CAPITOLO

12

Orientarsi e rappresentare la Terra

Sapere dove ci si trova è la prima domanda di ogni viaggio. Disegnarlo su un foglio, senza tradire la forma del pianeta, è un'arte che ha richiesto secoli.

OBIETTIVI

1. Orientarsi con il Sole, con la Stella Polare, con la bussola e con i sistemi di navigazione satellitare.
2. Descrivere il reticolato geografico e determinare latitudine, longitudine e altitudine di un punto.
3. Calcolare distanze lungo meridiani e paralleli, differenze di ora locale e ore nei diversi fusi orari.
4. Spiegare perché nessuna carta piana è perfetta e confrontare le principali proiezioni, compresa quella di Mercatore.
5. Usare la scala di una carta per calcolare distanze e classificare le carte per scala e per contenuto.
6. Leggere le isoipse di una carta topografica e ricavarne un profilo altimetrico.

INDICE DEL CAPITOLO

12.1 Orientarsi 2
12.2 Il reticolato geografico e le coordinate 6
12.3 Il tempo: ora locale e fusi orari 10
12.4 Rappresentare la Terra: le proiezioni 13
12.5 La scala e i tipi di carte 16
12.6 Rappresentare il rilievo 18

Scienze naturali 1 · Parte II · La Terra nello spazio · versione 1.0
Capitolo 12: Orientarsi e rappresentare la Terra · pagine 293–318 del volume completo · estratto per lo studio

Apri l'app delle mappe sul telefono: in un istante un puntino blu ti dice dove sei, con un errore di pochi metri, e una linea colorata ti indica la strada. Dietro quel gesto quotidiano ci sono idee antiche e conquiste recenti: i punti cardinali definiti dal moto apparente del Sole, una griglia di linee immaginarie tracciata sulla sfera terrestre, una convenzione internazionale sull'ora, secoli di studi per disegnare una superficie curva su un foglio piatto e una costellazione di satelliti che trasmettono segnali orari precisissimi.

Nei capitoli precedenti hai studiato la forma della Terra e i suoi moti (Capitolo 10). Qui useremo quelle conoscenze per rispondere a tre domande pratiche: *in quale direzione sto andando?*, *in quale punto del pianeta mi trovo?*, *che ora è qui e altrove?* Poi vedremo come si costruisce e come si legge una carta geografica, dalle proiezioni alla scala, fino alle curve di livello che permettono di «vedere» le montagne su un foglio.

12.1 Orientarsi

12.1.1 I punti cardinali

Orientarsi significa stabilire la propria posizione e le direzioni rispetto a riferimenti fissi. Il riferimento fondamentale è dato dai quattro punti cardinali: **Nord** (o settentrione), **Sud** (o meridione, mezzogiorno), **Est** (o oriente, levante) e **Ovest** (o occidente, ponente). I nomi tradizionali ricordano il cammino apparente del Sole: «levante» e «oriente» indicano la parte del cielo in cui il Sole si leva, «ponente» e «occidente» quella in cui tramonta, «mezzogiorno» la direzione in cui il Sole si trova a metà del giorno, alle nostre latitudini.

Fra i punti cardinali si inseriscono i **punti intermedi**: Nord-Est (NE), Sud-Est (SE), Sud-Ovest (SO) e Nord-Ovest (NO). Dividendo ancora a metà si ottengono 16 direzioni (NNE, ENE…) e poi 32: è la rosa dei venti, disegnata sulle carte nautiche e sulle bussole, i cui venti tradizionali italiani studierai nel Capitolo 13. Per indicare una direzione con precisione si usa l'**azimut**, l'angolo misurato in senso orario a partire dal Nord: Nord = 0°, Est = 90°, Sud = 180°, Ovest = 270°.

Il Nord di cui parliamo è il **Nord geografico**: la direzione del Polo Nord, cioè del punto in cui l'asse di rotazione terrestre incontra la superficie. Vedremo fra poco che la bussola indica una direzione un po' diversa.

12.1.2 Orientarsi con il Sole

Il Sole è la bussola più antica. Per la rotazione terrestre (Capitolo 10), esso si muove apparentemente da est verso ovest e, nel nostro emisfero, a metà del suo percorso diurno si trova esattamente a Sud. L'istante in cui il Sole attraversa il meridiano del luogo, raggiungendo la massima

altezza sull'orizzonte, si chiama **mezzogiorno vero** (o mezzogiorno solare locale). Attenzione: non coincide quasi mai con le 12:00 dell'orologio, per ragioni che vedremo nel paragrafo 12.3.

Per trovare il Nord basta un **gnomone**, cioè un'asta piantata verticalmente in un terreno orizzontale. Durante il giorno la sua ombra ruota e cambia lunghezza: è lunga al mattino, si accorcia fino al mezzogiorno vero e poi si allunga di nuovo. **L'ombra più corta della giornata, al mezzogiorno vero, punta esattamente verso il Nord geografico** (Figura 12.1). Poiché è difficile cogliere proprio l'istante dell'ombra minima, si usa il **metodo delle ombre uguali**: si traccia una circonferenza con centro nel piede dello gnomone, si segna il punto in cui la punta dell'ombra la tocca al mattino e quello in cui la tocca di nuovo al pomeriggio; la bisettrice dell'angolo fra le due ombre è la direzione Nord–Sud.

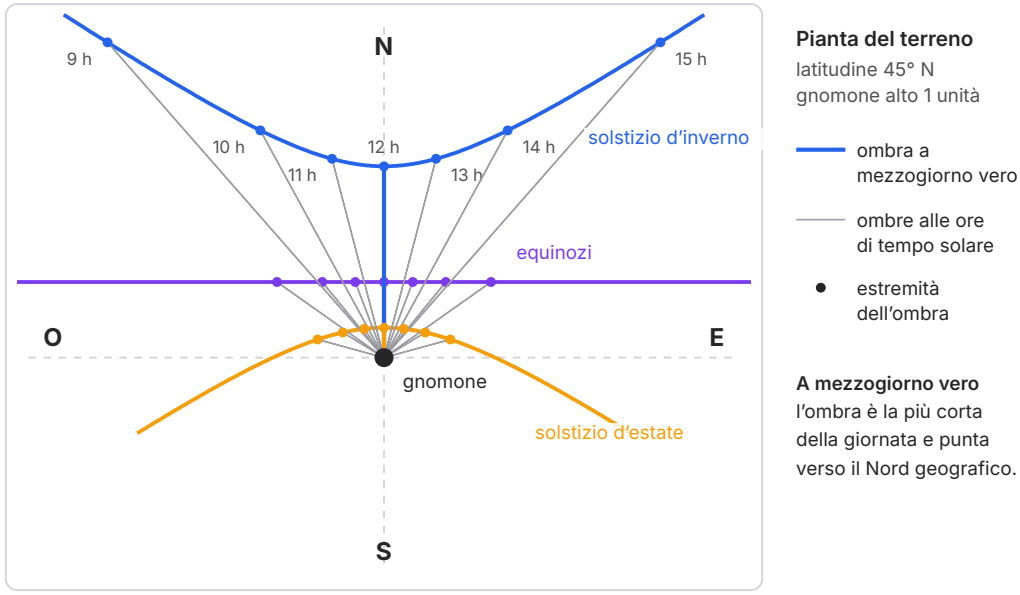


Figura 12.1 Pianta del percorso della punta dell'ombra di uno gnomone a 45° di latitudine nord, nei solstizi e negli equinozi (curve calcolate dalla posizione del Sole, in tempo solare locale). Agli equinozi la punta dell'ombra descrive una retta est–ovest; a mezzogiorno vero l'ombra è sempre la più corta della giornata e indica il Nord. A questa latitudine la sua lunghezza è 0,40 volte l'altezza dello gnomone al solstizio d'estate, 1,00 volte agli equinozi e 2,53 volte al solstizio d'inverno.

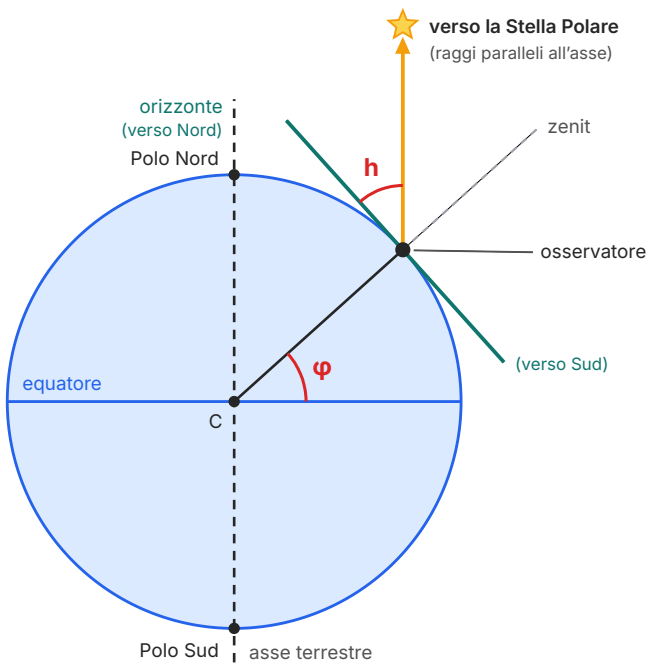
ERRORE FREQUENTE

«Il Sole sorge a est e tramonta a ovest» è vero **solo agli equinozi**. In Italia, intorno al solstizio d'estate, il Sole sorge a Nord-Est e tramonta a Nord-Ovest; intorno al solstizio d'inverno sorge a Sud-Est e tramonta a Sud-Ovest. Per orientarsi con il Sole che sorge si commette quindi un errore che d'estate supera i 30°. Il riferimento sicuro è il Sole a mezzogiorno vero, che alle latitudini italiane è sempre a Sud.

12.1.3 Orientarsi con la Stella Polare

Di notte, nell'emisfero boreale, il riferimento è la **Stella Polare**, che si trova a meno di un grado dal polo nord celeste, cioè dal punto in cui il prolungamento dell'asse terrestre incontra la sfera celeste (Capitolo 8). Mentre tutte le altre stelle descrivono archi nel cielo, la Polare resta praticamente immobile e indica il Nord. Per trovarla si parte dal Grande Carro e si prolungano di circa cinque volte i due «puntatori».

La Polare fornisce anche un'informazione preziosa: **la sua altezza sull'orizzonte è uguale alla latitudine del luogo**. La Figura 12.2 mostra perché. La Polare è così lontana che i suoi raggi arrivano paralleli all'asse terrestre in ogni punto della Terra. Per un osservatore alla latitudine φ, l'orizzonte è il piano tangente alla superficie e lo zenit è sul prolungamento del raggio terrestre; con un po' di geometria (gli angoli con i lati rispettivamente perpendicolari sono uguali) si dimostra che l'angolo h fra l'orizzonte e la direzione della Polare è uguale all'angolo φ al centro della Terra. Al Polo Nord la Polare è allo zenit ($h = 90°$), all'equatore è sull'orizzonte ($h = 0°$). Nell'emisfero australe la Polare non è visibile e non esiste una stella altrettanto brillante vicino al polo sud celeste: si usa la costellazione della Croce del Sud per stimarne la posizione.



L'altezza della Polare sull'orizzonte è uguale alla latitudine:

$$h = \varphi$$

Esempio: a Roma ($\varphi \approx 41°54'$ N) la Polare è alta circa 42°.

Figura 12.2 Perché l'altezza della Stella Polare sull'orizzonte è uguale alla latitudine. I raggi provenienti dalla Polare sono paralleli all'asse terrestre; l'angolo h fra l'orizzonte (verso Nord) e la Polare è uguale all'angolo φ fra il piano dell'equatore e il raggio che passa per l'osservatore. Schema non in scala, disegnato per $\varphi = 42°$.

12.1.4 La bussola e la declinazione magnetica

La Terra si comporta come un enorme magnete. La bussola è un ago magnetizzato, libero di ruotare, che si allinea con il campo magnetico terrestre: la sua punta colorata indica il **Nord magnetico**. Il polo magnetico però non coincide con il polo geografico: si trova nell'Artico, a qualche centinaio di chilometri dal Polo Nord, e si sposta di anno in anno. Perciò, in generale, la bussola non indica esattamente il Nord geografico.

L'angolo fra la direzione del Nord geografico e quella indicata dall'ago in un certo luogo si chiama **declinazione magnetica**; si dice orientale se l'ago devia verso est, occidentale se devia verso ovest. Dipende dal luogo e cambia lentamente nel tempo, per questo le carte topografiche riportano il suo valore insieme all'anno a cui si riferisce. In Italia, nei primi anni Venti del Duemila, la declinazione è di pochi gradi verso est: per l'escursionista l'errore è piccolo, ma in mare o in volo, su centinaia di chilometri, diventa importante e va corretto. La bussola va tenuta orizzontale e lontana da oggetti di ferro, calamite e dispositivi elettronici, che deviano l'ago.

12.1.5 La navigazione satellitare (GNSS)

Oggi ci si orienta soprattutto con i sistemi di navigazione satellitare, chiamati in generale **GNSS** (*Global Navigation Satellite System*). Il più noto è lo statunitense **GPS**; l'Unione Europea ha realizzato **Galileo**; esistono anche il russo GLONASS e il cinese BeiDou. Ogni sistema usa alcune decine di satelliti, per lo più in orbita a circa 20 000–23 000 km di quota, disposti in modo che da ogni punto della Terra ne siano sempre visibili diversi.

Il principio è la **trilaterazione**, cioè la determinazione di una posizione a partire dalle distanze da punti noti (Figura 12.3). Ogni satellite porta orologi atomici e trasmette continuamente un segnale con l'ora esatta di emissione e la propria posizione. Il ricevitore (lo smartphone, il navigatore dell'auto) misura quanto tempo impiega il segnale ad arrivare e, poiché le onde radio viaggiano alla velocità della luce, ne ricava la distanza: $d = c \cdot t$. Conoscendo la distanza da un satellite, il ricevitore sa di trovarsi su una sfera centrata nel satellite; con due satelliti le possibili posizioni si riducono all'intersezione di due sfere, con tre a due soli punti, uno dei quali è di solito assurdo (nello spazio o dentro la Terra). In pratica servono almeno **quattro satelliti**: il quarto permette di correggere l'orologio del ricevitore, molto meno preciso di quelli atomici.

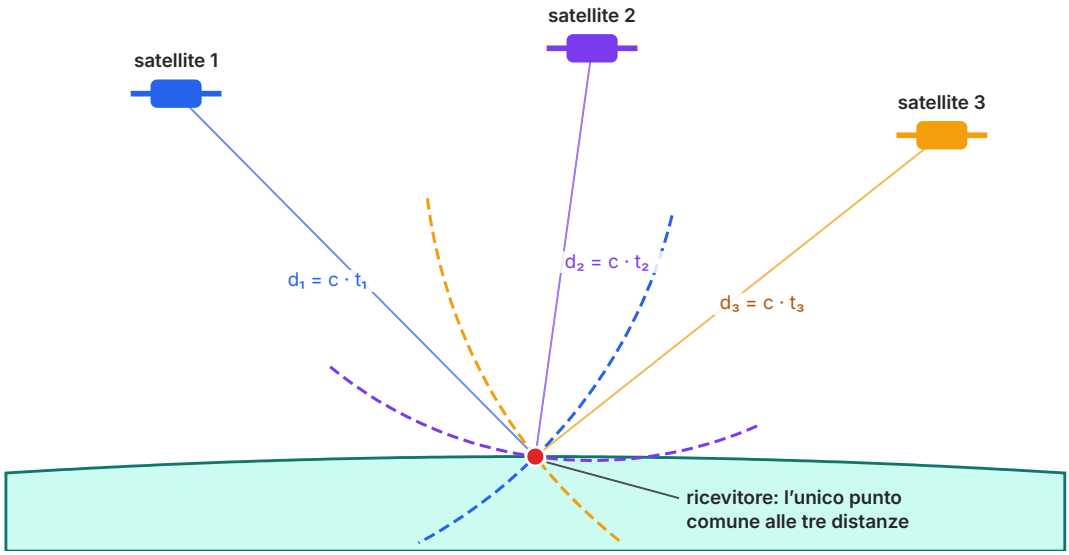


Figura 12.3 Il principio della trilaterazione, disegnato in un piano: dal tempo di viaggio t di ogni segnale il ricevitore ricava la distanza $d = c \cdot t$ da ciascun satellite; la sua posizione è l'unico punto comune alle tre distanze. Nello spazio si intersecano sfere anziché circonferenze, e un quarto satellite serve a correggere l'orologio del ricevitore. Schema non in scala.

ESEMPIO SVOLTO

Perché il GNSS ha bisogno di orologi precisissimi

Problema. Il segnale di un satellite arriva al ricevitore dopo 0,0674 s. (a) A che distanza si trova il satellite? (b) Di quanto sbaglierebbe la distanza un orologio in errore di un solo microsecondo (10^{-6} s)? Usa $c = 3{,}00 \times 10^5$ km/s.

Soluzione. (a) $d = c \cdot t = 3{,}00 \times 10^5$ km/s $\times$ 0,0674 s $= 2{,}02 \times 10^4$ km, cioè circa 20 200 km. (b) In 10^{-6} s la luce percorre $3{,}00 \times 10^5$ km/s $\times$ 10^{-6} s = 0,300 km = 300 m.

Commento. Un errore di un milionesimo di secondo sposterebbe il puntino sulla mappa di 300 m: ecco perché i satelliti portano orologi atomici e il ricevitore usa un quarto satellite per correggere il proprio orologio.

12.2 Il reticolato geografico e le coordinate

12.2.1 Paralleli e meridiani

Per indicare la posizione di un punto sulla Terra si usa un sistema di riferimento costruito sui moti del pianeta. L'**asse terrestre**, intorno a cui la Terra ruota, incontra la superficie in due punti, il **Polo Nord** e il **Polo Sud**. Il piano perpendicolare all'asse e passante per il centro della

Terra taglia la superficie lungo l'equatore, una circonferenza lunga circa 40 075 km che divide la Terra in emisfero boreale (o settentrionale) ed emisfero australe (o meridionale).

I **paralleli** sono le circonferenze ottenute tagliando la Terra con piani paralleli all'equatore: sono infiniti, tutti perpendicolari all'asse, e diventano sempre più piccoli avvicinandosi ai poli, dove si riducono a un punto. L'equatore è l'unico parallelo che è anche un **cerchio massimo**, cioè una circonferenza con centro nel centro della Terra. I **meridiani** sono le semicirconferenze che vanno da un polo all'altro; un meridiano e il suo opposto (l'*antimeridiano*) formano un cerchio massimo. Tutti i meridiani hanno la stessa lunghezza, circa 20 000 km, e incontrano i paralleli ad angolo retto. L'insieme di paralleli e meridiani forma il **reticolato geografico** (Figura 12.4).

Per contare i paralleli il riferimento naturale è l'equatore, stabilito dalla rotazione terrestre. Per i meridiani, invece, non esiste un punto di partenza naturale: tutti sono equivalenti. Nel 1884 una conferenza internazionale riunita a Washington scelse come **meridiano fondamentale** (o meridiano zero) quello che passa per l'osservatorio astronomico di Greenwich, vicino a Londra.

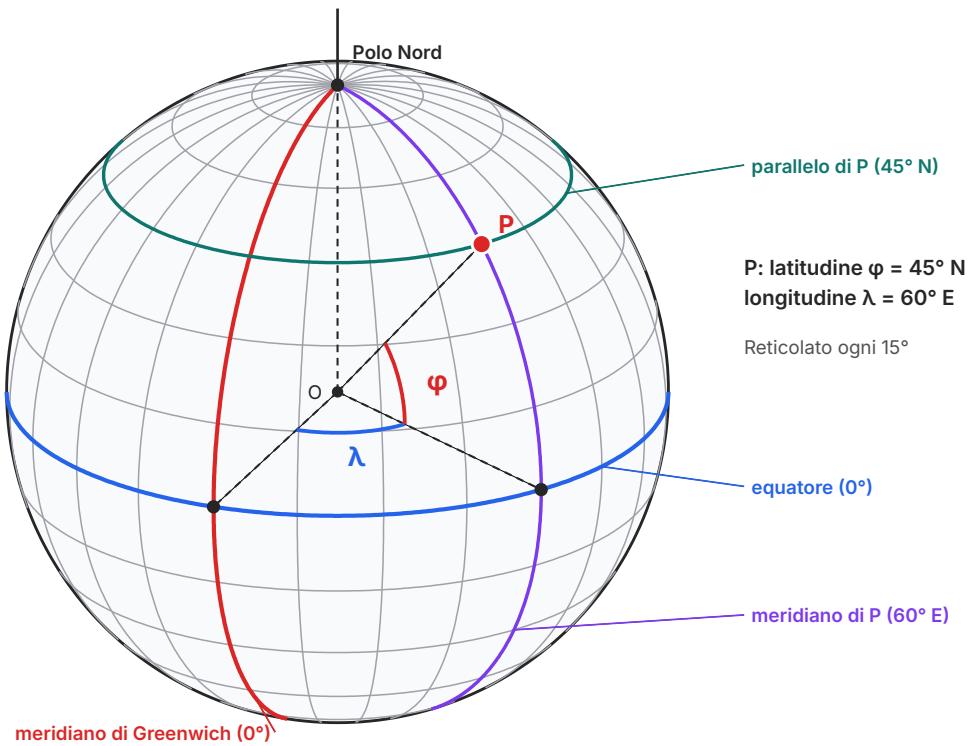


Figura 12.4 Il reticolato geografico (paralleli e meridiani ogni 15°) e le coordinate del punto P. La latitudine φ è l'angolo, con vertice nel centro O della Terra, fra il piano dell'equatore e il raggio che passa per P, misurato lungo il meridiano di P; la longitudine λ è l'angolo fra il piano del meridiano di Greenwich e quello del meridiano di P, misurato lungo l'equatore.

12.2.2 Latitudine, longitudine e altitudine

La posizione di un punto P è individuata da due angoli, le coordinate geografiche:

- la **latitudine** (φ) è la distanza angolare di P dall'equatore, misurata lungo il meridiano che passa per P. Vale da 0° (equatore) a 90° (poli) e si specifica se è **Nord** o **Sud**. Tutti i punti dello stesso parallelo hanno la stessa latitudine;
- la **longitudine** (λ) è la distanza angolare di P dal meridiano di Greenwich, misurata lungo l'equatore (o lungo il parallelo di P). Vale da 0° a 180° e si specifica se è **Est** o **Ovest**. Tutti i punti dello stesso meridiano hanno la stessa longitudine. I meridiani 180° E e 180° O coincidono.

Gli angoli si esprimono in gradi (°), primi (′) e secondi (″): 1° = 60′ e 1′ = 60″. Così Roma si trova a circa **41°54′ N, 12°30′ E**. Il primo numero è sempre la latitudine. Navigatori e smartphone usano spesso i gradi decimali, con il segno al posto delle lettere: Nord ed Est positivi, Sud e Ovest negativi. Per convertire basta dividere i primi per 60: 41°54′ = 41 + 54/60 = 41,9°.

Per individuare un punto nello spazio serve una terza coordinata, l'**altitudine** (o quota), cioè la distanza verticale del punto dal livello medio del mare, che si indica in metri sul livello del mare (m s.l.m.). Per l'Italia il livello zero di riferimento è stato stabilito con le misure del mareografo di Genova. Le profondità marine si indicano con valori negativi o come «profondità» rispetto allo stesso livello.

Tabella 12.1 Coordinate geografiche di alcune città italiane (valori arrotondati al primo, riferiti al centro città).

Città	Latitudine	Longitudine	Città	Latitudine	Longitudine
Torino	45°04′ N	7°41′ E	Firenze	43°46′ N	11°15′ E
Milano	45°28′ N	9°11′ E	Roma	41°54′ N	12°30′ E
Venezia	45°26′ N	12°20′ E	Napoli	40°51′ N	14°15′ E
Trieste	45°39′ N	13°46′ E	Bari	41°07′ N	16°52′ E
Bologna	44°30′ N	11°21′ E	Palermo	38°07′ N	13°22′ E
Cagliari	39°13′ N	9°07′ E	Greenwich	51°29′ N	0°00′

12.2.3 Quanto è lungo un grado?

Le coordinate sono angoli, ma spesso ci interessano le distanze in chilometri. Un meridiano completo (andata e ritorno da polo a polo) misura circa 40 008 km e corrisponde a 360°: quindi **1° di meridiano è lungo circa 111 km** (40 008 km : 360 = 111,1 km) e 1′ circa 1852 m. Quest'ultima distanza è proprio il **miglio nautico**, l'unità usata in mare e in volo: un primo di latitudine equivale a un miglio.

Per i paralleli le cose cambiano: i paralleli si accorciano andando verso i poli, e con loro la lunghezza di un grado di longitudine. Un parallelo alla latitudine φ ha raggio $R \cdot \cos\varphi$ (lo hai incontrato nel Capitolo 10 calcolando la velocità di rotazione), quindi:

$$1^\circ \text{ di parallelo} \approx 111 \text{ km} \cdot \cos\varphi$$

All'equatore ($\cos 0^\circ = 1$) un grado di longitudine misura circa 111 km; a 45° ($\cos 45^\circ \approx 0{,}707$) circa 78,7 km; a 60° ($\cos 60^\circ = 0{,}5$) circa 55,7 km; ai poli zero. Non serve conoscere la trigonometria: il coseno di un angolo è un numero fra 0 e 1 che si legge con la calcolatrice (tasto «cos», in modalità gradi) e qui indica di quanto il parallelo è più corto dell'equatore.

IN SINTESI

Latitudine: 0°–90° N o S, dall'equatore. **Longitudine**: 0°–180° E o O, da Greenwich. 1° = 60′, 1′ = 60″.

1° di meridiano ≈ 111 km (1′ ≈ 1852 m = 1 miglio nautico). 1° di parallelo ≈ 111 km · cos φ.

Distanza lungo un meridiano = differenza di latitudine (in gradi) × 111 km.

ESEMPIO SVOLTO

Distanze dalle coordinate

Problema. (a) Venezia (45°26′ N) e Roma (41°54′ N) si trovano quasi sullo stesso meridiano. Stima la loro distanza in direzione nord–sud. (b) Quanto è lungo un grado di longitudine a Roma ($\varphi = 41{,}9^\circ$, $\cos\varphi = 0{,}744$)?

Soluzione. (a) $\Delta\varphi = 45^\circ26' - 41^\circ54' = 3^\circ32' = 3 + 32/60 = 3{,}53^\circ$. Distanza ≈ 3,53 × 111,1 km ≈ 393 km. (b) 111,3 km × 0,744 ≈ 82,8 km.

Commento. Il risultato (a) è la distanza fra i paralleli delle due città; la distanza in linea d'aria è poco maggiore perché Venezia è 10′ più a ovest di Roma.

APPROFONDIMENTO

Il problema della longitudine

Misurare la latitudine è sempre stato relativamente facile: basta l'altezza della Polare, o quella del Sole a mezzogiorno. Per la longitudine, invece, i navigatori sono rimasti al buio fino al Settecento, e molti naufragi furono causati da errori di posizione. Il motivo è semplice: la longitudine è legata all'**ora**. Poiché la Terra ruota di 15° ogni ora, la differenza fra l'ora locale di una nave e quella di un porto di riferimento dà direttamente la differenza di longitudine. L'ora locale si ricava dal Sole; il difficile era portarsi dietro l'ora del porto di partenza, perché gli orologi a pendolo non funzionavano sul ponte di una nave che rolla.

Nel 1714 il Parlamento britannico istituì un ricchissimo premio per chi avesse trovato un metodo pratico. A risolvere il problema, dopo decenni di lavoro, fu un falegname e orologiaio autodidatta, John Harrison, che dopo lunghe dispute ottenne gran parte del premio: il suo cronometro marino H4, provato in un viaggio verso la Giamaica nel 1761–1762, accumulò un errore di pochi secondi. Da allora ogni nave portò un cronometro regolato sull'ora di Greenwich. Il GNSS di oggi funziona, in fondo, con la stessa idea: posizione e tempo sono la stessa misura.

12.3 Il tempo: ora locale e fusi orari

12.3.1 L'ora locale

Il giorno solare è legato al moto apparente del Sole, quindi alla rotazione della Terra (Capitolo 10). In 24 ore la Terra compie un giro di 360° rispetto al Sole: ruota quindi di **15° ogni ora**, cioè di 1° ogni 4 minuti. Il mezzogiorno vero arriva prima nei luoghi più a est e poi, via via, in quelli più a ovest, perché la Terra ruota da ovest verso est.

L'**ora locale** (o ora vera) è l'ora definita dal Sole nel luogo in cui ci si trova: sono le 12:00 locali quando il Sole passa al meridiano. Tutti i punti dello stesso meridiano hanno la stessa ora locale, mentre due meridiani diversi hanno ore locali diverse: la differenza è di 4 minuti per ogni grado di longitudine. Fra Trieste (13°46′ E) e Torino (7°41′ E) ci sono 6°05′, cioè circa 24 minuti: il Sole culmina a Trieste quasi mezz'ora prima che a Torino.

Fino all'Ottocento ogni città regolava gli orologi pubblici sulla propria ora locale. Con le ferrovie e il telegrafo questo divenne impossibile: un orario dei treni con decine di ore diverse non si poteva gestire. Nacque così l'idea di un'ora convenzionale, uguale su regioni intere.

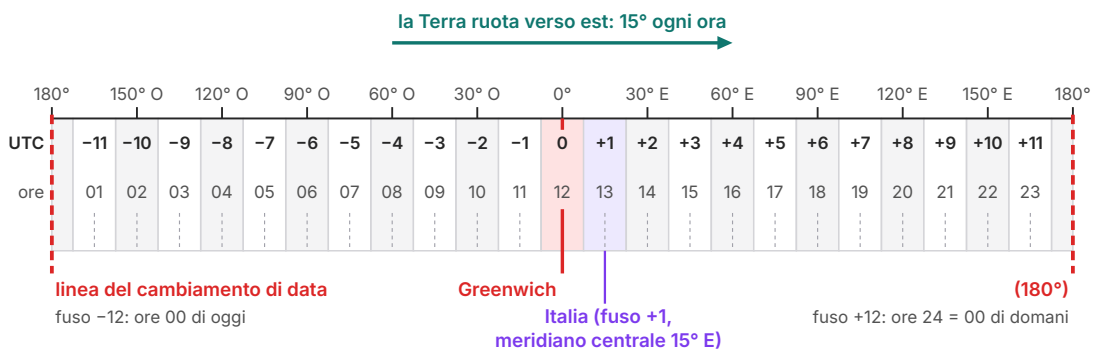
12.3.2 I fusi orari

La superficie terrestre è stata suddivisa in 24 **fusi orari**, spicchi di 15° di longitudine compresi fra due meridiani (Figura 12.5). All'interno di ogni fuso tutti gli orologi segnano la stessa ora, l'**ora civile** o **ora del fuso**, che è l'ora locale del suo meridiano centrale. Passando da un fuso a

quello vicino l'ora cambia di un'ora esatta: si aggiungono ore andando verso est e si tolgono andando verso ovest.

Il fuso di riferimento è quello centrato sul meridiano di Greenwich (da 7°30′ O a 7°30′ E). La sua ora era chiamata GMT (*Greenwich Mean Time*); oggi il riferimento mondiale è il **Tempo coordinato universale** (**UTC**), mantenuto con orologi atomici e praticamente coincidente con l'ora di Greenwich. Le ore degli altri fusi si indicano come differenza da UTC: l'Italia sta nel fuso UTC+1, il cui meridiano centrale è il 15° E, che attraversa la Sicilia orientale passando vicino all'Etna. Il Giappone è a UTC+9, la costa orientale degli Stati Uniti a UTC−5.

Nella realtà i confini dei fusi non seguono esattamente i meridiani, ma si adattano ai confini degli Stati e delle regioni, perché sarebbe assurdo avere due ore diverse nella stessa città. Alcuni Paesi molto estesi in longitudine adottano più fusi (la Russia ne ha undici), altri ne usano uno solo per tutto il territorio, come la Cina (UTC+8). Alcuni Paesi hanno scelto differenze di mezz'ora: l'India, per esempio, usa UTC+5:30.



Ore indicate nei fusi quando a Greenwich sono le 12:00 (UTC). Schema: i confini reali dei fusi seguono i confini degli Stati.

Figura 12.5 Schema dei 24 fusi orari teorici, ciascuno ampio 15° di longitudine e centrato su un meridiano multiplo di 15°. Per ogni fuso sono indicate la differenza da UTC e l'ora quando a Greenwich sono le 12:00. Il fuso a cavallo del meridiano 180° è diviso in due metà (UTC−12 e UTC+12), che hanno la stessa ora ma date diverse.

12.3.3 L'ora in Italia e l'ora legale

L'Italia usa l'**ora dell'Europa centrale** (in inglese CET), cioè UTC+1, insieme a gran parte dei Paesi europei. Poiché Roma (12°30′ E) è 2°30′ a ovest del meridiano centrale del fuso, a Roma il Sole culmina, in media, verso le 12:10 dell'orologio; a Torino verso le 12:29, a Bari verso le 11:53. A questo si aggiunge un piccolo spostamento, che cambia durante l'anno e arriva a circa un quarto d'ora, dovuto all'orbita ellittica e all'inclinazione dell'asse: per questo il mezzogiorno vero e le 12:00 non coincidono quasi mai.

Dall'ultima domenica di marzo all'ultima domenica di ottobre in Italia, come in tutta l'Unione Europea, si adotta l'ora legale: gli orologi vengono spostati avanti di un'ora, e l'Italia passa a UTC+2 (in inglese CEST). Lo scopo è sfruttare meglio la luce del giorno nelle sere d'estate e ri-

durre i consumi di energia elettrica per l'illuminazione. In inverno si torna all'**ora solare**, UTC+1.

ESEMPIO SVOLTO

Che ora è a New York?

Problema. Un aereo parte da Roma alle 10:30 del 15 gennaio e vola per 9 h 30 min fino a New York (UTC−5 in inverno). A che ora locale atterra?

Soluzione. In gennaio l'Italia è a UTC+1. Ora di partenza in UTC: 10:30 − 1 h = 09:30 UTC. Ora di arrivo in UTC: 09:30 + 9 h 30 min = 19:00 UTC. Ora locale a New York: 19:00 − 5 h = **14:00** del 15 gennaio.

Commento. Il metodo più sicuro è sempre lo stesso: (1) porta l'ora di partenza in UTC; (2) aggiungi la durata del viaggio; (3) converti nell'ora del luogo d'arrivo. Fra Roma e New York ci sono 6 ore di differenza, quindi l'aereo sembra impiegare solo 3 ore e mezza.

12.3.4 La linea del cambiamento di data

Immagina di fare il giro del mondo verso est: a ogni fuso spostato l'orologio avanti di un'ora. Dopo 24 fusi lo avrai spostato avanti di 24 ore, cioè di un giorno intero, e al ritorno ti sembrerà di essere un giorno avanti rispetto a chi è rimasto a casa. Per evitare questo paradosso è stata fissata una **linea del cambiamento di data**, che corre lungo il meridiano 180°, quasi tutto nell'oceano Pacifico, deviando qua e là per non dividere arcipelaghi e Stati.

La regola è questa: chi attraversa la linea **da ovest verso est** (per esempio dal Giappone verso l'America) deve **togliere un giorno** alla data, cioè rivivere la stessa data; chi la attraversa **da est verso ovest** (dall'America verso l'Asia) deve **aggiungere un giorno**. Così, quando a Greenwich è mezzogiorno, sul lato occidentale della linea è mezzanotte del giorno dopo, sul lato orientale è mezzanotte del giorno stesso (Figura 12.5).

APPROFONDIMENTO

Il giorno perduto di Pigafetta

Il primo a scontrarsi con questo problema fu l'equipaggio della spedizione di Ferdinando Magellano, la prima circumnavigazione del globo (1519–1522), che viaggiò sempre verso ovest. Il vicentino Antonio Pigafetta tenne un diario giorno per giorno. Quando la nave *Victoria*, nel luglio 1522, approdò alle isole di Capo Verde, i marinai scoprirono che a terra era giovedì, mentre secondo il diario era mercoledì: avevano «perso» un giorno. Nessuno aveva sbagliato a contare: viaggiando verso ovest, ogni giorno era stato un po' più lungo di 24 ore, e la somma di tutte le differenze faceva esattamente un giorno. Lo stesso effetto, al contrario, è l'idea su cui Jules Verne costruisce il colpo di scena finale del romanzo *Il giro del mondo in ottanta giorni* (1872), in cui il protagonista, viaggiando verso est, si crede in ritardo di un giorno.

12.4 Rappresentare la Terra: le proiezioni

12.4.1 Perché nessuna carta è perfetta

La rappresentazione più fedele della Terra è il **globo**, che ne riproduce forma, proporzioni e posizioni reciproche. Ma un globo non entra in tasca e, se fosse abbastanza grande da mostrare le strade di una città, sarebbe enorme. Ci servono quindi rappresentazioni piane: le carte geografiche.

Il problema è che una superficie sferica **non può essere distesa su un piano** senza deformarla: prova ad appiattire la buccia di un'arancia, e dovrai strapparla o stirarla. Il matematico Carl Friedrich Gauss dimostrò nell'Ottocento che questa impossibilità è rigorosa: nessuna carta piana può conservare insieme distanze, angoli e aree di una regione estesa della sfera. Ogni carta è quindi un compromesso, che rinuncia a qualcosa per conservare altro.

Una **proiezione** (o rappresentazione cartografica) è il procedimento geometrico o matematico che fa corrispondere a ogni punto del reticolato terrestre un punto della carta. In base alla proprietà che conservano, le proiezioni si dividono in:

- **isogone** (o conformi): conservano gli angoli, e quindi la forma delle piccole regioni; sono indispensabili per la navigazione;
- **equivalenti**: conservano il rapporto fra le aree; sono adatte alle carte che confrontano estensioni, densità di popolazione, superfici coltivate;
- **equidistanti**: conservano le distanze, ma solo lungo certe linee (per esempio dal centro della carta);
- **afilattiche**: non conservano esattamente nessuna proprietà, ma limitano tutte le deformazioni; molti planisferi degli atlanti scolastici sono di questo tipo.

12.4.2 Proiezioni azimutali, cilindriche e coniche

Un modo intuitivo di costruire una carta è immaginare di proiettare il reticolato, come con una lampadina, su una superficie che si può poi distendere in piano senza deformazioni: un piano, un cilindro o un cono (Figura 12.6). Le proiezioni ottenute davvero con questo procedimento ottico si dicono **prospettiche**; molte proiezioni moderne conservano la stessa disposizione del reticolato ma calcolano la posizione di paralleli e meridiani con formule matematiche, e si dicono **modificate** (o di sviluppo).

- Nelle **proiezioni azimutali** il reticolato è proiettato su un **piano** tangente al globo in un punto, spesso un polo. I meridiani diventano rette che partono dal polo, i paralleli circonferenze concentriche. La carta è fedele vicino al punto di tangenza e si deforma allontanandosi: è usata per le regioni polari.

- Nelle **proiezioni cilindriche** la superficie è un **cilindro** tangente lungo l'equatore. Meridiani e paralleli diventano rette perpendicolari fra loro: un comodo reticolato rettangolare. Le deformazioni sono piccole vicino all'equatore e crescono verso i poli, che non possono essere rappresentati come punti. Si usano per i planisferi.
- Nelle **proiezioni coniche** la superficie è un **cono** tangente lungo un parallelo delle medie latitudini. I meridiani diventano rette che convergono verso il vertice, i paralleli archi di circonferenza. Sono le più adatte per Paesi delle medie latitudini estesi soprattutto in senso est–ovest, come l'Europa e l'Italia.

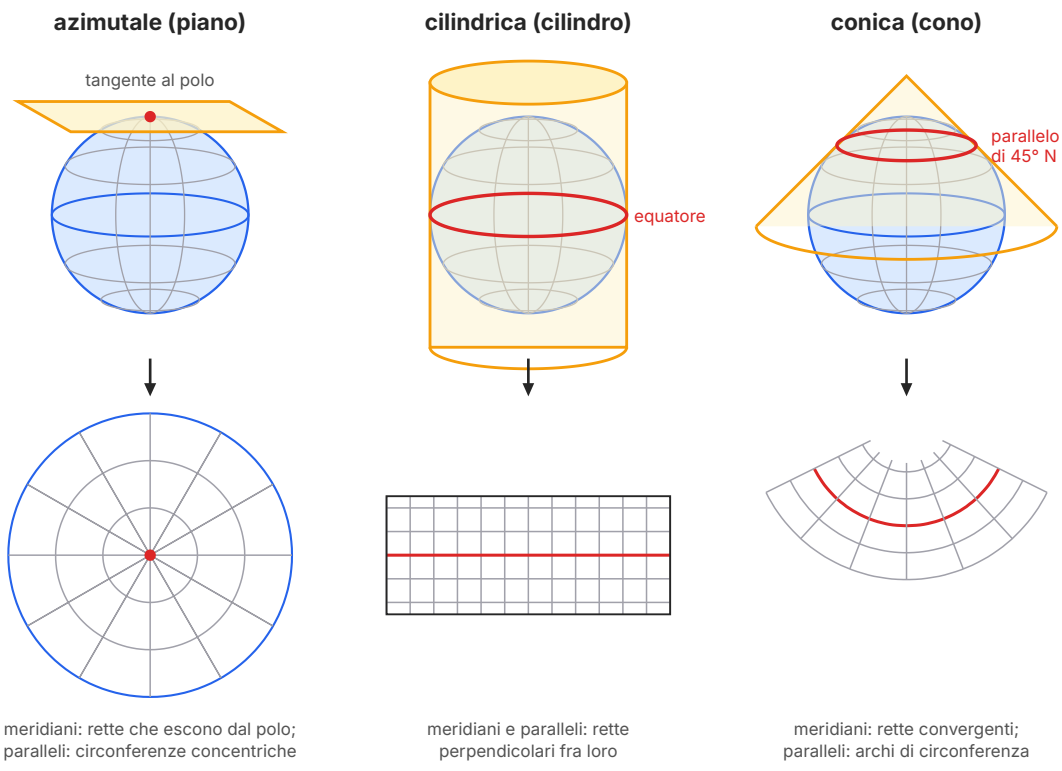


Figura 12.6 Le tre famiglie di proiezioni. In alto, la superficie su cui si proietta il reticolato: un piano tangente al Polo Nord, un cilindro tangente all'equatore, un cono tangente al parallelo di 45° N (in rosso la linea di tangenza, dove la carta non ha deformazioni). In basso, il reticolato che si ottiene (emisfero nord per la proiezione azimutale e la conica; meridiani ogni 30°).

12.4.3 La carta di Mercatore

La proiezione più famosa è quella ideata dal cartografo fiammingo Gerardo Mercatore nel 1569. È una proiezione **cilindrica modificata e isogona**: Mercatore allargò la distanza fra i paralleli, man mano che ci si allontana dall'equatore, esattamente quanto serviva a compensare l'allargamento dei paralleli stessi, che sul cilindro hanno tutti la lunghezza dell'equatore. Il risultato è

una carta in cui gli angoli sono conservati: una rotta che taglia tutti i meridiani con lo stesso angolo, la lossodromia, diventa una linea retta. Basta tracciare sulla carta la retta fra porto di partenza e porto di arrivo, misurarne l'angolo con i meridiani e mantenere quella direzione con la bussola. Per questo la carta di Mercatore è ancora oggi la base delle carte nautiche, e una sua variante è usata dalle mappe online, che devono conservare la forma di strade e incroci quando si ingrandisce.

Il prezzo da pagare è una forte **deformazione delle aree**, che cresce con la latitudine: una regione alla latitudine φ appare ingrandita di circa $1/\cos^2\varphi$ volte. A 30° le aree sono ingrandite di 1,3 volte, a 60° di 4 volte, a 72° di oltre 10 volte, e i poli finirebbero all'infinito: per questo le carte di Mercatore si fermano verso gli 80° di latitudine. L'esempio classico è il confronto fra Groenlandia e Africa (Figura 12.7): sulla carta di Mercatore sembrano grandi più o meno uguali, ma l'Africa (circa 30,4 milioni di km²) è circa 14 volte più estesa della Groenlandia (circa 2,17 milioni di km²). Anche l'Europa, ad alte latitudini, appare più grande di quanto sia rispetto all'America del Sud o all'India.

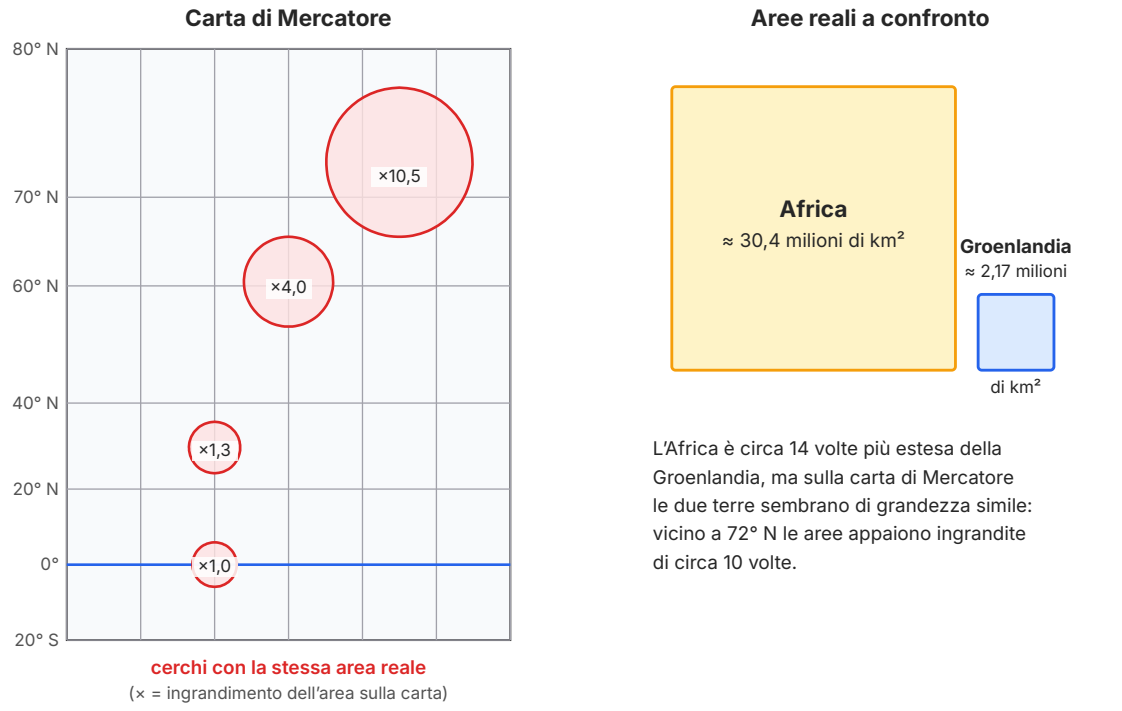


Figura 12.7 A sinistra, cerchi che sulla Terra hanno tutti la stessa area (raggio di 6°, circa 670 km), disegnati su un reticolato di Mercatore calcolato: a latitudini crescenti appaiono sempre più grandi, pur restando quasi circolari (i più grandi si allungano un po' verso il polo). Il numero indica di quante volte l'area appare ingrandita ($1/\cos^2\varphi$). A destra, quadrati con l'area reale proporzionale a quella di Africa e Groenlandia.

ERRORE FREQUENTE

«La carta di Mercatore è la più precisa perché conserva le forme, quindi conserva anche le aree.» Falso. Mercatore conserva gli **angoli** e quindi la forma delle **piccole** regioni, ma **deforma fortemente le aree** alle alte latitudini. Nessuna carta può essere insieme isogona ed equivalente. Per confrontare superfici si usano proiezioni equivalenti, come quella di Mollweide o quella di Gall-Peters, in cui le aree sono proporzionali a quelle reali ma le forme vicino ai poli risultano schiacciate o allungate.

12.5 La scala e i tipi di carte

12.5.1 Riduzione e scala

Ogni carta rappresenta la realtà rimpicciolita. Il rapporto costante fra una distanza misurata sulla carta e la corrispondente distanza reale si chiama **scala** (o rapporto di riduzione). Si può indicare in due modi.

- La **scala numerica** è una frazione con numeratore 1: **1 : 25 000** (si legge «uno a venticinquemila») significa che 1 cm sulla carta corrisponde a 25 000 cm nella realtà, cioè a 250 m. Il numeratore e il denominatore sono espressi nella stessa unità di misura, qualunque essa sia.
- La **scala grafica** è un segmento suddiviso in parti, ciascuna con l'indicazione della distanza reale corrispondente (come in basso a destra nella Figura 12.8). Ha un vantaggio importante: se la carta viene ingrandita o ridotta con una fotocopiatrice o sullo schermo, la scala grafica si ingrandisce o si riduce insieme a essa e resta corretta, mentre la scala numerica stampata non vale più.

Con la scala numerica $1 : N$ le distanze si calcolano con una semplice proporzione:

$$\text{distanza reale} = \text{distanza sulla carta} \times N \qquad \text{distanza sulla carta} = \frac{\text{distanza reale}}{N}$$

Ricorda di trasformare le unità alla fine: 1 km = 1000 m = 100 000 cm. Un trucco comodo: nella scala 1 : 100 000 un centimetro corrisponde a un chilometro; nella scala 1 : 25 000 quattro centimetri corrispondono a un chilometro.

Si parla di **scala grande** quando il denominatore è piccolo (1 : 2000, 1 : 10 000): la riduzione è modesta, la carta rappresenta un territorio piccolo con molti dettagli. Si parla di **scala piccola** quando il denominatore è grande (1 : 1 000 000, 1 : 50 000 000): la carta rappresenta territori vasti con pochi dettagli.

ERRORE FREQUENTE

«1 : 1 000 000 è una scala più grande di 1 : 25 000, perché il numero è più grande.» No: la scala è una frazione, e 1/1 000 000 è **più piccola** di 1/25 000. Una carta a scala grande mostra un territorio piccolo, ma in grande dettaglio; una carta a scala piccola mostra un territorio grande, ma con pochi dettagli. Per esempio, una pianta di città in scala 1 : 10 000 mostra i singoli edifici; un planisfero in scala 1 : 100 000 000 non mostra nemmeno le città più grandi come superfici.

ESEMPIO SVOLTO

Calcolare con la scala

Problema. (a) Su una carta in scala 1 : 25 000 due rifugi distano in linea d'aria 4,6 cm. Qual è la distanza reale? (b) Su una carta in scala 1 : 50 000, quanto misura un tratto di strada rettilineo lungo 3,0 km? (c) Su una carta due paesi distano 4,8 cm; nella realtà distano 12 km. Qual è la scala?

Soluzione. (a) 4,6 cm × 25 000 = 115 000 cm = 1150 m = 1,15 km. (b) 3,0 km = 300 000 cm; 300 000 cm : 50 000 = 6,0 cm. (c) 12 km = 1 200 000 cm; 1 200 000 : 4,8 = 250 000, quindi la scala è 1 : 250 000.

Commento. La distanza misurata sulla carta è quella in linea d'aria, sul piano orizzontale; il sentiero vero, con curve e salite, è sempre più lungo.

12.5.2 Classificare le carte

In base alla **scala** le rappresentazioni si classificano tradizionalmente così (i limiti fra le classi sono indicativi e variano un po' da autore ad autore):

Tabella 12.2 Classificazione delle carte in base alla scala.

Tipo	Scala indicativa	Che cosa rappresenta
piante e mappe	fino a 1 : 10 000 (denominatore non oltre 10 000)	piante: città e quartieri, con i singoli edifici; mappe: piccole porzioni di territorio, come le mappe catastali delle proprietà
carte topografiche	da 1 : 10 000 a 1 : 150 000 circa	territori di un comune o di una vallata: strade, sentieri, edifici isolati, rilievo dettagliato
carte corografiche	da 1 : 150 000 a 1 : 1 000 000 circa	regioni o piccoli Stati (carte stradali, carte regionali)
carte geografiche	oltre 1 : 1 000 000 (denominatore maggiore)	Stati, continenti; i dettagli sono molto generalizzati
planisferi	scale molto piccole	l'intera superficie terrestre

In base al **contenuto** si distinguono: le **carte fisiche**, che rappresentano gli elementi naturali (rilievi, fiumi, laghi, coste); le **carte politiche**, che mostrano Stati, regioni, confini e città; le carte tematiche, dedicate a un solo fenomeno (clima, densità di popolazione, uso del suolo, rischio sismico, reddito…). Molte carte degli atlanti sono *fisico-politiche*.

Su una carta gli oggetti non sono disegnati com'è nella realtà ma con **simboli convenzionali**: punti e cerchietti per le città (con dimensioni diverse secondo la popolazione), linee di vario spessore e colore per strade, ferrovie, fiumi e confini, colori per le superfici (azzurro per le acque, verde per i boschi). Il significato di ogni simbolo è spiegato nella legenda, che va sempre letta prima di usare una carta. Una carta corretta riporta inoltre la scala, l'orientamento (di solito il Nord è in alto, indicato da una freccia) e la data delle informazioni.

In Italia la cartografia ufficiale del territorio è curata dall'**Istituto Geografico Militare** (IGM), con sede a Firenze. La sua carta d'Italia in scala **1 : 25 000**, divisa in fogli che coprono ciascuno una piccola porzione di territorio, è l'esempio classico di carta topografica: vi compaiono anche le case isolate, i sentieri, i ruscelli, e il rilievo descritto da curve di livello.

COLLEGAMENTI

Geografia · Leggere un atlante. Atlanti, carte tematiche (popolazione, climi, risorse, trasporti) e carte topografiche sono gli strumenti principali del corso di geografia. Quando apri una carta controlla sempre tre cose: la **scala**, cioè quanto è ridotto il territorio; la **proiezione**, cioè che cosa è deformato; la **legenda**, cioè che cosa indicano colori e simboli. Un planisfero di Mercatore, per esempio, ingrandisce enormemente le regioni vicine ai poli: per confrontare la superficie dei continenti, o delle foreste nei diversi Paesi, serve una proiezione equivalente.

12.6 Rappresentare il rilievo

12.6.1 Le curve di livello

Una carta è piatta, ma il territorio ha montagne e valli. Il modo più preciso di rappresentare la terza dimensione è quello delle **isoipse** (o curve di livello): linee che uniscono tutti i punti che si trovano alla stessa altitudine. Immagina di tagliare una collina con tanti piani orizzontali, uno ogni 50 m di quota, e di guardare dall'alto le linee lungo cui i piani incontrano il terreno: quelle sono le isoipse (Figura 12.8). È come se il livello del mare salisse di 50 m alla volta e si disegnasse ogni volta la nuova linea di costa.

La differenza di quota fra due isoipse successive si chiama **equidistanza**; è costante su tutta la carta e dichiarata in legenda. Nelle carte IGM in scala 1 : 25 000 l'equidistanza è di norma 25 m. Di solito una isoipsa ogni quattro o cinque, detta direttrice, è disegnata più spessa e numerata, per facilitare la lettura.

Le isoipse si leggono con poche regole:

- ogni isoipsa è una linea **chiusa** (anche se la chiusura può cadere fuori dal foglio), e due isoipse **non si incrociano mai**, perché un punto non può avere due quote diverse;
- isoipse **fitte** indicano un versante **ripido**; isoipse **rade** un pendio dolce; dove mancano del tutto il terreno è pianeggiante;
- una serie di isoipse chiuse una dentro l'altra con quote crescenti verso il centro indica una cima; con quote decrescenti verso il centro, una conca;
- le isoipse che formano una «V» con la punta rivolta verso monte indicano una valle; con la punta verso valle, una cresta;
- la quota di un punto compreso fra due isoipse si stima per **interpolazione**: un punto a metà strada fra le isoipse di 300 m e di 350 m si trova a circa 325 m.

Per il mare si usano le isobate, linee che uniscono i punti di uguale profondità. Nelle carte a scala più piccola il rilievo si rende anche con le tinte ipsometriche: colori diversi per le diverse fasce di altitudine, di solito il verde per le pianure, il giallo e poi il marrone sempre più scuro per colline e montagne, il bianco per le vette più alte, e l'azzurro sempre più intenso per le profondità marine. Spesso le tinte sono accompagnate dallo **sfumo**, un'ombreggiatura che simula l'illuminazione dei rilievi da nord-ovest e rende la carta più leggibile.

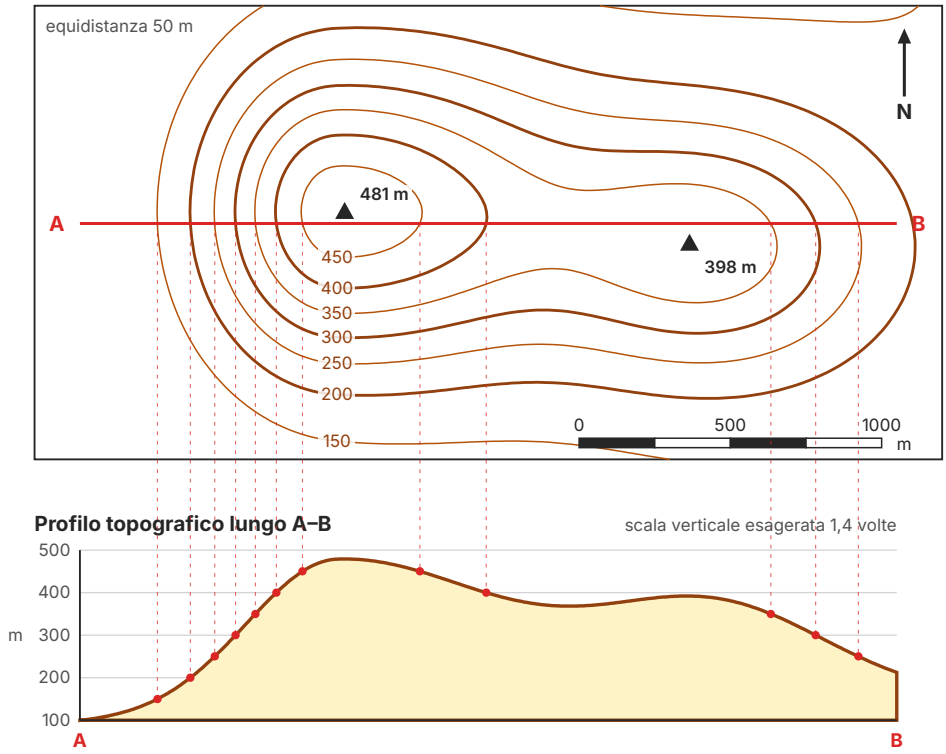


Figura 12.8 In alto, le isoipse (equidistanza 50 m; più spesse quelle multiple di 100 m) di un rilievo con due cime, calcolate da una funzione matematica della quota; in basso, il profilo topografico lungo la traccia A–B, ricavato dalla stessa funzione. Le linee tratteggiate riportano nel profilo i punti in cui la traccia incontra le isoipse. Il versante ovest della cima più alta ha isoipse più fitte ed è più ripido. Nel profilo la scala verticale è esagerata 1,4 volte rispetto a quella orizzontale.

12.6.2 Il profilo topografico e la pendenza

Il **profilo topografico** è la sezione verticale del terreno lungo una linea tracciata sulla carta: mostra come «si vedrebbe di fianco» il rilievo. Si costruisce così (Figura 12.8): (1) si traccia sulla carta la linea A–B; (2) si appoggia sotto la carta un foglio con un sistema di assi, con le distanze in orizzontale (nella stessa scala della carta) e le quote in verticale; (3) da ogni punto in cui la linea A–B incontra un'isoipsa si scende con una perpendicolare fino alla quota di quell'isoipsa; (4) si uniscono i punti ottenuti con una linea continua. Spesso la scala verticale viene **esagerata** rispetto all'orizzontale, per rendere visibili dislivelli che altrimenti sarebbero troppo piccoli: bisogna sempre dichiararlo, perché il profilo appare più ripido del vero.

Dalle isoipse si può calcolare anche la **pendenza** di un tratto, cioè il rapporto fra il dislivello e la distanza orizzontale, di solito espresso in percentuale:

$$\text{pendenza (\%)} = \frac{\text{dislivello}}{\text{distanza orizzontale}} \times 100$$

Una strada con pendenza del 10 % sale di 10 m ogni 100 m percorsi in orizzontale: è il numero che si legge sui cartelli stradali di salita ripida.

ESEMPIO SVOLTO

Pendenza di un sentiero

Problema. Su una carta in scala 1 : 25 000 un sentiero rettilineo va dall'isoipsa di 350 m a quella di 450 m; sulla carta il tratto misura 1,6 cm. Calcola la pendenza media.

Soluzione. Distanza orizzontale: 1,6 cm × 25 000 = 40 000 cm = 400 m. Dislivello: 450 m − 350 m = 100 m. Pendenza = 100 m / 400 m × 100 = **25 %**.

Commento. Un sentiero con una pendenza del 25 % è decisamente faticoso; per questo i sentieri di montagna salgono a zig-zag, allungando il percorso per ridurre la pendenza.

12.6.3 Dalle carte di carta ai GIS

Oggi la cartografia è in gran parte digitale. Le **immagini satellitari** e le fotografie aeree riprendono continuamente la superficie terrestre; strumenti come il radar e il laser montati su satelliti e aerei misurano la quota del terreno punto per punto, e permettono di costruire modelli digitali del rilievo da cui si ricavano automaticamente isoipse e profili. I GIS (*Geographic Information System*, sistemi informativi geografici) sono programmi che sovrappongono su una stessa base geografica tanti «strati» di informazioni: strade, edifici, fiumi, aree a rischio di frana o di alluvione, reti elettriche, popolazione. Ogni oggetto è legato alle sue coordinate e si possono porre domande del tipo «quante scuole si trovano a meno di 500 m da un fiume?». Le mappe del telefono sono un GIS semplificato.

COLLEGAMENTI

Educazione civica e Agenda 2030. Le carte tematiche e i GIS sono strumenti fondamentali per la protezione civile e la pianificazione del territorio. In Italia le carte della pericolosità da frana e da alluvione, consultabili online, mostrano dove non si dovrebbe costruire; dopo un terremoto o un'alluvione le immagini satellitari del programma europeo Copernicus permettono di cartografare in poche ore le zone colpite. Saper leggere una carta è quindi anche una competenza da cittadino: aiuta a capire i rischi del luogo in cui si vive e a partecipare alle decisioni sull'uso del suolo (obiettivo 11 dell'Agenda 2030: città e comunità sostenibili).

Matematica. Le coordinate geografiche sono parenti delle coordinate cartesiane che usi in algebra, ma sono angoli su una sfera anziché distanze su un piano; la scala è un'applicazione della proporzionalità diretta e della similitudine.

SINTESI

- I punti cardinali (Nord, Est, Sud, Ovest) e quelli intermedi permettono di indicare le direzioni; l'azimut è l'angolo misurato in senso orario dal Nord.
- Al mezzogiorno vero il Sole è a Sud e l'ombra di uno gnomone, la più corta della giornata, punta verso il Nord geografico. Il Sole sorge esattamente a Est solo agli equinozi.
- La Stella Polare indica il Nord e la sua altezza sull'orizzonte è uguale alla latitudine del luogo.
- La bussola indica il Nord magnetico, diverso dal Nord geografico: l'angolo fra i due è la declinazione magnetica, che varia con il luogo e con il tempo.
- I sistemi GNSS (GPS, Galileo...) determinano la posizione per trilaterazione, misurando i tempi di arrivo dei segnali di almeno quattro satelliti ($d = c \cdot t$).
- Il reticolato geografico è formato da paralleli (circonferenze parallele all'equatore) e meridiani (semicirconferenze da polo a polo); il meridiano fondamentale passa per Greenwich.
- Latitudine: distanza angolare dall'equatore, 0°–90° N o S. Longitudine: distanza angolare dal meridiano di Greenwich, 0°–180° E o O. Altitudine: quota sul livello medio del mare.
- 1° di meridiano ≈ 111 km (1′ ≈ 1 miglio nautico = 1852 m); 1° di parallelo ≈ 111 km · cos φ.
- La Terra ruota di 15° all'ora (1° ogni 4 min). I 24 fusi orari sono ampi 15°; il riferimento è UTC. L'Italia è a UTC+1, a UTC+2 con l'ora legale. Attraversando la linea del cambiamento di data verso ovest si aggiunge un giorno, verso est lo si toglie.
- Nessuna carta piana è perfetta: le proiezioni (azimutali, cilindriche, coniche) possono essere isogone, equivalenti, equidistanti o afilattiche. La carta di Mercatore è isogona ma deforma fortemente le aree alle alte latitudini.
- La scala (numerica o grafica) è il rapporto fra distanze sulla carta e distanze reali; scala grande = denominatore piccolo. Le carte si classificano per scala (piante e mappe, topografiche, corografiche, geografiche, planisferi) e per contenuto (fisiche, politiche, tematiche).
- Le isoipse uniscono punti di uguale quota (le isobate punti di uguale profondità): fitte indicano pendii ripidi. Dalle isoipse si ricavano profili topografici e pendenze.

ESERCIZI

Comprendere e ricordare

1. ● La latitudine di un punto è:
   - **A.** la sua distanza angolare dal meridiano di Greenwich
   - **B.** la sua distanza angolare dall'equatore, misurata lungo il meridiano
   - **C.** la sua altezza sul livello del mare
   - **D.** la sua distanza in chilometri dal Polo Nord

2. ● In un luogo la Stella Polare è alta 38° sull'orizzonte. La latitudine del luogo è:

   A. 52° N
   B. 38° S
   C. 38° N
   D. 128° N

3. ●● Quale affermazione sul reticolato geografico è corretta?

   A. Tutti i paralleli hanno la stessa lunghezza
   B. I meridiani diventano più corti verso i poli
   C. I meridiani sono paralleli fra loro
   D. L'unico parallelo che è un cerchio massimo è l'equatore

4. ● Fra due località con longitudine 15° E e 30° E la differenza di ora locale è:

   A. 15 minuti
   B. 30 minuti
   C. 1 ora
   D. 2 ore

5. ● La carta di Mercatore è:

   A. isogona: conserva gli angoli
   B. equivalente: conserva le aree
   C. equidistante in tutte le direzioni
   D. una proiezione azimutale polare

6. ● Quale delle seguenti scale è la più grande?

   A. 1 : 1 000 000
   B. 1 : 25 000
   C. 1 : 250 000
   D. 1 : 100 000

7. ●● In una carta topografica, isoipse molto ravvicinate indicano:

   A. una pianura
   B. un lago
   C. una zona ad altitudine molto elevata
   D. un versante ripido

8. ● L'ago della bussola indica:

   A. il Nord magnetico
   B. il Nord geografico
   C. la Stella Polare
   D. il meridiano di Greenwich

9. ●● Un aereo vola dall'America verso l'Asia attraversando la linea del cambiamento di data. Che cosa devono fare i passeggeri?
   A. Togliere un giorno alla data
   B. Spostare l'orologio avanti di 12 ore
   C. Aggiungere un giorno alla data
   D. Nulla, perché la data cambia solo a mezzanotte

Vero o falso

10. ● La longitudine di un punto può valere fino a 360°.

11. ● Un grado di longitudine corrisponde ovunque a circa 111 km.

12. ● In estate, con l'ora legale, l'Italia si trova a UTC+2.

13. ● Il Nord indicato dalla bussola coincide sempre con il Nord geografico.

14. ●● Una carta in scala 1 : 10 000 è a scala più grande di una carta in scala 1 : 100 000.

15. ●● In una carta topografica due isoipse di quota diversa possono incrociarsi in corrispondenza di una cima.

Applicare e calcolare

16. ● Due località sullo stesso meridiano hanno latitudine 46°15′ N e 38°45′ N. Calcola la loro distanza (1° di meridiano = 111,1 km).

17. ●● Calcola la lunghezza di un grado di longitudine a 60° N (cos 60° = 0,500; 1° all'equatore = 111,3 km) e la lunghezza dell'intero parallelo di 60°.

18. ●● A Torino (7°41′ E) è mezzogiorno vero. Che ora locale è a Bari (16°52′ E)? Il Sole vi è già passato al meridiano o deve ancora passarci?

19. ● A Roma sono le 15:00 del 10 dicembre. Che ore sono a Tokyo (UTC+9) e a Los Angeles (UTC−8)?

20. ●● Un aereo parte da Milano alle 11:00 del 20 luglio (ora legale) e atterra a New York (UTC−4 in estate) dopo 8 h 50 min di volo. A che ora locale atterra?

21. ● Su una carta in scala 1 : 25 000 un sentiero rettilineo misura 7,2 cm. Quanto è lungo in realtà? Quanto misurerebbe un tratto reale di 5,0 km su una carta in scala 1 : 200 000?

22. ●● Su una carta due città distano 6,4 cm; nella realtà la loro distanza in linea d'aria è 32 km. Qual è la scala della carta? A quale classe di carte appartiene?

23. ●● Su una carta in scala 1 : 50 000 con equidistanza 25 m, fra un punto sull'isoipsa di 600 m e uno sull'isoipsa di 800 m ci sono 2,0 cm. Quante isoipse attraversa il tratto (estremi esclusi)? Qual è la pendenza media?

24. ●● Il segnale di un satellite GNSS arriva al ricevitore dopo 0,0700 s. A che distanza si trova il satellite ($c = 3{,}00 \times 10^5$ km/s)? Di quanto cambierebbe la distanza calcolata con un errore di 1 millesimo di secondo?

25. ●●● Un navigatore nell'Atlantico osserva che la Stella Polare è alta 40,5° sull'orizzonte. Il giorno dopo nota che il Sole culmina (mezzogiorno vero) quando il suo cronometro, regolato su UTC, segna le 13:12. Trascurando le piccole variazioni annuali del mezzogiorno vero, determina le coordinate della nave.

Leggere dati e figure

26. ●● Osserva la Figura 12.8. (a) Quale versante della cima di 481 m è più ripido? Da che cosa lo capisci? (b) Con la scala grafica stima la distanza orizzontale fra l'isoipsa di 200 m e quella di 400 m lungo la traccia A–B, sul versante ovest, e calcola la pendenza media di quel tratto. (c) Qual è all'incirca la quota del punto più basso del profilo fra le due cime?

27. ● Usando la Figura 12.5, indica l'ora nei fusi UTC+5 e UTC−3 quando a Greenwich sono le 12:00. In quel momento che ora segnano gli orologi in Italia in gennaio? E in luglio?

28. ●● Osserva la Figura 12.7. Di quante volte appare ingrandita sulla carta di Mercatore una regione a 60° di latitudine rispetto a una uguale regione sull'equatore? Spiega perché la Groenlandia sembra grande quasi quanto l'Africa.

29. ●● Usando la Tabella 12.1: (a) fra le città italiane, quali sono la più a nord e la più a sud? (b) Quale città ha la longitudine più vicina al meridiano centrale del fuso italiano? (c) Stima la distanza in direzione nord–sud fra i paralleli di Milano e di Palermo.

Indagare e argomentare

30. ●● Progetta un'esperienza da svolgere nel cortile della scuola per tracciare la direzione Nord–Sud con uno gnomone e il metodo delle ombre uguali. Indica materiali, procedimento, precauzioni e possibili fonti di errore.

31. ●● Devi scegliere una proiezione (a) per una carta nautica del Mediterraneo e (b) per un planisfero che confronti la superficie delle foreste nei diversi continenti. Quali proprietà ti servono nei due casi? Motiva la scelta.

32. ●●● La Cina, estesa in longitudine per circa 60°, usa un solo fuso orario (UTC+8). Spiega quali vantaggi e quali svantaggi comporta questa scelta, ragionando sull'ora del sorgere e del tramonto del Sole nelle regioni più occidentali. Collega la risposta al dibattito europeo sull'ora legale.

33. ●●● Un'amica dice: «Il navigatore del telefono funziona anche senza rete perché riceve la posizione dai satelliti, che vedono dove sei». Correggi l'affermazione spiegando come funziona davvero il GNSS e perché sono necessari almeno quattro satelliti.

34. ●● **Leggi il tuo territorio.** Procurati una carta topografica della zona della tua scuola, in scala 1 : 25 000 o più grande (molte regioni la mettono a disposizione nel proprio geoportale). Individua la quota della scuola, il punto più alto della carta e il corso d'acqua più vicino; poi traccia il profilo topografico lungo una linea che li unisca. Durante un'uscita, o da una finestra, confronta la carta con ciò che vedi: quali forme del rilievo riconosci?

PER APPROFONDIRE

- [PRE] F. Press, R. Siever, J. Grotzinger, T. H. Jordan, *Capire la Terra*: le pagine sulla forma della Terra, sulle coordinate e sulla rappresentazione del rilievo con le carte topografiche e i modelli digitali.
- [SAG] C. Sagan, *Cosmos*: il capitolo dedicato a Eratostene e alla biblioteca di Alessandria racconta come gli antichi impararono a misurare il pianeta su cui vivevano.
- [HAW] S. Hawking, *Dal big bang ai buchi neri*: le prime pagine sulle prove della sfericità della Terra e sul cambiamento dell'immagine del mondo.

Glossario del capitolo

Altitudine
Distanza verticale di un punto dal livello medio del mare, in metri (m s.l.m.).

Azimut
Angolo che indica una direzione, misurato in senso orario a partire dal Nord (Est = 90°, Sud = 180°, Ovest = 270°).

Carta di Mercatore
Proiezione cilindrica modificata isogona (1569): conserva gli angoli, rende rettilinee le rotte a direzione costante, ma deforma molto le aree alle alte latitudini.

Declinazione magnetica
Angolo fra la direzione del Nord geografico e quella del Nord magnetico indicata dalla bussola; varia con il luogo e nel tempo.

Fuso orario
Spicchio di superficie terrestre ampio 15° di longitudine in cui si adotta la stessa ora civile, quella del meridiano centrale.

Gnomone
Asta verticale la cui ombra permette di trovare la direzione Nord–Sud e di seguire il moto apparente del Sole.

GNSS
Sistemi di navigazione satellitare (GPS, Galileo, GLONASS, BeiDou) che determinano la posizione misurando i tempi di arrivo dei segnali di almeno quattro satelliti.

Isoipse
Linee che uniscono i punti di uguale altitudine; la loro distanza indica la pendenza del terreno.

Latitudine
Distanza angolare di un punto dall'equatore, misurata lungo il meridiano; va da 0° a 90° Nord o Sud.

Linea del cambiamento di data
Linea che segue circa il meridiano 180°: attraversandola verso ovest si aggiunge un giorno alla data, verso est lo si toglie.

Longitudine
Distanza angolare di un punto dal meridiano di Greenwich, misurata lungo l'equatore o il parallelo; va da 0° a 180° Est o Ovest.

Meridiano
Semicirconferenza che unisce i due poli; tutti i suoi punti hanno la stessa longitudine. Il meridiano fondamentale passa per Greenwich.

Mezzogiorno vero
Istante in cui il Sole attraversa il meridiano del luogo e raggiunge la massima altezza; l'ombra di uno gnomone è allora la più corta e punta verso Nord.

Parallelo
Circonferenza ottenuta tagliando la Terra con un piano parallelo all'equatore; tutti i suoi punti hanno la stessa latitudine.

Profilo topografico
Sezione verticale del terreno lungo una linea tracciata sulla carta, costruita a partire dalle isoipse.

Proiezione cartografica
Procedimento che fa corrispondere ai punti del reticolato terrestre i punti di una carta piana; può essere isogona, equivalente, equidistante o afilattica.

Reticolato geografico
Insieme dei paralleli e dei meridiani che permette di individuare la posizione di un punto sulla Terra.

Scala
Rapporto fra una distanza misurata sulla carta e la corrispondente distanza reale; può essere numerica (1 : 25 000) o grafica.

Trilaterazione
Metodo per determinare una posizione a partire dalle distanze da punti di posizione nota.

UTC
Tempo coordinato universale: l'ora di riferimento mondiale, mantenuta da orologi atomici e praticamente coincidente con l'ora di Greenwich.

Soluzioni

1. B. La latitudine è la distanza angolare dall'equatore, misurata lungo il meridiano del punto (0°–90° N o S).

2. C. L'altezza della Polare è uguale alla latitudine; poiché la Polare è visibile, il luogo è nell'emisfero nord: 38° N.

3. D. L'equatore è l'unico parallelo con centro nel centro della Terra; i paralleli si accorciano verso i poli, i meridiani hanno tutti la stessa lunghezza e convergono ai poli.

4. C. $\Delta\lambda = 15°$; $15° \times 4$ min/° = 60 min = 1 ora (la località a 30° E è più avanti).

5. A. È una proiezione cilindrica modificata isogona; non conserva le aree.

6. B. La scala più grande è quella con il denominatore più piccolo: 1 : 25 000.

7. D. A parità di dislivello fra isoipse (equidistanza), una distanza orizzontale piccola significa pendenza elevata.

8. A. L'ago magnetico si allinea con il campo magnetico terrestre e indica il Nord magnetico, diverso da quello geografico.

9. C. Andando da est verso ovest (dall'America all'Asia) si aggiunge un giorno alla data.

10. F. La longitudine va da 0° a 180° verso Est o verso Ovest.

11. F. È vero solo all'equatore; un grado di parallelo misura circa 111 km · cos φ e diventa zero ai poli (≈ 78,7 km a 45°). È invece circa 111 km un grado di meridiano (di latitudine).

12. V. Con l'ora legale gli orologi vanno avanti di un'ora rispetto a UTC+1.

13. F. La bussola indica il Nord magnetico; l'angolo fra i due nord è la declinazione magnetica, che dipende dal luogo e cambia nel tempo.

14. V. 1/10 000 è maggiore di 1/100 000: la carta 1 : 10 000 rappresenta il territorio più in grande e con più dettagli.

15. F. Le isoipse non si incrociano mai, perché un punto non può avere due quote diverse; una cima è indicata da isoipse chiuse concentriche con quote crescenti verso il centro.

16. $\Delta\varphi = 46°15' - 38°45' = 7°30' = 7{,}5°$; distanza = $7{,}5 \times 111{,}1$ km ≈ 833 km.

17. 1° a 60° N = $111{,}3 \text{ km} \times 0{,}500 \approx 55{,}7$ km. Parallelo intero: $55{,}65 \text{ km} \times 360 \approx 2{,}00 \times 10^4$ km (circa 20 000 km, metà dell'equatore).

18. $\Delta\lambda = 16°52' - 7°41' = 9°11' = 9{,}18°$; $9{,}18 \times 4$ min ≈ 36,7 min. A Bari sono circa le 12:37 (ora locale): Bari è più a est, quindi il Sole vi è passato al meridiano circa 37 minuti prima.

19. In dicembre Roma è a UTC+1: 15:00 − 1 h = 14:00 UTC. Tokyo: 14:00 + 9 h = 23:00 del 10 dicembre. Los Angeles: 14:00 − 8 h = 06:00 del 10 dicembre.

20. In luglio Milano è a UTC+2: partenza 09:00 UTC; arrivo 09:00 + 8 h 50 min = 17:50 UTC; a New York 17:50 − 4 h = 13:50 del 20 luglio.

21. $7{,}2 \text{ cm} \times 25\,000 = 180\,000$ cm = 1,8 km. 5,0 km = 500 000 cm; 500 000 : 200 000 = 2,5 cm.

22. 32 km = 3 200 000 cm; 3 200 000 : 6,4 = 500 000. Scala 1 : 500 000: carta corografica.

23. Fra 600 m e 800 m, con equidistanza 25 m, ci sono le isoipse di 625, 650, 675, 700, 725, 750, 775 m: 7 isoipse. Distanza orizzontale: 2,0 cm × 50 000 = 100 000 cm = 1000 m. Pendenza = 200 m / 1000 m × 100 = 20 %.

24. $d = 3{,}00 \times 10^5$ km/s × 0,0700 s = $2{,}10 \times 10^4$ km. Un errore di 1×10^{-3} s cambia la distanza di $3{,}00 \times 10^5 \times 10^{-3} = 300$ km (per questo servono orologi atomici e il quarto satellite).

25. Latitudine = altezza della Polare = 40,5° N (40°30′ N). Il Sole culmina 1 h 12 min = 72 min dopo che a Greenwich: 72 min : 4 min/° = 18°; la nave è a ovest di Greenwich. Coordinate: circa 40°30′ N, 18° O.

26. (a) Il versante ovest: le isoipse sono più fitte, quindi a parità di dislivello la distanza orizzontale è minore. (b) Lungo A–B l'isoipsa di 200 m e quella di 400 m distano circa 280–290 m (poco più di metà del segmento da 500 m della scala grafica); pendenza ≈ 200 m / 285 m × 100 ≈ 70 % (accettabili valori fra 60 % e 80 %). (c) Circa 370 m: il punto più basso fra le due cime lungo la traccia è fra le isoipse di 350 m e di 400 m.

27. UTC+5: 17:00; UTC−3: 09:00. In Italia in gennaio (UTC+1) sono le 13:00; in luglio, con l'ora legale (UTC+2), le 14:00.

28. Circa 4 volte ($1/\cos^2 60° = 1/0{,}25 = 4$). La Groenlandia si trova fra circa 60° e oltre 80° di latitudine, dove l'ingrandimento delle aree è molto forte (oltre 10 volte intorno a 72°), mentre l'Africa è a cavallo dell'equatore, dove l'ingrandimento è piccolo: così una terra circa 14 volte più piccola appare di grandezza simile.

29. (a) Fra le città italiane della tabella la più a nord è Trieste (45°39′ N), la più a sud Palermo (38°07′ N). (b) Napoli (14°15′ E), a soli 45′ dal meridiano 15° E. (c) $\Delta\varphi = 45°28' - 38°07' = 7°21' = 7{,}35°$; 7,35 × 111,1 km ≈ 817 km.

30. Traccia di risposta: terreno orizzontale e soleggiato (verifica con una livella), asta verticale (filo a piombo), spago e gessetto. Al mattino, verso le 10 (ora solare), si segna la punta dell'ombra e si traccia la circonferenza con centro nel piede dell'asta passante per quel punto; nel pomeriggio si attende che la punta dell'ombra tocchi di nuovo la circonferenza e la si segna. La bisettrice dell'angolo fra le due ombre è la linea Nord–Sud (il Nord dalla parte delle ombre). Precauzioni: non guardare il Sole; segnare con precisione. Fonti di errore: asta non verticale, terreno non orizzontale, penombra che rende sfumata la punta dell'ombra, nuvole; il metodo è più preciso vicino ai solstizi, quando la declinazione del Sole cambia poco durante il giorno.

31. Traccia: (a) per la navigazione serve una carta isogona, in cui le rotte a direzione costante (lossodromie) siano rette: la carta di Mercatore; a quella scala e a quelle latitudini la deformazione delle aree non è un problema. (b) Per confrontare superfici serve una proiezione equivalente (es. Mollweide o Gall-Peters), altrimenti le foreste boreali di Canada e Russia sembrerebbero molto più estese di quelle tropicali rispetto alla realtà.

32. Traccia: vantaggi: una sola ora per tutto il Paese semplifica trasporti, comunicazioni, amministrazione, mercati. Svantaggi: 60° corrispondono a circa 4 ore di differenza di ora locale; nelle regioni occidentali il Sole sorge e tramonta molto tardi rispetto all'orologio (il mezzogiorno vero cade a metà pomeriggio), e nella vita quotidiana si usa spesso un'ora locale non ufficiale. Il dibattito europeo sull'ora legale riguarda lo stesso problema: quanto spostare l'ora civile rispetto a quella solare per sfruttare la luce, con effetti su consumi energetici, sonno e salute.

33. Traccia: i satelliti non «vedono» il ricevitore e non gli inviano la sua posizione. Trasmettono continuamente l'ora esatta (orologi atomici) e la propria posizione; il ricevitore misura il ritardo di ogni segnale, calcola le distanze ($d = c \cdot t$) e trova per trilaterazione il punto comune alle sfere centrate nei satelliti. Tre satelliti basterebbero con un orologio perfetto; il quarto serve a correggere l'errore dell'orologio del ricevitore. Funziona senza rete perché il ricevitore ascolta soltanto; la rete serve per scaricare le mappe e accelerare l'aggancio.

34. Traccia: la quota della scuola si ricava dalle isoipse vicine (interpolando fra due curve) o da un punto quotato; il punto più alto è indicato da un punto quotato o dalla isoipsa chiusa più interna. Per il profilo si riportano su un foglio millimetrato le distanze, misurate lungo la linea con la scala della carta, e le quote delle isoipse incontrate, poi si uniscono i punti. Sul terreno si controlla che le isoipse fitte corrispondano a versanti ripidi e quelle rade a zone pianeggianti, e si riconoscono valli, crinali e terrazzi.