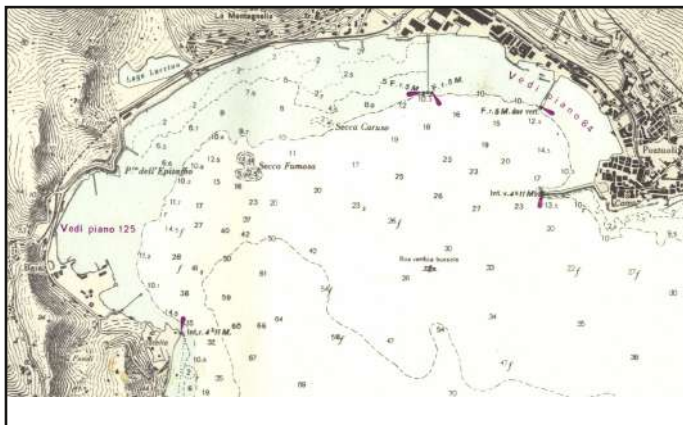


LA CARTA NAUTICA



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.

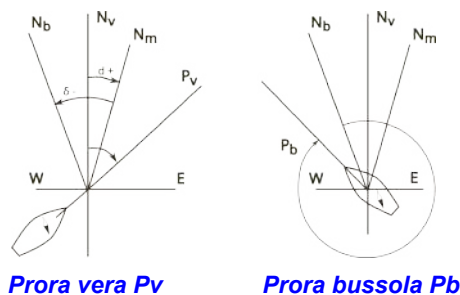
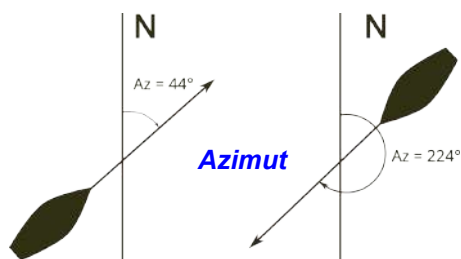
Chi fu o chi furono gli autori di quella tavoletta di argilla grande 12 x 8 cm che oltre a una iscrizione in caratteri cuneoiformi raffigura il Mondo come due cerchi concentrici?. Certamente un babilonese, forse un astronomo, comunque una mente dotata di grande immaginazione capace di dare forma grafica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





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).

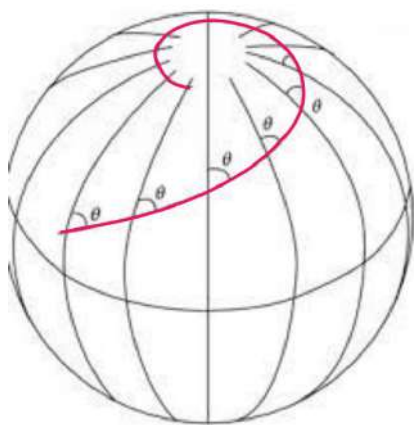
La differenza angolare (misurata in gradi) tra il Nord Vero e il Nord Magnetico si chiama **Declinazione Magnetica**. Poiché il campo magnetico terrestre cambia continuamente, il valore della declinazione varia nel tempo e con la posizione geografica in cui si trova la nave

- **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

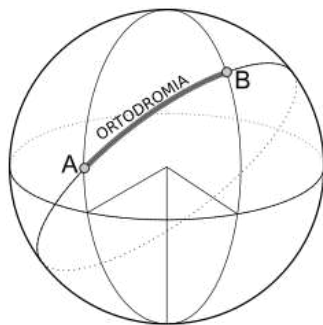
La lossodromia è un qualunque percorso sulla sfera che taglia i meridiani secondo un angolo costante. Il termine è pertanto utilizzato in navigazione e cartografia per descrivere la rotta che un'imbarcazione mantiene navigando con una rotta bussola costante.

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*.



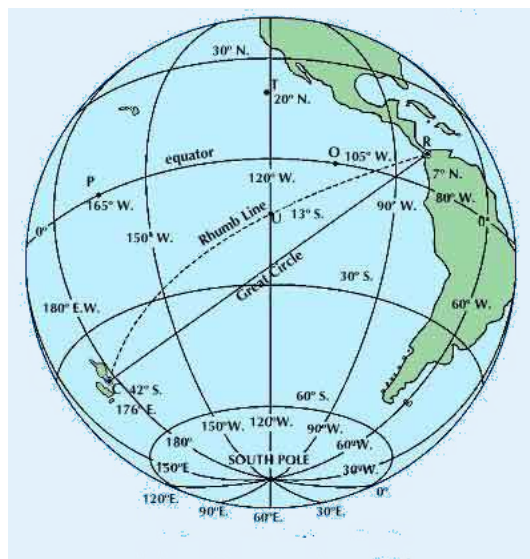
Ortodromia

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)

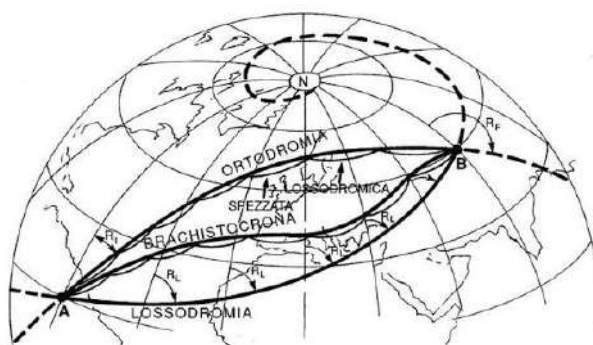
Rotte brachistocrone

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.

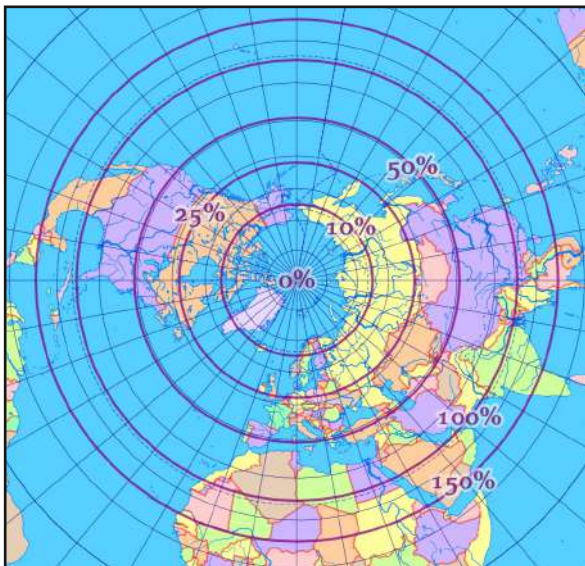
Seguire una rotta brachistocrona comporta altresì una minore sollecitazione all'equipaggio, ai passeggeri e al carico.



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

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

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.

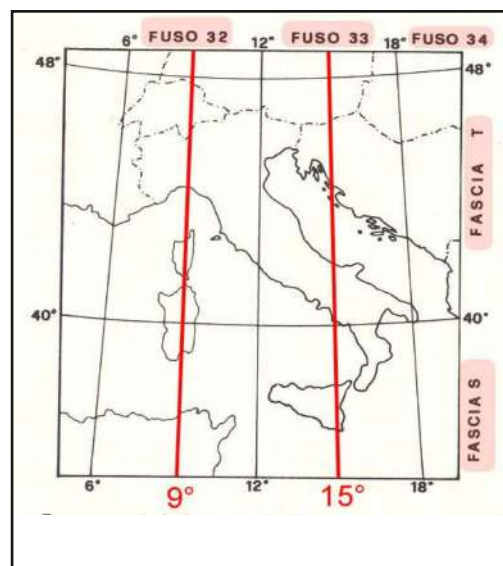
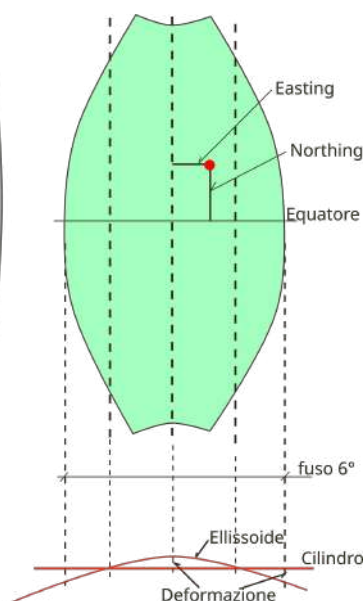
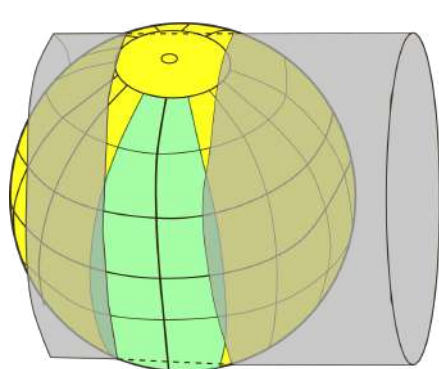
Implicazione pratica per il navigante:

- 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.



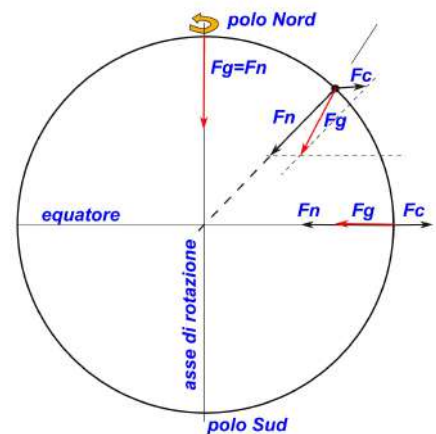
Il riferimento fisico per le quote: il geode

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?

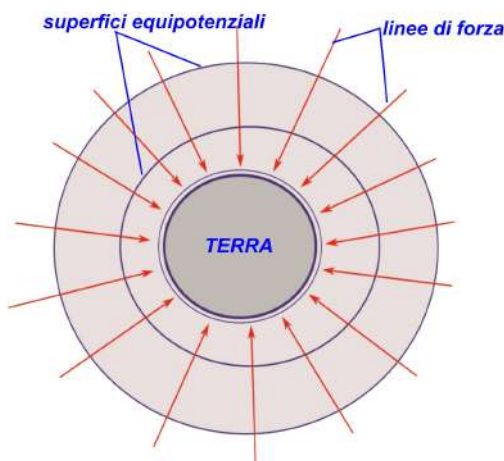
Immaginate una Terra rivestita completamente di acqua: questa assumerebbe una posizione in equilibrio con la forza di gravità, intesa come combinazione della forza di attrazione universale (quella scoperta da Newton) e della forza centrifuga dovuta alla rotazione della Terra su se stessa.

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.

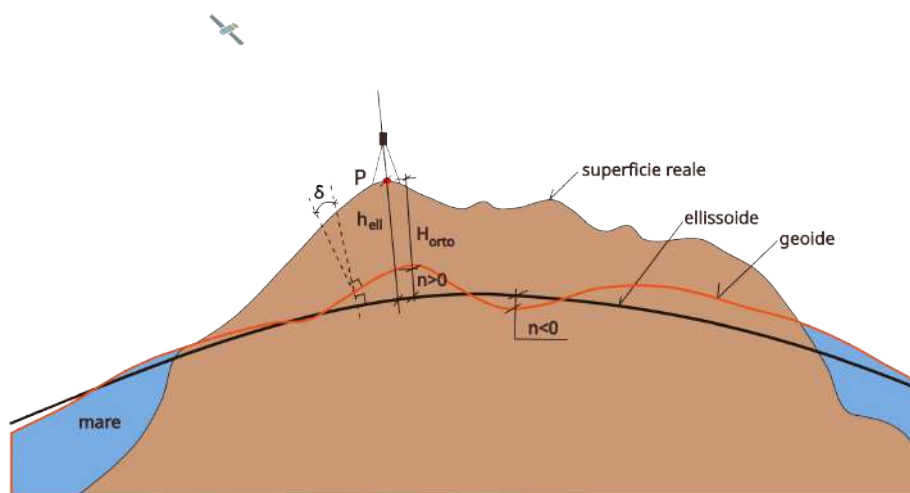
Ad oggi si contano diversi modelli del campo di gravità terrestre:

- 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 geoide (livello medio del mare).

Nota: Nel punto P, la direzione della perpendicolare all'ellissoide e la direzione del filo a piombo (perpendicolare al geoide) 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.

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

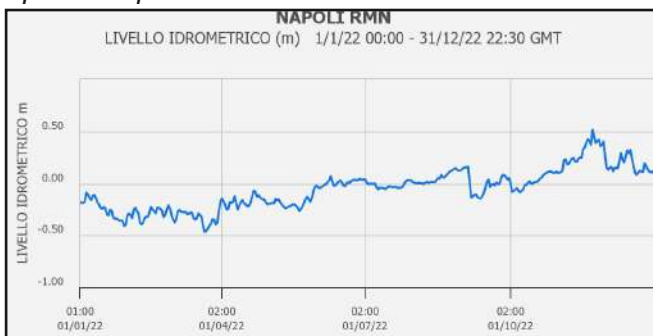


Stazione mareografica di Venezia

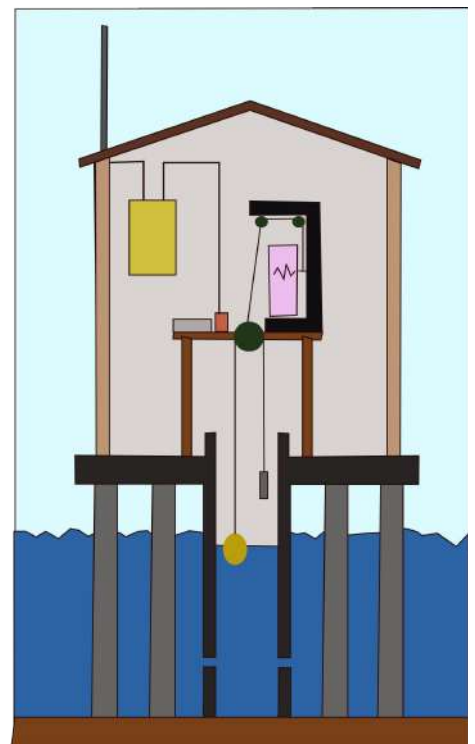
importanza mareografica.

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;

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)

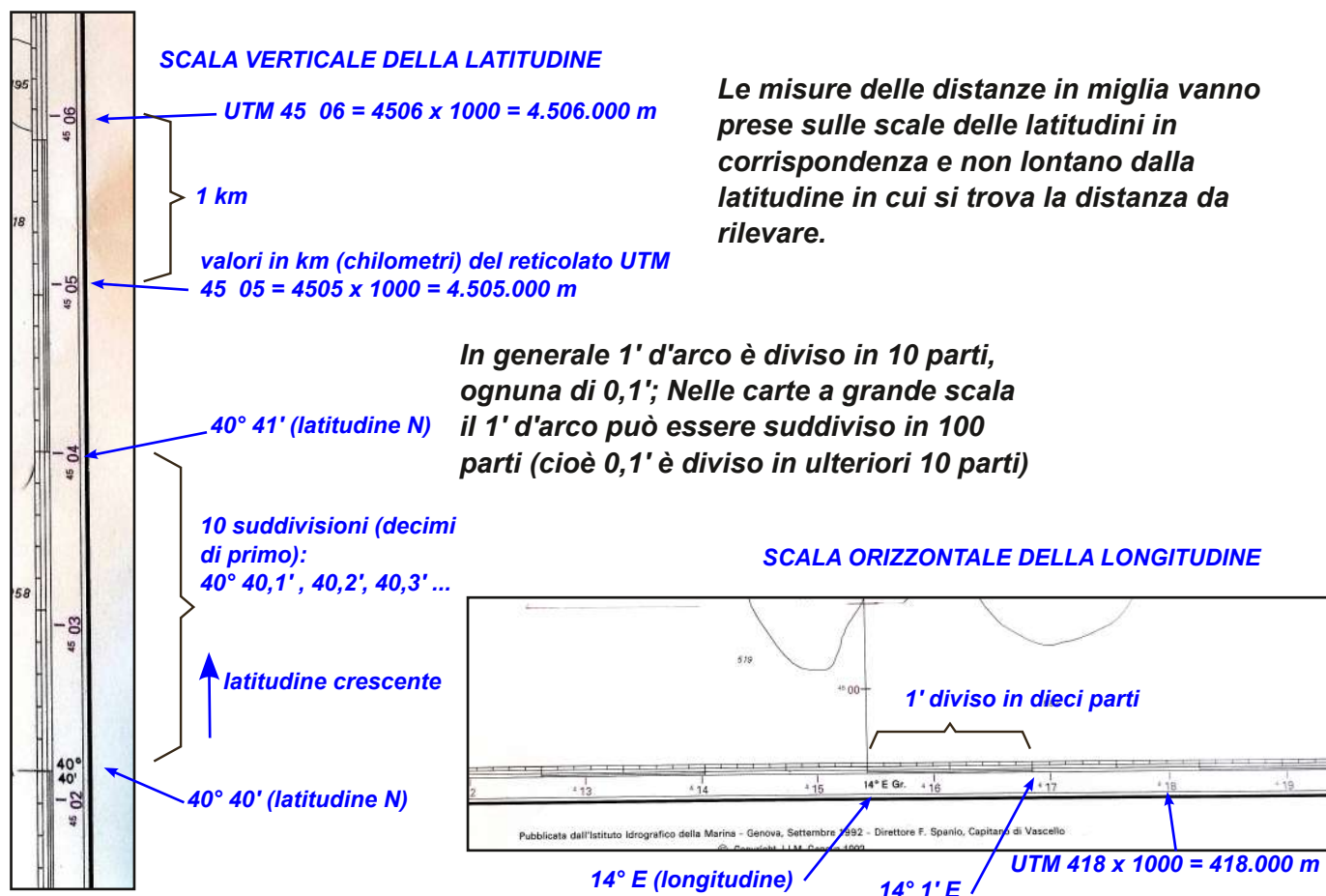
8) Conversione da European Datum e WGS84

9) Avvertenze

Numero della Carta

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

Profondità

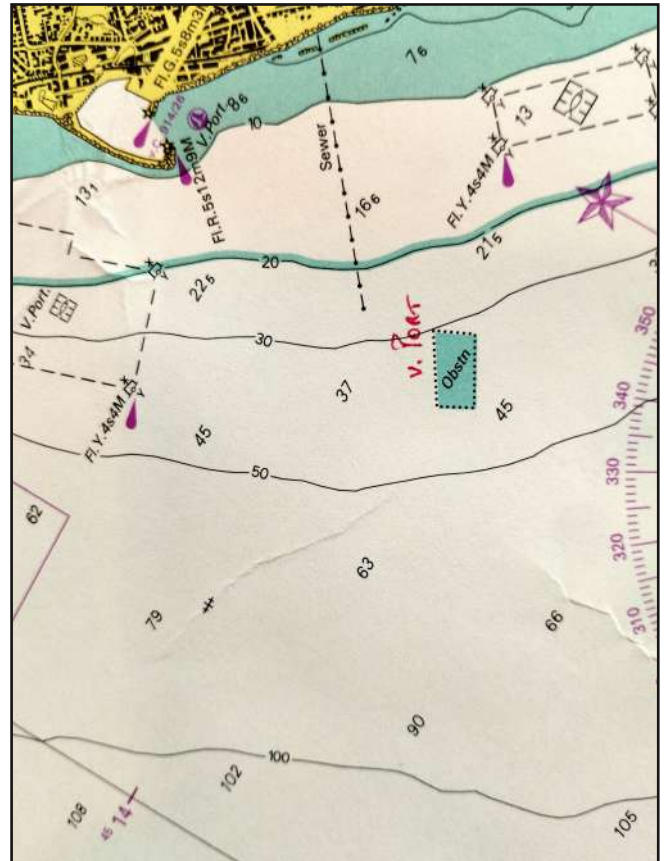
Sulle carte sono riportate le **batimetriche** (o *isobate*, le curve continue di uguale profondità rispetto al livello medio del mare) suddivise nei seguenti valori in metri:

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.

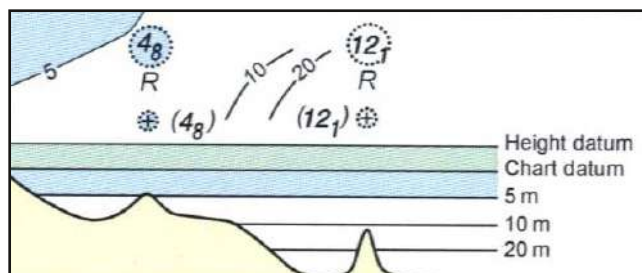
Secca: Un'area con fondale basso e potenzialmente pericolosa per la navigazione. Il fondo non presenta rocce, altrimenti il simbolo sarebbe uno di quelli relativi agli scogli.

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.

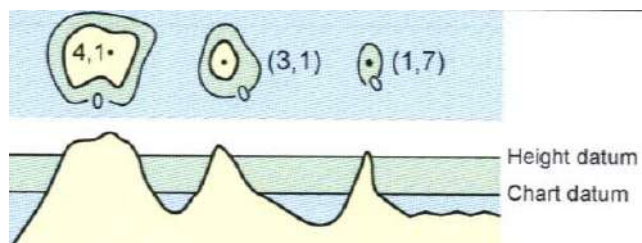
L'immagine riporta diverse secche: 13,3 - 4 - 4,3. Notare la batimetrica da 20 m; le Aree marine protette (MR); cavi elettrici sottomarini; la costa scoscesa



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.

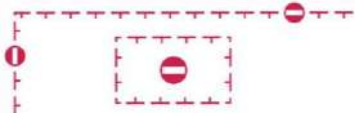
Zone, limiti

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.

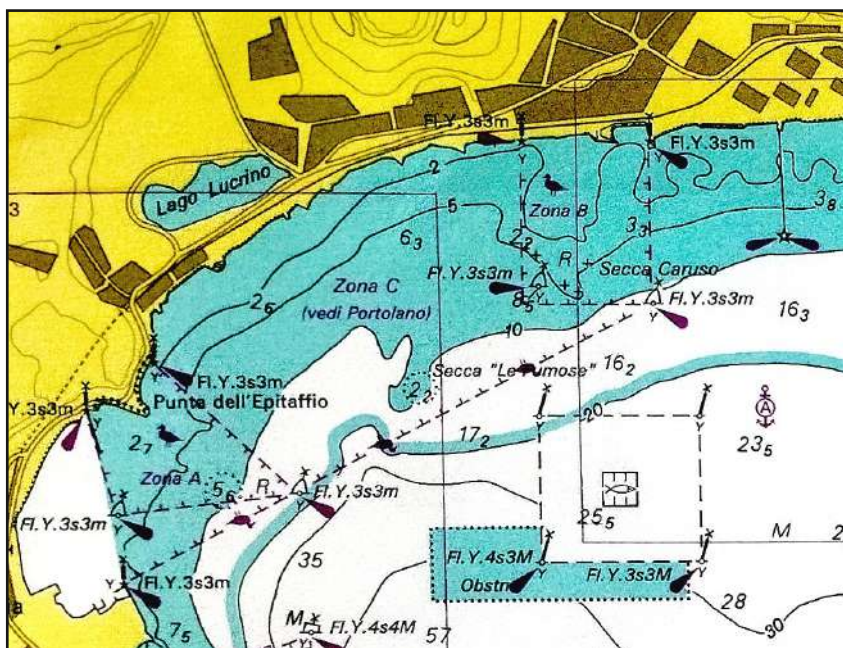
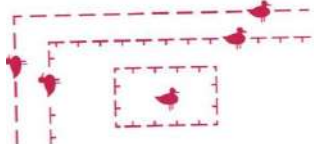
Zona regolamentata in genere



Zona sottoposta a divieto di accesso



Area marina di interesse ambientale



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).