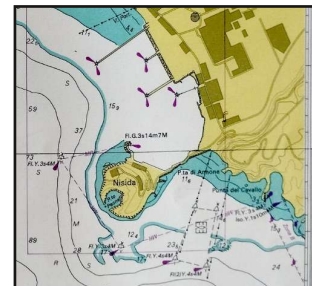
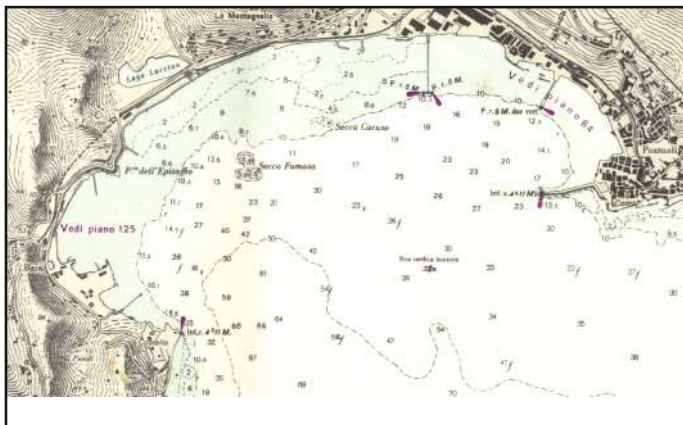


LA CARTA NAUTICA



Premessa

Imparare a leggere una costa attraverso la sua rappresentazione cartografica significa entrare in sintonia con il territorio che si intende percorrere. Attraverso i simboli, le batimetriche, le curve di livello e i reticoli geodetici, la carta non si limita a descrivere un tratto di litorale: ne racconta la morfologia, segnala le zone soggette a vincolo e offre gli strumenti per pianificare uno spostamento in tutta consapevolezza. Leggere una carta significa, in ultima analisi, fare scelte operative ponderate e, al contempo, conoscere più a fondo l'ambiente che ci ospita.

La carta, tuttavia, non è mai sola. Se integrata con il Portolano – altro strumento prezioso per comprendere le caratteristiche del mare e della costa – diventa una guida completa, capace di indicare i passaggi più protetti e di svelare la complessità dell'ecosistema marino-costiero. È l'abbinamento di questi due documenti che trasforma la navigazione da semplice atto meccanico a esperienza consapevole.

È interessante notare come il legislatore, nel Codice della Navigazione, imponga l'obbligo di avere a bordo e di saper utilizzare i documenti nautici (carte e pubblicazioni) solo per la cosiddetta "navigazione d'altura", ovvero oltre le 12 miglia dalla costa. Tuttavia, chi naviga per diletto o per professione sa bene che è proprio entro tale limite – dove si concentrano insidie quali bassi fondali, scogli, traffico portuale e ostacoli sommersi – che la conoscenza della carta diventa più che mai vitale. La legge fissa un minimo inderogabile; una navigazione condotta con conoscenza, coscienza e prudenza deve invece tendere al massimo, facendo della carta un alleato insostituibile anche laddove non è strettamente richiesta.

In questo elaborato viene presentata l'evoluzione storica che ha trasformato le rudimentali carte portolaniche medievali nelle sofisticate carte di oggi, analizzando le proiezioni cartografiche per comprendere come una rotta tracciata su un foglio possa corrispondere fedelmente a una traiettoria reale sul globo. Si approfondisce poi il concetto di Geoide – un modello fisico, e non puramente geometrico, che nell'era del GPS ci fornisce un riferimento coerente per le quote – per giungere infine al Chart Datum, il riferimento della carta da cui sono desunti i fondali. Comprendere il Chart Datum è essenziale per confrontare correttamente le profondità riportate e affrontare con sicurezza la navigazione, soprattutto in prossimità della costa.

Nessuna lettura cartografica può dirsi completa, però, senza la conoscenza della simbologia impiegata. Vengono così passati in rassegna i simboli più significativi e ricorrenti, cercando di affiancare al loro elenco alcuni stralci di carta nautica reale: un accostamento pensato per favorire una comprensione immediata e concreta di quanto esposto. Il testo, sia ben chiaro, non ha la pretesa di costituire un testo tecnico-scientifico né di esaurire la formazione sulla cartografia, che richiede necessariamente una successiva attività pratica. Esso si propone piuttosto come un primo, indispensabile passo per guardare al mare con occhi nuovi, trasformando ogni linea tracciata in una certezza e ogni simbolo in un avvertimento.

CARTOGRAFIA NAUTICA

INFORMAZIONI STORICHE

Nell'ambito della **geografia**, dal greco *geōgraphía*, composto da *geo* - 'Terra' e *graphia* - 'descrizione' e quindi, letteralmente, rappresentazione, descrizione del pianeta Terra, la **cartografia** è il settore specialistico che ha per oggetto la rappresentazione ridotta nel piano, approssimata e simbolica della superficie terrestre.

Carte e mappe sono il prodotto di tale specializzazione ottenute secondo opportune regole mutate nel corso dei secoli come conseguenza di una evoluzione culturale e tecnica.

Carte e mappe sono ridotte secondo un rapporto matematico detto **scala**; sono altresì **approssimate** in quanto nel passaggio da una superficie curva ad una piana si ricorre ad alterazioni più o meno sensibili ed è **simbolica** perché include segni grafici, in genere standardizzati, rappresentativi degli elementi geografici facilitandone la lettura.

Chi fu o chi furono gli autori di quella tavoletta di argilla grande 12 x 8 cm che oltre a una iscrizione in caratteri cuneoiformi raffigura il Mondo come due cerchi concentrici?. Certamente un babilonese, forse un astronomo, comunque una mente dotata di grande immaginazione capace di dare forma grafica al mondo in cui viveva.

Il cerchio interno è un disco che rappresenta l'allora mondo conosciuto (la Mesopotamia), mentre il cerchio esterno, indicato come "mare salato" rappresenta l'oceano che lo circonda.

La rappresentazione babilonese del mondo, nota come *Mappa Mundi* o *Imago Mundi*, ritrovata nel 1881 poco a sud di Baghdad, probabilmente datata tra l'VIII e il VII sec. a.C., rappresenta ad oggi la più antica testimonianza di un primo prodotto descrittivo del Mondo. Potremmo dire il primo prodotto noto di cartografia, anche se questo termine sarà coniato solo nell'800.

Una tale raffigurazione del mondo, come del resto l'intera cosmologia babilonese, ebbe un'influenza profonda sulla civiltà ionica e probabilmente ne fu influenzato Anassimandro, astronomo greco del VI sec. a.C., che immaginò una Terra cilindrica, sospesa nel vuoto, sulla cui faccia superiore erano le terre emerse, circondate dall'Oceano. Sarà poi lo storico Erodoto (V sec. a.C.) a immaginare un *ecumene*, termine indicativo del mondo abitato, non più dalla forma circolare bensì rettangolare, ritenuta coerente con quanto aveva appreso durante i suoi viaggi e dalle notizie ricevute da mercanti e marinai. Anche per Eratostene di Cirene (III-II sec a.C.), famoso per aver misurato la circonferenza della Terra, ormai riconosciuta di forma sferica, l'*ecumene* poteva rappresentarsi in forma rettangolare. Direttore della biblioteca di Alessandria coniò i termini *geografia* e *geografo* nel suo trattato *Geographika*, purtroppo andato perduto, ma su cui abbiamo notizie da autori successivi che l'avevano consultato, tra cui il geografo greco Strabone (I sec. a.C.). Altro personaggio influente fu il geografo e cartografo greco Marino di Tiro (I-II secolo d.C.) per aver introdotto l'uso di latitudini e longitudini per mappare il mondo. Il suo lavoro descrittivo è stato la base principale per la successiva opera di Tolomeo (II sec. d.C.) che nell'*Almagesto* teorizzò il sistema geocentrico, ponendo la Terra al centro dell'universo, teoria dominante per oltre 1400 anni. Tolomeo consolidò il sistema di meridiani e paralleli iniziato con una semplice suddivisione orizzontale, il *diaframma* (in greco *diaphragma*, "linea divisoria") di Dicearco da Messina (IV sec. a.C.) una fondamentale linea di riferimento geografica, considerata il primo parallelo della storia cartografica. Affrontò anche il problema delle proiezioni per rappresentare la superficie sferica terrestre su un piano. Nella sua opera *Geografia*, descrive due proiezioni principali: la **prima** ⁽¹⁾, con meridiani rettilinei e paralleli come archi di cerchio concentrici, e la **seconda** ⁽²⁾, più complessa e perfezionata, che preserva le distanze su specifici paralleli.



Sarebbe interessante esplorare quanto accadde dal Medioevo a Mercatore ma ciò ci porterebbe lontani dallo scopo del presente testo che è quello di fornire gli strumenti per comprendere e utilizzare correttamente le carte nautiche a bordo, incoraggiando – specialmente i più attenti – a consultarle anche quando non è più obbligatorio, ovvero per chi naviga entro le 12 miglia dalla costa. Dalla lettura di una carta si ricavano informazioni preziose per la sicurezza, si evitano spiacevoli sanzioni e, non secondariamente, si coglie l'occasione per conoscere meglio la costa che si sta percorrendo.

Per maggiori notizie storiche si consiglia di consultare la **Storia della Navigazione** di Silvestro Sannino, disponibile presso la biblioteca del Centro Studi Tradizioni Nautiche della Lega Navale Italiana.

Rimanendo nell'ambito storico si riportano brevi notizie sull'origine di alcuni termini geografici:

Carta, nel significato di rappresentazione sul piano, in forma ridotta e secondo opportuni simboli, della superficie della Terra o di una sua parte. Ha origini con il XIV secolo: l'italiano *Petrus Vesconte* (?- forse 1327), considerato il primo ad aver apposto firma e data su un'opera cartografica, utilizzava sia il termine *carta* sia *tabula*; un'ordinanza catalana del 1354 e un documento ufficiale portoghese del 1443 riportano l'espressione *carta de marear*.

Derivato dalla parola latina *charta* (foglio di papiro, scritto), si ritrova nelle principali lingue europee: : il francese *carte*, il tedesco *karte*, l'inglese *chart*, il norvegese *kort*.

Mappa, un termine latino (un pezzo di stoffa, un tovagliolo, un drappo) assegnato dagli agronomi medievali alle loro rappresentazioni grafiche dei terreni che probabilmente venivano eseguite su tela, da cui il termine.

Nella lingua italiana è pertanto la rappresentazione grafica di una zona di terreno, una carta geografica o topografica, una pianta la cui scala non supera certi rapporti.

Da tale termine seguirono parole composte come *mappa mundi* (da *mundus*, mondo), l'antico francese *mapamonde*, il nostro attuale *mappamondo*, una rappresentazione cartografica in scala ridotta dell'intera superficie terrestre, talvolta riportata su una sfera, a partire dal IV sec., una realizzazione, soprattutto fuori dall'Italia, indicata più correttamente come *globo*, dal lat. *globus* o come *planisfero*, anche questo termine improprio.

Nella lingua inglese i due termini *chart* e *map* vengono assegnati a due distinte rappresentazioni della superficie terrestre. **Chart**, che è anche grafico, tabella, è una rappresentazione di dati idrografici quali fondali, pericoli, ostacoli, ecc. utili al navigante; **Map** è un contenitore di informazioni topografiche secondo criteri che ne specializzano l'impiego, dalle mappe stradali, agli atlanti, dalla rappresentazione della volta celeste alle distribuzioni geospaziali di informazioni su specifici temi (mappe tematiche), come quelli economici, sociali, sanitari, ecc.

Anche nella lingua spagnola troviamo **carta náutica** mentre **mapa** è la carta geografica.

Nella lingua italiana il termine carta ha un significato molto ampio, dalle carte geografiche, tematiche, ai semplici fogli su cui scrivere, stampare, al materiale che in altre lingue deriva dal greco *pápyros*: in fr. *papier*, in ingl. *paper*, in sp. *papel*, da cui fogli di carta come l'ingl. *sheet of paper*.

Cartografia, termine relativamente recente, in uso tra i geografi francesi e tedeschi a partire dai primi anni dell'800. Dal francese *cartographie*, composto dal latino medievale *carta* e dal francese *graphie* a sua volta dal greco *graphia*, scrittura, disegno, descrizione

Planisfero, dal latino *planus*, piano, piatto, livellato e *sphaera*, in origine era la parola indicativa di una rappresentazione su superficie piana di una porzione della sfera celeste. Successivamente il termine venne assegnato anche alle raffigurazioni in piano dell'intera superficie terrestre.

RETICOLATO GEOGRAFICO

Per poter individuare la posizione assoluta di qualsiasi punto sulla Terra si è reso necessario definire una griglia immaginaria e convenzionale costituita dall'intersezione di linee che avvolgono la Terra, denominate *paralleli* e *meridiani*.

Paralleli (Latitudine)

Circonferenze aventi il centro lungo l'asse Nord Sud della Terra, con raggio massimo all'Equatore e nullo ai Poli.

L'Equatore è pertanto il parallelo fondamentale (0°), la circonferenza massima che divide la Terra in due emisferi (boreale/Nord e australe/Sud), La distanza tra i paralleli è misurata in gradi di latitudine.

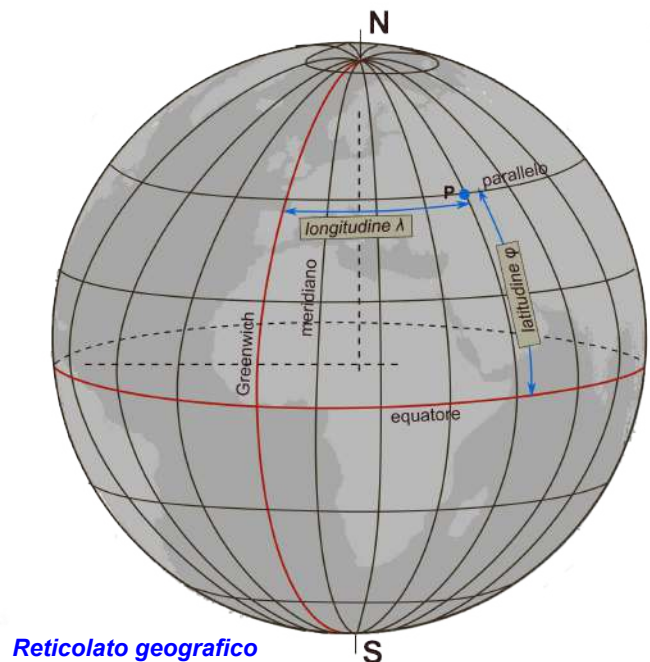
Meridiani (Longitudine)

Semicirconferenze verticali tutte uguali che uniscono il Polo Nord al Polo Sud, intersecando l'equatore ad angolo retto.

A un meridiano corrisponde un **antimeridiano**, la semicirconferenza opposta. Insieme costituiscono un cerchio massimo.

La distanza tra due meridiani non è costante: massima all'equatore, diminuisce fino a zero verso i poli.

La distanza tra i meridiani è misurata in gradi di longitudine.



Latitudine e longitudine

Termini derivati da quelle prime carte rettangolari con la base più ampia (per questo poi chiamata longitudine) dell'altro lato (latitudine).

Si esprimono in valori angolari in gradi sessagesimali (gradi, primi e secondi o in gradi, primi e decimi di primo) ovvero in gradi decimali (una modalità oggi largamente diffusa in ambiti diversi dalla nautica).

La **latitudine** (lat) è la distanza angolare di un punto sulla sfera terrestre a partire dall'equatore (parallelo di riferimento lat. 00°) variabile tra 00° e 90° Nord per posizioni dell'emisfero settentrionale o boreale e 00° - 90° Sud per l'emisfero meridionale o australe.

La **longitudine** (lon) è invece la distanza angolare di un punto dal meridiano di riferimento o fondamentale (meridiano di Greenwich – 000° , presso Londra), misurata in gradi da 000° a 180° Est o Ovest lungo l'arco di parallelo passante per quel punto. La longitudine è fondamentale per determinare i fusi orari. L'antimeridiano di Greenwich funge da linea del cambio di data (180°).

Esempi:

1) **Isola di Ponza** lat $40^\circ 54' N$; lon $12^\circ 58' E$, in cui il simbolo N è indicativo dell'emisfero Nord ed E specifica una longitudine ad est del meridiano fondamentale.

2) Dall'Elenco fari dell'IIM

Fanale 2399.4 dell'Isolotto di San Martino

Le coordinate sono: $40^\circ 48.5'$ e $14^\circ 02.6'$.

L'intestazione della colonna N/E ci indica,

		N/E
- Isolotto di San Martino		
2399.4	-- Fanale "H 12"	40 48.5 FI(3) Y 10s
E1619.35		14 02.6

come è immaginabile, il verso delle due coordinate

non sono altresì segnate le unità di misura ma è facile ricostruirle:

1) lat $40^{\circ} 48.5'$ il decimale .5 corrisponde a $60 \cdot 0.5 = 30'' \Rightarrow \text{lat} = 40^{\circ} 48' 30'' \text{ N}$

2) lon $14^{\circ} 02.6'$ $\Rightarrow 14^{\circ} 02' 36'' \text{ E}$

Note: la rappresentazione dei valori di latitudine e longitudine seguono regole consolidate in relazione all'ambito in cui sono impiegate. L'argomento è trattato più avanti nel capitolo della Carta Nautica.

Oltre alle abbreviazioni lat e lon si impiegano rispettivamente le lettere greche ϕ (pron. fi) e λ (pron. lambda).

longitudine e fusi orari

La Terra è una sfera che ruota da Ovest verso Est (osservandola dal Polo Nord ruota in senso antiorario) compiendo un giro completo in 24 ore. Durante questa rotazione:

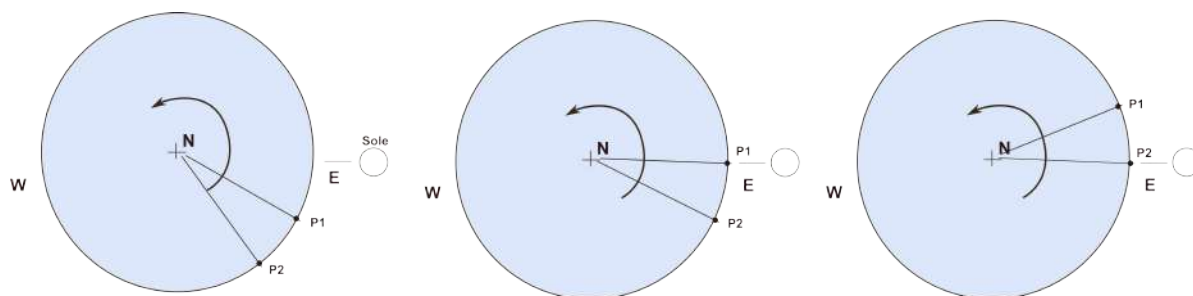
- Il **Sole sorge a Est** e tramonta a Ovest perché i luoghi a Est vedono il Sole prima rispetto a quelli a Ovest.
- La **culminazione** (il momento in cui il Sole raggiunge il punto più alto nel cielo in un dato luogo, a mezzogiorno solare vero) avviene in successione sui vari meridiani.
- Poiché la Terra ruota verso Est, un punto situato più a Est del meridiano fondamentale (Greenwich) **entra prima nella luce solare** e raggiunge la culminazione prima di un punto più a Ovest.

Esempio:

Se a Greenwich (longitudine 0°) il Sole culmina alle 12:00 (mezzogiorno vero), un luogo situato a 15° Est ha raggiunto la culminazione 1 ora prima (alle 11:00 UTC), perché la Terra ruota di 15° ogni ora ($360^{\circ} / 24 \text{ h} = 15^{\circ}/\text{h}$).

Allo stesso modo, in un luogo a 15° Ovest il Sole culminerà 1 ora dopo (alle 13:00 UTC).

In sintesi: La differenza di longitudine si traduce direttamente in una differenza di ora solare locale: ogni 15° di longitudine corrisponde a 1 ora di differenza.



Schema temporale della rotazione della Terra vista dal polo Nord: Il punto P1 si trova ad Est di P2. Quando P1 è in culminazione (2° frame) in P2 il sole è ancora basso; P2 si troverà in culminazione successivamente (3° frame)

Informazioni sui fusi orari

Convenzionalmente la Terra è stata divisa in 24 **fusi orari** di 15° ($360/24$) ciascuno, e le ore sono espresse in **Tempo Coordinato Universale (UTC)**. Questo modello è quello applicato nella navigazione.

Nella vita pratica il mondo è stato suddiviso ancora in **fusi orari**, ma questi non seguono rigorosamente i meridiani adattandosi ai confini di stati, regioni o abitudini sociali.

Esempi:

- La Cina, nonostante si estenda per oltre 60° di longitudine (5 fusi teorici), usa un unico fuso orario (UTC+8, ora di Pechino).
- Il Nepal ha un fuso orario "insolito" (UTC+5:45) perché ha scelto di allinearsi al mezzogiorno solare del proprio territorio.
- L'Australia ha più fusi (da UTC+8 a UTC+11), ma alcuni stati adottano l'ora legale in modo non uniforme.

Linea internazionale del **cambio di data** (circa 180° di longitudine, opposto al Meridiano di Greenwich):

- Attraversandola verso Ovest, si salta un giorno in avanti (es. da lunedì a martedì).
- Attraversandola verso Est, si torna indietro di un giorno.

UTC (*Tempo Coordinato Universale*): Ha sostituito il **GMT** (*Greenwich Mean Time - Tempo medio di Greenwich*) come standard di riferimento. Si rimanda al link (**segnali orari** ⁽³⁾) per un approfondimento storico.

Distanze

Si sa la Terra è schiacciata ai Poli tanto da indurre i geografi a impiegare un ellissoide per caratterizzare il pianeta. Per fortuna schiacciamento ed eccentricità dell'ellissoide terrestre sono minimi tanto da rendere possibile nei calcoli nautici impiegare come riferimento ancora la sfera. A titolo informativo se si raffronta l'ellissoide WGS84 con una sfera di uguale superficie questa avrebbe un raggio di 6.371.000,7 metri che diverrebbe di 6.371.008,8 metri considerando tale raggio la media delle tre dimensioni dell'ellissoide.

Il **miglio marino** o *nautico* (al plurale miglia) è l'unità di misura standard utilizzata per le distanze in mare (e in volo), corrispondente alla lunghezza di un primo d'arco (1/60 di grado) di latitudine lungo un qualsiasi circolo massimo (meridiani ed equatore).

Poiché la Terra ha una forma ellissoidica, il valore d'arco di 1' non è costante dall'equatore ai Poli, aumentando con il raggio di curvatura (da circa 1843 m all'equatore a circa 1862 ai Poli dell'Ellissoide). Per tale motivo il **Bureau Hydrographic International (BHI)** adottò alla Conferenza Idrografica Internazionale del 1929 il **Miglio Nautico Internazionale** corrispondente a **1852 metri**, valore ricavato dall'*Ellissoide Internazionale di Hayford* del 1924 alla latitudine di 44° 20'. Tale unità di misura, abbreviata con le sigle **NM** (nautical mile) o **M**, non fa parte del Sistema Internazionale di unità di misura (SI), quello che definisce il metro, il chilogrammo, il secondo ed altre ancora.

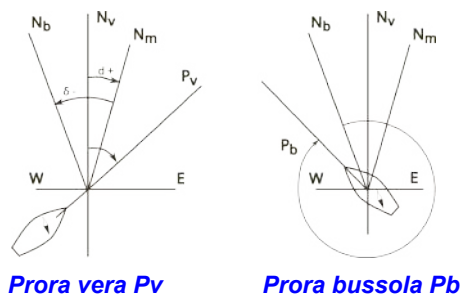
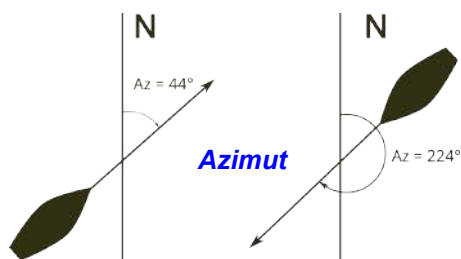
Nella nautica l'uso del miglio e non dei metri è tale che tali differenze non incidono sui calcoli delle distanze e dei tempi di percorrenza.

Dal miglio discende il **nodo**, unità di misura della velocità in navigazione, definita come un miglio nautico internazionale all'ora.

Storicamente il termine *nodo* (*knot* in ingl.) discende dall'antica pratica di misurare la velocità facendo filare fuori bordo la sagola di un solcometro contrassegnata da nodi che venivano contati in un intervallo definito di tempo.

Direzioni

Il punto verso cui è diretta una nave o altro elemento, nonché il rilevamento di un punto cospicuo, di un altro galleggiante, ecc. viene espresso in valore angolare, l'**azimut**, inteso come arco di orizzonte compreso tra il Nord e una direzione, contato in senso orario. La direzione può essere quella verso cui si dirige una nave, la direzione verso cui va una corrente, la direzione di un segnale radio o dei raggi luminosi, la direzione di provenienza del vento.



Per l'orientamento si utilizzano tre tipi di nord fondamentali indicanti direzioni diverse:

- **Nord Vero Nv** (o Geografico): È il Polo Nord, ovvero il punto esatto in cui convergono tutti i meridiani e l'asse di rotazione della Terra. È il riferimento fisso utilizzato sulle carte nautiche.
- **Nord Magnetico Nm**: È la direzione verso cui punta l'ago calamitato della bussola. In realtà si tratta del polo sud del campo magnetico terrestre, convenzionalmente indicato come nord magnetico, situato attualmente nel nord del Canada (in continuo e lento spostamento).

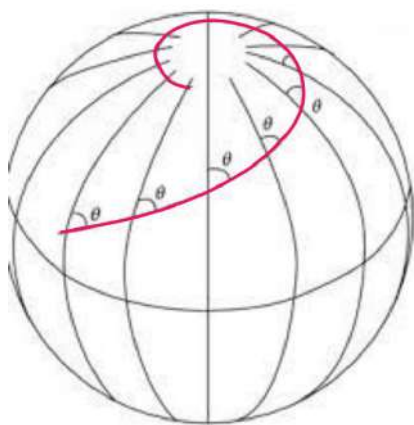
La differenza angolare (misurata in gradi) tra il Nord Vero e il Nord Magnetico si chiama **Declinazione Magnetica**. Poiché il campo magnetico terrestre cambia continuamente, il valore della declinazione varia nel tempo e con la posizione geografica in cui si trova la nave

- **Nord Bussola Nb**: È la direzione effettivamente indicata dalla bussola in un dato momento. Questo valore non sempre coincide con il nord magnetico perché subisce l'influenza (la **deviazione**) dei campi magnetici locali o dei metalli presenti attorno allo strumento.

Percorsi nautici

Lossodromia

Termine derivato dal greco *loxós* ("obliquo", sghembo) e *drómos* ("percorso", o "corsa"), percorso, coniato dal fisico olandese Willebrord Snell van Royen, conosciuto anche con il nome latinizzato di Willebrordus Snellius (1580 – 1626), famoso per aver definito la legge della rifrazione che porta il suo nome (*legge di Snell*).



Rappresentazione di una lossodromia sulla sfera

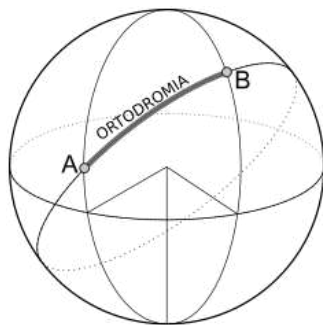
La lossodromia è un qualunque percorso sulla sfera che taglia i meridiani secondo un angolo costante. Il termine è pertanto utilizzato in navigazione e cartografia per descrivere la rotta che un'imbarcazione mantiene navigando con una rotta bussola costante.

Sulla sfera terrestre la lossodromia è teoricamente una spirale che dall'equatore si avvicina al polo senza mai raggiungerlo. Tale andamento fu riconosciuto per la prima volta dal matematico e cartografo portoghese Pedro Nunes (1502 – 1578), mentre fu il matematico svizzero Jacques Bernouille (1654 – 1705) a definirne l'espressione matematica.

Particolari lossodromie sono l'equatore e i paralleli che incontrano i meridiani secondo un angolo retto e naturalmente i meridiani per cui l'angolo è uguale a 0°.

L'arco di lossodromia passante per due punti non rappresenta il percorso minore tra essi.

Sono le carte isogoniche quelle su cui una rotta lossodromica è rappresentata da un segmento di retta, una proprietà intrinseca della *proiezione di Mercatore* e della *proiezione stereografica*.



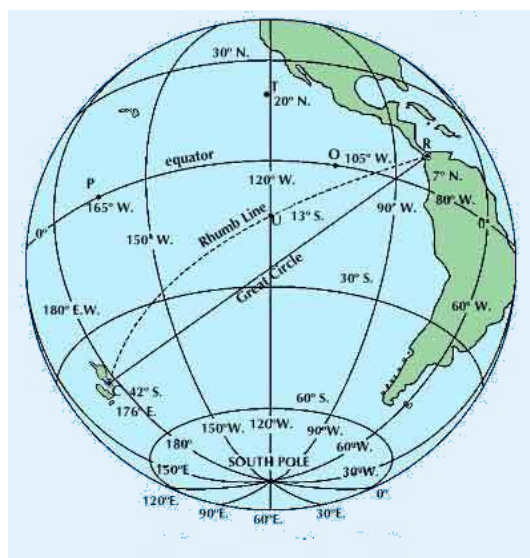
Ortodromia

Ogni cerchio massimo passante per due punti della superficie sferica definisce un arco (di cerchio massimo) noto come **ortodromia** dal greco antico *orthos* ("diritto", "retto") e *dromos*, ovvero la distanza più breve tra i due punti. Tale percorso taglia i meridiani compresi tra i due punti secondo angoli via via diversi. Ne segue che l'angolo di rotta ortodromica è variabile lungo il tragitto, mentre il valore in miglia è uguale al valore in primi dell'angolo al centro che sottende l'arco tra i due punti.

Dovendo affidarsi alla bussola per navigare, sulle lunghe distanze la rotta ortodromica viene suddivisa in successivi tratti lossodromici.

Fanno eccezione le rotte lungo l'equatore o un meridiano in cui lossodromia e ortodromia coincidono.

Le carte utilizzate per pianificare rotte ortodromiche sono quelle *gnomoniche*.



Confronto tra rotta ortodromica (in ingl. Grand Circle) e rotta lossodromica (Rhumb line - linea dei rombi, antica definizione, antecedente a quella della lossodromia)

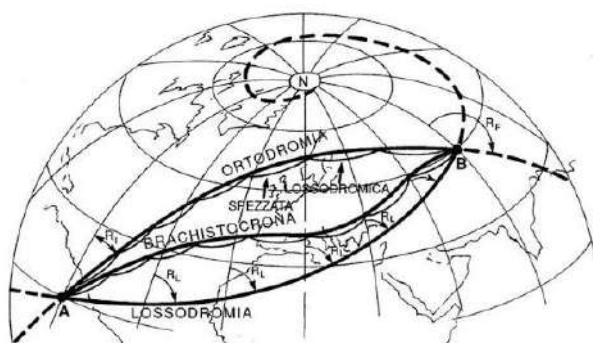
Rotte brachistocrone

Nella navigazione oceanica esiste una terza modalità di navigazione, quella nota come **rotta brachistocrona**, di minimo tempo.

Il termine deriva infatti dal greco *brackistos*, il più breve e *chronos*, tempo. Si tratta di scegliere successivi tratti lossodromici in funzione delle migliori condizioni attese di mare e vento.

In tal modo la nave, pur seguendo una rotta più lunga, può risparmiare su tempo e carburante potendo navigare a una velocità più prossima a quella massima effettiva presunta.

Seguire una rotta brachistocrona comporta altresì una minore sollecitazione all'equipaggio, ai passeggeri e al carico.



PROIEZIONI CARTOGRAFICHE

Per la realizzazione di una carta il primo passo da compiere è avere una griglia rappresentativa sul piano del reticolo convenzionale di latitudine e longitudine. Su questa griglia, in base ai dati ricavati dal vero si realizza la carta vera e propria con i profili della costa, i punti di interesse ed ogni altro elemento caratterizzante la specifica carta. Ma come si realizza il grigliato iniziale? Storicamente le prime modalità basate sulla geometria per una rappresentazione in piano della superficie terrestre vengono attribuite a Claudio Tolomeo, ma solo con il XVI secolo si ebbe un impulso nella ricerca di sistemi geometrici utili alla costruzione delle carte, favorito dalle numerose scoperte geografiche, dal progresso in vari campi scientifici e sotto la spinta degli interessi politici ed economici sollevati proprio da tali scoperte. Il processo di costruzione dello scheletro deriva dalla necessità di proiettare la superficie terrestre su un piano a partire da un punto di osservazione.

Si parla così di **proiezione cartografica**, un procedimento costituito da regole geometriche e/o matematiche utilizzato per rappresentare la superficie curva della Terra (o parte di essa) su un piano bidimensionale (la *carta geografica*). Esistono anche carte (dette *convenzionali*), ottenute anch'esse con procedimenti matematici a cui vengono applicate operazioni empiriche che sacrificando il rispetto rigoroso di alcune proprietà, ne permettono l'uso per rappresentare specifici aspetti tematici. Tali carte non rientrano, comunque, tra quelle nautiche.

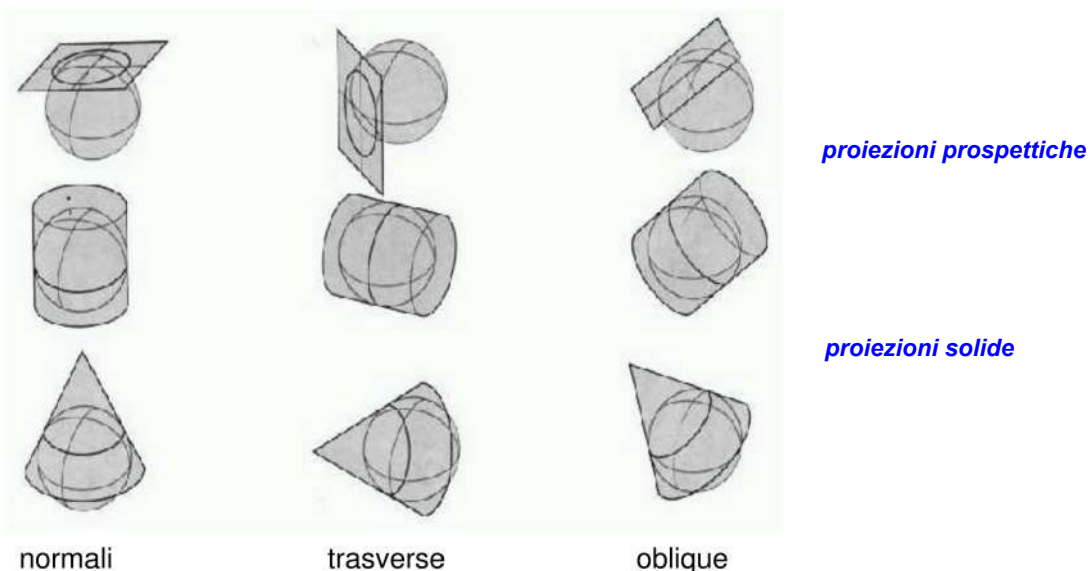
Poiché è impossibile "spianare" una superficie curva senza deformazioni, ogni proiezione introduce distorsioni di forme, aree, distanze o angoli. Per questo motivo ci sono tante proiezioni e la scelta della più idonea è fatta in base a ciò che si vuole preservare. Si parla così di proiezioni la cui proprietà è quella di mantenere le proporzioni delle aree e sono dette **Equivalenti**; se mantengono gli angoli sono dette **Isogone** o **Conformi** mentre se mantengono la proporzione delle distanze sono dette **Equidistanti**.

Elementi caratteristici delle Proiezioni

Le proiezioni possono classificarsi in relazione a:

- **Posizione del punto di vista** chiamato *centro di proiezione*, coincidente con il centro della sfera terrestre (*proiezioni centografiche*) o sulla superficie opposta (*proiezioni stereografiche*)
- **Superficie di proiezione** che può essere un piano (*quadro*) o per sviluppo di un cilindro (*proiezioni cilindriche*) o di un cono (*proiezioni coniche*). La superficie può essere tangente o secante la Terra.

Le proiezioni su un piano sono dette **proiezioni prospettiche**, *azimutali* o *zenitali*, le altre, quelle



impieganti un solido geometrico, sono dette **proiezioni solide**;

- **Orientamento** della superficie di proiezione rispetto alla superficie terrestre: può essere *Diretto* (o *Normale*) quando il quadro è parallelo all'Equatore, mentre nelle proiezioni per sviluppo, l'asse del solido (cilindro o cono) è parallelo all'asse terrestre; l'orientamento è *Trasverso* se è perpendicolare all'Equatore o l'asse del solido è normale all'asse terrestre; Orientamento *Obliquo* in tutti gli altri casi.

Proiezioni nella cartografia nautica

Limitatamente al settore nautico le proiezioni cartografiche utilizzate per la costruzione della maggior parte delle carte nautiche sono la proiezione di Mercatore e la gnomonica:

1) Proiezione di Mercatore (Cilindrica e Conforme)

Ideata nella seconda metà del Cinquecento dal cartografo e incisore Gerardo Kramer (latinizzato Mercator 1512-1594) per risolvere un problema di navigazione, divenuto all'epoca fondamentale con lo sviluppo della bussola, quello di poter pianificare sulla carta una rotta ad angolo costante (*rotta lossodromica*). Se si traccia una lossodromia su un globo (all'epoca un ausilio didattico nell'insegnamento della navigazione) si ottiene una curva; la proiezione di Mercatore permette di trasformare una tale curva in una retta sulla carta.

La carta costruita con tale proiezione consente così al marinaio di individuare un punto, la propria posizione e tracciare la rotta verso una qualunque destinazione affidandosi alla bussola.

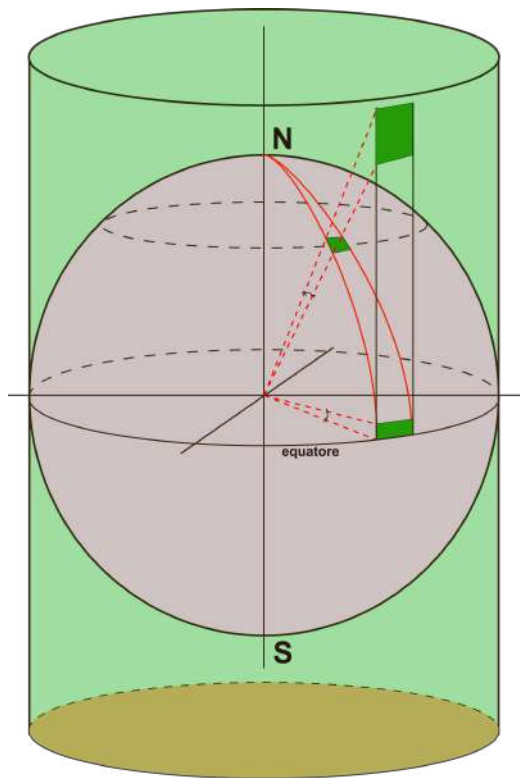
La proiezione è definita una **proiezione cilindrica, diretta, centrale, conforme e modificata**.

La superficie di proiezione è un **cilindro** tangente la sfera all'equatore (**diretta**), con punto di proiezione posto al centro della sfera (**centrale**). Ha la caratteristica di preservare gli angoli tra elementi reali e i corrispondenti elementi rappresentati sulla carta (*isogonia*), così da permettere di tracciare una retta sulla carta che interseca i meridiani ad angolo costante, corrispondente a una rotta lossodromica sulla sfera. Tale proprietà è anche detta **conforme**. Si tratta di due sinonimi cartografici che derivano da tradizioni diverse:

- *Isogona* (dal greco *isos* = uguale, *gonia* = angolo) → sottolinea l'uguaglianza degli angoli misurati sulla Terra e sulla carta.
- *Conforme* (dal latino *conformis* = che ha la stessa forma) → sottolinea che piccole figure (infinitesime) sulla carta sono simili a quelle reali sulla sfera (gli angoli si conservano, ma le aree no).

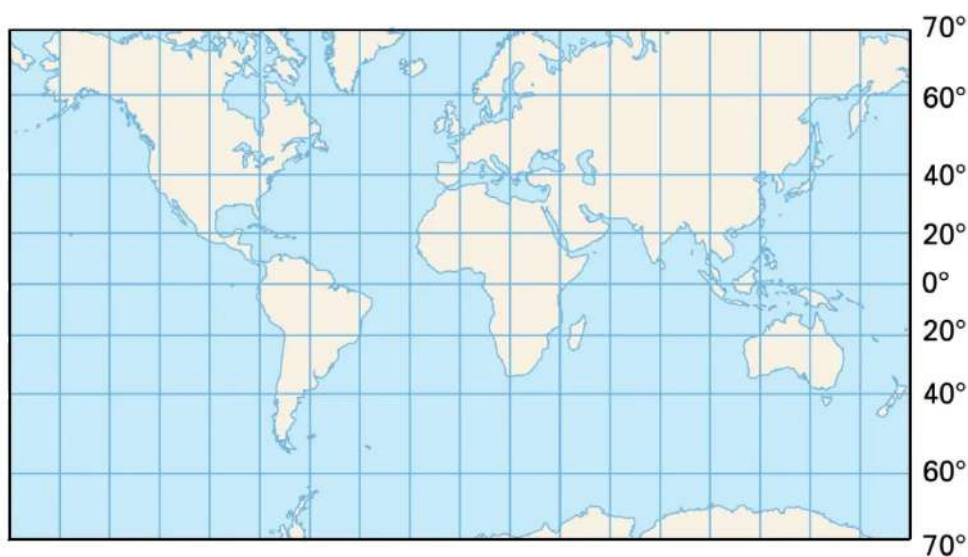
Infine la proiezione di Mercatore è una proiezione cilindrica **modificata** (in effetti è da tale caratteristica che deriva l'*isogonia*). Come in una cilindrica ordinaria, i meridiani sono tracciati equidistanti (rette verticali), al contrario della realtà in cui i meridiani si avvicinano verso i poli. Questo allunga artificialmente gli oggetti in senso est-ovest avvicinandosi ai poli. Per preservare gli angoli (*conformità*), occorre "stirare" anche in senso nord-sud, nella stessa proporzione. Mercatore lo fa matematicamente (apportando opportune correzioni alla proiezione cilindrica ordinaria, da cui l'aggettivo *modificata*), applicando uno stiramento verticale che cresce con la latitudine esattamente come quello orizzontale. Come un quadratino di gomma tirato in una direzione va tirato ugualmente nell'altra per mantenere la forma.

Se il principale vantaggio della carta di Mercatore è quello di tracciare una rotta ad angolo costante, utile nella navigazione, ha l'inconveniente che allontanandosi dall'Equatore e avvicinandosi ai Poli, la proiezione distorce le dimensioni (le aree appaiono sempre più grandi del reale). Per tale ragione non viene utilizzata per latitudini superiori ai 70° (N e S).



Confronto relativo tra le dimensioni della Groenlandia e l'Africa nella carta di Mercatore e nella realtà. L'Africa, essendo posta a ridosso dell'equatore non risente di grosse deformazioni

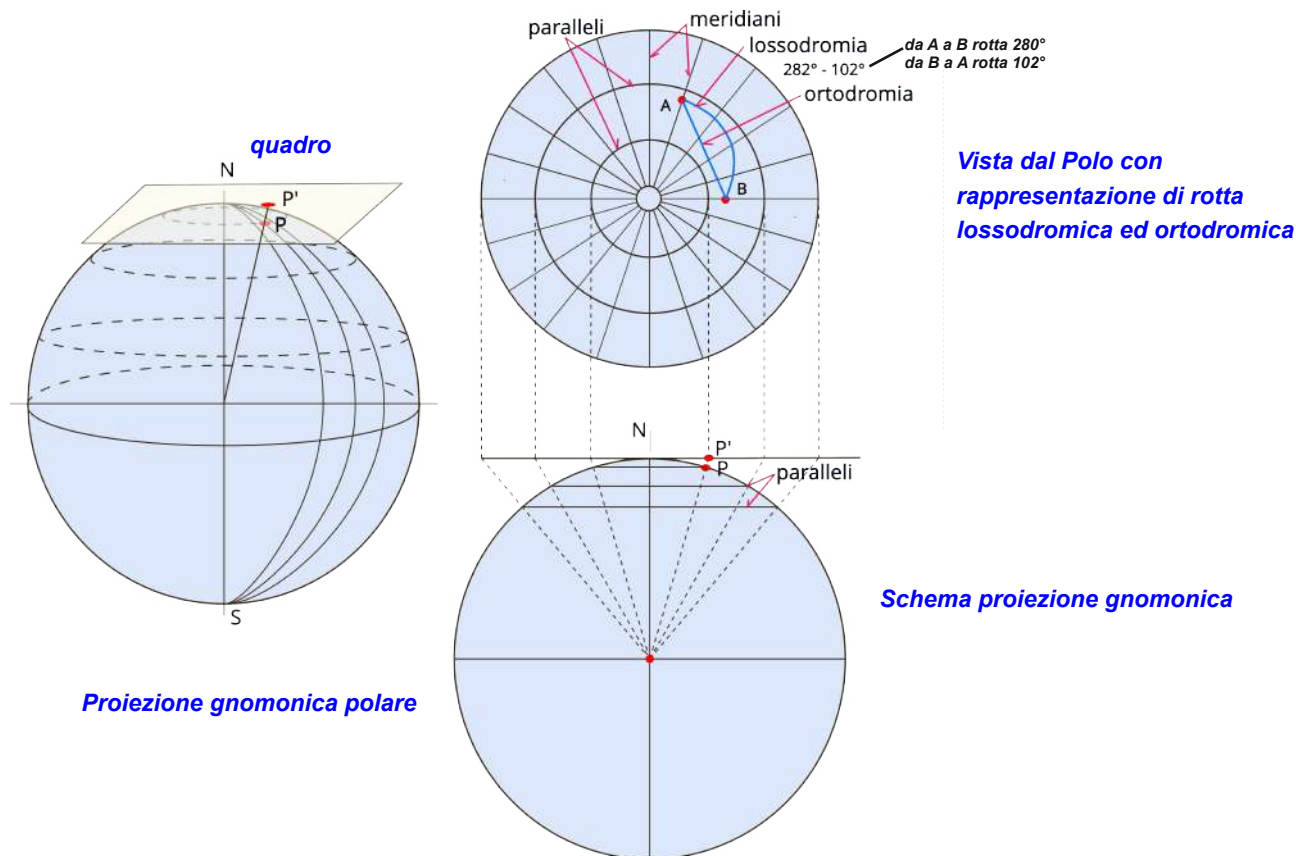
In una proiezione cilindrica e quindi anche in quella di Mercatore, allontanandosi dall'equatore una superficie proiettata si deforma in maniera crescente con la latitudine



La Terra nella proiezione di Mercatore

2) Proiezione Gnomonica

È una proiezione prospettica in cui il *quadro* è tangente alla superficie terrestre con un punto di vista nel centro della Terra (*proiezione centrografica*). Si hanno **proiezioni gnomoniche polari, meridiane, oblique**, rispettivamente per un quadro tangente a un polo, all'equatore o in un punto qualsiasi della superficie terrestre. La proprietà di tale proiezione è quella di rappresentare i cerchi massimi, il cui centro coincide con il punto di osservazione, come linee rette.



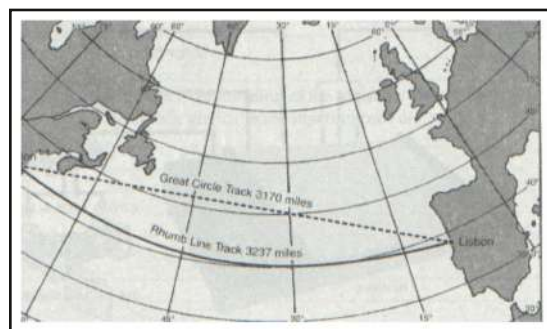
Ciò vuol dire che le ortodromie sono rappresentate da segmenti rettilinei, così da rendere le carte gnomoniche (a scale piuttosto piccole) utili al tracciamento delle rotte oceaniche.

Non essendo nè conforme nè equivalente le lossodromie, come i paralleli, non sono rappresentate da rette ma da curve quali iperboli, parabole o archi di ellisse.

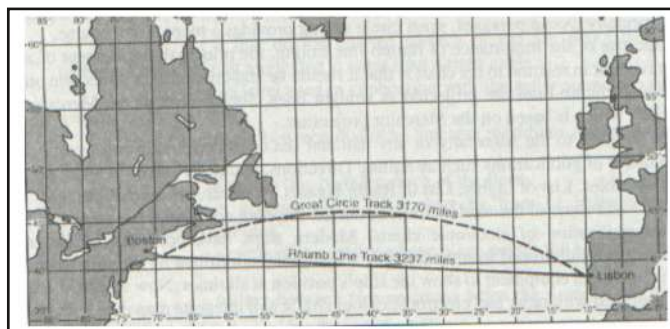
Le carte gnomoniche polari consentono la rappresentazione delle aree ad alta latitudine, oltre i circoli polari, dove non è possibile impiegare la proiezione di Mercatore a causa della grande dilatazione.

Trovano uso nella rappresentazione di piccole aree all'intorno del punto di tangenza.

Le carte gnomoniche oblique, realizzate a grande scala (1:20.000 - 1:5.000), sono conosciute come **Piani nautici** quali porti, rade, ancoraggi, ecc. L'estensione dal punto di tangenza non supera le 15 miglia affinché le deformazioni, dovute alla proiezione sul quadro, possano ritenersi trascurabili per gli scopi nautici. In tal modo le carte possono ritenersi al tempo stesso isogone, equivalenti e isometriche, rettificano le lossodromie e le ortodromie. In effetti anche una proiezione di Mercatore applicata a una piccola zona è oggi usata per la realizzazione dei Piani nautici.



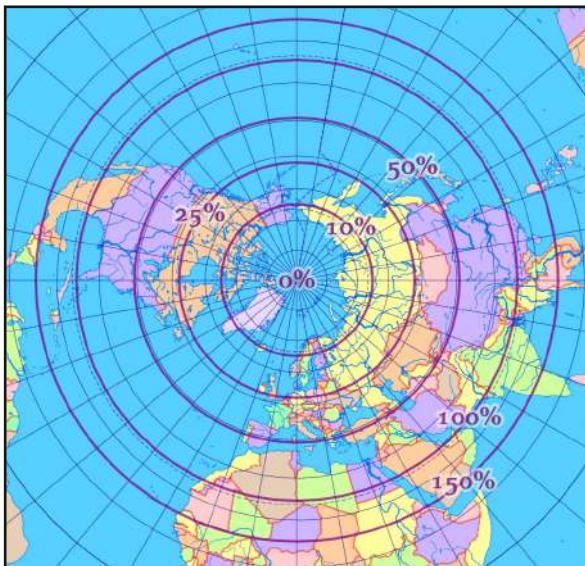
Confronto nelle forme tra rotta lossodromica e rotta ortodromica nelle due proiezioni gnomonica meridiana e Mercatore (a piccola scala)



3) **Proiezione stereografica**

É un'altra proiezione azimutale impiegata nella nautica in cui il punto di vista è diametralmente opposto al quadro.

Si tratta di una proiezione conforme (isogona) con deformazioni crescenti con l'allontanamento dal punto di tangenza, ma di minore entità rispetto alle gnomoniche. Usata soprattutto per la navigazione polare (**proiezione UPS** - *Universal Polar Stereographic*), in particolare limitatamente alle calotte polari (da circa 66° di latitudine) in cui le rotte ortodromie possono considerarsi con buona approssimazione anch'esse linee rette.



Carta UPS con indicazione delle deformazioni

4) **Proiezione universale trasversa di Mercatore (UTM)**

Per completezza sull'argomento si riportano alcune informazioni su una particolare proiezione cilindrica nota come **Sistema UTM** (*Universal Transverse Mercator*), derivata dalla **proiezione conforme di Gauss** che, a differenza della classica proiezione di Mercatore, ha il cilindro ruotato di 90° e tangente a un meridiano.

Nel Sistema UTM la Terra viene divisa in 60 fusi di 6° di longitudine ciascuno, numerati da 1 a 60 (il cilindro di proiezione viene così ruotato ad ogni fuso) e in 20 fasce di ampiezza pari a 8° di latitudine. In tal modo la superficie terrestre, compresa tra il parallelo di 80° sud a quello di 80° nord, è divisa in un totale di 1200 zone dalla forma trapezoidale. A differenza della proiezione di Gauss il cilindro di sviluppo di ogni fuso è *secante* (e non tangente) l'ellissoide lungo due linee simmetriche. L'azione secante è un accorgimento utile a ridurre le deformazioni complessive del fuso, un vantaggio per la cartografia tecnica.

Un punto della carta UTM è così identificato da un numero corrispondente al fuso di appartenenza; da una lettera indicativa della fascia e da due coordinate:

- **Easting** (E): distanza in metri dal meridiano centrale del fuso (con falso valore di 500.000 m per evitare coordinate negative)
- **Northing** (N): distanza in metri dall'equatore (emisfero Nord) o da un parallelo convenzionale (emisfero Sud).

Essendo un sistema metrico cartesiano trova impiego in maniera diffusa nella topografia terrestre.

Nella navigazione a medio e lungo raggio la proiezione UTM non è utilizzata principalmente per un motivo geometrico fondamentale, l'impossibilità di rettificare le lossodromie, ma anche per la frammentarietà delle aree rappresentate che non ne facilitano la gestione. Non è facile gestire vistose discontinuità e distorsioni geometriche non appena si superano i confini del fuso di appartenenza. La UTM trova impiego solo su piccole aree (costiere, navigazione interna, pilotaggio, rilievi idrografici) dove il sistema metrico e la precisione dell'UTM forniscono un vantaggio computazionale sfruttato dai chartplotter con ricevitore GPS di bordo (che utilizza nativamente il sistema di riferimento geodetico WGS84 combinato con la griglia UTM).

Sui bordi delle carte a grande scala, oltre alla scala tradizionale in gradi e primi è presente un reticolato chilometrico UTM che permette di utilizzare gli elementi posti sulla terraferma nella navigazione costiera.

Per una comprensione di quanto detto sul vantaggio computazionale si riporta un piccolo esempio di misura di distanza basata su valori metrici rilevati sulla carta di litorale n. 129 dell'Istituto Idrografico della Marina.

Si scelgono due punti reali del Golfo di Napoli: il **Faro di Capo Miseno** e l'imboccatura di **Porto Paone** sull'isola di Nisida.

Dati di partenza

Luogo	Coordinate geografiche	UTM (fuso 33T)
Faro Capo Miseno	40° 48,82' N, 014° 05,31' E	Easting: 423.060 m Northing: 4.514.500 m
Porto Paone (Nisida)	40° 47,72' N, 014° 09,8' E	Easting: 429.120 m Northing: 4.517.620 m

I luoghi sono inclusi nel fuso 33, fascia T.

Come detto i valori UTM sono stati rilevati dalla carta. Valori precisi possono essere ricavati da appositi software disponibili anche on-line.

Le coordinate geografiche seguono le regole impiegate in marina.

Si calcolano le differenze di coordinate:

$$\Delta E = 429.120 - 423.060 = 6.060 \text{ m}$$

$$\Delta N = 4.517.620 - 4.514.500 = -3.120 \text{ m} \quad (\text{il segno negativo indica che Nisida è più a sud})$$

$$\text{Applicando il teorema di Pitagora: } d = \sqrt{\Delta E^2 + \Delta N^2} = \sqrt{6.060^2 + 3.120^2} = \sqrt{46.458.000} = 6.816$$

Risultato: La distanza UTM tra Capo Miseno e Porto Paone è di circa 7 km che in miglia nautiche internazionali corrisponde a: $6.816 / 1.852 \approx 3,7 \text{ NM}$ (1 miglio nautico int [NM] = 1.852 m) che è il valore ricavabile con il compasso sulla scala delle latitudini.

Nota: Date le ridotte dimensioni del percorso (meno di 4 NM), la lossodromia (retta sulla carta di Mercatore) coincide praticamente con l'ortodromia (rotta più breve). Il calcolo pitagorico su piano UTM restituisce quindi lo stesso valore che si otterrebbe dalla geometria sferica, a meno di errori trascurabili. Su distanze oceaniche, invece, i due valori divergerebbero sensibilmente.

• **Lossodromia e ortodromia a breve distanza**

L'esempio numerico appena svolto prevede una distanza di soli 3,7 miglia nautiche. A questo proposito è fondamentale far notare che:

Su percorsi brevi (inferiori a 10-15 miglia nautiche), lossodromia e ortodromia coincidono nella pratica poichè a queste distanze l'arco di cerchio massimo è localmente quasi piano.

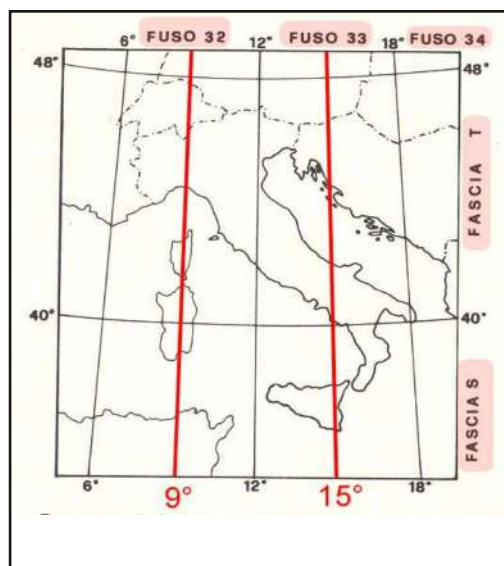
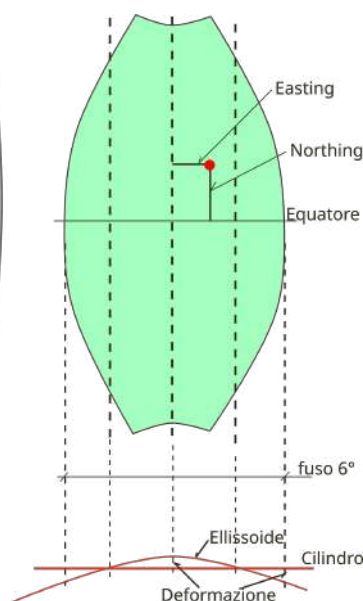
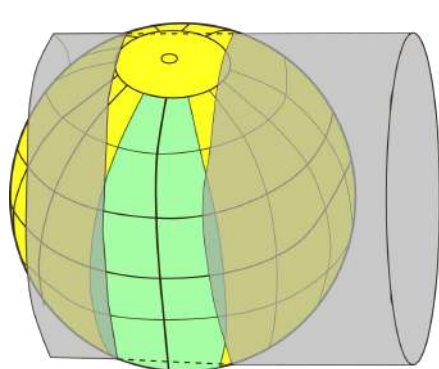
Implicazione pratica per il navigante:

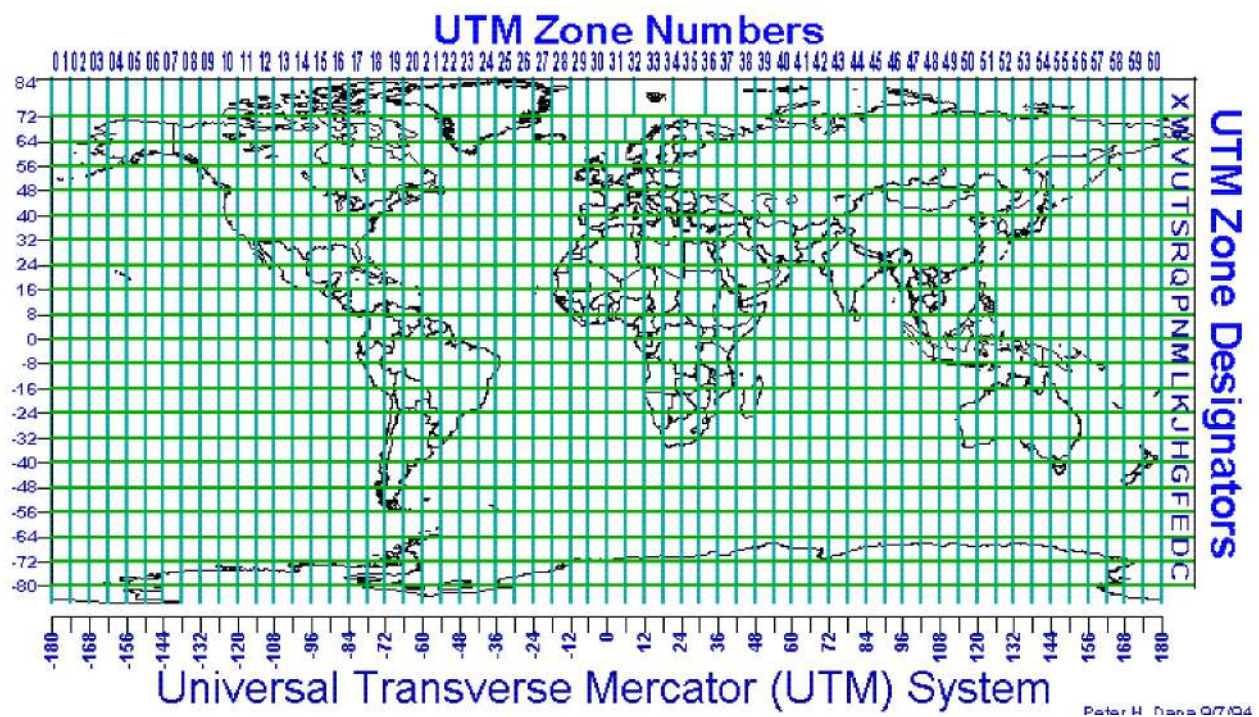
- In navigazione costiera, portuale o tra isole vicine, si può tracciare una lossodromia (retta sulla carta di Mercatore) e considerarla automaticamente la rotta più breve.
- In navigazione oceanica, invece, la differenza diventa significativa: per un tragitto di 3.000 miglia alle medie latitudini, la riduzione di percorso scegliendo l'ortodromia può superare le 50 miglia.

Nell'esempio di Capo Miseno e Nisida, la differenza teorica tra le due curve è dell'ordine di pochi centimetri: del tutto trascurabile ai fini della navigazione e del calcolo didattico che abbiamo svolto

• **Conclusione**

La proiezione UTM non è una carta nautica nel senso tradizionale del termine. Non si usa per tracciare una rotta in mare o per effettuare un rilevamento di un punto cospicuo. Tuttavia, può capitare di incontrarla in contesti di interfaccia nave-terra, cartografia fluviale o software di bordo che gestiscono coordinate in background. Conoscere la sua esistenza aiuta a capire come i moderni sistemi di posizionamento trasformano le coordinate, ma per navigare si resta saldamente sul piano di Mercatore.



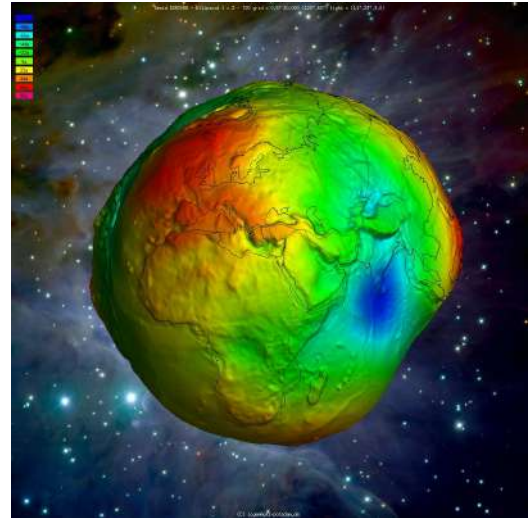


GEOIDE E ELLISSOIDE: DUE RIFERIMENTI CARTOGRAFICI A CONFRONTO

Il geoide, quale riferimento fisico per le quote

Quando si ha l'occasione di leggere l'altezza di un monte, di una collina, ma anche di una piazza ed altro ancora, la misura è accompagnata, soprattutto nelle indicazioni più tecniche, dall'espressione rispetto al livello del mare. Tale riferimento risulta comprensibile per tutto ciò che risulta lungo una costa, un riferimento certo e condivisibile, vantaggioso per il navigante, ma per un'altura che si trova all'interno di un continente qual'è il suo significato?

Al fine di fornire una rappresentazione più completa delle elevazioni della superficie terrestre, gli studiosi, dovendo misurare le quote altimetriche da una base di riferimento, hanno elaborato dei modelli fisici, non di tipo geometrico, noti come **geoidi**, un termine coniato nel 1873 da Johann Benedict Listing (1808–1882), scienziato tedesco allievo di Carl Friedrich Gauss, che dedicò gran parte della sua attività scientifica allo studio della forma della Terra conducendo e coordinando numerose campagne di misure.



Una vista del geoide EGM2008

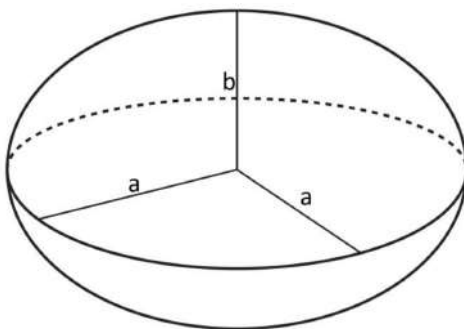
Tali modelli rappresentano il **Livello Medio del Mare** idealmente prolungato anche sotto i continenti – come se sotto le terre emerse esistessero canali comunicanti con l'oceano. Da questa superficie si determinano le quote altimetriche (dette **quote ortometriche**) di un monte, di una piazza, di un campanile.

La posizione di un punto sulla superficie terrestre può intendersi come la combinazione di una posizione **planimetrica** (latitudine e longitudine) e una **altimetrica** (quota).

Prima di parlare di quote e quindi di geoidi è importante comprendere come si valutano le posizioni in piano.

Il riferimento planimetrico: sfera ed ellissoide

Come sistema planimetrico di coordinate ci si affida a superfici geometriche regolari quali la **sfera** e l'**ellissoide**.



Un ellissoide è una sfera in cui vengono scalate una o due dimensioni. Un ellissoide generico ha tre raggi ortogonali diversi tra loro. Se invece due raggi rimangono uguali tra loro si ha un ellissoide di rotazione, detto anche sferoide. Tale tipo è quello rappresentativo della Terra.

La sfera è il più semplice modello, quello che è stato adottato per secoli con le note coordinate angolari in gradi sessagesimali di latitudine e longitudine. Questo schema, pur non essendo più in uso per la costruzione delle carte, è ancora il modello valido nella navigazione convenzionale, quella che per determinare la posizione ricorre a riferimenti geografici o astronomici.

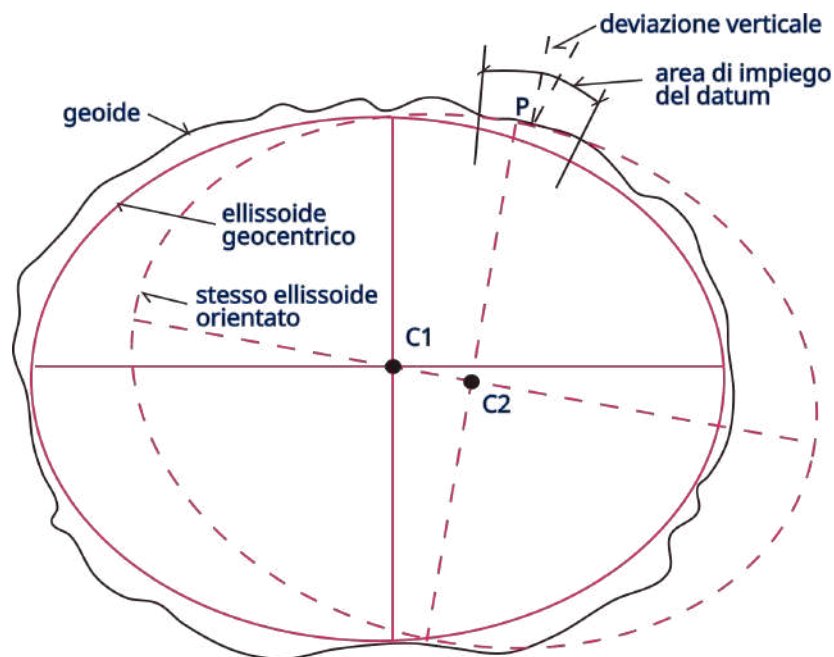
Con il progredire delle misure della Terra, cartografi e fisici si resero conto che un modello sferico era affetto da errori significativi nella rappresentazione del globo. Il primo a immaginare una Terra dalla forma di una sfera schiacciata ai poli fu Newton nel 1686, come riportato nel suo *Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica*.

Nel corso dell'Ottocento, dopo lo sviluppo dei metodi topografici e aver riconosciuto l'ellissoide di rotazione come il modello più convincente per rappresentare la Terra, diversi scienziati compirono numerose misure per poterlo caratterizzare.

Nell'arco di oltre 150 anni sono stati definiti numerosi ellissoidi, utilizzati nei diversi Paesi per le rappresentazioni cartografiche a scala locale.

Gli ellissoidi venivano traslati e ruotati (*orientati*) per essere tangenti in un punto (punto di tangenza del datum o punto di *emanazione*) baricentrico dello specifico territorio nazionale da rappresentare, minimizzando così gli errori.

Nel 1924, alla seconda assemblea generale dell'Unione Internazionale di Geodesia e Geofisica (*IUGG*), venne adottato come riferimento internazionale l'ellissoide calcolato dal geodeta statunitense John Fillmore Hayford (1868–1925) nel 1909. Si tratta del primo esempio di un modello accettato dalla maggior parte degli Stati, ognuno dei quali lo orientava per il proprio territorio (definendo pertanto, con lo stesso **ellissoide di Hayford**, datum geodetici diversi).



L'ellissoide geocentrico in C1 (in rosso continuo) viene traslato e ruotato (da C1 a C2 - in rosso a tratti) per risultare tangente in un punto P del geoide, tipicamente baricentrico del territorio da cartografare. Le verticali nel punto P dell'ellissoide orientato e del geoide formano un angolo non sempre nullo (per Roma40 è di 0°)

Per l'Italia tale ellissoide è stato

orientato presso l'Osservatorio di Monte Mario a Roma, assumendo il nome di datum geodetico Roma40, storicamente adottato per la gran parte della cartografia ufficiale dell'Istituto Geografico Militare (IGM).

Oggi il riferimento nazionale è l'ETRF2000, strettamente legato al sistema globale WGS84.

Quando poi, nei primi anni Ottanta del Novecento, venne costituito il sistema satellitare globale di navigazione noto come **GNSS** (*Global Navigation Satellite System*), si definì un nuovo sistema geodetico a scala mondiale il cui modello è stato denominato **WGS84** (*World Geodetic System 1984*).

Si tratta di un ellissoide geocentrico, il cui centro, pertanto, coincide con il centro di massa della Terra.

Il WGS84 è il datum del **NAVSTAR GPS** (*Global Position System*, il sistema di posizionamento e navigazione satellitare statunitense, ad oggi più diffuso). Nel GNSS fanno parte anche altre costellazioni di satelliti, come il **GLONASS** russo, l'europeo **Galileo** e il **BeiDou** cinese.

Per determinare univocamente la posizione di un punto sulla superficie di un ellissoide si impiega:

- un riferimento di **coordinate geografiche: longitudine λ , latitudine φ** ; oppure
- un sistema di **coordinate cartesiane geocentriche X, Y, Z** (come il WGS84) con l'asse Z coincidente con l'asse di rotazione terrestre e l'asse X orientato sul meridiano di Greenwich.

Un tempo con il **sestante**, oggi con il **GPS** si rileva la posizione di un punto della superficie terrestre e lo si rappresenta sulla carta (che è lo sviluppo in piano dell'ellissoide).

Ma se dobbiamo aggiungere le profondità del mare o le elevazioni della costa, l'ellissoide non è più sufficiente: occorre un riferimento fisico e non puramente geometrico.

Nota: l'attuale ellissoide WGS84 discende da tre successivi modelli: WGS60, WGS66, WGS72.

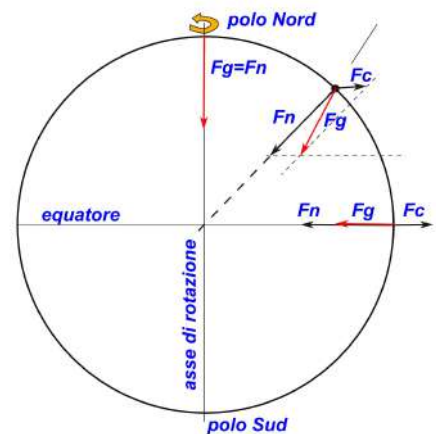
Il riferimento fisico per le quote: il geode

Definito il riferimento planimetrico, per misurare le quote occorre un nuovo riferimento che non sia geometrico, ma in qualche modo abbia caratteristiche fisiche, ovvero sia legato a una grandezza misurabile. E quale migliore riferimento può aversi se non la superficie dell'acqua dei mari e degli oceani?

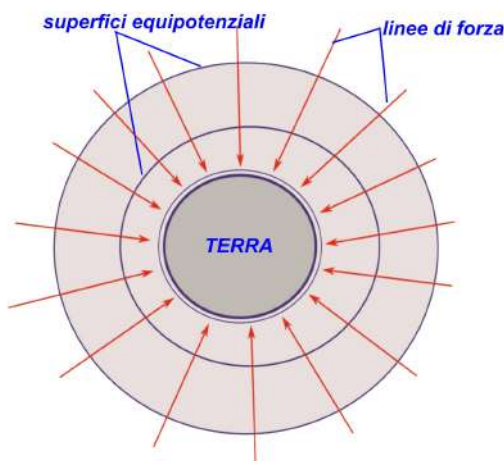
Immaginate una Terra rivestita completamente di acqua: questa assumerebbe una posizione in equilibrio con la forza di gravità, intesa come combinazione della forza di attrazione universale (quella scoperta da Newton) e della forza centrifuga dovuta alla rotazione della Terra su se stessa.

La superficie delle acque sarebbe in ogni suo punto perpendicolare a tale forza, la cui direzione è quella del classico filo a piombo.

Per escludere tutte le possibili cause perturbatrici che darebbero origine a risultati instabili nel breve periodo – quali ad esempio maree e correnti, tra le influenze più evidenti – si ricorre al livello medio delle acque.



***Fn** forza di attrazione universale; **Fc** forza centrifuga (massima all'equatore e nulla ai poli); **Fg** forza di gravità*



Schema teorico del campo gravitazionale terrestre. La forza di gravità è sempre normale alla superficie equipotenziale

L'insieme di tutte le forze di gravità che agiscono su qualunque corpo dotato di massa è detto **campo gravitazionale**. Esso può essere immaginato come un insieme di infinite **superfici equipotenziali**, cioè luoghi dei punti aventi lo stesso potenziale della forza di gravità.

Per **potenziale** (o **energia potenziale**) si può far riferimento all'energia posseduta da un oggetto nel trovarsi in una data posizione all'interno del campo gravitazionale.

Come esempio, basti pensare a un satellite in orbita attorno alla Terra: esso possiede una certa energia potenziale gravitazionale, che è tanto maggiore quanto più alta è la sua orbita. Per mantenersi in orbita circolare non ha bisogno di consumare energia (se si trascura l'attrito residuo dell'atmosfera), ma per salire su un'orbita più alta deve ricevere energia dai propri motori. Se invece, a causa di un temporaneo guasto o di un rallentamento, il satellite perde

energia, la sua quota diminuisce e tende a portarsi su una superficie equipotenziale più bassa. Se i motori riprendono a funzionare in tempo, possono riportarlo alla quota originale; in caso contrario, il decadimento orbitale prosegue fino al rientro nell'atmosfera, dove l'energia potenziale iniziale si trasforma in energia cinetica (velocità) e poi in calore.

L'esempio descritto, in effetti, si verificò alla fine degli anni Cinquanta del secolo scorso con i primi satelliti lanciati nello spazio: gli scienziati compresero allora la necessità di conoscere al meglio e in maniera puntuale il campo di gravità della Terra. Conoscerlo significava mantenere più a lungo in orbita i satelliti.

Per la Terra, che non è un corpo a massa uniforme, le superfici equipotenziali non sono sfere ma forme irregolari.

Tutte queste infinite superfici equipotenziali sono perpendicolari in ogni punto alla direzione della forza di gravità. Tra di esse, una particolare superficie è quella relativa al livello medio degli oceani: appunto il geode.

Appena la superficie delle acque incontra le terre emerse, il modello del geode continua con una superficie come se fosse ancora quella dell'oceano (è per tale motivo che il riferimento del mare è ancora in uso all'interno di un continente), ma soggetta alle corrispondenti e sovrastanti forze gravitazionali terrestri.

In sintesi:

- per gli **oceani** e i **mari** è sufficiente misurare il livello medio delle acque, già di per sé una rappresentazione del campo gravitazionale terrestre;
- per le **terre emerse**, la pseudo-superficie oceanica è modellata dalla forza di gravità locale, sia in valore che in direzione.

Mentre per le acque il livello medio è misurato da **mareografi** costieri e, su scala globale, da **altimetri satellitari** (*Jason, Sentinel 6 Eumetsat*), per ricostruire le superfici pseudo-marine sotto i continenti gli studiosi fanno uso di complesse misure gravimetriche. Queste rappresentano i parametri di un insieme di funzioni matematiche che modellano una superficie contenente **ondulazioni graduali** (non brusche come la superficie fisica terrestre) in tutte le masse continentali.

Nel corso di oltre sessant'anni di attività spaziale, l'evoluzione delle tecnologie di misura ha dato un notevole contributo anche alla realizzazione di modelli del nostro pianeta, che trovano applicazione in numerosi campi: dalla geologia all'archeologia, dalla meteorologia all'idrografia.

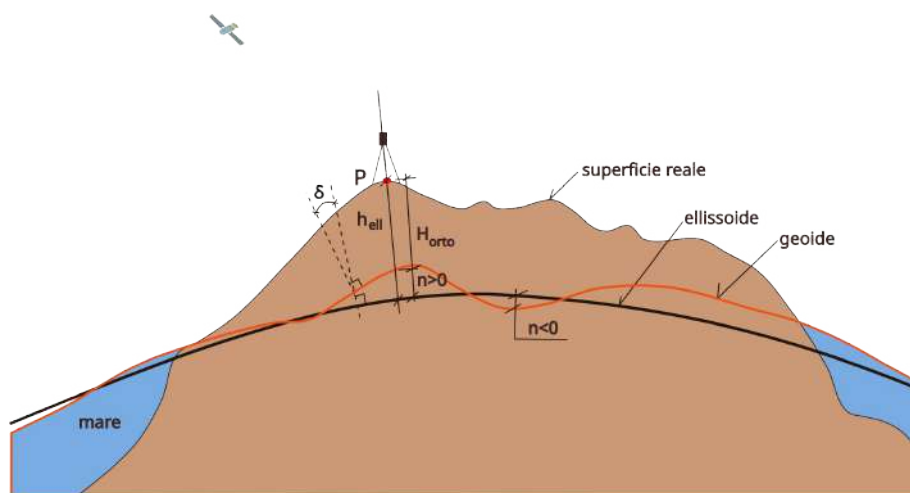
Ad oggi si contano diversi modelli del campo di gravità terrestre:

- di tipo locale, di minore approssimazione ma relativi a una porzione limitata di area terrestre (come l'italiano **ITALGEO2005**);
- di tipo globale come l'**EGM2008** (*Earth Gravity Model*) e l'**EIGEN 6C4** (*European Improved Gravity model of the Earth by New techniques*).

Mettere insieme ellissoide e geoida: l'ondulazione e le quote

Ellissoide geocentrico (come il noto WGS84) e **geoida** permettono, nella loro combinazione, di descrivere la reale superficie terrestre.

Se dalla cima di una montagna si misura la posizione di un punto P con un ricevitore GPS, si ottengono le coordinate di P nel sistema dell'ellissoide e, in particolare, si determina il valore h_{ell} della **quota ellissoidica**, misurata **lungo la perpendicolare** all'ellissoide in quel punto.



Misurazione della elevazione ellissoidica h_{ell} (GPS) perpendicolare all'ellissoide nel punto P; della elevazione ortometrica H_{orto} perpendicolare al geoida (livello medio del mare).

Nota: Nel punto P, la direzione della perpendicolare all'ellissoide e la direzione del filo a piombo (perpendicolare al geoida) non coincidono: formano un piccolo angolo δ , detto **deviazione della verticale**. Questo angolo, in genere inferiore a qualche decina di secondi sessagesimali, è trascurabile per molte applicazioni pratiche, ma viene considerato in rilievi di alta precisione.

Ma ciò che a noi serve, ad esempio per una carta topografica, è l'altezza effettiva H_{orto} rispetto al geoide (che ricordiamo essere la superficie del livello medio del mare). Tale altezza è detta **quota ortometrica**, perché viene misurata lungo la verticale reale del luogo, cioè la direzione del filo a piombo, che per costruzione è perpendicolare al geoide.

Per passare dall'una all'altra si utilizza l'**ondulazione n del geoide**, definita come:

$$n = h_{ell} - H_{orto}$$

L'ondulazione può essere:

- positiva (geoide sopra l'ellissoide);
- negativa (geoide sotto l'ellissoide);
- nulla (coincidenza locale).

Nella pratica, per determinare n in una certa zona si procede così:

1. Si individuano sul territorio dei *capisaldi* – punti fisici e stabili – la cui quota ortometrica H_{orto} è nota da livellazioni geometriche tradizionali, collegate a un mareografo che definisce il livello medio del mare di riferimento.
2. Sugli stessi *capisaldi* si misura con il GPS la quota ellissoidica h_{ell} .
3. La differenza ($h_{ell} - H_{orto}$) fornisce il valore dell'ondulazione **n** in quei punti.
4. Per tutti gli altri punti della zona, i valori di **n** vengono stimati per interpolazione (ovvero calcolati per approssimazione a partire dai valori noti).

Una volta realizzato il modello locale dell'ondulazione, è possibile ottenere la quota ortometrica di qualsiasi punto a partire dalla sua quota GPS:

$$H_{orto} = h_{ell} - n$$

In questo modo, ellissoide e geoide lavorano insieme:

- l'ellissoide fornisce un sistema di coordinate geometriche semplice e globale (utile per il posizionamento satellitare);
- il geoide fornisce il riferimento altimetrico fisicamente significativo per le carte, le profondità marine e le quote del territorio.

Latitudine e sistema WGS84

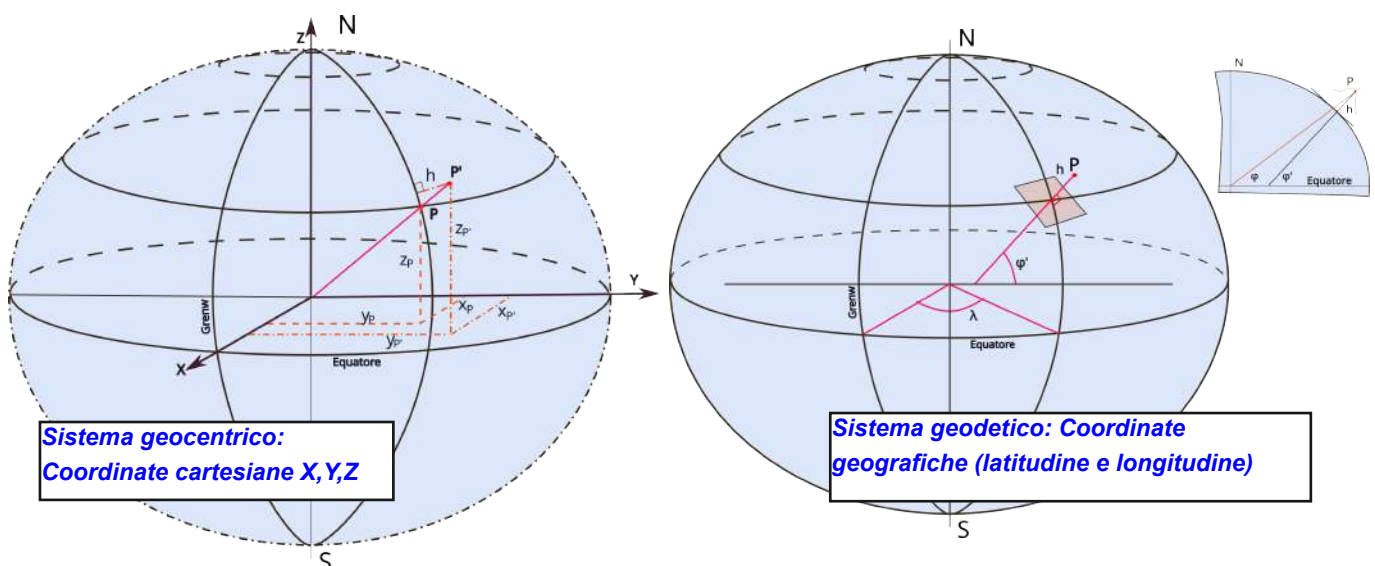
In navigazione la determinazione del punto nave, delle rotte e delle distanze ha tradizionalmente come base geometrica una Terra sferica, modello di più semplice applicazione rispetto alla più realistica forma ellissoidica. Tale approssimazione introduce errori generalmente trascurabili nella navigazione ordinaria. Per comprendere meglio la differenza tra i due modelli è utile esaminare il funzionamento del sistema GPS nella determinazione della posizione di un punto P sulla superficie terrestre. Il ricevitore, mediante l'impiego simultaneo di più satelliti, determina direttamente la posizione del punto in coordinate cartesiane geocentriche (X, Y, Z), riferite al sistema WGS84. In tale sistema l'origine coincide con il centro di massa terrestre assunto come centro dell'ellissoide di riferimento; l'asse X è diretto verso l'intersezione tra il piano equatoriale e il meridiano di Greenwich, l'asse Z coincide con l'asse medio di rotazione terrestre ed è orientato verso il Polo Nord geografico, mentre l'asse Y completa la terna destrorsa.

Dalle coordinate cartesiane vengono successivamente ricavate le coordinate geodetiche: latitudine φ , longitudine λ e altezza ellissoidica h . La latitudine geodetica è definita come l'angolo formato dalla normale all'ellissoide con il piano equatoriale, mentre l'altezza ellissoidica è la distanza del punto dall'ellissoide misurata lungo tale normale. Se la Terra fosse una sfera, la normale coinciderebbe con il raggio terrestre e passerebbe per il centro della sfera; in un ellissoide ciò avviene soltanto all'equatore e ai poli.

Se le coordinate (X, Y, Z) sono geocentriche per definizione, le coordinate (φ , λ , h) vengono denominate geodetiche poiché sono definite rispetto all'ellissoide di riferimento. In particolare, è la latitudine ad assumere significato diverso nei due modelli: nel caso sferico si parla di latitudine geocentrica, mentre nel caso ellissoidico si parla di latitudine geodetica. Le due grandezze descrivono la stessa posizione mediante geometrie differenti.

Poiché il GPS fornisce una latitudine geodetica, anche le carte nautiche moderne in proiezione di Mercatore, costruite sugli ellissoidi di riferimento, utilizzano un reticolato geodetico. Ne consegue che le coordinate ottenute dal GPS sono direttamente confrontabili con quelle riportate in carta. In ogni caso, anche se impiegassimo entrambi i sistemi, la differenza tra latitudine geocentrica e geodetica raggiunge un valore massimo di circa 11'-12' intorno ai 45° di latitudine; l'impiego non omogeneo dei due sistemi potrebbe quindi produrre errori dell'ordine di una decina di miglia nella valutazione delle differenze di latitudine.

Anche nella navigazione astronomica gli effetti risultano trascurabili. Le osservazioni al sestante sono infatti riferite all'orizzonte locale e quindi allo zenit astronomico, che nella pratica nautica può considerarsi coincidente con la normale all'ellissoide. Le osservazioni risultano pertanto direttamente confrontabili con la latitudine geodetica del punto stimato. Restano da applicare esclusivamente le consuete correzioni osservative, quali rifrazione atmosferica, parallasse, semidiametro degli astri e depressione dell'orizzonte.



MODELLI IDROGRAFICI-CHART DATUM

Si sa che i fondali variano periodicamente con le maree, un fenomeno che in certi luoghi non può essere trascurato per la sicurezza della navigazione. Nel Mediterraneo l'influenza della marea è in generale modesta, con scostamenti tra alta e bassa compresi tra 30 e 40 cm, mentre navigando lungo le coste del nord Europa e non solo, è doveroso calcolarne le escursioni, variabili in termini di giorno, ora e luogo, per non trovarsi su un fondo sabbioso, su una roccia, ma anche e forse soprattutto per poter affrontare le conseguenti correnti di marea.

Le carte nautiche ci vengono incontro, almeno in parte, nel riportare i fondali in quelle condizioni minime di bassa marea, le più rare, così da fornire un maggior grado di sicurezza al navigante.

Le variazioni che subisce il livello del mare per effetto della marea possono intendersi relative ad un livello medio della superficie marina (*l.m.m.*; **MSL - Mean Sea Level**), ricavato appunto dalla media di misure effettuate in un lungo arco temporale.

In tal modo vengono escluse tutte le influenze di instabilità su tale riferimento da parte del vento, del moto ondoso, per variazioni di pressione atmosferica, maree, correnti, ecc.

Come si è visto nel capitolo sul geoide il livello medio del mare viene assunto come base per la valutazione delle quote sopra di esso, tanto da assumere anche la denominazione di *height datum*.

Ma come viene determinato il livello medio del mare?

Il l.m.m. viene rilevato da particolari strumenti, noti come **mareografi**, installati in stazioni all'interno di apposito pozzetto aperto al mare attraverso un foro calibrato capace di attenuare le oscillazioni di piccola lunghezza d'onda. Si tratta delle componenti di alta frequenza dovute al vento che spira localmente, note come *onde di mare vivo* (in effetti lo sviluppo dei metodi di elaborazione digitale consente di escludere tali componenti mediante filtraggi numerici).

Vengono così registrate le sole variazioni del livello delle componenti di maggiore periodo, le uniche di

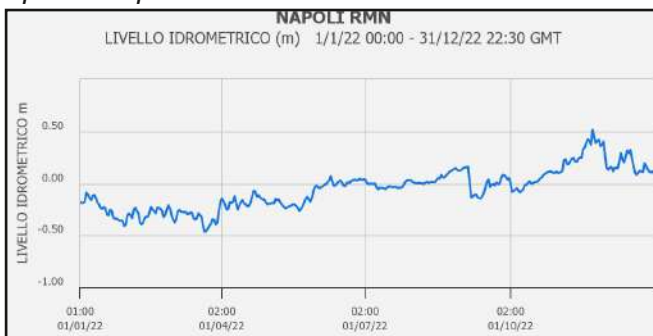


Stazione mareografica di Venezia

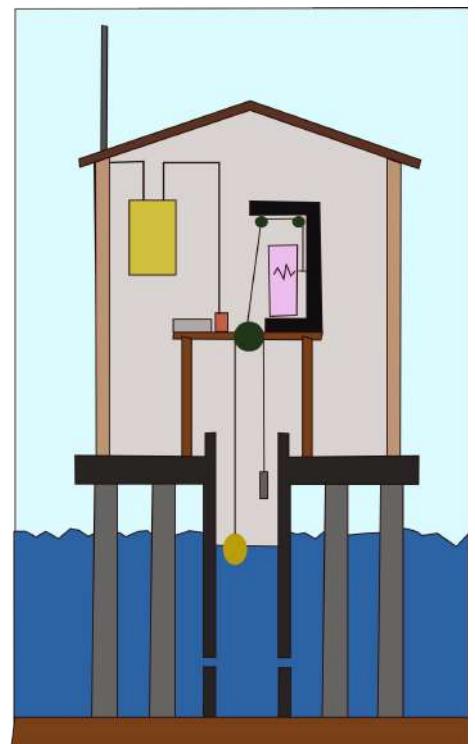
importanza mareografica.

In Italia è presente una rete di rilevamento costituita da stazioni mareografiche uniformemente distribuite lungo le coste della penisola, principalmente ubicate all'interno dei porti.

Tali stazioni sono in parte gestite dall'**Istituto Idrografico della Marina** (IIM), mentre altre, il maggior numero, dall'**ISPRA** (*Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale*), l'ente



Esempio di grafico disponibile nella sez.: "Stazioni della Rete" dell'ISPRA



Schema di una stazione mareografica (da pubbl. ISPRA)



Caposaldo IGM

pubblico istituito nel 2008, con la Rete Mareografica Nazionale (RMN).

Le stazioni, oltre al livello idrometrico, registrano altri parametri meteorologici tra cui velocità e direzione del vento a 10 metri dal suolo, pressione barometrica, temperatura dell'aria e dell'acqua, i cui dati sono trasmessi in continuazione alla sede centrale del *Servizio Idrografico Mareografico Nazionale* (SIMN) a Roma che procede alle successive elaborazioni (l'ISPRA mette a disposizione alcuni dati elaborati per ciascuna stazione della RMN al sito mareografico.it ⁽⁴⁾).

Un importante mareografo è quello gestito dall'IIM a Genova, situato al Ponte Morosini nel Bacino del Porto Vecchio, il cui l.m.m rappresenta convenzionalmente lo zero altimetrico per l'Italia

continentale, la cosiddetta altezza sul livello del mare.

Tale "zero" è noto come riferimento Genova 1942, dall'anno centrale del periodo di osservazione 1937 - 1946.

Le due isole maggiori, Sicilia e Sardegna, hanno invece quote ortometriche riferite rispettivamente ai mareografi di Catania (1956) e di Cagliari (1965), mentre il mareografo di Lampedusa (2005) è assunto riferimento altimetrico per le isole Pelagie, le più meridionali d'Italia.

Ciascun mareografo della RMN è riferito ad un caposaldo locale di precisione in accordo con la rete di livellazione geometrica dell'IGM (Istituto Geografico Militare), costituita da tutti i punti di altitudine nota rispetto alla superficie di riferimento, identificabile, come detto più volte, con il livello medio del mare.

La rete di livellazione di alta precisione è stata realizzata negli anni fra il 1950 e il 1971, all'epoca costituita da circa 13000 caposaldi posti lungo altrettanti km della viabilità del territorio nazionale. A questa rete si collegano altre reti di livellazione appartenenti al Catasto, Enti locali ed Istituti di ricerca.

Il livello medio del mare italiano non coincide né con il livello medio di altre nazioni né con quello globale planetario.

La tabella riporta le differenze altimetriche tra alcuni mareografi europei e quello fondamentale italiano.

Nazione	ITALIA	Francia	Germania	Olanda	Portogallo	Spagna
Δh [cm]	0	+30	+31	+33	+45	+25

Comparazione di alcuni livelli medi del mare nazionali

Dalle misure effettuate da ciascuna stazione della rete mareografica viene ricavato, per la corrispondente carta nautica della zona, il riferimento sotto il quale raramente scende il livello di marea, un riferimento indicato nella terminologia internazionale come **chart datum (CD)** e in quella italiana **livello di riferimento degli scandagli**.

Il CD oltre a rappresentare lo zero delle profondità (gli scandagli) visualizzate su una carta nautica, può fornire una valutazione quali-quantitativa delle altezze delle maree, tanto da essere noto pure come **tidal datum (datum di marea)**.

Le notevoli variazioni dei livelli dei mari richiede per le carte nautiche delle varie aree marine della Terra un diverso chart datum.

I CD più comuni sono:

a) **media delle basse maree sizigiali**, quelle che accadono quando la luna si trova, rispetto alla Terra, in opposizione o in congiunzione con il sole (posizioni dette in astronomia **sigizie** in cui le forze di attrazione allineate si sommano). Note in inglese come **Mean Low Water Springs (MLWS)**, sono in uso sulle carte nautiche italiane;

b) **livello più basso di marea astronomica**, *Lowest astronomical tide (LAT)*, definita come il livello di marea più basso ricavato dai rilievi eseguiti in un periodo di tempo di 18,6 anni (all'incirca il periodo di una *nutazione lunare*). Impiegato sulle carte inglesi ed australiane. L'uso di tale riferimento si è reso necessario per le elevate maree delle acque di tali Stati.

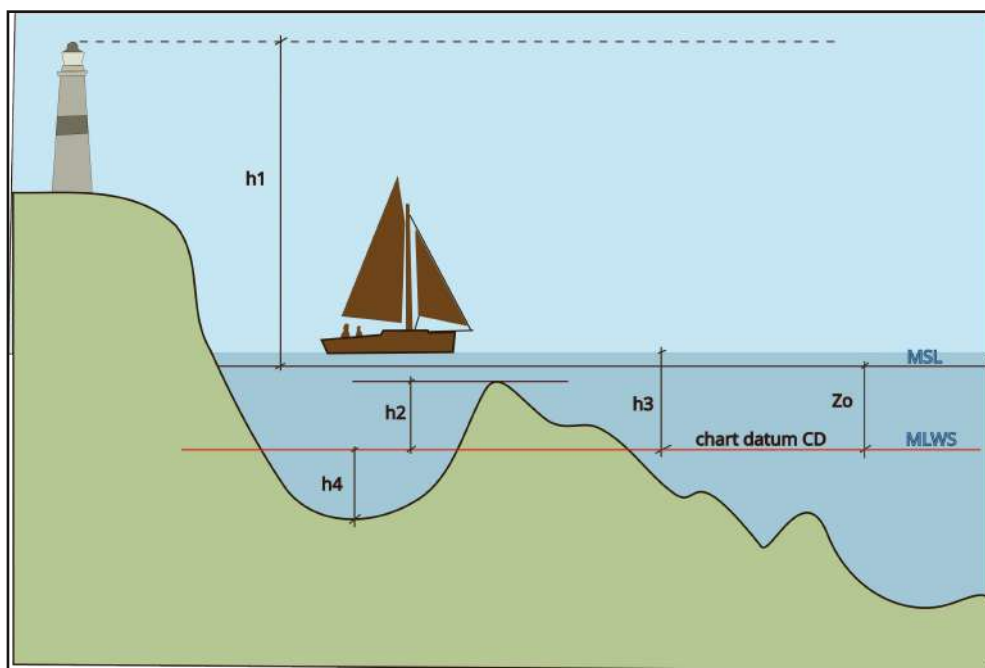
Il CD impiegato per la carta è riportato nel corrispondente cartiglio.

Un aspetto da non trascurare è quello che i livelli di marea impiegati come CD, proprio perché medie su un lungo periodo, non tengono conto di effetti meteorologici, fenomeni oceanici, della geografia delle coste, della topografia sottomarina, del cambiamento climatico, ecc. che influenzano anche profondamente il livello del mare (basti pensare a una mareggiata).

La prudenza in mare non è mai troppa.

Inoltre il fatto, come detto, che le profondità di una carta nautica hanno lo zero valutato a partire dalle misure delle stazioni mareografiche locali, dà luogo alla probabilità che carte nautiche limitrofe o anche parzialmente sovrapposte, possano avere CD diversi. Un ulteriore motivo di attenzione per il navigante che le utilizza.

Nel cartiglio si trova il valore del livello medio **Z₀** (*costante mareografica* per la relativa carta nautica) che indica, in metri, la differenza tra il livello medio marino (MSL) locale e il chart datum degli scandagli della carta stessa fornendo così una valutazione quali-quantitativa del fenomeno della marea.



- **h1** elevazione luce dal MSL
- **h2** quota riferita a CD (*dryingheight*)
- **h3** altezza di marea in un istante qualunque
- **h4** fondale riportato sulla carta (*scandagli - sounding*)
- **Z₀ = MSL - MLWS**
- **MSL (Mean Sea Level)** livello medio del mare
- **MLWS (Mean Low Water Springs)** media delle basse maree sigiziali

Nota: Lo schema è puramente indicativo. Le differenze tra i livelli sono eccessive per il Mediterraneo.

Il lavoro del cartografo

Un tempo, in effetti non molto lontano, prima di disegnare qualsiasi cosa, il cartografo doveva materializzare la proiezione scelta sul foglio. Non esistendo il computer, lo faceva con righe, squadre, compassi e tavoli da disegno.

- Per una proiezione cilindrica (come Mercatore) il processo è relativamente semplice. I meridiani sono linee verticali parallele e equidistanti. I paralleli sono linee orizzontali la cui distanza aumenta verso i poli secondo una formula matematica precisa. Il cartografo calcolava queste distanze e tracciava la griglia.

- Per una proiezione conica, il processo era più complesso. Si iniziava disegnando un arco di cerchio (che rappresenta un parallelo) con centro in un punto che rappresenta il vertice del cono. Poi, su quest'arco, si riportavano le distanze in longitudine, e da lì si tracciavano i meridiani come rette convergenti verso il vertice del cono.

Una volta pronta la griglia, si procedeva a riempirla.

Il cartografo partiva da punti di cui si conoscevano già le coordinate precise (latitudine e longitudine), rilevate con strumenti astronomici. Il cartografo posizionava questi punti sulla griglia con precisione.

Si passava ai rilievi topografici: dai punti noti il cartografo, spesso un idrografo, mediante **triangolazione (trilaterazione)** rilevava la forma della costa.

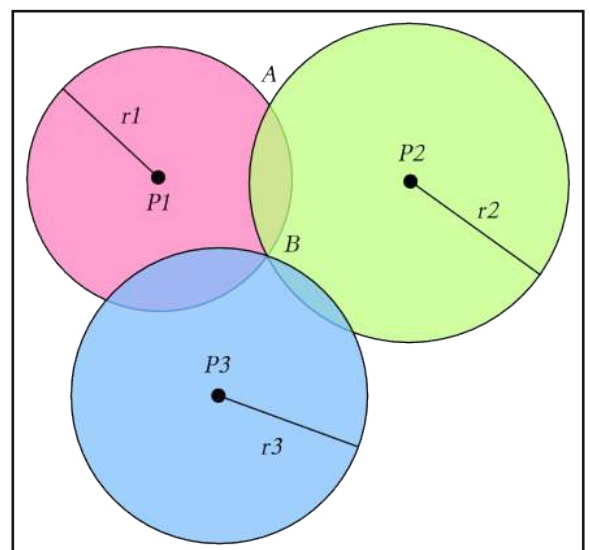
Ripetendo per molte volte, si otteneva un profilo costiero fatto di punti, che venivano poi uniti.

Per la carta nautica, oltre alla costa, andava misurata la profondità del mare (*batimetria*), ottenuta con lo scandaglio. In contemporanea alla misura del fondale si registrava la posizione di ogni scandaglio, tramite allineamenti con punti a terra. Tutto veniva riportato sulla carta.

Oggi i dati non derivano solo da rilievi topografici, ma anche da rilievi fotogrammetrici che utilizzano immagini acquisite da diverse piattaforme come aerei, droni e satelliti per determinare con estrema precisione la linea di costa, i porti, i punti cospicui a terra. I droni, in particolare, sono oggi molto usati per rilievi di dettaglio in aree difficili da raggiungere.

Triangolazione e Trilaterazione

La forma geometrica più semplice da misurare è il triangolo: la conoscenza di un lato e dei corrispondenti angoli interni permette di determinare con calcoli trigonometrici gli altri due lati. Tale principio venne applicato a un territorio per la prima volta all'inizio del '600 dal matematico e astronomo olandese Willebrord Snell (già incontrato nella lossodromia), dando origine al metodo della triangolazione. Partendo da una base misurata con precisione e rilevando con altrettanta precisione gli angoli interni, si calcolano le lunghezze degli altri due lati del triangolo senza doverli misurare fisicamente. Proseguendo tale operazione sui nuovi lati calcolati si può iterare il processo determinando le posizioni di punti sulla superficie terrestre. Molto simile a tale tecnica geodetica è quella nota come **trilaterazione** in cui sono misurate direttamente le lunghezze dei lati dei triangoli. Un tempo misurare gli angoli era sicuramente più facile e preciso della misura delle distanze. Con l'avvento di strumenti di misurazione elettronica delle distanze (*EDM - Electronic Distance Measurement*) più precisi, la trilaterazione ha iniziato a sostituire la triangolazione, poiché permette di determinare posizioni con alta precisione. Il vero progresso si ebbe negli anni '60-'70 del secolo scorso con l'impiego del laser.



La sostituzione di angoli con distanze è oggi la pratica comune tanto che si è soliti indicare ancora con

Incrocio del segnale di tre satelliti per rilevare la posizione del ricevitore B

triangolazione il metodo geometrico per la misurazione di distanze.

L'uso più noto della trilaterazione si ha nella determinazione della posizione con il sistema GPS in cui il ricevitore misura la distanza tra esso e almeno tre satelliti.

Precisione nel posizionamento GPS

Durante il pur breve tempo di percorrenza, un segnale satellitare può risentire l'influenza della ionosfera e della troposfera che si traduce in errori di posizionamento per gli utenti GPS, un problema che può essere aggravato da errori di temporizzazione negli orologi dei ricevitori GPS (compensato con l'impiego di un quarto satellite).

Si sono così sviluppate due tecnologie per ridurre l'errore di posizionamento che trovano impiego in applicazioni in cui occorre una maggiore precisione rispetto al GPS ordinario, quello montato sulle imbarcazioni da diporto o sull'auto.

• DGPS (Differential GPS)

Applicato alla Navigazione marittima ordinaria impiega una stazione base di riferimento di posizione nota con precisione che dopo aver calcolato l'errore di ogni satellite in contatto lo invia ai ricevitori sotto forma di codice per consentire la correzione della posizione portandola a un metro circa. Per l'Italia le stazioni base DGPS costiere, sono gestite in Italia dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti (tramite la Rete Mareografica Nazionale o infrastrutture simili).

• GPS RTK (Real Time Kinematic)

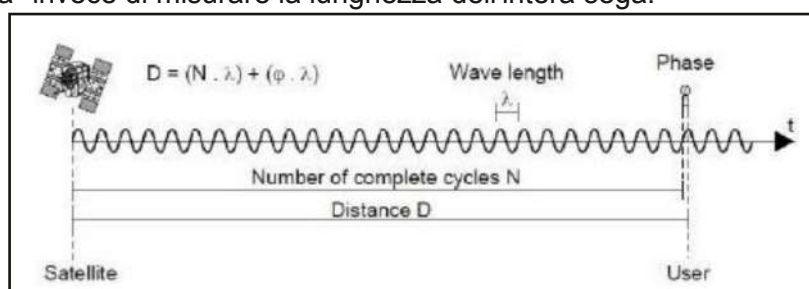
Applicato in topografia o come mezzo di validazione di punti di controllo.

Il satellite invia al ricevitore il codice e la corrispondente portante modulata dallo stesso codice. Il ricevitore determina la differenza di fase tra l'onda portante e la fase di un'onda di riferimento generata all'interno dello stesso ricevitore al momento della ricezione. Il problema è che la distanza satellite-ricevitore non è solo determinata dallo sfasamento ma anche da un numero n di cicli interi della portante.

È come contare i singoli "denti di una sega" invece di misurare la lunghezza dell'intera sega.

Ma anche qui la soluzione risiede in una stazione base che oltre a permettere la correzione degli errori, tipo ionosfera, troposfera ed altro), in virtù della sua posizione certa, consente di determinare proprio quegli n valori di ciclo. Poiché la portante (per la frequenza di circa 1577 MHz ha una lunghezza di soli 19 cm, è possibile, calcolando lo sfasamento ottenere

precisioni di misura di 1-3cm. La maggiore precisione ha come contropartita costi maggiori e una posizione della stazione base non superiore a 10-20km dal ricevitore.



La distanza comprende un numero intero di cicli + uno sfasamento (il ricevitore calcola entrambi)

CARTA NAUTICA

Elementi di una carta nautica:

1) **cartiglio** (termine di origine spagnola) intestazione di una carta, generalmente posizionato in uno spazio libero, in cui sono raccolte tutte le informazioni tecniche e descrittive essenziali per comprendere e interpretare la carta stessa.

Include i seguenti elementi chiave:

- Il **simbolo del produttore** della carta. Ad esempio l'Istituto Idrografico della Marina italiana
- **Titolo e Zona**: Indica l'area geografica rappresentata (es. da Punta Campanella allo Stretto di Messina)
- **Scala e Coordinate**: Riporta la scala di riduzione (es. 1:100.000) e il parallelo di riferimento, ovvero la latitudine per cui quella scala è veritiera. Tale latitudine è in genere la latitudine del centro della carta
- **Sistema Geodetico (Datum)**: Il riferimento utilizzato (es. *European Datum*, *WGS 84*). Se il Datum non è quello globale (WGS84) sono riportati i dati di conversione
- **Riferimento dei fondali e delle elevazioni**: Specifica da quale livello (basse maree e livello medio del mare) sono calcolate le profondità e le quote
- **Proiezione**: Il tipo di proiezione cartografica adottata (di solito la proiezione di Mercatore)
- **Note ed Avvertenze**: Informazioni su eventuali cavi sottomarini, anomalie magnetiche, parchi naturali, ecc.

1)

2)

3)

4)

5)

6)

7)

8)

9)



1) Simbolo dell'Istituto Idrografico

2) Titolo e Zona

3) Tipo di Proiezione

4) Scala

5) Riferimenti fondali ed elevazioni

6) Costante mareografica Zo

7) Riferimento cartografico (European Datum)

8) Conversione da European Datum e WGS84

9) Avvertenze

Numero della Carta

1) Scala

Una carta geografica, in quanto rappresentazione ridotta della realtà, è caratterizzata da una **scala** (o *rapporto di riduzione*), definita come il rapporto tra una lunghezza sulla carta e la corrispondente lunghezza misurata sulla Terra, espressa nella stessa unità di misura. Solo alcune carte tematiche particolari (come alcuni cartogrammi qualitativi o rappresentazioni in cui la forma è deformata a favore di altre informazioni) possono essere prive di scala, ma si tratta di casi particolari, non della maggioranza e comunque non delle carte nautiche.

Così la scala 1:5.000 (si legge '1 a 5.000') significa che 1 mm (o 1 cm) sulla carta corrisponde a 5.000 mm (cioè 5 m) o, rispettivamente, a 5.000 cm (cioè 50 m) sul terreno.

Poiché la scala è un rapporto, quanto più è alto il denominatore, tanto più è piccolo il rapporto e quindi più piccola è la scala. Di conseguenza, una scala 1:2.500 è più grande di una scala 1:10.000, ed è in grado di visualizzare maggiori dettagli: un esempio tipico sono i *Piani nautici* (dettagli di porti, ancoraggi, rade), che rappresentano aree molto piccole con grandissima scala.

Conclusione: nella terminologia cartografica, una scala 'grande' (es. 1:1.000) mostra pochi km con molti dettagli; una scala 'piccola' (es. 1:1.000.000) mostra interi continenti con pochi dettagli.

In relazione alla scala sono disponibili **Carte generali**, a piccola scala, pertanto con pochi dettagli, ma adatte ad una pianificazione generale. La tipica scala è 1:3.000.000 o inferiore).

Le carte a scala maggiore, da 1:1000.000 sono dette **Carte di atterraggio**.

Carte costiere (1:300.000 a 1:100.000) impiegate nell'ultima fase di atterraggio per la presenza di dettagli batimetrici.

Carte dei litorali, con maggiori dettagli essendo a scale 1:30.000, 1:25.000

Piani nautici, aventi scale molto alte, da 1:20.000 a 1:5.000 o anche superiore, in cui sono riportate le informazioni dei porti e zone vicine.

2) Sistema geodetico

Il sistema geodetico (**datum**) è il modello matematico che definisce la posizione della griglia di latitudine e longitudine sulla Terra. Per le carte nautiche italiane, il sistema di riferimento ad oggi di gran lunga più utilizzato è il WGS84, mentre le carte prodotte prima degli anni 2000 potrebbero essere basate su sistemi geodetici europei (European Datum - ED50) o nazionali (Roma 40).

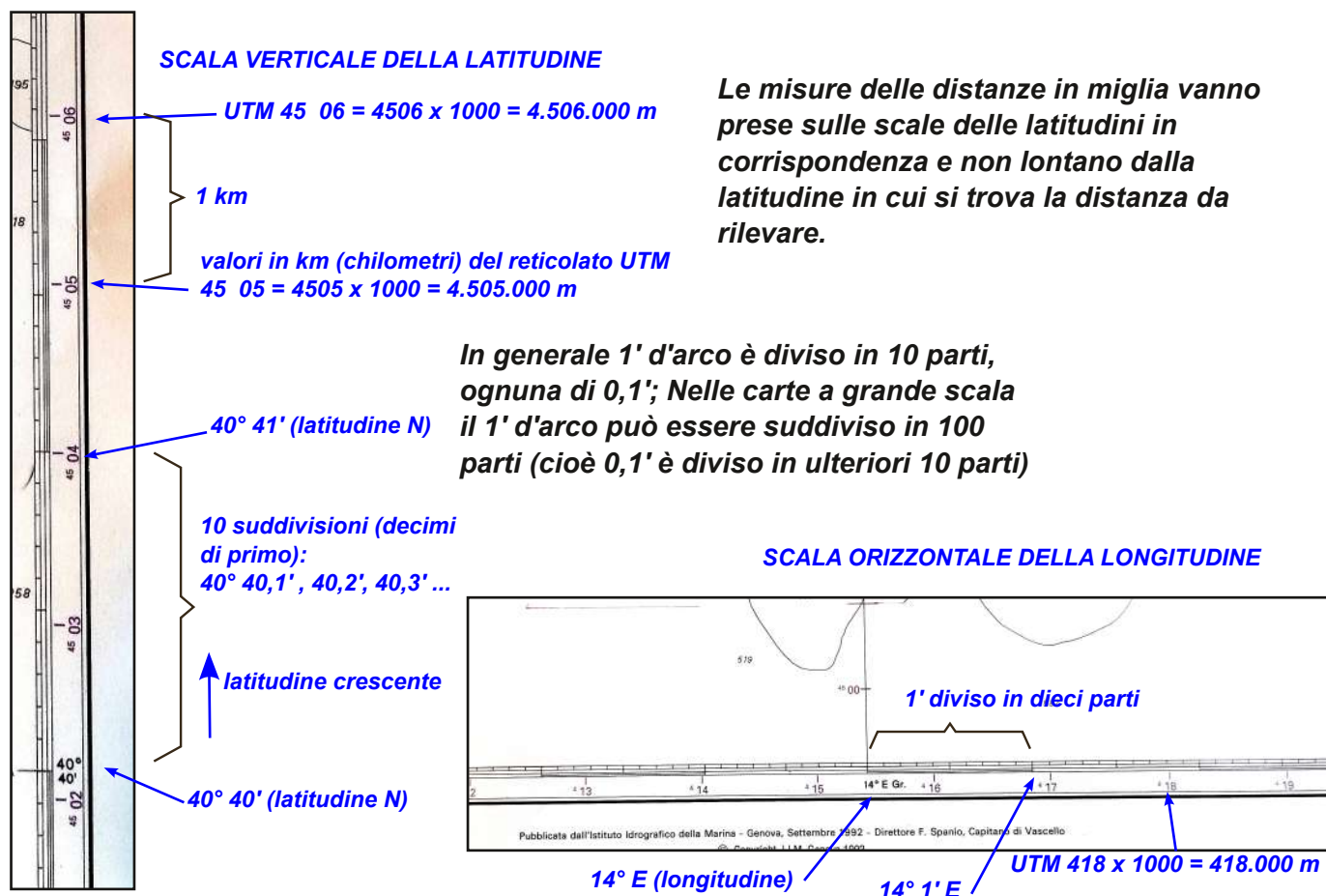
Lo scostamento tra i Datum può comportare errori di posizionamento che variano da decine a diverse centinaia di metri.

Il cartiglio oltre a riportare chiaramente il sistema di riferimento adottato, talvolta, soprattutto sulle carte quelle stampate poco prima del 2000 con datum ED50, indica le correzioni da apportare per il passaggio al WGS84.

Un dispositivo GPS marino, che sappiamo fa riferimento al datum internazionale WGS84, può essere impostato ad altro datum, eventualmente quello della carta nautica che si intende utilizzare.

3) Scale graduate della latitudine e longitudine

Le coordinate (latitudine e longitudine) sono espresse in gradi (°), primi (') e decimi di primo. Le scale graduate sono disposte lungo i bordi della carta: la latitudine sui margini verticali laterali, la longitudine sui margini orizzontali, superiore e inferiore.



Nota: le scale di lat e lon riportate come esempio sono tratte dalla carta n.129 (1:30.000) dotata anche di reticolo UTM

La particolare suddivisione delle scale di latitudine e longitudine dà luogo a una particolare scrittura delle coordinate nei documenti di bordo:

latitudine: 2 cifre per i gradi; 2 cifre per i primi a cui segue, dopo la virgola 1 o 2 cifre per i decimali;

longitudine: 3 cifre per i gradi; 2 cifre per i primi a cui segue, dopo la virgola, 1 o 2 cifre per i decimali

Naturalmente i valori sono accompagnati dalla direzione N o S (per la latitudine) e E o W (per la longitudine):

Esempi: latitudine 40° 44,7' N; 08° 30,21' N; longitudine 013° 08,6' E

Si noti il simbolo dei primi aggiunto alla fine del valore (non sarebbe corretto pertanto la grafica 58',6 sebbene usata abitualmente).

Nelle apparecchiature digitali la direzione è riportata all'inizio del valore di posizione: E 58,6'.

Per completezza dell'argomento sulla latitudine e longitudine, si vuole dare qualche elemento utile nella esecuzione dei calcoli con tali grandezze nautiche, in particolare nella determinazione delle differenze di coordinate tra due punti A e B. La latitudine è considerata positiva se di tipo Nord; negativa se di tipo

Sud; la longitudine è positiva se di tipo Est; negativa se di tipo Ovest.

Si riporta un caso per chiarezza.

Prendiamo due punti dell'Atlantico. Se l'estrazione avviene da un database cartografico disponibile sul web i valori sono in gradi decimali come nell'esempio.

Sia A il punto di partenza di coordinate: 41.013066; -8.96666

e B: 32,611666; -16.875000

Per trasformarli nelle unità nautiche dobbiamo moltiplicare x 60 la loro parte decimale ottenendo così i primi

Per i segni vale quanto detto: i valori di latitudine positivi sono di tipo Nord; le longitudini sono negative, quindi Ovest

Punto A: 41° 00,78' N ; 008° 58' W

Si riporta per esteso solo il primo calcolo: $41^{\circ} 0,013066 \times 60 = 0.78396$ che arrotondiamo alla seconda cifra decimale

Punto B: 32 ° 36,70' N; 016° 52,5' W

Differenza di latitudine $(32^{\circ} 36,70') - (41^{\circ} 00,78') = -8^{\circ} 24,08'$ (il segno negativo ci indica che il punto B è a Sud del punto A)

Differenza di longitudine: $(-16^{\circ} 52,5') - (-8^{\circ} 58') = -7^{\circ} 54,5' \Rightarrow$ B è più a W del punto A

Operare direttamente con i gradi decimali rende più rapido e immediato il calcolo, ma se si sta impiegando la carta nautica le posizioni sono date in gradi e primi

Qualora si volesse passare dai gradi sessagesimali a quelli decimali si deve dividere per 60 la parte relativa ai primi.

4) Rosa della bussola

La carta è dotata di una rosa graduata di colore magenta per meglio distinguerla. Essa contiene il valore della declinazione magnetica con indicazione dell'anno di riferimento e la variazione annuale in primi d'arco e relativo segno. Sono così evidenziati il Nord vero e quello magnetico.

Declinazione magnetica

La Terra è sede di un campo magnetico che può immaginarsi con un asse magnetico dotato di un Polo Nord magnetico (PmN) e un polo sud magnetico (PmS) non coincidente con l'asse di rotazione terrestre.

Il campo magnetico varia in intensità e direzione sia nel tempo sia con il luogo.

Si definisce **declinazione magnetica** (*variation*), indicata con il simbolo **d**, l'angolo compreso tra il Nord vero o geografico (Nv) e il Nord magnetico (Nm), indicato dall'ago della bussola.

Se il Nm è a dritta (verso Est) di Nv, la declinazione è positiva; se è a sinistra del Nv (verso Ovest) è negativa.

Esempio

Declinazione magnetica 1°20' E (2020), 6' E annui.

Questo significa che nel 2020 la declinazione era 1°20' Est e che ogni anno aumenta (valore + verso Est) di 6 primi d'arco.

Anno attuale: 2026

Differenza: 6 anni => variazione complessiva: $6 \times 6' = 36'$

declinazione al 2026: $1^\circ 20' + 36' = 1^\circ 56' \text{ E}$

È necessario così tenere conto del tempo trascorso tra l'anno della carta nautica e l'anno in cui si desidera effettuare il calcolo.

Nota: Il valore di variazione annuale si riferisce all'inizio dell'anno. Questo comporterebbe, per una maggiore precisione (in molti casi trascurabile) di considerare anche il mese dell'anno a cui applicare la modifica. Se il 2026 si riferisce al mese di giugno occorre aggiungere $6/12 = 0,5$ da cui la variazione complessiva sarebbe: $6,5 \times 6' = 39'$

Se la data della carta fosse superiore ai 10-15 anni è consigliabile verificare la declinazione.

Ciò può ottenersi ricorrendo a modelli magnetici disponibili tra cui il modello **IGRF 2025** corrispondente alla 14ª generazione dell'*International Geomagnetic Reference Field (IGRF-14)*, rilasciata ufficialmente alla fine del 2024. Questo modello, sviluppato dalla **IAGA** (*International Association of Geomagnetism and Aeronomy*), un'associazione internazionale fondata nel 1873, fornisce le variazioni del campo magnetico terrestre, basato su dati forniti da costellazioni satellitari e dalle reti di osservatori terrestri. È lo standard mondiale utilizzato sia nell'orientamento civile che nella ricerca scientifica per mappare declinazione, inclinazione e intensità del campo magnetico globale.

Per una rapida stima della declinazione e della sua variazione annua si può ricorrere a un calcolatore interattivo impiegante l'IGRF-14, come quello disponibile al sito del *British Geological Survey*:

BGS Geomagnetism IGRF Calculator ⁽⁵⁾, inserendo in apposita maschera latitudine e longitudine del centro dell'area di interesse. La presenza di una mappa permette di facilitare l'inserimento dei dati di posizione.

Per completezza dell'argomento si ricorda che la declinazione magnetica va corretta anche della **deviazione magnetica (δ)**, l'effetto subito da una bussola a causa delle perturbazioni dovute ai campi magnetici generati dai materiali ferrosi e dalle apparecchiature elettriche di bordo nell'interazione con il campo magnetico terrestre. Tale deviazione varia quindi al variare della prora: cambiando l'orientamento della nave rispetto all'influenza del campo terrestre varia δ . Ciò richiede per ogni bussola disponibile di apposita tabella delle deviazioni.

5) Indicazioni sui bordi della carta

In basso a destra e in alto a sinistra è riportato il **numero della Carta**. Quello a sinistra in alto è capovolto per permettere di individuarlo quando le carte dovessero essere impilate le une sulle altre.

In basso a sinistra compare la nota che ricorda di provvedere all'aggiornamento della carta per mezzo degli Avvisi ai Naviganti, a cui può seguire l'ultimo avviso prima della data di vendita della carta. Lo spazio libero a destra viene usato dall'utente per riportarvi con penna rossa i riferimenti successivi.

Lungo i bordi possono trovarsi i riferimenti alle carte adiacenti, tipo V.C. 130 (vedi carta 130).

SIMBOLOGIA DI UNA CARTA NAUTICA

Le carte nautiche, come del resto tutte le carte geografiche, hanno un loro simbolismo che traduce la realtà in un linguaggio visivo comprensibile. In particolare i simboli impiegati nelle carte nautiche seguono degli standard condivisi dalla maggior parte delle nazioni, definiti dall'*Organizzazione Idrografica Internazionale* (IHO). Per l'Italia la legenda dei simboli è riportata in apposita pubblicazione dell'IIM, indicata come Carta 1111.

Si presentano i simboli più utilizzati e utili per la navigazione da diporto.

Colori

Le carte nautiche hanno sempre avuto elementi a colori: già nel XIII secolo, le prime carte portolaniche medievali (come la *Carta Pisana*) venivano disegnate su pergamena usando il nero per i toponimi e il rosso per i porti o i punti notevoli.

Tuttavia, il moderno sistema di colorazione, utilizzato per evidenziare i fondali e la costa, si è affermato tra la fine del XIX secolo e l'inizio del XX secolo, grazie agli standard introdotti dagli istituti idrografici nazionali e, successivamente, dall'IHO.

Dopo la sua fondazione nel 1872, l'Istituto Idrografico della Marina (IIM) ha iniziato a produrre le carte nautiche ufficiali che per molti decenni sono state stampate principalmente in bianco e nero per facilitare l'aggiornamento manuale tramite i fogli degli AA.NN.

La transizione al colore è avvenuta negli anni '80-'90, prima nelle carte destinate al diporto privato, stampate da editori specializzati.

L'adozione da parte dell'Istituto della moderna policromia si può far risalire ai primi anni 2000, come allineamento agli standard internazionali.

Oggi le carte nautiche distribuite dall'ente ufficiale italiano (sia cartacee che elettroniche ENC) utilizzano una palette di colori standardizzata al fine di migliorare la leggibilità di fondali, ostacoli e terraferma, tra cui:

- **Blu** (e sue sfumature): Indica le aree di mare. Più il blu è scuro, più l'acqua è bassa e richiede attenzione. Il bianco, invece, indica acque profonde e sicure per la navigazione.
- **Giallo**, in varie tonalità: Evidenzia la terraferma.

Natura del fondo

Si riportano i tipi più diffusi:

Simbolo	significato internazionale (ingl.)	significato italiano
S	Sand	Sabbia
M	Mud	Fango
R	Rock	Roccia
WD	Weed	Erbe marine - alghe

Il fango, soprattutto se contiene argilla, è il migliore fondo per l'ancoraggio, a seguire la sabbia, mentre la roccia è un cattivo tenitore, altrettanto un fondo ricco d'alghe su cui l'ancora tende ad arare.

Profondità

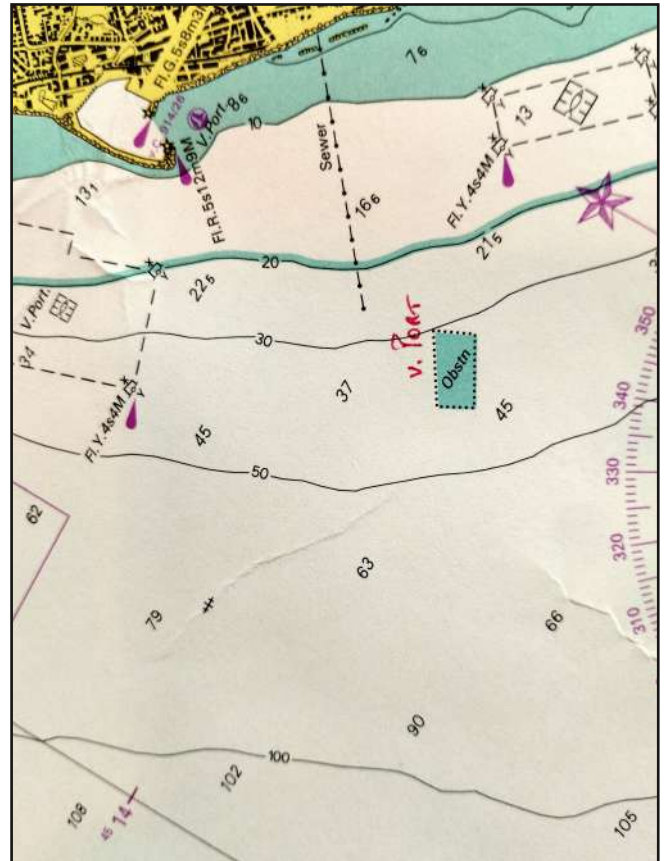
Sulle carte sono riportate le **batimetriche** (o *isobate*, le curve continue di uguale profondità rispetto al livello medio del mare) suddivise nei seguenti valori in metri:

1, 2, 5, 10, 20, 30, 50, 100, 500 che possono ricordarsi, a meno della batimetrica da 30 m, come la scala del sistema monetario più diffuso (euro, dollaro e sterlina). Oltre alle batimetriche principali si possono notare zone anche circonscritte da linee continue con indicazione del valore di profondità. I valori sono riportati nell'interruzione della batimetrica.

Naturalmente non tutte le batimetriche sono riportate dipendendo anche dalla scala della carta.

Tra le batimetriche sono riportati i fondali puntiformi (espressi in metri) che si riferiscono al livello di riferimento degli scandagli (*Chart Datum*), che per le carte italiane corrisponde al livello della bassa marea sigiziale.

Nota: 7 (si intende 7 m); 2₇ (va inteso 2,7 m).



**Immagine tratta da una carta 1:30.000 in cui si possono notare:
le batimetriche da 10 a 100 m; due aree di allevamento ittico delimitate da appositi segnali alcuni luminosi;
una condotta di cui è specificato l'esercizio: Sewer - fogna; una zona di ostruzione con il rimando al
Portolano, aggiunto in rosso dall'utilizzatore**

Scogli e secche

Sono i principali pericoli per la navigazione. Vengono rappresentati con simboli specifici, lettere e valori numerici che indicano la loro natura, se sono sempre sommersi, affioranti o se si trovano a pelo d'acqua, garantendo così la sicurezza di navigazione.

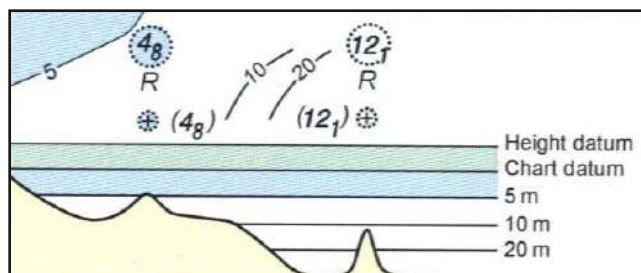
Secca: Un'area con fondale basso e potenzialmente pericolosa per la navigazione. Il fondo non presenta rocce, altrimenti il simbolo sarebbe uno di quelli relativi agli scogli.

Il simbolo di una secca si presenta con area tratteggiata con all'interno il valore del fondale. Se il valore non è riportato vuol dire che non è stato rilevato o la scala della carta è piccola.

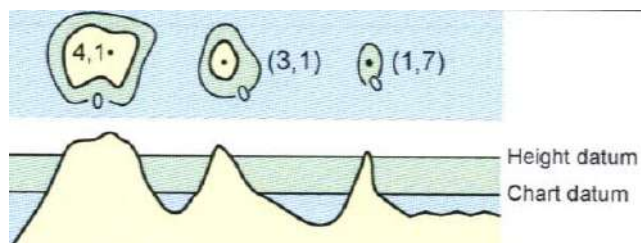
L'immagine riporta diverse secche: 13,3 - 4 - 4,3. Notare la batimetrica da 20 m; le Aree marine protette (MR); cavi elettrici sottomarini; la costa scoscesa



dalla carta 1111 dell'IIM



Scogli affioranti o a pelo d'acqua: Sono indicati da una crocetta (+) o da una R (Rock, roccia) circondata da trattini. Sono i più pericolosi perché possono essere nascosti dal moto ondoso e, in base alla marea, a volte sono coperti dall'acqua



Scogli sempre emersi: Sono rappresentati con un contorno continuo che racchiude la forma dello scoglio. Spesso è accompagnato da un numero che ne indica l'altezza rispetto al livello medio del mare

height datum - riferimento delle quote (livello medio del mare)

Chart Datum - livello delle basse maree sigiziali (per l'Italia).

La distanza tra i due datum corrisponde alla caratteristica Zo riportata nel cartiglio

Segnalamento luminoso e non

Si rimanda ad apposito modulo sul segnalamento marittimo.

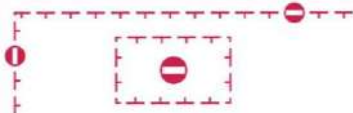
Zone, limiti

Aree di mare delimitate e regolamentate, evidenziate per garantire la sicurezza della navigazione, la tutela dell'ambiente, la presenza di lavori subacquei, ecc. Contornate da linee tratteggiate, indicano spazi in cui vigono restrizioni specifiche, divieti o pericoli, ben descritti nei Portolani nautici.

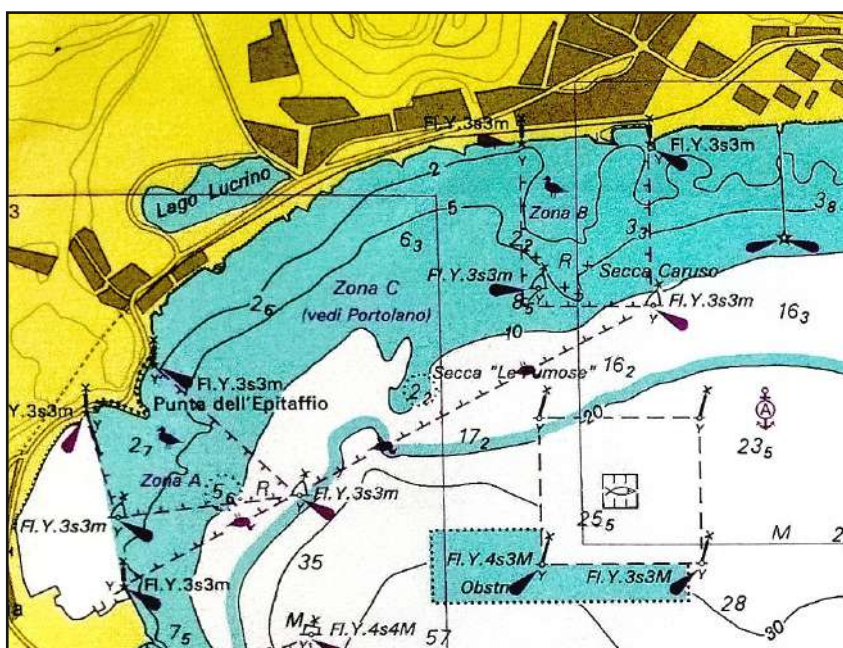
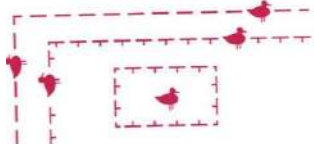
Zona regolamentata in genere

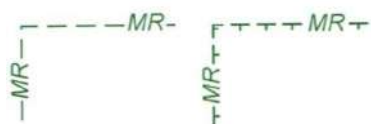


Zona sottoposta a divieto di accesso



Area marina di interesse ambientale

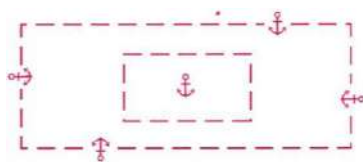




Area di Riserva marina (MR - Marine Reserve)



Allevamento ittico. Su carte a piccola scala compare solo il simbolo e non l'area di delimitazione.



Zona di ancoraggio in genere



Zona di ancoraggio identificata da una lettera, numero o loro combinazione. Per l'ancoraggio di navi alla fonda

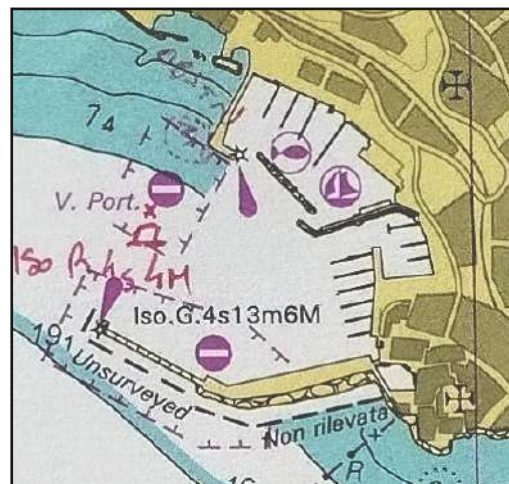
Simboli portuali



Simboli rispettivamente per porto turistico fornito di servizi (Marina) o senza

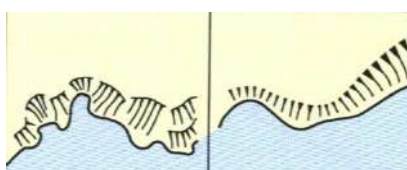


Porto per pescherecci



Notare le aree di divieto

Configurazioni costiere



Costa scoscesa, a picco

Cavi e condotte sottomarine

In corrispondenza di tali simboli è vietato l'ancoraggio e la pesca per non danneggiare i manufatti anche se sono indicati come non in esercizio.



Cavo sottomarino (generico)



Cavo sottomarino dismesso



Cavo elettrico sottomarino



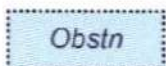
Condotta sottomarina (per fluidi). Può essere riportato il tipo di fluido (acqua, olio, gas) o l'impiego (fognario, aspirante, ...)



Condotta sottomarina dismessa

Ostruzioni

Indicata con l'abbreviazione **Obstn** (dall'inglese *obstruction*) rappresenta un ostacolo sommerso o semi-sommerso pericoloso per la navigazione. Si riferisce a strutture artificiali o naturali, come massi isolati, vecchi piloni, relitti sommersi o resti di piattaforme, che possono danneggiare lo scafo o le eliche di un'imbarcazione. In corrispondenza di tali simboli è vietato l'ancoraggio e la pesca che possono danneggiare i manufatti.



Ostruzione (Può anche avere forma circolare)

Si ricorda infine, che per una panoramica completa di tutti i simboli riconosciuti dall'Organizzazione Idrografica Internazionale (IHO), si può consultare la legenda ufficiale pubblicata dall'Istituto Idrografico della Marina, nota come **Carta 1111 Int 01**

Come tutti i documenti nautici si deve procedere anche per la carta 1111 al suo aggiornamento tramite gli AA.NN.

Si riporta un esempio relativo alla 8ª edizione (2018), corrente alla data di elaborazione del presente modulo.

AVVISI PER LE CARTE

Carta N°	Correzione N°	Avviso	Correzione precedente
4	12	5.4	(22.4/2022)
20	20	5.16	(4.22/2023)
35	25	5.19	(23.7/2022)
51	2	5.2	(21.3/2022)
55 INT3362	6	5.3	(21.8/2022)
74	11	5.6	(3.3/2022)
82	12	5.10	(2.9/2022)
94	3	5.11	(23.7/2020)
119	5	5.5	(9.2/2020)
129	43	5.9	(4.18/2023)
153	8	5.18	(25.8/2022)
240	5	5.13	(15.14/2022)
243	4	5.13	(15.14/2022)
258	9	5.12	(18.7/2022)
	10	5.15	
264	2	5.13	(19.7/2021)
265	4	5.13	(22.8/2021)
269	12	5.17	(10.8/2022)
270 INT3394	5	5.17	(21.8/2021)
271	2	5.17	(21.7/2021)
297	4	5.7	(8.4/2022)
298	14	5.7	(1.2/2023)
318	4	5.7	(4.13/2023)
	5	5.8	
434 INT305	23	5.14	(3.11/2023)
435 INT306	97	5.14	(23.11/2022)
909 INT3300	14	5.4	(26.3/2022)
948 INT3210	38	5.14	(3.9/2023)
1111 INT 1	1	5.1	

Elenco delle carte che hanno subito variazioni, riportato nell'indice dell'Avviso n. 5 del 2013

5.1 - 8-III-2023
Indefinita - Talloncino

Inserire il talloncino nella parte corrispondente della carta, a pagina 9.

Avvertenze: le rappresentazioni grafiche ottenute da stampanti non professionali possono facilmente risultare distorte o deformate rispetto alle dimensioni originali; si raccomanda di verificare le quote confrontandole con quelle indicate ai margini.

Carta 1111 INT 1 (2023-1)

(Scheda 77/2023)

Contenuto della posizione 5.1 del fascicolo

Datazione delle carte nautiche

La **datazione** o età di una carta nautica indica il suo grado di aggiornamento e affidabilità. Le carte nautiche ufficiali quando vengono acquistate sono sempre aggiornate fino alla data di vendita e certificate con il timbro dell'ufficio idrografico o del venditore autorizzato. L'utente dovrà provvedere a tenerle al corrente apportando costantemente e tempestivamente le informazioni fornite negli Avvisi ai Naviganti (AA.NN.).

Gli istituti idrografici ufficiali, quali per l'Italia l'Istituto Idrografico della Marina – IIM, contrassegnano le carte come:

Carte di nuova pubblicazione, relativa a una zona non rappresentata in precedenza o perché modificata nei confini o nella scala

Carte di nuova edizione, sostituiscono le precedenti pubblicazioni, quando sono subentrate modifiche, essenziali e non per la sicurezza della navigazione tali da rendere la precedente carta non più utilizzabile. Naturalmente contiene le precedenti informazioni ancora in corso degli AA.NN. Al fine di adeguarsi alle regole internazionali vengono effettuati eventuali variazioni formali (simboli, abbreviazioni) subentrate nel frattempo.

Numero e formato rimane invariato rispetto all'edizione precedente.

Ristampe, carte che non presentano modifiche essenziali da quelle originarie, ma che sono realizzate riordinando gli AA.NN., soprattutto quando questi sono divenuti numerosi. Possono presentare eventuali modifiche formali.

Per completezza si fa notare che l'IIM pubblica anche delle carte ad uso solo didattiche (non utilizzabili per navigare) contraddistinte dalla lettera D, come la famosa **Carta 5D**.

NORMATIVA SUL DIPORTO NAUTICO

Il **Decreto** del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti 29 luglio 2008, **n. 146** sul Codice della nautica da diporto all'**Allegato V** (*articolo 54 Mezzi di salvataggio e dotazioni di sicurezza*) richiede, per **navigazioni oltre le 12 miglia dalla costa**, la presenza a bordo delle carte nautiche relative alla zona in cui si effettua la navigazione, inclusi gli strumenti da carteggio.

La forma cartacea non è obbligatoria se l'unità è dotata di due sistemi elettronici di cartografia (ECS) conformi e con alimentazione indipendente.

Questa è quanto prescrive la norma.

Il consiglio dato da chi va per mare per professione è quello di avere una carta tradizionale e un ECS mettendosi così al riparo da eventuali imprevisti. Inoltre avere a bordo una carta del litorale, anche quando non obbligatoria, può risultare prezioso proprio nella navigazione costiera fornendoci informazioni sui fondali, secche, scogli, segnalamenti, ecc. evitando sanzioni e rendendo la navigazione più sicura. La prudenza in mare non è mai troppa.

Cenni sulle Carte elettroniche e integrazione dei sistemi di navigazione

L'evoluzione delle carte nautiche elettroniche ha origine con le carte raster (**RNC - Raster Navigational Charts**), che consistono in scansioni digitali delle tradizionali rappresentazioni cartacee. Esse conservano l'aspetto originale, ma presentano limiti significativi: non consentono l'interrogazione degli oggetti né l'attivazione di funzioni avanzate, risultando quindi una rappresentazione sostanzialmente statica.

Successivamente si sono affermate le carte vettoriali (**ENC - Electronic Navigational Charts**), basate su database strutturati di oggetti geografici (boe, fondali, rotte, segnalamenti, ecc.). Vengono prodotte da 20 anni secondo il formato standard S-57 dell'IHO (*International Hydrographic Organization*) con una evoluzione verso il formato S-101 più performante.

Questo approccio consente:

- la personalizzazione delle informazioni visualizzabili (livelli informativi selezionabili),
- l'interrogazione degli elementi cartografici,
- l'integrazione con sistemi di allarme (es. anticollisione, allarmi di profondità, deviazione dalla rotta).

Parallelamente si sono evoluti anche i sistemi di visualizzazione e gestione della navigazione, oggi in grado di integrare diverse fonti di dati di bordo, non solo GPS, ma anche radar, AIS, ecoscandaglio e sensori ambientali.

Questi sistemi si distinguono principalmente in due categorie:

ECS (*Electronic Chart System*), in cui rientrano i comuni **chartplotter** utilizzati nel diporto e nelle unità minori. Sono sistemi molto diffusi, intuitivi e spesso altamente integrati, ma non certificati come strumenti primari di navigazione;

ECDIS (*Electronic Chart Display and Information System*), sistemi professionali conformi agli standard della **IHO** e alle normative della **IMO** (*International Maritime Organization*). Sono obbligatori su molte navi commerciali (ad esempio passeggeri e unità oltre le 300 GT) e possono sostituire ufficialmente le carte tradizionali, con l'intrinseco vantaggio di possedere un valore legale in tutte le sue funzionalità, dagli aggiornamenti, alle modalità certificate di gestione degli allarmi.

I sistemi più avanzati, in particolare gli **ECDIS**, consentono inoltre funzionalità evolute come:

- integrazione di dati meteo-marini (analisi e previsioni),
- gestione delle maree e delle correnti,
- pianificazione e monitoraggio automatico della rotta,
- in alcuni casi, rappresentazioni tridimensionali dell'area di navigazione.

Integrazioni e aspetti pratici per il diporto

Nel contesto del diporto, gli ECS/chartplotter moderni offrono funzionalità sempre più evolute, tra cui:

- cartografia vettoriale proprietaria (es. **Navionics**, **C-MAP**),
- integrazione con app mobili e sistemi cloud,
- aggiornamenti delle carte,
- overlay radar e AIS direttamente sulla carta,
- funzioni di *autorouting* (calcolo automatico della rotta).

Tuttavia, è importante ricordare che:

- non sostituiscono formalmente la cartografia ufficiale,
- richiedono sempre una verifica critica da parte del navigante,
- è buona pratica mantenere sistemi di backup (tablet, rappresentazioni cartacee, strumenti tradizionali).

In sintesi, il passaggio da carte raster a vettoriali ha trasformato la navigazione da una semplice consultazione statica a un sistema integrato, interattivo e dinamico. Nel diporto questo si traduce in strumenti sempre più potenti e accessibili, mentre in ambito professionale trova la sua massima espressione nei sistemi ECDIS certificati.

Annotazione conclusiva

Prima di affidarsi pienamente a un sistema ECS o ECDIS, è fondamentale acquisire una solida conoscenza all'uso delle carte nautiche tradizionali, quelle su supporto cartaceo. Si tratta di un passaggio obbligato per diverse ragioni:

1. Il simbolismo – Le carte elettroniche non introducono una nuova simbologia, ma digitalizzano e adattano quella tradizionale. Comprendere il significato di un'isobata, di un relitto con profondità incerta o di un faro con settore luminoso su carta tradizionale significa saperlo riconoscere e interpretare immediatamente anche sullo schermo, senza bisogno di zoom o legende contestuali.

2. Allenamento alla visione d'insieme – Sulla carta tradizionale l'occhio è costretto a spaziare, a collegare informazioni distanti (profondità, pericoli, correnti, punti cospicui). Questo sviluppa la cosiddetta Consapevolezza della situazione, quella che gli inglesi definiscono *situational awareness* marittima: una capacità di sintesi che sugli schermi ECDIS, con il loro framing variabile e la tendenza a una visione ristretta, si può facilmente affievolire.

3. Ridondanza e resilienza cognitiva – In caso di guasto elettronico, sensore fuori calibrazione o errore di configurazione del datum, chi ha appreso a condurre la rotta con carta e matita saprà comunque leggere la situazione, stimare la posizione e individuare i pericoli. La carta tradizionale è l'ultimo strumento di backup che non ha mai un "blue screen", espressione dell'informatica indicante che il computer ha riscontrato un problema critico.

4. Il disegno come atto di comprensione – Tracciare manualmente una rotta, riportare rilevamenti o trasformare una correzione di declinazione magnetica sono operazioni che fissano nella mente concetti che sul sistema elettronico restano spesso impliciti.

Per questi motivi, lo studio dei segnalamenti marittimi e della simbologia tradizionale non è un prerequisito burocratico, ma un investimento nella propria autonomia e sicurezza in mare. Solo dopo aver interiorizzato quella grammatica visiva si potrà passare alle carte elettroniche – che ne conservano e anzi esaltano la chiarezza – senza il rischio di essere semplici spettatori passivi di uno schermo, ma navigatori consapevoli.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

(1) *I Proiezione di Tolomeo* <https://www.narraremare.it/iproiezionetolomeo/>

(2) *Il Proiezione di Tolomeo* <https://www.narraremare.it/cartografia-tolemaica-seconda-proiezione/>

(3) *Segnali orari* <https://www.narraremare.it/segnaliorari/>

(4) *Stazioni mareografiche* ISPRA <https://www.mareografico.it/it/stazioni.html>

(5) *British Geological Survey - IGRF Calculator* https://geomag.bgs.ac.uk/data_service/models_compass/igrf_calc.html

Carta 1111 INT 1 edizione n. 8

Carta dell'IIM n. 129 ed.

GLOSSARIO

- **azimutale**, detto di proiezione in cui si mantengono inalterati gli angoli di direzione (*azimuth*) rispetto al punto centrale della proiezione. Così i meridiani sono rette con angolo costante lungo di esse
- **batimetrica**, linea di unione dei punti di uguale fondale
- **caposaldo**, in topografia, punto di riferimento situato in luogo opportuno ove sia stabile e di facile riconoscimento su cui è riportata l'esatta posizione planimetrica e altimetrica.
- **fondale**, profondità in un dato punto del mare o di un corso d'acqua. Espressioni: "vi è un fondale di 2 m in corrispondenza ...; alto fondale ..."
- **fondo**, la parte inferiore, di una barca, di un recipiente, in particolare del mare.
L'espressione "fondo sabbioso" è corretta, errato dire "fondale sabbioso"
- **geoide**, superficie equipotenziale della gravità che, oltre a essere in ogni suo punto ortogonale alla direzione della forza di gravità (la verticale), passa anche per il livello medio del mare in un punto predefinito appartenente alla superficie terrestre, a cui viene attribuita quota zero. Viene assunta come superficie di riferimento per le operazioni altimetriche.
- **isoipse**, luogo dei punti che presentano la stessa quota ortometrica
- **onde di mare vivo**, detto dello stato del mare quando coesistono la causa (il vento) e l'effetto (le onde). Se il vento viene a mancare e le onde sono ancora presenti la nuova condizione è detta di *mare morto*
- **ondulazione geoidica**, scostamento dell'ellissoide dal geoide ottenuto con opportuni modelli matematici approssimati. La sua conoscenza consente di ottenere la quota ortometrica da quella ellissoidica fornita dal sistema GPS.
- **punto cospicuo**, o *punto notevole*, un riferimento visibile chiaramente dal mare (fari, campanili, ciminieri, serbatoi dell'acqua, promontori o cime montuose particolari) usati per orientarsi, tracciare la rotta e calcolare la propria posizione
- **quota ellissoidica**, la distanza di un punto P sulla superficie terrestre dall'ellissoide di riferimento (nel GPS il WGS84) misurata lungo la normale all'ellissoide per P
- **quota ortometrica**, la distanza di un punto P dal geoide misurata lungo la linea di forza della gravità passante per P
- **rilievo fotogrammetrico**, metodo di rilievo cartografico consistente in misure eseguite, con opportuni strumenti di ripresa e idonee tecniche, su fotogrammi di ripresa aerea
- **rilievo satellitare**, (GPS), basato sulle misure digitali eseguite da appositi ricevitori di segnali radio emessi da una costellazione di satelliti artificiali.
- **rilievo topografico**, l'insieme di misurazioni eseguite a terra con strumenti ottici e laser per mappare una specifica area
- **secca**, area con fondale basso e potenzialmente pericolosa per la navigazione
- **sigizia**, ciascuno dei due istanti nei quali la luna si trova, rispetto alla Terra, in opposizione (luna piena) o in congiunzione (luna nuova) col sole. *Marea sigiziale*, la marea che si manifesta nel giorno delle sigizie
- **topografia**, scienza che studia i metodi, le tecniche e gli strumenti atti a individuare i punti del terreno per poterli rappresentare graficamente su un piano, in opportuna scala ridotta
- **triangolo sferico**, figura geometrica definita sulla sfera da tre punti e dagli archi di cerchio massimo che li congiungono a due a due. La somma degli angoli interni di un triangolo sferico è superiore a 180°
- **verticale**, direzione della forza di gravità in un punto
- **zenit**, il punto immaginario della volta celeste situato esattamente verticale sopra la testa dell'osservatore

