

Un contributo della nautica al progresso della scienza

La regola del parallelogramma delle forze

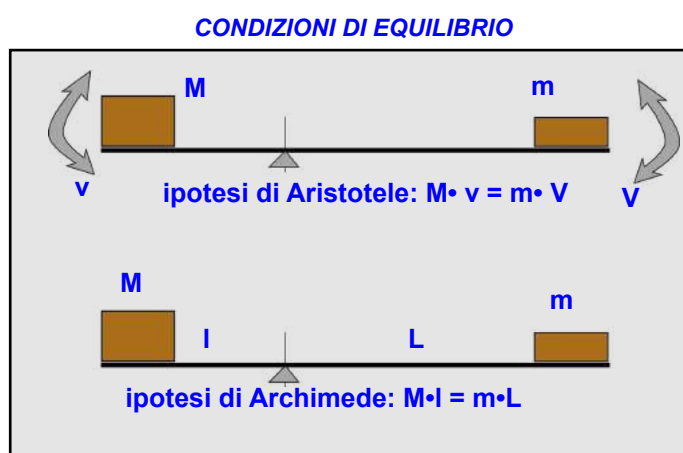
La forza, da un concetto speculativo e filosofico, divenne una ben definita entità fisica, con le sue caratteristiche di valore, direzione, verso, punto di applicazione e le sue implicazioni dinamiche, intorno alla fine del '600.

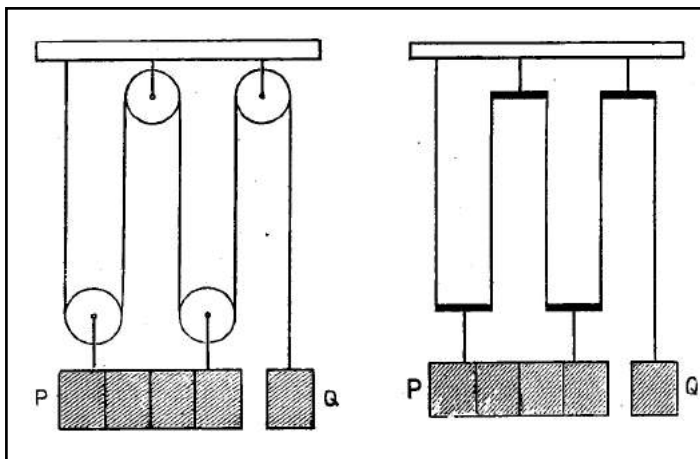
Prima di allora gli studi sull'equilibrio dei corpi (condizione in cui un corpo soggetto ad azioni esterne di forze e momenti non trasla né ruota), che possiamo far risalire ad Archimede, riguardavano i pesi che nell'antichità non erano considerati forze. La forza era un concetto connesso al suo immediato effetto, quello di un movimento violento o non naturale. La caduta di un corpo "pesante" (quelli costituiti prevalentemente di terra e/o acqua), lasciato libero, si muove di moto naturale verso il centro della Terra, che è il centro dell'Universo, mentre i corpi costituiti prevalentemente di aria e/o fuoco si muovono verso l'alto. Tale era la visione di Aristotele (384-322 a.C.) secondo il quale ogni corpo in movimento incontra una resistenza che lo conduce a rimanere fermo. Il movimento è consentito solo se vi è una potenza motrice, un'azione, una forza che deve essere tanto più grande quanto maggiore è il corpo da smuovere e quanto più grande è la velocità che si tratta di imprimere. Con tale ipotesi il filosofo greco dà una spiegazione del funzionamento della bilancia: un'asta girevole intorno a un fulcro è in equilibrio quando il prodotto massa per velocità è uguale ad entrambi gli estremi. Tale schema consentiva ad Aristotele di giustificare il posizionamento delle vele in alto che avendo un maggiore braccio di leva davano più velocità alla nave.

Spetterà ad Archimede di Siracusa (287-212 a.C.), il più importante e famoso scienziato dell'antichità, accantonando le idee sul movimento dei corpi, a formulare, attraverso le osservazioni sperimentali condotte sulle bilance, la legge della leva per la quale due pesi applicati agli estremi di un'asta rigida girevole intorno a un fulcro, rimangono in equilibrio se le loro distanze dal fulcro sono inversamente proporzionali ai rispettivi pesi. In verità anche altri studiosi dell'antichità giunsero agli stessi risultati, ma quello di Archimede è certamente il meglio noto e il più discusso.

In epoca medievale (XII e XIII secolo) la vasta attività di traduzione in latino di testi greci, con contributi scientifici e filosofici del mondo islamico, ebbe un'influenza sugli studiosi di meccanica, principalmente aristotelica e archimedeica. La figura di maggiore rilievo fu quella dell'astronomo e matematico del duecento Giordano Nemorario, probabilmente italiano, i cui studi sui pesi, un campo delle arti medievali noto come *Scientia de ponderibus* (dal latino *pondus*, peso), saranno studiati da Leonardo da Vinci. Nemorario, partendo dal principio che la forza di gravità di un corpo dipende dalla sua posizione (secondo una terminologia del tempo nota come *gravitas secundum situm*, che possiamo intendere come la componente del peso secondo la direzione compatibile con il vincolo), giunge ad anticipare i concetti di statica e a porre in evidenza l'esistenza di un'azione del peso lungo un piano inclinato il cui valore è inversamente proporzionale all'inclinazione, anticipando anche la scomposizione di una forza peso.

A partire dalla metà del XV secolo giunsero in Italia ulteriori antichi trattati scientifici sui quali si venne a formare uno stretto ed utile rapporto di collaborazione tra traduttori, ingegneri ed architetti i quali, dopo aver arricchito le proprie esperienze nel disegno attraverso il recupero dell'antica teoria della prospettiva, furono in grado di illustrare quelle opere con disegni comprensibili, che l'invenzione della stampa (1455) ne permise la





Leonardo da Vinci - utilizzo del principio della leva nello studio dei sistemi di pulegge

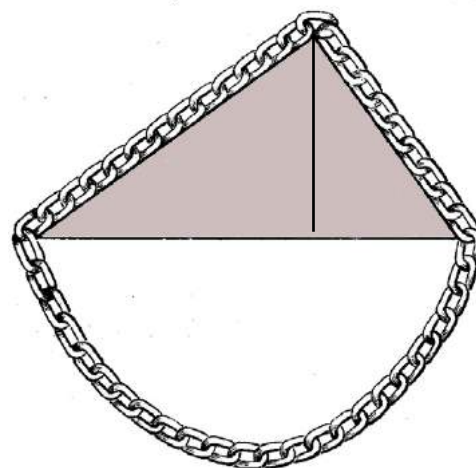
diffusione in tutta Europa.

Uno dei primi studiosi della vasta opera scientifica fu Leonardo da Vinci (1452-1519), particolare ammiratore di Archimede, che ci ha lasciato numerosi appunti delle ricerche condotte sulle bilance, sulle leve e sui piani inclinati le cui figure si trovano spesso nella sua straordinaria ed originale enciclopedia scientifica. Pur avendo intuito alcuni concetti di meccanica non li portò a conoscenza dei suoi contemporanei non interessato a trasmettere e spiegare agli altri quanto scopriva.

E saranno proprio gli studi sui piani inclinati a dare consistenza scientifica a quelle entità della

statica che consentiranno di fare un salto di qualità verso il concetto vettoriale di forza e alla relativa regola del parallelogramma.

Un importante risultato si ebbe nel 1586 ad opera del matematico olandese Simon Stevin (1548 – 1620) quando giunse a formulare la regola del parallelogramma partendo dalla considerazione che un peso su un piano inclinato agisce in maniera inversamente proporzionale alla lunghezza del piano stesso, secondo un originalissimo ragionamento. Egli immagina di disporre su due piani a diversa inclinazione e affiancati, senza attrito, una catena chiusa, omogenea e sufficientemente lunga da pendere in forma di catenaria sottostante i piani. La catena così posta si troverebbe in equilibrio con i due tratti sottoposti alla stessa azione da parte dell'arco di catenaria. Infatti se l'azione della catenaria fosse diversa nelle sue parti la catena girerebbe all'infinito in un impossibile ed assurdo moto perpetuo. Così la catena è in equilibrio e vi rimane anche tagliando il tratto di catenaria, in quanto simmetrica. E poiché i due tratti restanti hanno un peso proporzionale alla lunghezza del rispettivo piano su cui poggiano, per poter stare in equilibrio devono esercitare una forza lungo il piano inversamente proporzionale alla loro lunghezza.



Il famoso esperimento concettuale di Simon Stevin - 1585 *Tomus quartus mathematicorum hypomnematum de statica*

La regola per cui due forze agenti contemporaneamente su un corpo possono essere ricondotte ad un'unica forza equivalente alla diagonale di un parallelogramma i cui lati corrispondono alle due forze, viene quindi ottenuta da Stevin con una lunga serie di teoremi e corollari.

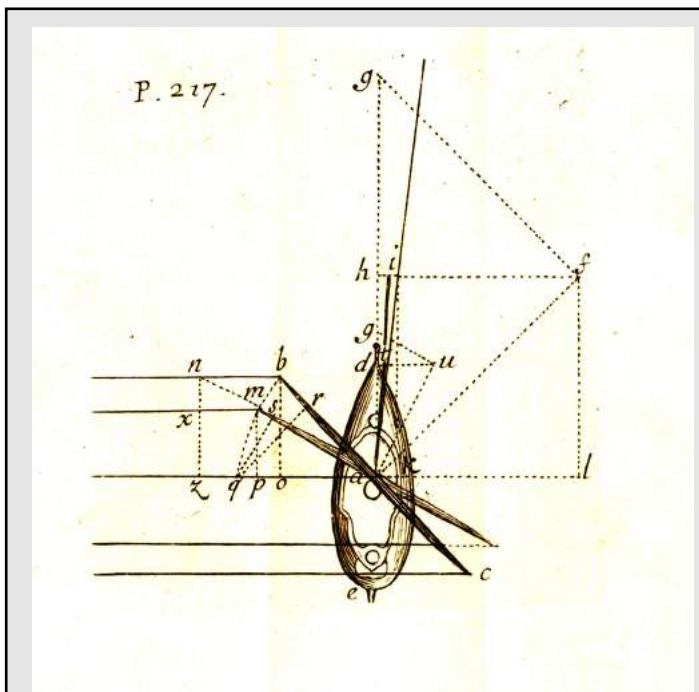
In effetti lo scienziato fiammingo non fu il solo a ottenere un tale risultato, anche Galilei applicò indirettamente la regola del parallelogramma quando studiò il moto dei proiettili lanciati orizzontalmente, in cui immaginò che la loro traiettoria potesse scomporsi in due moti indipendenti fra loro: uno orizzontale uniforme e uno verticale uniformemente accelerato, che possono essere descritti indipendentemente e poi ricombinati fra loro.

Ma la prima trattazione sistematica della composizione delle forze la si deve al matematico francese Gilles Personne de Roberval (1602 – 1675) nel suo *Traité de l'Harmonie Universelle*, pubblicato nel 1636 in cui, dopo aver esposto quanto scoperto da Stevin sull'argomento, fornisce una prima applicazione a un sistema costituito da funi, carrucole e pesi.

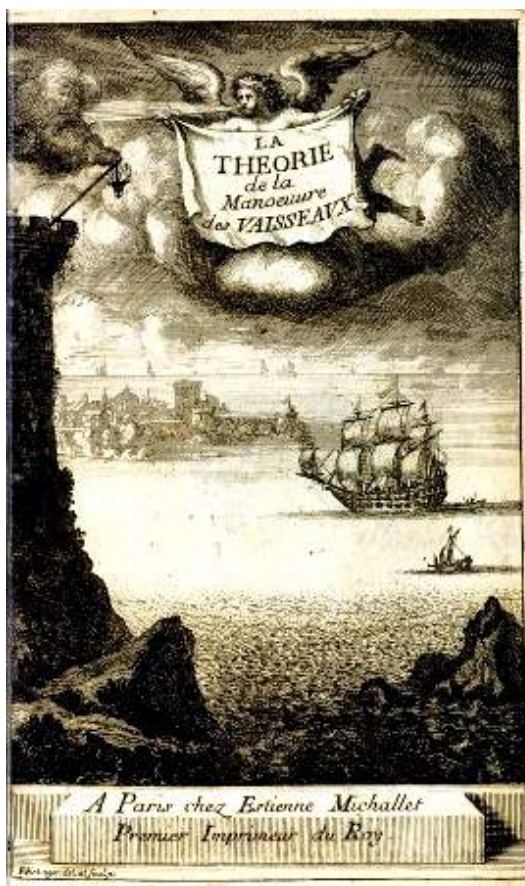
Intanto un importante passo avanti in tale campo della fisica dei corpi in equilibrio, la statica, è l'introduzione esplicita del concetto di forza espresso dal matematico inglese John Wallis (1616 - 1703) che nel suo trattato *Mechanica*, pubblicato nel 1669, spiega che il termine forza va applicato non solo ai gravi con la loro tendenza ad avvicinarsi al centro della terra, ma anche a qualunque altra forza motrice che causa uno spostamento nella sua direzione.

Bisognerà attendere ancora qualche anno per il primo enunciato esplicito sulla regola di scomposizione delle forze da parte di Isaac Newton (1642–1726) nel saggio del 1684 *De motu corporum in gyrum* (sul moto dei corpi in orbita): “Quando su un corpo agiscono simultaneamente due forze, esso viene trasportato, in un determinato intervallo di tempo, nel luogo in cui quelle stesse forze lo avrebbero trasportato, se avessero agito separatamente e successivamente in uguali intervalli di tempo”. Occorre però dire che, nel 1687, la regola fu enunciata indipendentemente anche dal fisico e matematico francese Pierre Varignon (1654-1722) nell'opera *Proyect d'une nouvelle mécanique* (progetto per una nuova meccanica).

Mentre nel seguito i fisici si adoperarono per fornire una dimostrazione del teorema della composizione delle forze che fosse indipendente da ogni esperienza, uno dei primi ad applicare la regola del parallelogramma a casi diversi dalla forza peso, anche se in forma approssimata, fu il fisico, matematico e gesuita francese Ignace-Gaston Pardies (1636 – 1673) che nel suo trattato *La Statique ou La Science des Forces Mouvantes* (statica o scienza delle forze moventi), pubblicato nel 1673, poche settimane prima della sua morte, illustra, quale esempio di applicazione della regola, la determinazione della rotta fatta da una nave spinta da un vento laterale.



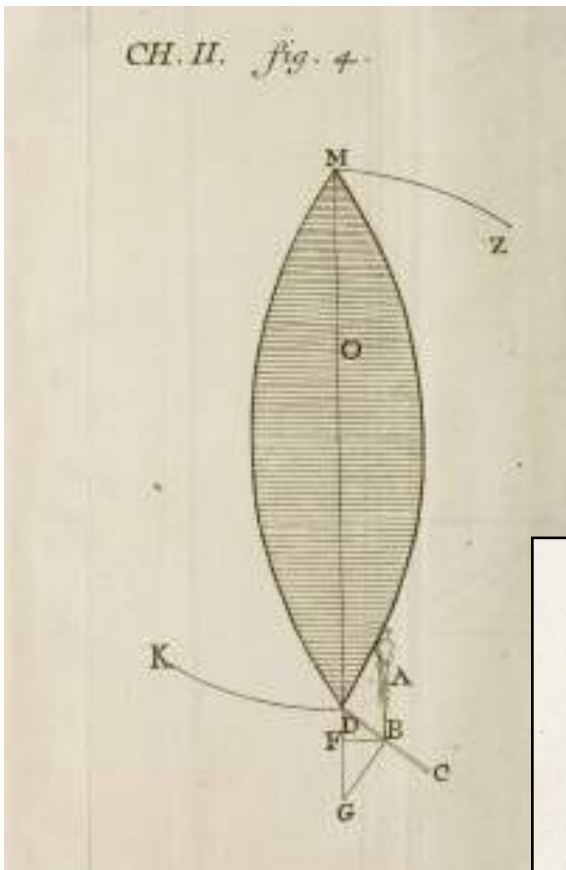
La linea a-l è la componente laterale della forza applicata sulle vele, a-h è la direzione del moto del veliero, a-f la risultante. Nel testo Pardies osserva che se lo scafo fosse una semisfera la resistenza sarebbe uguale in tutte le direzioni così il veliero navigherebbe su a-f ma in realtà essa subisce uno scarroccio, seguendo la linea a-i, causato da una resistenza laterale superiore a quella loongitudinale. Egli considera lo scarroccio proporzionale al rapporto delle due resistenze valutandolo pari a 1:100.



Stranamente quanto esposto da Pardies non ebbe un immediato seguito. Solo dopo circa quindici anni l'argomento sarà ripreso sotto la spinta dell'interesse di un'architettura navale che cominciava a fondarsi su basi scientifiche.

Il primo ad interessarsi fu l'ufficiale e ingegnere navale francese Bernard Renau d'Élicagaray (1652-1719) che nell'opera *De la théorie de la manoeuvre des vaisseaux* (teoria della manovra dei bastimenti) del 1689, approfondisce quanto esposto dal gesuita, ma commettendo una serie di errori e contraddizioni che fu

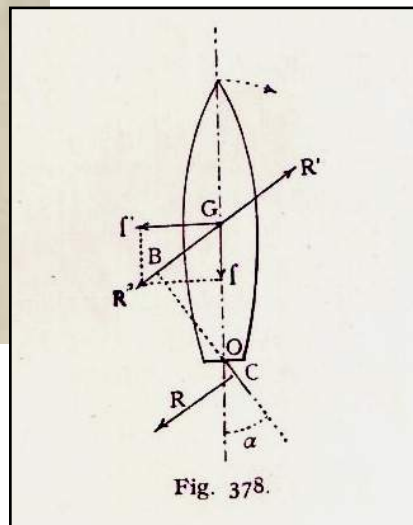
Frontespizio del testo di Bernard Renau del 1689



Sopra una delle tavole del testo di Renau sull'effetto del timone confrontata con una figura di un testo di arte navale di inizio '900.

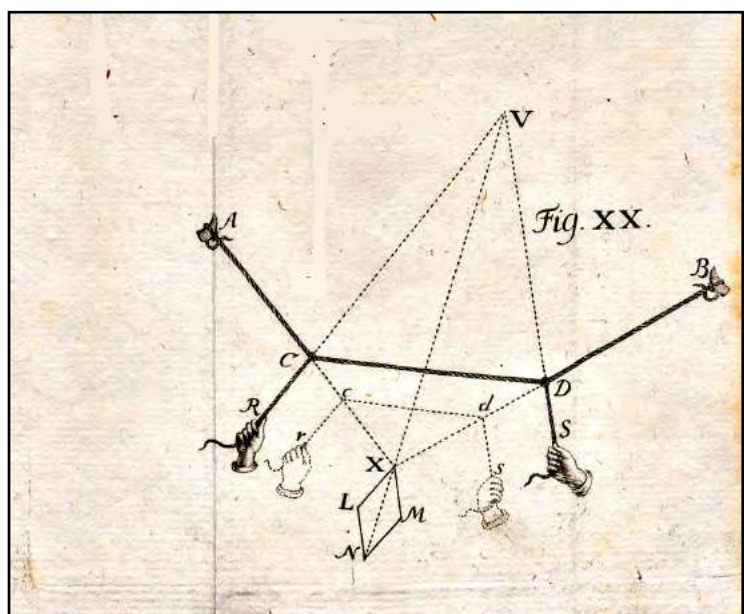
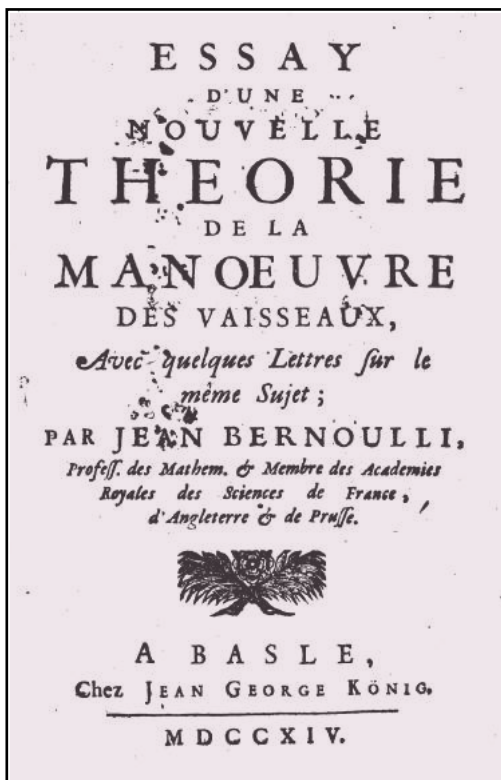
notato dall'olandese Christian Huygens (1629 – 1695), uno dei più grandi fisici e matematici del tempo.

All'epoca gli studiosi utilizzavano principalmente i periodici scientifici per esprimere le proprie osservazioni su quanto veniva pubblicato. Così Renau e Huygens, nell'arco di due anni si scambiarono commenti attraverso i due giornali scientifici allora più noti, anche perchè furono i primi nati, il *Journal des Sçavans* (letteralmente il Giornale degli studiosi, costituito nel 1665) e gli *Acta eruditorum lipsiensium* (più noto come Atti di Lipsia, nato nel 1682). Ben presto nel dibattito si aggiunsero i fratelli Bernoulli. Nel 1714, molti anni dopo le dispute, il più famoso dei fratelli, Jean Bernoulli pubblicò un'opera



simile nel titolo, *Essay D'Une Nouvelle Theorie de La Manoeuvre Des Vaisseaux* (saggio su una nuova teoria della manovra dei bastimenti) in cui diede chiarezza sul come eseguire le operazioni vettoriali e mise in evidenza l'interazione tra le forze sulle vele e quelle dell'acqua tanto da aggiungere poi: “mi

meraviglio, che né Renau, né Huygens abbiano pensato a tale questione che sembra molto essenziale alla teoria della manovra dei bastimenti”.



Frontespizio del testo di Jean Bernouille con una delle figure sul modo di applicare la regola del parallelogramma