alcune decine di metri e una velocità di 45-50 km/h. L'energia immagazzinata in milioni di metri cubi d'acqua che viaggiano a questa velocità porta alla distruzione di tutto ciò che incontra. Però lo tsunami che ha colpito l'Indonesia il 26 dicembre 2004 di strada non ne aveva fatta molta. Poi arrivando fino all'Africa le onde, per la loro forma circolare, si sono smorzate lungo il percorso giungendo in costa ormai innocue.

Un'altra caratteristica delle onde è quella di non mescolarsi mai tra loro.³ Se due onde provenienti da direzioni diverse convergono incrociandosi in un punto, non ci sarà una fusione tra le due con una continuazione del viaggio secondo una direzione media comune. Dopo l'incontro le due onde conserveranno indisturbate la loro altezza, velocità e direzione di marcia. Solo nel punto in cui hanno incrociato il loro cammino si potrà notare, per un breve attimo, il formarsi di una fugace cresta più alta.

Per questo continuo rimescolarsi e dividersi di nuovo, le onde generate dal vento non hanno la regolarità e l'uniformità di quelle create in laboratorio: l'altezza delle creste, la profondità dei cavi, la loro lunghezza e frequenza sono irregolari. Non c'è onda marina uguale ad un'altra, tutte sono accavallamenti casuali di tante onde più piccole, a loro volta irregolari, che si uniscono e dividono in modo incessante. In mare i termini come lunghezza, altezza e periodo perdono il significato che avevano in laboratorio e ne acquistano uno statistico. Una teoria rigorosa di come il vento ingrossa le onde non è ancora stata formulata. Lo stesso Richard Feynman, uno dei più grandi fisici del XX secolo, affrontò il problema senza successo: *Abbiamo messo il piede in una palude e lo abbiamo ritirato pieno di fango*, fu il suo amaro commento per l'insuccesso.⁴

Proprio il fatto che i treni d'onda si sommano temporaneamente rimanendo pur sempre separati tra loro permette lo studio del moto on-

³ Comportamento comune a qualsiasi tipo di onda, sia essa liquida, elettromagnetica o sonora. Se così non fosse il mondo, per il rimescolarsi delle onde luminose, apparirebbe come un'indistinta nebbia lattiginosa e non esisterebbe la visione né la possibilità di trasmissioni radio.

⁴ JAMES GLEICK, *Genius, The life and science of Richard Feynman*, 1992. Richard Feynman (1918-1988), premio Nobel per la fisica 1965.

doso immaginandolo come composto da molti strati di onde regolari, dalla forma sinusoidale, ma di altezza e direzione variabile.⁵ Ci sono modelli di questo tipo che arrivano ad introdurre fino a dieci strati di treni d'onda che vengono sommati matematicamente permettendo di predire quale sarà il risultato medio della superficie del mare o quale l'altezza delle onde più grandi e la loro frequenza statistica.



Le onde si formano perché l'atmosfera nel suo movimento trasmette all'acqua parte della sua energia cinetica. Al pari della vela, il dorso dell'onda viene spinto in avanti dal vento acquistando velocità e aumentando in altezza. Si potrebbe dire che le onde navigano con il vento in poppa.

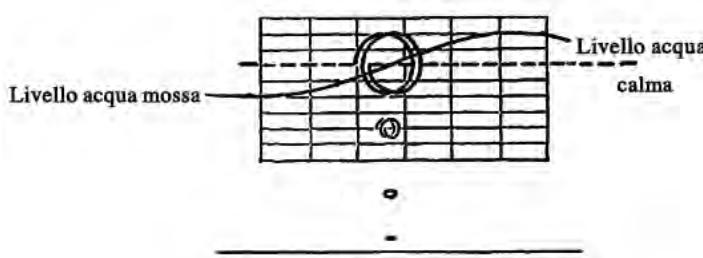
Teoricamente, se la superficie liquida fosse assolutamente piana e il corso dei filetti fluidi dell'aria perfettamente orizzontale, il moto ondoso non avrebbe modo di prendere avvio: l'acqua rimarrebbe tranquilla sotto una coltre di aria che le scorre sopra con regolarità. Ma ciò è pura utopia. Non dimentichiamo il famoso *effetto ala di farfalla* della teoria del caos.

Su un mare perfettamente calmo arriva il fronte⁶ di una nuova perturbazione meteorologica: il primo soffio di vento che va storto segna l'inizio della burrasca. Il primo refolo poco più irregolare degli altri solleverà la prima increspatura che, spinta in avanti, inizierà la sua marcia sollevando altre increspature e ingrossandosi a sua volta. La superficie dell'acqua si riempie delle prime piccole onde. Il fenomeno è fin dall'inizio inarrestabile: più soffia il vento e più si agita il mare. Se le onde che si incrociano non si sommano, quelle che vanno nella stessa direzione e alla stessa velocità, come è il caso di quelle formate da un moto regolare

⁵ Un famoso teorema del matematico francese Jean-Baptiste Fourier (1768-1830) dice appunto che qualsivoglia funzione discontinua (leggi forma d'onda) può essere rappresentata come la somma di funzioni periodiche (leggi onde sinusoidali).

⁶ Le perturbazioni furono chiamate “fronti” dal meteorologo norvegese Vilhelm Bjerknes, fondatore di una scuola di meteorologia a Bergen agli inizi del '900. All'epoca era in corso la Prima Guerra Mondiale ed egli aveva notato che le masse d'aria si scontravano al pari dei fronti opposti sul campo di battaglia.

dell'aria, si sommano accavallandosi in modo permanente e formando onde più grosse. Le onde crescono perché questo è l'unico modo in cui l'acqua può accumulare l'energia che le trasmette il vento, energia che è di due tipi: cinetica, dovuta al moto delle particelle liquide, e potenziale, per l'altezza a cui l'acqua viene sollevata.



Rotolamento delle molecole d'acqua al passaggio dell'onda.

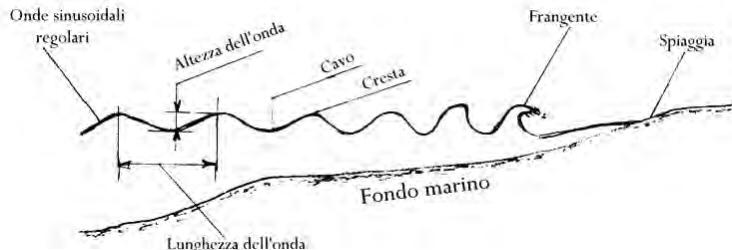
Contrariamente a quanto si crede, se si eccettua un impercettibile rotolamento delle molecole d'acqua, quando il fronte d'onda avanza non c'è trasporto di liquido nella direzione del moto. Osservando un'onda trasversalmente⁷ si nota un moto spiraleggianti delle molecole che hanno solo un trascurabile avanzamento in avanti. A volte il moto è confondibile con un circolo chiuso. L'idea errata che l'onda comporti un trasporto del liquido che la forma ci viene dall'osservazione dei mariosi che frangono sulla spiaggia, caso questo da non confondersi con il comportamento delle onde in mare aperto, in cui l'acqua resta ferma al suo posto. Ciò che si trasmette in avanti è l'energia che passa da una molecola liquida all'altra senza praticamente nessuna dispersione.

Alla fine l'onda, se non si esaurisce da sola dopo migliaia di chilometri come quella di Capo Horn citata sopra, troverà una costa o una secca a sbarrarle il cammino e a segnare la fine del suo viaggio.

Nata come piccola increspatura, è man mano cresciuta sotto la spinta del vento, divenuta onda formata, si è fatta cavallone di burrasca. Poi

⁷ Lo si fa mescolando dei liquidi oleosi e colorati di densità uguale a quella dell'acqua in modo tale che restino in sospensione e siano osservabili dalle pareti laterali di vetro delle vasche sperimentali.

diretta in una zona di mare in cui il vento è cessato, ha un poco diminuito la sua altezza. Quando infatti l'onda non risente più dell'azione del vento che l'ha generata cambia le sue caratteristiche: le creste sparisco-no, le forme si arrotondano e tutto il treno d'onda diventa regolare. Con questa aggraziata forma sinusoidale è divenuta un'onda di *mare morto*.



Onde con frangenti.

Ora si sta avvicinando alla piattaforma continentale e comincia a risentire dell'abbassamento del fondale: tutto il treno d'onda si compatta e diminuisce la distanza tra le creste. La profondità del mare decresce ancora e in lontananza si scorge una spiaggia. Ad una velocità di 25-30 km/h l'onda prosegue fino a che il fondale non arriva ad essere circa due volte l'altezza della cresta. Siamo ormai a qualche decina di metri dalla riva e la sequenza sta precipitando. Le orbite interne alla massa liquida che la sospingono in avanti non sono più in grado di fare un giro completo perché urtano il fondo e si interrompono. Questo è il momento che ha ispirato la famosa xilografia del pittore giapponese Katsushika Hokusai (1760-1849) che rappresenta una possente onda che frange. Sullo sfondo il vulcano Fuji Yama e un'imbarcazione che la cresta dell'onda, come una mano con dita rapaci, sembra ghermire.

L'acqua, per inerzia, si accavalla facendo crescere e poi incurvare in avanti la cresta. Negli ultimi istanti di vita c'è un boato e un getto di spuma bianca perché l'acqua, cadendo in avanti, ingloba delle bolle d'aria. Tutta l'energia che l'onda aveva portato con sé viene dissipata in pochi secondi, parte nell'esplosione del frangente, parte nello slancio del lembo d'acqua che risale la battigia. L'onda ama un'uscita di scena spettacolare!