

3 - LA RAPPRESENTAZIONE DELLA TERRA

3.1 - Geografia e carte geografiche

La Terra è “piatta”, “non si muove”, “non esiste”; sono oggi espressioni che hanno profonde radici nella mente dell’uomo; è stato necessario che l’arte e la scienza aprissero nuove prospettive, nuove concezioni e soprattutto diventassero patrimonio culturale generalizzato per superare archetipi radicati nel nostro inconscio. Pretendendo che il mondo fosse piatto gli antichi non sbagliavano; erano solo limitati nella loro concezione delle dimensioni dell’ambiente in cui vivevano, la cui natura, apparentemente piatta, si adattava alla geometria piana di Euclide. È un dato di fatto che la nostra cosmogonia, almeno fino all’epoca delle navicelle spaziali, è più legata al piano che alla sfera. Qualsiasi corpo geometrico tridimensionale può essere ricondotto al piano, ad eccezione della sfera. È matematicamente impossibile riprodurre la Terra su una superficie piana senza gravi distorsioni di distanze o di superfici o di angoli.

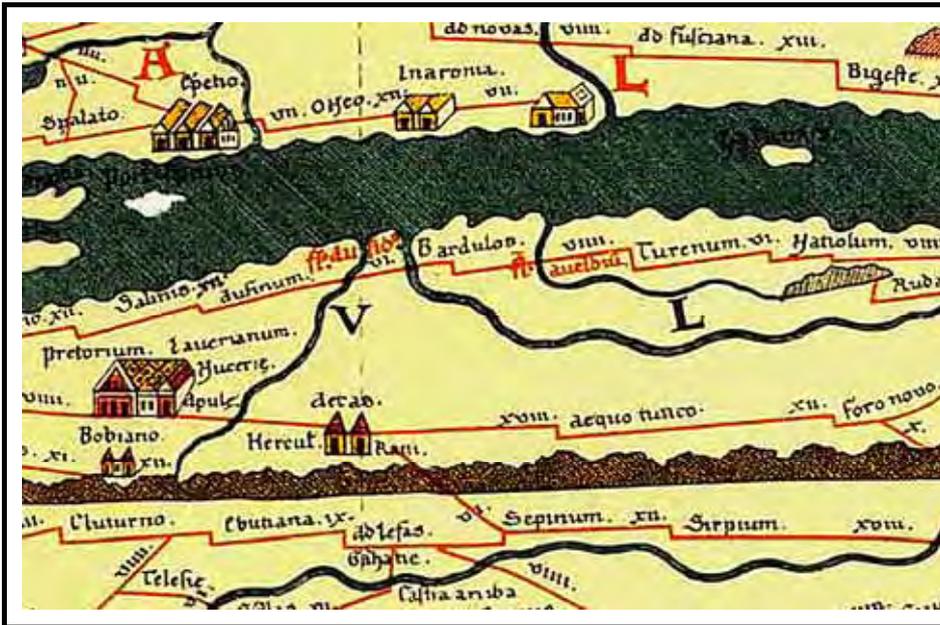
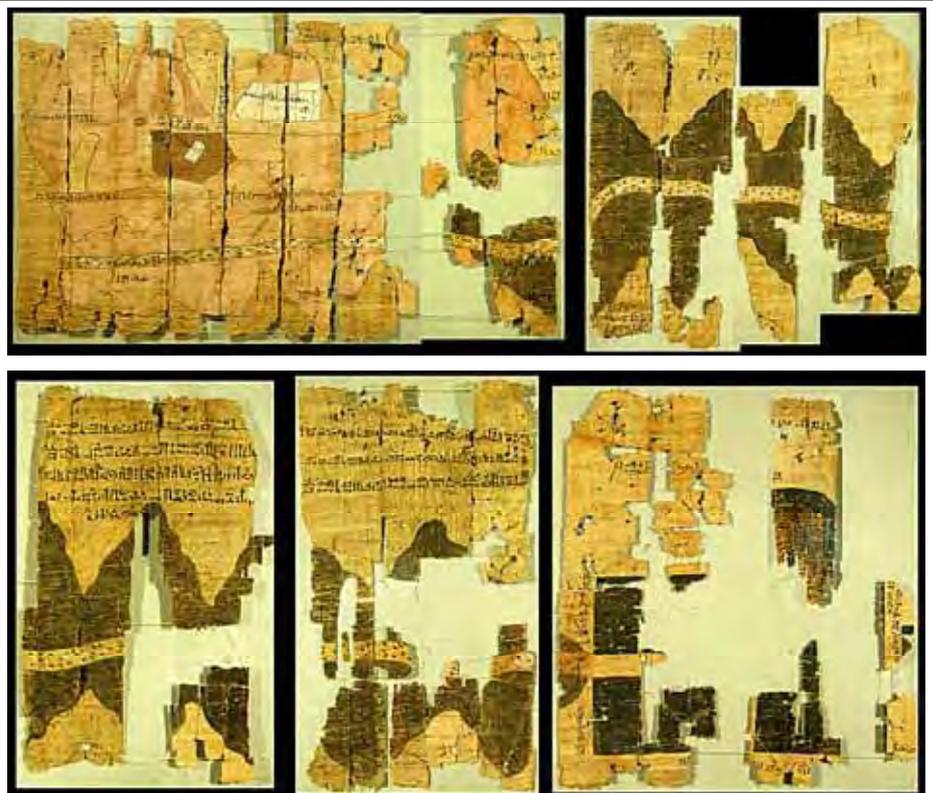


Fig. 3.1 - La tavola di Peutinger è una copia della *Carta Itineraria Militare Romana* che l'imperatore Teodosio il Grande fece redigere nel periodo 379 - 395, allo scopo di facilitare il movimento delle Armate Romane. Questa carta, costituita da 12 fogli di cui uno smarrito, fu rinvenuta nel 1507 presso la biblioteca di Worms (Germania). Complessivamente questa è lunga sei metri e alta trenta centimetri. Rappresenta tutto il mondo conosciuto allora dai Romani, dalle colonne d'Ercole fino all'estremo Oriente. Nella figura è riportato solo un frammento.

Fig. 3.2 - Il papiro delle miniere d'oro è la mappa, risalente al Nuovo Regno (XX dinastia, oltre 1.000 anni prima di Cristo), del sito minerario di Berenice Pancrisia (deserto Nord-orientale del Sudan) e conservato nel Museo Egizio di Torino. È la mappa più antica e contiene oltre al disegno, indicazioni scritte in ieratico (forma di scrittura dell'antico Egitto, correntemente utilizzata dagli scribi). I diversi colori non hanno funzione estetica, ma indicano i vari caratteri morfologici e geologici del territorio comprendente il sito minerario (soprattutto miniere d'oro ed arenarie). Da alcuni Autori viene anche detto Papiro di Seti I, secondo monarca della XIX dinastia, quindi ancora più antico.

Parte sinistra in alto e parte destra in basso)



Per secoli i cartografi hanno disegnato mappe di porzioni di territorio più o meno precise, trascurando le inevitabili deformazioni; le carte per navigazione tenevano conto degli angoli e non delle superfici, le carte catastali erano vincolate alle superfici per delimitare le proprietà, le carte militari rispettavano fedelmente le distanze trascurando gli altri parametri. Ai tempi di Roma si sapeva che la Terra è rotonda, eppure nella sola carta nota, la copia medioevale conosciuta come *tavola di Peutinger* (fig. 3.1), il Mediterraneo è ridotto ad una sottile striscia e i rapporti superficiali di Europa e Africa sono fortemente distorti. Ciò che era essenziale, la distanza tra una fortificazione e l'altra, era riprodotto sotto forma di itinerario. Esistono esempi più antichi in cui prevale la funzionalità di uso quotidiano. A titolo di esempio merita citare, tra le carte che ci sono rimaste della cultura egizia, il *papiro delle miniere*, risalente alla XX dinastia (1184 - 1087 a.C.), conservato al Museo Egizio di Torino (fig. 3.2); si tratta di una carta che potremmo definire geologica e topografica insieme.

La geografia moderna deriva dalla cosmografia medioevale: un insieme di discipline quali astronomia, scienze nautiche, scienze naturali, tradizioni e storia della Terra,.... Con lo sviluppo delle scienze specialistiche, nei secoli XVII e XVIII, la cosmografia perse buona parte dei suoi argomenti che andarono a costituire discipline autonome quali la botanica, la zoologia,.... e la geografia stessa. Quest'ultima rimane ancora una materia molto vasta; essa studia, descrive e rappresenta la superficie terrestre in relazione con i fenomeni fisici, con la vita vegetale ed animale e con le attività umane. Nel secolo scorso la geografia aveva ancora carattere descrittivo, si limitava ad elencare catene montuose, mari, laghi fiumi, città, prodotti,.... Successivamente i geografi si interessarono all'indagine e all'interpretazione dei fenomeni della superficie terrestre; questa impostazione diede inizio alla "geografia della causalità", che ricerca le cause che spiegano i fenomeni, mediante l'uso di tecniche quantitative, soprattutto con elaborazione di dati statistici (fig. 3.3), allo scopo di ottenere più precisione e rigore scientifico.

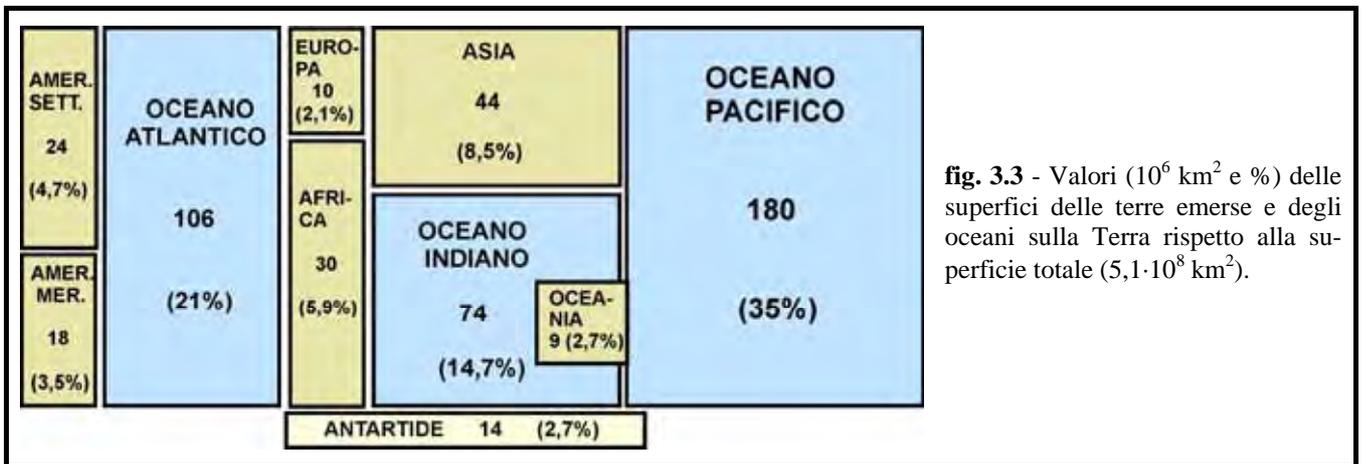


fig. 3.3 - Valori (10⁶ km² e %) delle superfici delle terre emerse e degli oceani sulla Terra rispetto alla superficie totale (5,1·10⁸ km²).

La moderna geografia è suddivisa in quattro parti principali: geografia matematica e astronomica, fisica, umana e storica. La *geografia fisica* si avvale anche di altre scienze come la geologia, la meteorologia, l'idrologia, l'ecologia,.... i cui contenuti sono oggetto non solo di materie a se stanti, ma rientrano nel più vasto campo delle scienze geografiche, che possono quindi essere indicate come il miglior esempio di interdisciplinarietà. Le molteplici interazioni tra le quattro componenti fondamentali della superficie terrestre, litosfera, idrosfera, atmosfera e biosfera, costituiscono l'oggetto principale della geografia fisica. La *geografia matematica* (*geodesia*) e quella *astronomica* sono discipline propedeutiche alle altre scienze geografiche. La prima si occupa delle misure e dei calcoli relativi al globo terrestre e alla sua superficie (fig. 3.4); ne sono esempi tutti i dati su forma, dimensioni, massa,.... del nostro pianeta. L'*astronomia* interessa molto i geografi perché permette, per esempio, di interpretare le influenze dei moti della Terra nel Sistema Solare, sull'illuminazione da parte del Sole e sulle stagioni.

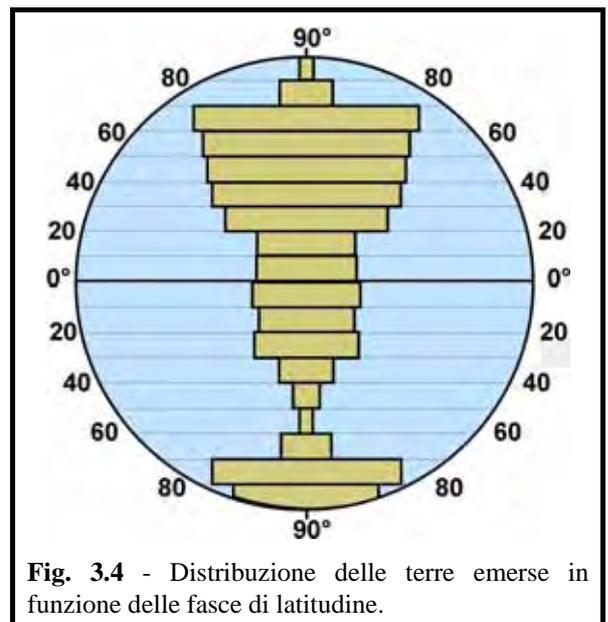


Fig. 3.4 - Distribuzione delle terre emerse in funzione delle fasce di latitudine.

La geodesia, grazie a precise tecniche sulle misure di distanze e dimensioni, consente la redazione delle **carte geografiche**. È stato detto da qualche sostenitore dell'importanza della cartografia: "se non puoi metterlo su carta, mettilo da parte", per significare che se l'argomento che viene trattato dal geografo non può essere

rappresentato mediante carte, è da considerarsi estraneo allo scopo della geografia. Questo giudizio è troppo drastico, ma contiene qualcosa di vero: la carta geografica è lo strumento di lavoro più usato dal geografo. Egli infatti ha bisogno di rappresentare una porzione di superficie terrestre con un modello grafico che fornisca una sintesi di quanto studiato; si tratta di un “disegno”, più o meno corredato da simboli od altri segni, con cui si comunicano informazioni. Trattandosi di uno strumento di sintesi, altri studiosi possono utilizzarlo sia per approfondire lo studio geografico, sia per scopi applicativi. Esempi classici sono le carte nautiche o le carte stradali, nelle quali si illustrano, su una porzione della superficie terrestre, le vie di comunicazione.



Fig. 3.5 - Esempio di classico mappamondo ad uso scolastico.

Il sistema più immediato e più corretto per rappresentare la superficie terrestre è il **mappamondo** (**fig. 3.5**). Esso è una sorta di plastico del pianeta, una Terra in miniatura, con la superficie rugosa in corrispondenza dei continenti, liscia e azzurra in corrispondenza degli oceani. Linee e macchie azzurre rappresentano fiumi e laghi; il tutto appare come agli occhi degli astronauti, ma senza i vortici e le sfilacciate biancastre delle nubi. Il mappamondo è uno degli strumenti più utilizzati per lo studio della geografia, ma presenta due inconvenienti: la sua forma a sfera, che lo rende molto ingombrante e le limitate dimensioni. Infatti per rappresentare l'Italia grande quanto una pagina di un atlante, occorrerebbe un mappamondo con un diametro di oltre 2,5 metri.

Per ovviare all'inconveniente dovuto alle eccessive dimensioni, si potrebbero rappresentare, mediante plastici, solo piccole porzioni della superficie della Terra, per meglio evidenziare i rilievi, le depressioni, le superfici pianeggianti,... Con diversi colori, quali il verde per indicare la vegetazione, tonalità diverse di marrone per le altitudini, l'azzurro per le acque, il bianco per i ghiacciai ed altri colori e simboli per indicare le attività umane (strade, ferrovie, ponti,...), è possibile una rappresentazione tanto più dettagliata quanto maggiore è la scala del plastico. La **scala** è il *rapporto fra le dimensioni lineari del modello* (mappamondo, plastico,

trenino, fotografia,...) *e quelle reali*. Per esempio, se la distanza fra le cime di due montagne sul plastico è 20 cm, mentre quella reale 20 km (2.000.000 cm), la scala risulta dal rapporto:

$$\frac{20}{2.000.000} = \frac{2}{200.000} = \frac{1}{100.000} = 1:100.000$$

Il plastico è in scala 1 a 100.000, ovvero le distanze reali sono 100.000 volte più grandi di quelle del modello. Con grandi scale (1:25.000 o 1:10.000) si costruiscono modelli molto dettagliati, perché poco più piccoli della realtà; con piccole scale (1:500.000 o 1:1.000.000) si possono rappresentare solo gli aspetti più importanti, essendo i modelli troppo piccoli rispetto alle dimensioni reali. Per una descrizione dettagliata della forma del terreno e delle attività antropiche occorrerebbe quindi un plastico di grandi dimensioni per una porzione di superficie terrestre relativamente piccola. In questo modo risolviamo il problema di rappresentare in modo preciso piccole aree del globo, ciò che era impossibile con il mappamondo, ma non si risolve il problema delle dimensioni e delle possibilità di trasporto. Un plastico non si sposta facilmente ed è quindi poco utilizzabile dal geografo che ha l'esigenza opposta di usare strumenti più agili, in particolare durante le escursioni.

3.2 - La fotografia dall'alto

Un sistema per la rappresentazione di porzioni della superficie terrestre è la fotografia. La macchina fotografica è uno strumento importante per il geografo, ma proprio perché illustra la realtà come ci apparirebbe se fossimo presenti nel luogo, è in realtà “povera” di informazioni. La fotografia, cogliendo il “tutto” generico di un paesaggio, fornisce una visione d'insieme senza entrare nei dettagli che, spesso, sono invece gli aspetti che più interessano. La fotografia inoltre farebbe apparire il paesaggio diverso a seconda dell'inquadratura, del tipo di obiettivo, della posizione del punto di ripresa, del tipo di pellicola o sensore, del tipo di illuminazione (ora del giorno e condizioni meteorologiche),... Le condizioni di ripresa sono influenzate da numerosi parametri; per rendere le situazioni più omogenee e confrontabili, le fotografie potrebbero essere effettuate dall'alto, in modo che l'obiettivo punti verticalmente rispetto alla superficie terrestre; è la trasposizione moderna di una concezione già nota nell'antichità, dove era consuetudine fornire rappresentazioni “a volo d'uccello”.

Le **foto aeree** vengono riprese da satellite (**fig. 3.6**) o in successione da un aeroplano che vola ad una altezza costante e che compie più rotte lineari e parallele allo scopo di coprire tutta la porzione di territorio da

rappresentare (**fig. 3.7**). I fotogrammi così ottenuti vengono composti in un mosaico rappresentativo di un'area più estesa rispetto a quanto ottenibile con una fotografia. Si può obiettare che una sola immagine potrebbe essere sufficiente per comprendere tutto il territorio studiato aumentando l'altezza di ripresa e utilizzando obiettivi "grandangolari"; così si eviterebbero gli errori dovuti alla giustapposizione dei fotogrammi ed al fatto che sono tutti "scattati" in momenti diversi, pur se vicini. In realtà, maggiore è l'altezza di ripresa, minore è la qualità dell'immagine, sia per l'aumento dello spessore dell'aria (e della foschia) tra la macchina da ripresa e il suolo, sia per la perdita di qualità conseguente al forte ingrandimento durante il processo di stampa. La scelta del metodo ovviamente dipende dal tipo di utilizzo della foto aerea.



Fig 3.6 - A destra è rappresentata la **foto da satellite** di una piccola area del centro storico della città di Torino ripresa da satellite e tratta dal sito web "Google Earth". A sinistra è la stessa area rappresentata con una "piante" con sviluppo del tema stradale e tratta dal "Tutto Citta" allegato alle Pagine Gialle pubblicate da Seat (To).

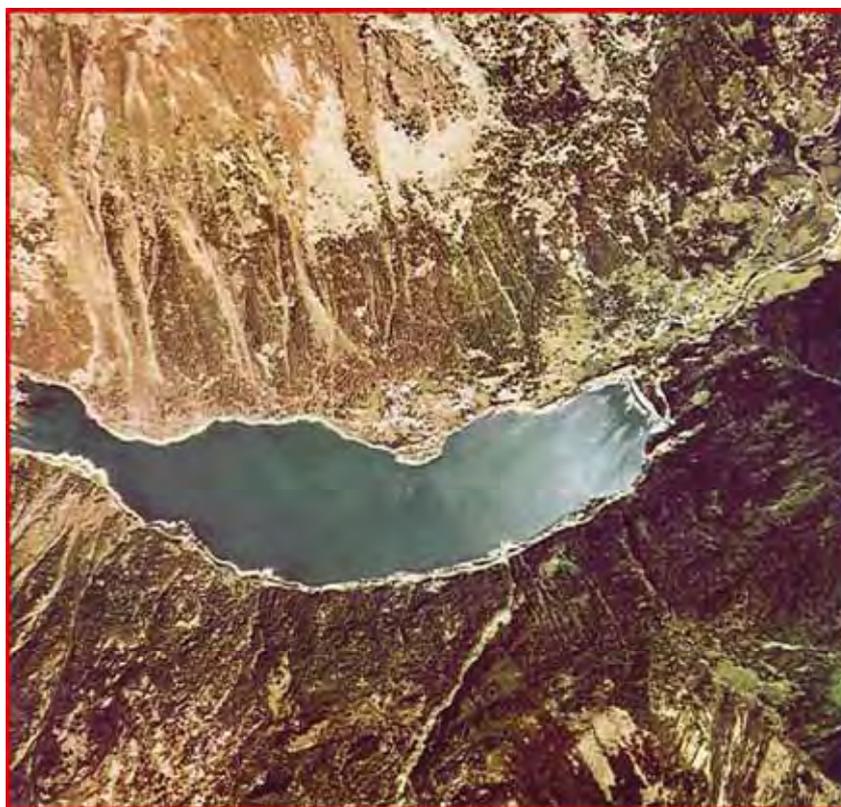
Fig. 3.7 - In questa **foto aerea** è ripreso il lago artificiale di Ceresole, in provincia di Torino.

Sul versante sinistro (in alto) si osservano boschi di larici in fase di ingiallimento (in chiaro); essi sono interrotti da canali con elevata pendenza, lungo i quali scendono le slavine d'inverno e materiali detritici trascinati dalle acque in occasione di piogge intense.

Sul versante opposto (in basso) sono presenti boschi di abeti di colore scuro.

L'autunno è la stagione migliore per studiare la vegetazione con le foto aeree, per le diverse sfumature di colore dovute all'ingiallimento delle latifoglie decidue e dei larici, ben distinguibili dagli alberi sempreverdi.

Una foto di questo tipo è utile al geologo per lo studio della stabilità dei versanti ed al botanico per lo studio della vegetazione.



Salendo di quota, fino alle altezze dei satelliti artificiali, le foto permettono una visione di più ampie porzioni di territorio (**fig. 3.8**), ma si perdono i dettagli che sono invece più evidenti in foto aeree in grande scala. Tuttavia

una serie temporale di foto da satellite di una stessa porzione di continente permette, per esempio, di seguire l'evoluzione delle manifestazioni meteorologiche con grandi vantaggi per le previsioni del tempo atmosferico. È possibile controllare i grandi eventi planetari, come, altro esempio, una nube tossica liberata per qualche incidente in un complesso industriale e che percorre migliaia di chilometri.



Fig. 3.8 - In questa fotografia, ripresa da un satellite, è illustrata l'Italia settentrionale in totale assenza di nubi.

La Pianura Padana, solcata dal fiume Po e dai suoi maggiori tributari, è circondata dai rilievi montuosi, i più elevati dei quali (Alpi occidentali e centrali) coperti dalla neve.

In basso e a sinistra sono i mari Ligure e Adriatico che appaiono molto scuri (come i grandi laghi sudalpini Maggiore, Iseo, Garda,...).

L'acqua del Po scorre da Ovest (Alpi occidentali) verso Est (foce in Adriatico). Voltando le spalle alle sorgenti e guardando verso la foce, il territorio a Nord del Po, è detto *versante sinistro orografico*; il territorio a Sud del Po è detto *versante destro orografico* (**fig. 3.9**).

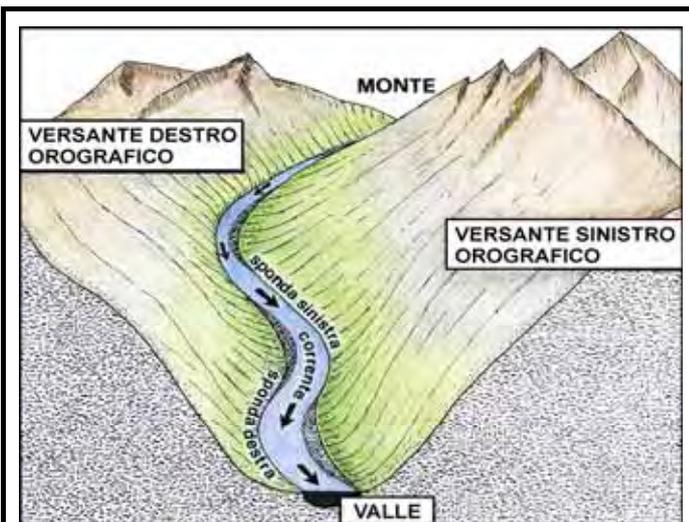


Fig. 3.9 - Voltando le spalle a **monte** e volgendo lo sguardo a **valle**, si distinguono la **destra** e la **sinistra orografica**.

La **fig. 3.9** (cfr. **fig. 3.8**) illustra la distinzione fra i due versanti di una stessa vallata sulla base di criteri orografici. Un'altra distinzione fa riferimento alla diversa esposizione rispetto all'illuminazione del Sole, soprattutto nelle vallate ad andamento Ovest - Est; la conseguenza più evidente è di tipo climatico con versanti più freddi quando esposti a Nord e più caldi se esposti a Sud (**fig. 3.10**).

3 - Le carte topografiche

Le fotografie di paesaggio ed aeree e quelle da satellite descrivono gli aspetti più mutevoli dell'ambiente: il tempo meteorologico, il manto nevoso, la copertura vegetale,... ma non permettono di misurare la pendenza di un versante o di un corso d'acqua, individuare una piccola carrozzabile nascosta dalla

vegetazione. La fotografia non è adatta per segnare su di essa piccoli disegni o appunti, o colorare alcune porzioni per mettere in evidenza caratteristiche (per es. i tipi di coltivazioni). Il geografo ha bisogno di uno strumento in grado di descrivere porzioni di superficie terrestre di agevole trasporto e facilmente riproducibile, sul quale si possano annotare tutte le osservazioni effettuate durante escursioni, su cui compiere misure. Questo strumento è la **carta topografica**. Essa è un disegno complesso, basato sulla proporzionalità delle dimensioni, sui colori e sui segni (forma, spessore e continuità), con il quale si rappresenta una porzione di territorio.

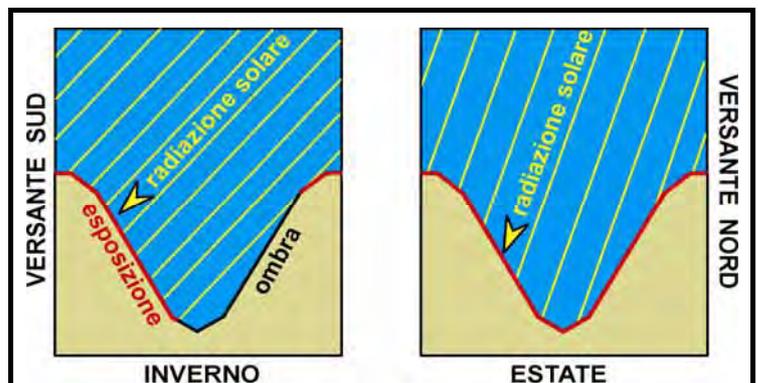


Fig. 3.10 - La variabile esposizione al Sole, soprattutto nelle vallate con andamento simile ai paralleli, determina condizioni climatiche diverse nei due versanti.



Fig. 3.11 - Il lago della **fig. 3.7** è riportato su una carta topografica. In essa ciò che conta è la descrizione della forma del territorio; la disposizione delle isoipse (o curve di livello) permette di distinguere i rilievi e le depressioni, di verificare la pendenza del terreno, di rappresentare il reticolo idrografico,... Altri simboli (indicati in legenda insieme alla scala) illustrano i manufatti (strade, sentieri, case,...). Leggendo una carta topografica, è possibile ottenere più informazioni (e più precise) rispetto ad una fotografia di paesaggio o da una foto aerea.

Se immaginiamo di camminare lungo un sentiero con percorso parallelo alle isoipse, la pendenza è nulla o quasi; se questo taglia, sulla carta, le curve di livello, ha una certa pendenza, tanto maggiore quanto più le isoipse sono fra loro ravvicinate. Talvolta le curve di livello sono così ravvicinate da essere confuse (pareti rocciose molto ripide). Al contrario, in morfologie pianeggianti, le isoipse sono talmente distanziate da non rappresentare l'elemento più importante della carta, risultando molto più utili i punti quotati.

La carta topografica (**fig. 3.11**) trasmette informazioni sugli aspetti qualitativi e quantitativi del terreno per facilitare una conoscenza sintetica e complessiva del territorio nei suoi caratteri essenziali. Essa pertanto non considera le informazioni sovrabbondanti od inutili (cosa che non è possibile con le fotografie) e traduce in simboli, di facile ed immediata interpretazione, le informazioni utili.

La carta topografica guida chi deve muoversi sul terreno, fornisce informazioni sulla sua forma e sulle opere che vi insistono, ma soprattutto è lo strumento base conoscitivo per la trasformazione del territorio. Infatti la programmazione di progetti e di interventi (case, strade, fabbriche, ponti, impianti sportivi, istituzione di parchi,...) non può prescindere dalla conoscenza dello stato attuale del territorio, che deve essere completa ed aggiornata.

I vari tipi di carte topografiche si possono classificare in base alla scala e al contenuto. La **scala** condiziona l'abbondanza delle informazioni e il tipo di rappresentazione simbolica:

- **carte a piccola scala**; rapporto di riduzione minore di **1:25.000** (studi di pianificazione delle risorse a livello provinciale e regionale, studi naturalistici);
- **carte a media scala**; rapporto di riduzione compreso fra **1:25.000** e **1:5.000** (pianificazione territoriale, progettazione di massima, studi naturalistici);

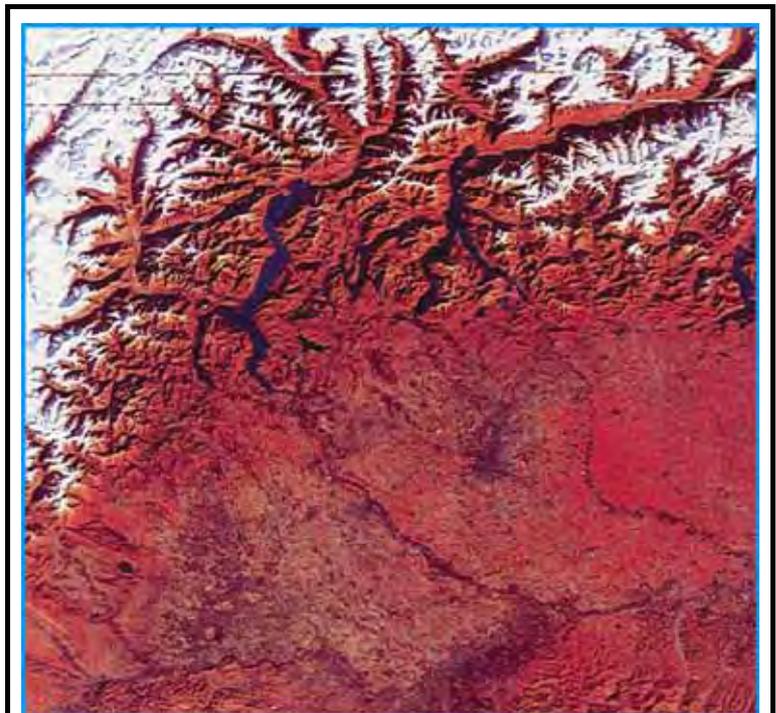


Fig. 3.12 - In questa foto da satellite è rappresentata parte della pianura padana delimitata a Nord dalle Alpi centrali innevate e a Sud Est dall'Appennino emiliano. Al centro si distingue il Ticino (emisario del lago Maggiore) che confluisce nel Po presso Pavia. Il gioco delle ombre dimostra che la foto è stata ripresa in tarda mattinata.

- **carte a grande scala**; rapporto di riproduzione maggiore di **1:5.000** (interventi urbanistici, progettazione); con scala superiore a 1:1.000 si usano più frequentemente i termini “**piante**”, se rappresentano zone urbane (es. quelle turistiche dei centri storici) e “**mappe**”, se rappresentano zone rurali (identificano, con buona precisione, i confini terrieri).

Il **contenuto** è la lista degli elementi della superficie fisica del terreno rappresentati sulla carta:

- **carte generali**; rappresentano la maggior quantità di particolari di interesse comune al maggior numero di utilizzatori;
- **carte speciali (tematiche)**; su una base topografica generale, riportano informazioni dettagliate riguardanti una sola caratteristica qualitativa e/o quantitativa del territorio relativa alla sua natura o alle attività umane che insistono su di esso.

Fotografia di paesaggio, foto aerea e soprattutto carta topografica rappresentano un insieme molto utile per ottenere informazioni sul territorio (come dimostrato dalla successione di immagini riportate nelle **figg. 3.12, 3.13 e 3.14**) e per effettuare, in modo corretto, studi finalizzati al calcolo e gestione delle risorse naturali, alla pianificazione degli interventi ed alla progettazione.

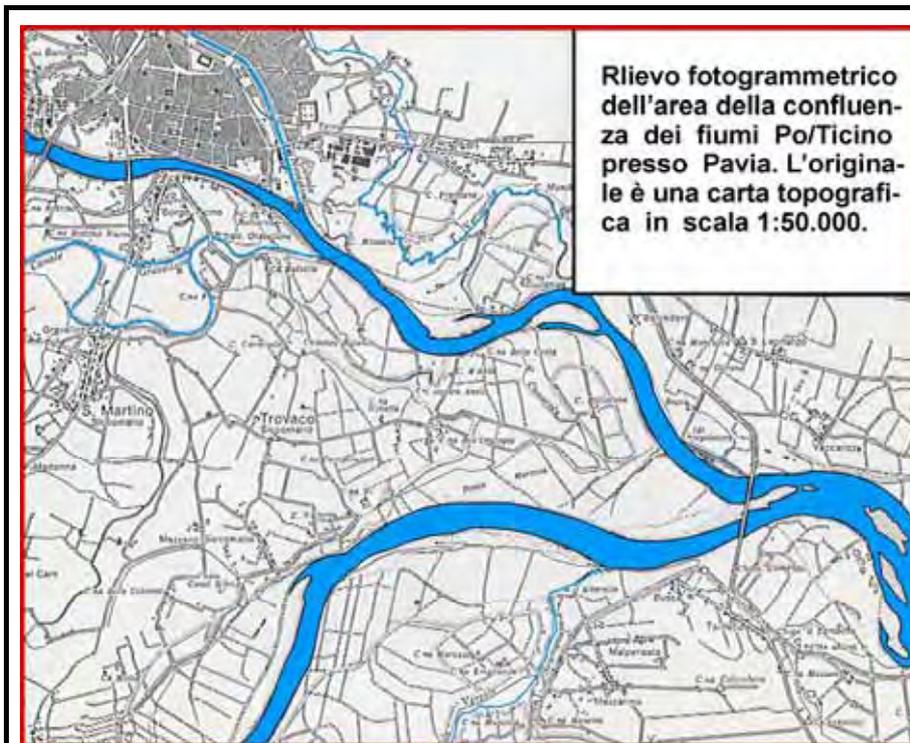


Fig. 3.13 - La confluenza Ticino /Po rappresentata con una carta topografica a piccola scala.

È un disegno in cui si utilizzano simboli diversi per elementi essenziali del paesaggio naturale e dei manufatti.

Notare la ricchezza di alcuni particolari (piccole strade ponderali, cascine, canali irrigui,...) più facilmente distinguibili rispetto alle immagini dal vero.

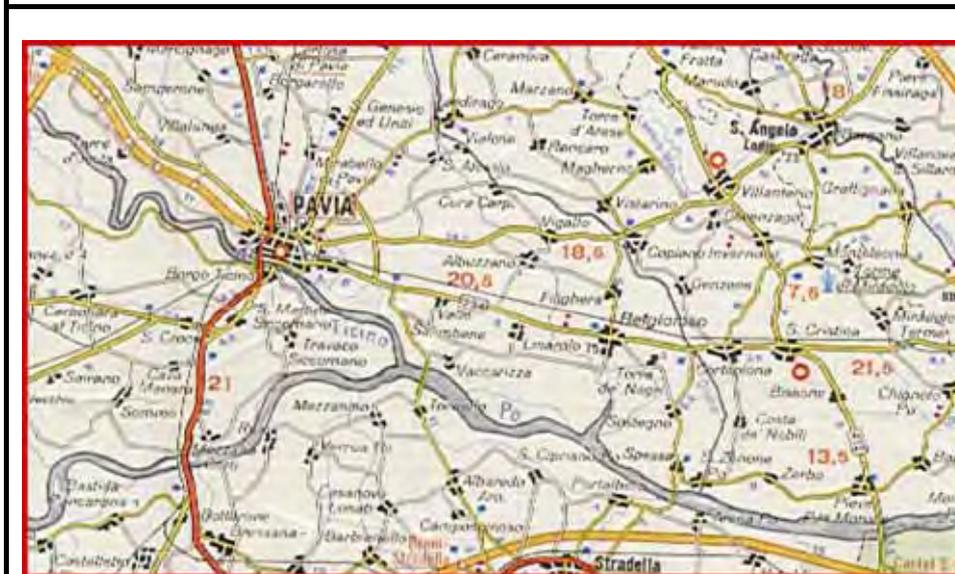


Fig. 3.14 - La *Carta Turistica Regionale della Lombardia* dell'Automobil Club Italiano (scala 1:275.000) è una carta corografica tematica il cui contenuto è costituito dalle vie di comunicazione (carta stradale) e dalle più importanti informazioni turistiche.

Il confronto con le figure precedenti permette il riscontro di mancata coincidenza per quanto riguarda alcuni particolari. Per esempio il ponte stradale non è visibile nella foto da satellite (**fig. 3.12**), si trova immediata monte a monte della confluenza nella carta topografica (**fig.**

3.13) ed un poco più a valle in quella turistica. Questa non pretende di essere molto precisa, dato che i contenuti che con essa si vogliono trasmettere sono diversi.

3.4 - La rappresentazione del rilievo

Uno degli aspetti più importanti da rappresentare sulle carte topografiche è la forma del paesaggio, rilievi e depressioni. Altri particolari, come le opere dell'uomo (strade, ferrovie, ponti, sentieri, canali, case, cimiteri,...) e aspetti della natura (boschi, corsi d'acqua, scarpate,...) si rappresentano con diversi simboli e colori il cui significato è illustrato sulle legende delle carte. Il paesaggio reale è dato da tre dimensioni, di cui una è l'altezza (**altitudine** o **quota**; **fig. 3.15**) normalmente espressa in **metri sul livello marino [m s.l.m.]**.

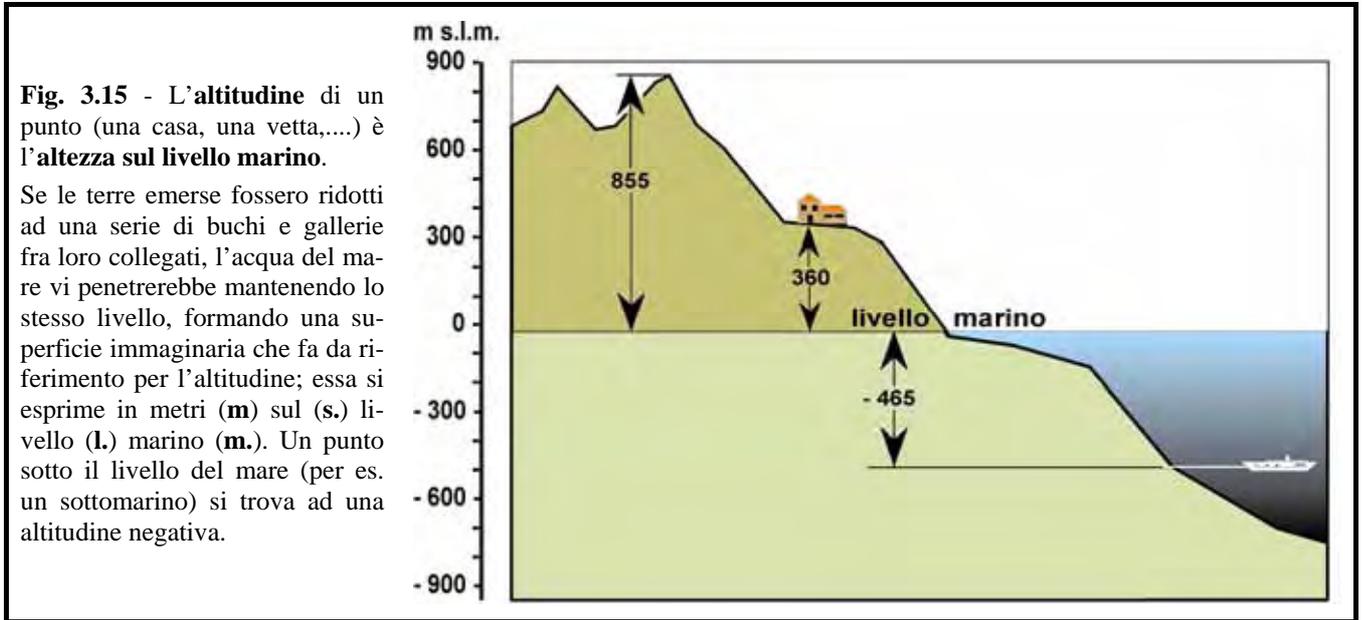


Fig. 3.15 - L'altitudine di un punto (una casa, una vetta,...) è l'altezza sul livello marino.

Se le terre emerse fossero ridotti ad una serie di buchi e gallerie fra loro collegati, l'acqua del mare vi penetrerebbe mantenendo lo stesso livello, formando una superficie immaginaria che fa da riferimento per l'altitudine; essa si esprime in metri (m) sul (s.) livello (l.) marino (m.). Un punto sotto il livello del mare (per es. un sottomarina) si trova ad una altitudine negativa.

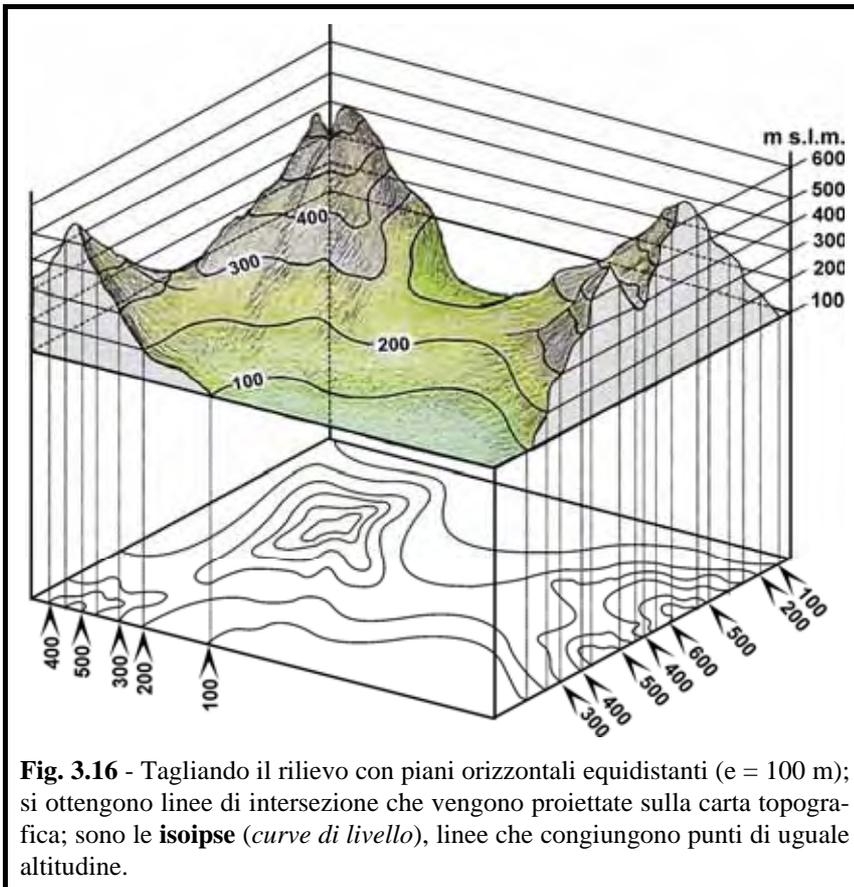
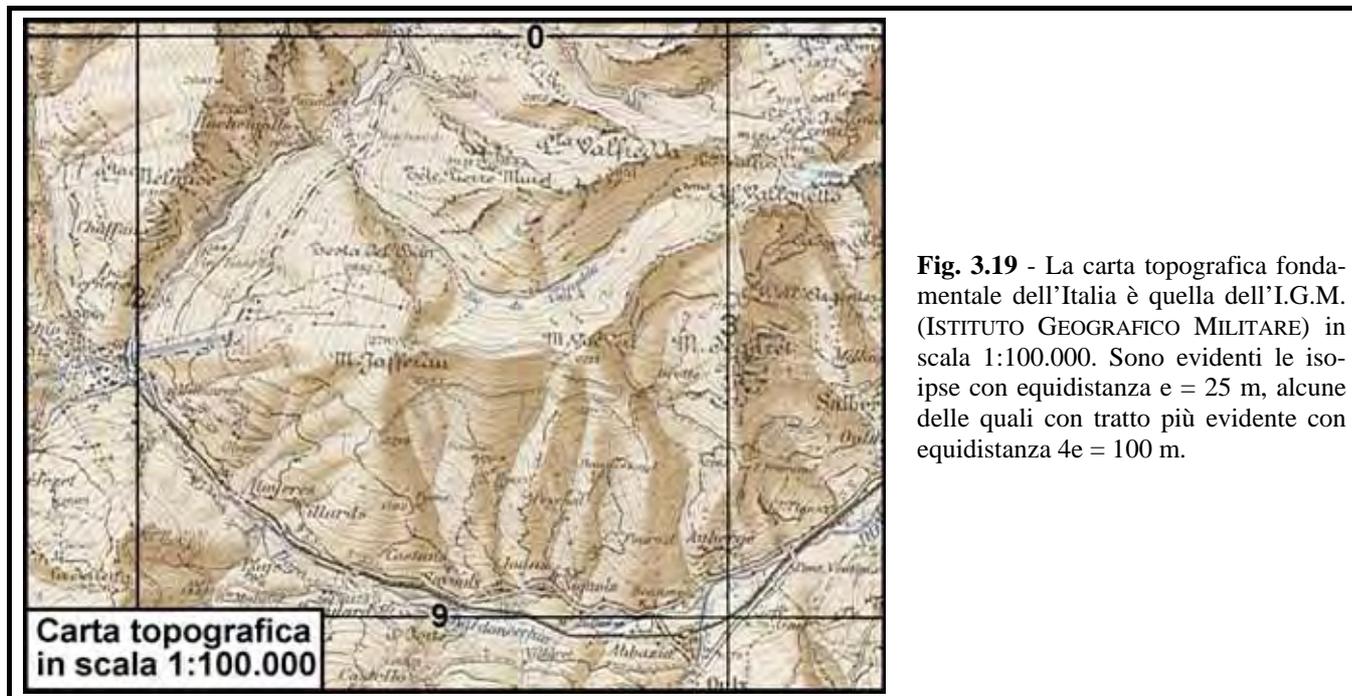


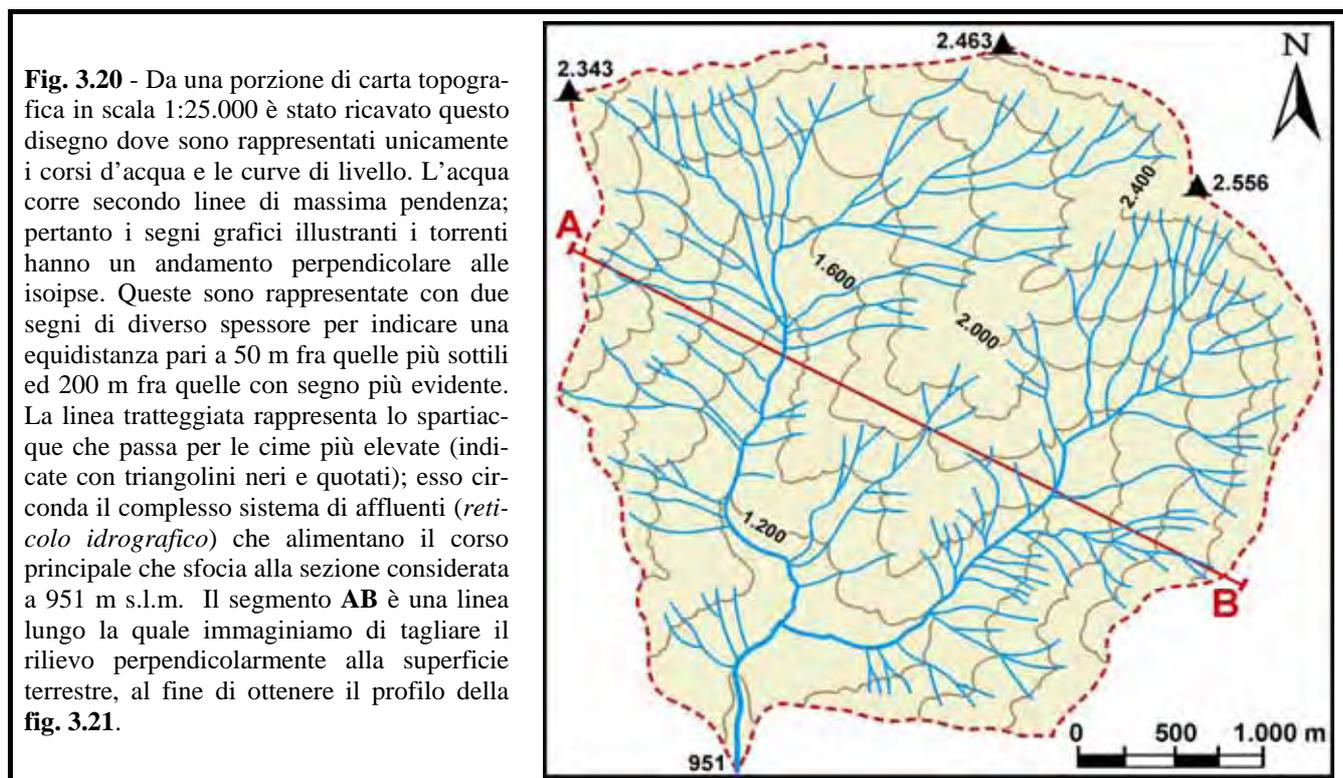
Fig. 3.16 - Tagliando il rilievo con piani orizzontali equidistanti ($e = 100$ m); si ottengono linee di intersezione che vengono proiettate sulla carta topografica; sono le **isoipse** (*curve di livello*), linee che congiungono punti di uguale altitudine.

La raffigurazione del rilievo si può effettuare con diverse sfumature di colore; in molte carte geografiche si rappresentano le fasce di maggiore altitudine col marrone scuro, mentre le aree a quota inferiore sono indicate con marrone chiaro, che sfuma in diverse tonalità del verde per indicare le pianure. Un'altra convenzione prevede l'uso di tratteggi di lunghezza e spessori variabili in funzione dell'altitudine o della pendenza dei versanti di montagne e colline. In alcuni disegni o "schizzi geografici" (cartine storiche, mappe ferroviarie,...) le catene montuose vengono rappresentate con linee marcate passanti per le principali vette. Simili procedimenti hanno il vantaggio di rendere percepibile il rilievo, ma non permettono la rilevazione dei caratteri morfometrici; consentono la redazione di carte di tipo prevalentemente qualitativo, permettendo poche osservazioni quantitative. Il sistema migliore per rappresentare le altezze è l'uso delle **isoipse** o **curve di livello** (**fig. 3.16**), il più importante segno grafico delle carte topografiche di media scala (1:25.000),

che costituiscono la base fondamentale per la redazione delle altre carte in scala minore (**figg. 3.17, 3.18 e 3.19**). Le carte topografiche che comprendono porzioni di superfici marine, riportano le **isobate**, linee che uniscono i punti a uguale profondità (ad una altitudine "negativa" rispetto al livello marino; **fig. 3.15**).



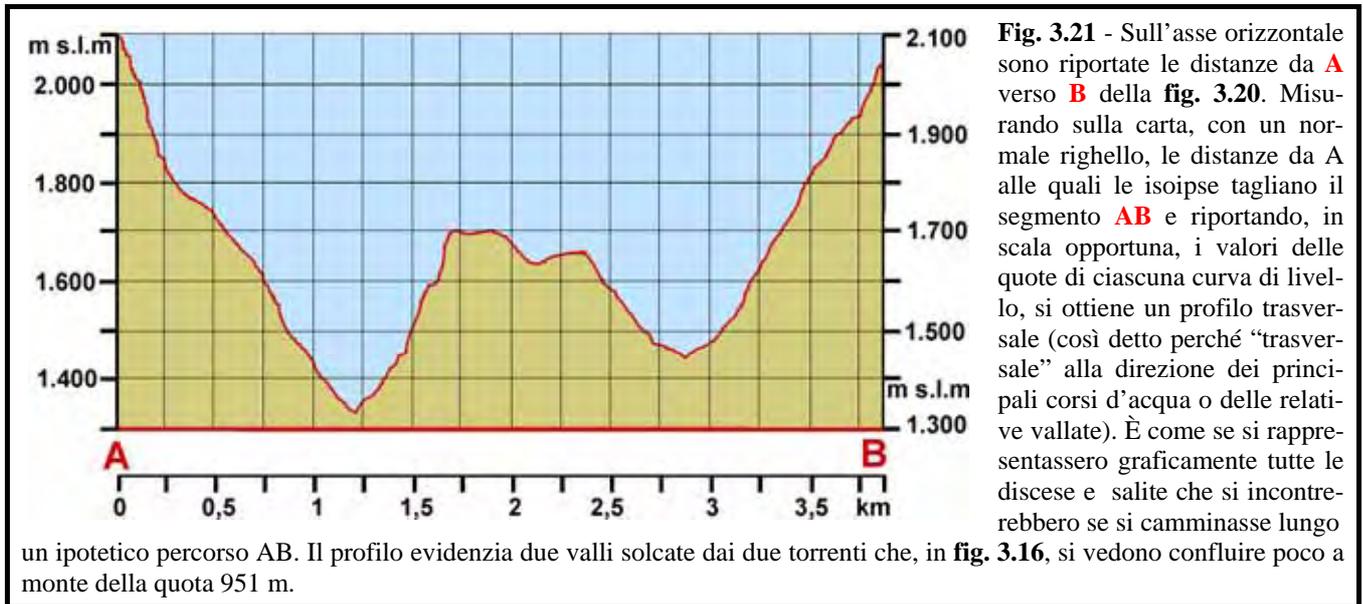
Le carte topografiche, soprattutto quelle in media e grande scala, se redatte con le curve di livello, permettono la misurazione di numerosi particolari riguardanti la forma del territorio. Le **figg. 3.20** e **3.21** rappresentano un esempio di come sia possibile ricavare profili di versanti vallivi e quindi le pendenze dei rilievi. Le carte topografiche di dettaglio permettono di misurare lunghezze, superfici, pendenze,... un insieme di valutazioni quantitative che costituiscono la base conoscitiva essenziale per lo studio e la programmazione del territorio.



3.5 - L'Istituto Geografico Militare (I.G.M.)

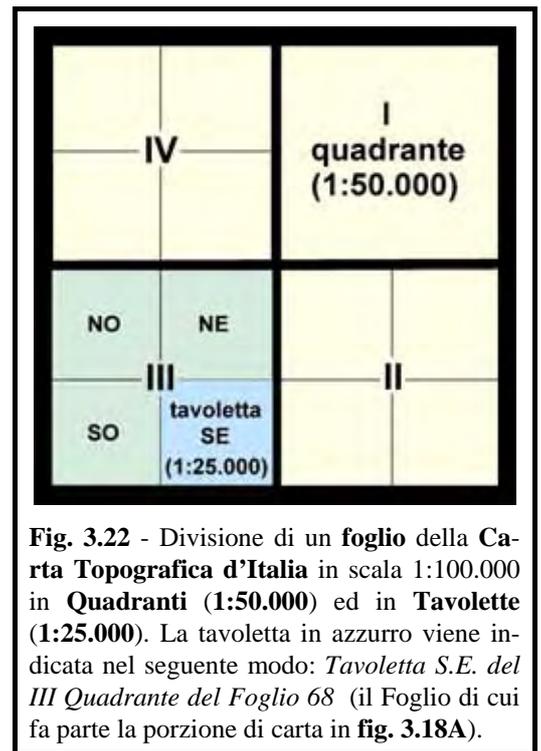
Fra le diverse istituzioni italiane che si occupano di cartografia (**scheda 3.1**) molto importante è l'**I.G.M.** che ha sede in Firenze e dipende dallo Stato Maggiore dell'Esercito. Coordina le strutture geodetiche utili alle conoscenze metriche (planimetria e altimetria) del territorio nazionale. In un secolo di attività ha redatto una carta topografica di tutto il territorio italiano in scala 1:25.000 (es. **figg. 3.11** e **3.18A**) dalla quale deriva la carta

fondamentale italiana in scala 1:100.000 (es. **figg. 3.18C e 3.19**). Essa copre l'Italia con 321 **fogli**, nei quali il rilievo è rappresentato con curve di livello con equidistanza di 50 m; nata all'inizio (1872) per scopi militari, è poi diventata il sostegno di tutto lo sviluppo nazionale. In questi ultimi anni è iniziata la preparazione della carta in scala 1:50.000 (es. **figg. 3.13 e 3.18B**) che, in molti particolari, è simile alla precedente, ma la stampa a colori, la simbologia più selettiva e il tratto del disegno la rendono più chiara e leggibile.



Per gli usi tecnici la carta più adatta è quella in scala 1:25.000; si tratta di **tavolette** in cui l'equidistanza di base delle isoipse è di 25 m, talora con curve ausiliarie di 5 m. In sintesi il territorio italiano è così suddiviso (**fig. 3.22**):

- **fogli in scala 1:100.000**; carte topografiche in piccola scala con lati 40 cm x 40 cm che coprono un'area di 1.600 km², cioè un quadrato con lato pari a 40 km; una distanza di 1 cm sulla carta equivale 1 km nella realtà, mentre una superficie di 1 cm² sulla carta equivale a 1 km² (100 hm² = 100 ha) nella realtà; essi sono suddivisi in quattro quadranti;
- **quadranti**; sono indicati dai numeri romani **I, II, III e IV** dal primo in alto a destra in senso orario; carte topografiche ancora in piccola scala con lati di 40 cm x 40 cm, (1:50.000) che coprono un'area di 400 km², cioè un quadrato con lato pari a 20 km; sono più dettagliate; infatti una distanza di 1 cm sulla carta equivale a 0,5 km = 500 m nella realtà, mentre una superficie di 1 cm² sulla carta equivale a 0,25 km² (25 hm² = 25 ha) nella realtà; essi sono divisi in quattro tavolette;
- **tavolette**; sono contrassegnate dal numero del foglio, dal quadrante e dal punto cardinale (**NO, NE, SO e SE**) del quadrante stesso; carte topografiche in media scala (1:25.000) molto dettagliate, con lati 40 cm x 40 cm, che coprono un'area di 100 km², un quadrato con lato pari a 10 km; una distanza di 1 cm sulla carta equivale a 0,25 km = 250 m nella realtà; una superficie di 1 cm² sulla carta equivale a 0,0625 km² (6,25 hm² = 6,25 ha) nella realtà.



3.6 - Le carte geografiche generali

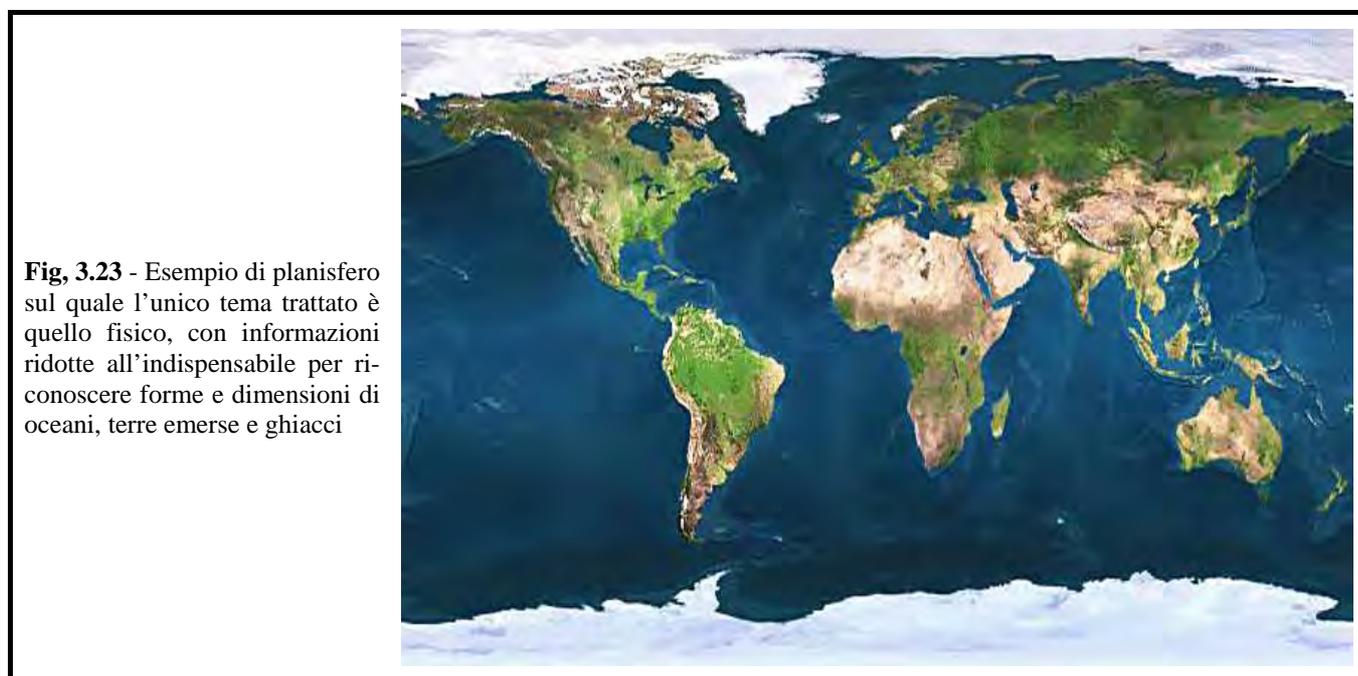
Le **carte topografiche** in scala superiore a 1:100.000 descrivono porzioni limitate della superficie terrestre e consentono valutazioni di tipo morfometrico (es. **figg. 3.11, 3.18a e 3.17**). Non vi sono problemi per precisione nella riproduzione in scala delle forme e delle dimensioni del paesaggio. Ma quando si considerano carte con scala più piccola, con rappresentazione di più ampie porzioni di territorio, sorgono problemi dovuti al fatto che,

mentre la superficie terrestre è in realtà curva, quella della carta è piana. Se una carta topografica rappresenta una superficie reale sufficientemente piccola da essere considerata praticamente piana, senza che ciò comporti errori apprezzabili, una carta a minor scala risulta approssimata, poiché è impossibile riportare la superficie sferica su un piano senza errori o deformazioni.

Le **carte geografiche** sono la rappresentazione approssimata e simbolica in scala piccolissima ($1:1.000.000 \div 1:100.000.000$) della superficie terrestre (nazioni e continenti). Le **carte corografiche** (o **carte regionali**) sono caratterizzate da una scala intermedia ($1:100.000 \div 1:1.000.000$) come, per esempio, le carte turistiche regionali dell'Automobil Club Italiano (**fig. 3.14**). I **mappamondi** o **planisferi** hanno scala inferiore a $1:100.000.000$ e rappresentano tutta la superficie terrestre (**fig. 3.23**); questi tipi di carte, raffigurate negli atlanti, sono molto deformate perché con esse si "pretende" di rappresentare sul piano una semisfera o addirittura una sfera intera.

Facendo riferimento al **reticolato geografico**, formato dall'intersezione dei meridiani e dei paralleli, nella rappresentazione delle carte, per effetto delle deformazioni, si commettono i seguenti tipi di errore:

- **distanza**; i rapporti fra le distanze sulla carta e quelle reali non corrispondono esattamente alla scala;
- **superficie**; estensioni uguali in diversi punti della carta non sono ugualmente equivalenti a quelle reali delle corrispondenti porzioni di territorio;
- **angoli**; in conseguenza delle deformazioni il reticolato geografico non appare costituito da meridiani e paralleli tra loro perpendicolari come invece accade nella realtà.



Adottando opportuni accorgimenti è possibile ottenere carte che siano precise rispetto ad almeno uno dei precedenti fattori di errore. Si potranno così ottenere:

- **carte equidistanti**; le distanze, in tutte le direzioni, sono in scala;
- **carte equivalenti**; ogni maglia del reticolo rappresentata ha un'area equivalente a quella reale sul terreno;
- **carte conformi**; i meridiani e i paralleli sono perpendicolari tra loro; non presentano errori angolari.

I metodi escogitati per trasferire su un piano la superficie della Terra vengono detti **proiezioni**; essi riducono al minimo o eliminano almeno uno degli errori succitati. La scelta del tipo di proiezione dipende dall'applicazione prevista per la carta (**schede 3.2 e 3.3**).

3.7 - Il sistema U.T.M. e reticolo chilometrico

In Italia, per la cartografia I.G.M., è stato adottato il procedimento inventato dal geodeta tedesco Carlo Federico GAUSS (1771 ÷ 1855). Tale sistema viene indicato con la sigla **Gauss-Boaga** o **Sistema Nazionale**. Esso è adottato, per convenzione internazionale, nella cartografia ufficiale di tutto il mondo e viene anche detto **sistema U.T.M.** (*Universal Transverse Mercator*). È una proiezione che utilizza un cilindro tangente ad un meridiano. L'asse del cilindro è perpendicolare all'asse di rotazione terrestre (**fig. 3.24**). Il sistema U.T.M. utilizza un cilindro

diverso per ogni fuso di 6 gradi di longitudine, tangente al meridiano centrale del fuso. Il *meridiano centrale d'Italia* si trova a $12^{\circ} 27' 8''$ Long. Est (da Greenwich) e viene indicato, nella cartografia ufficiale, **Meridiano di Monte Mario** (o *Meridiano di Roma*). L'Italia comprende i fusi 32 (fra i meridiani 6° e 12° Long. E, ad Ovest del Meridiano di Roma) e 33 (fra i meridiani 12° e 18° Long. E, ad Est del Meridiano di Roma). La **fig. 3.24** mostra, con un'area gialla, la porzione d'Italia ad Est del Meridiano di M. Mario, quella compresa nel fuso 33, il cui meridiano centrale è a 15° Long. Est. Gli errori dovuti alle inevitabili deformazioni non superano quelli dovuti alle imprecisioni del disegno delle carte topografiche (lo spessore della linea più sottile sulla carta corrisponde, alla scala 1:25.000, ad una distanza reale di 5 m).

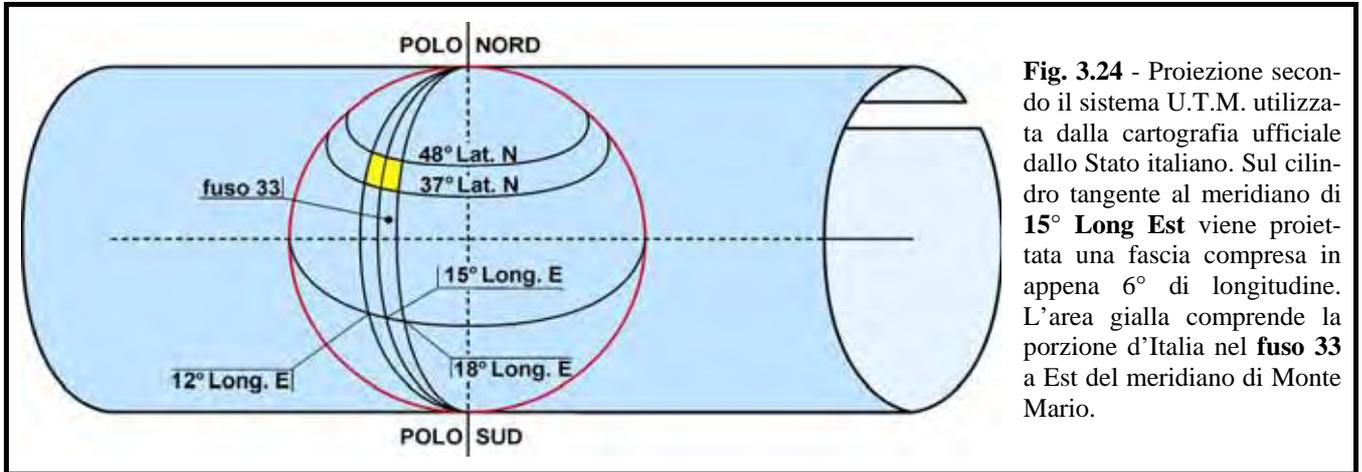


Fig. 3.24 - Proiezione secondo il sistema U.T.M. utilizzata dalla cartografia ufficiale dallo Stato italiano. Sul cilindro tangente al meridiano di **15° Long Est** viene proiettata una fascia compresa in appena 6° di longitudine. L'area gialla comprende la porzione d'Italia nel **fuso 33** a Est del meridiano di Monte Mario.

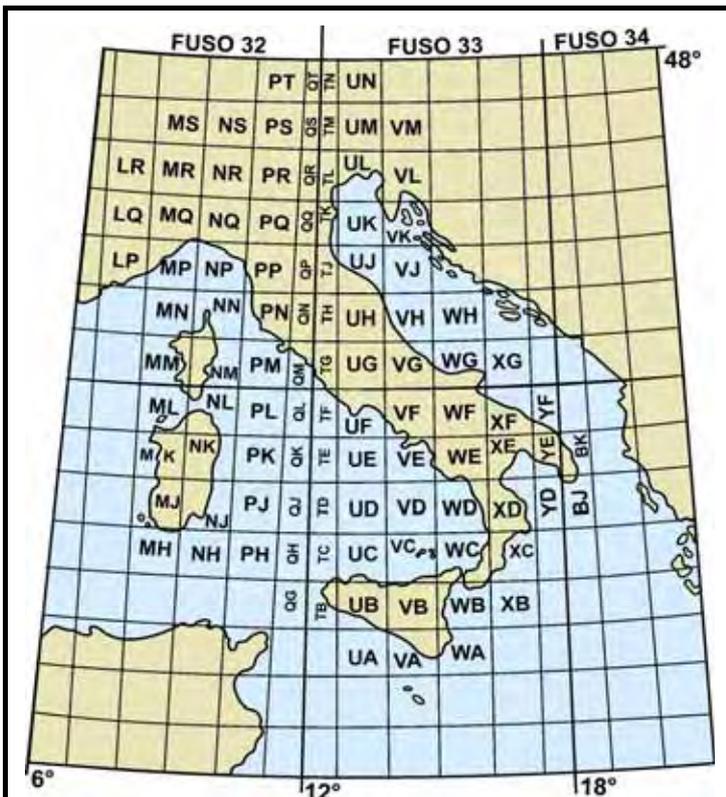


Fig. 3.25 - Confronto fra reticolato geografico (evidenziato dai meridiani 6° , 12° e 18° Long. Est, delimitanti i fusi 32 e 33) e il reticolato chilometrico, le cui linee verticali risultano leggermente divergenti rispetto ai meridiani.

Nelle carte dell'I.G.M. non è disegnato il reticolo geografico, ma il **reticolo chilometrico**, come è ben visibile nella **fig. 3.11**. L'intersezione delle linee del reticolo chilometrico origina una serie di quadrati di lato pari a 100 km (**fig. 3.25**) contraddistinti da una coppia di lettere; la prima indica la colonna in senso W-E e la seconda la riga in senso N-S. Ognuno di questi quadrati è diviso in 10.000 quadrati di 1 km di lato, il cui reticolo compare sulle carte in scala 1:25.000 e 1:50.000; nelle carte in scala 1:100.000, per motivi di leggibilità, i quadrati hanno lati di 10 km. Infatti i quadrati hanno lati di 4 cm nelle carte topografiche in scala 1:25.000 (**fig. 3.11**) e di 2 cm nelle carte topografiche in scala 1:50.000 (**fig. 3.18B**). I reticolati geografico e chilometrico non sono coincidenti. I meridiani geografici infatti, per il tipo di proiezione usata, convergono verso Nord. La divergenza tra le righe verticali dei due reticolati (*disorientamento*) è riportata sulle carte, con indicazione del valore tra le note del bordo dei fogli.

3.8 - Coordinate spaziali di un punto

Un qualunque punto della superficie terrestre può essere individuato per mezzo di *tre coordinate spaziali*, di cui due sono le coordinate geografiche e

la terza è l'altitudine. Si tratta di un sistema ortogonale a tre assi definito da: ascisse, ordinate ed altezza. A titolo di esempio, in **fig. 3.26**, viene illustrato un sistema a tre assi di cui quello orizzontale (coincidente con l'equatore) rappresenta l'asse su cui sono riportati i valori da 0° a 180° Long. Est (verso destra, oriente) e da 0° a 180° Long. Ovest (verso sinistra, occidente). L'origine degli assi corrisponde all'intersezione dell'equatore con il meridiano fondamentale; questo rappresenta l'asse su cui sono riportati i valori da 0° a 90° Lat. Nord (verso l'alto, nell'emisfero boreale) e da 0° a 90° Lat. Sud (verso il basso, nell'emisfero australe). Questa coppia di assi

ortogonali (equatore e meridiano fondamentale) rappresenta il sistema delle coordinate geografiche, utili per individuare un punto su una superficie che, nella **fig. 3.26**, appare come un reticolato geografico a maglie larghe, coincidente con il livello marino.

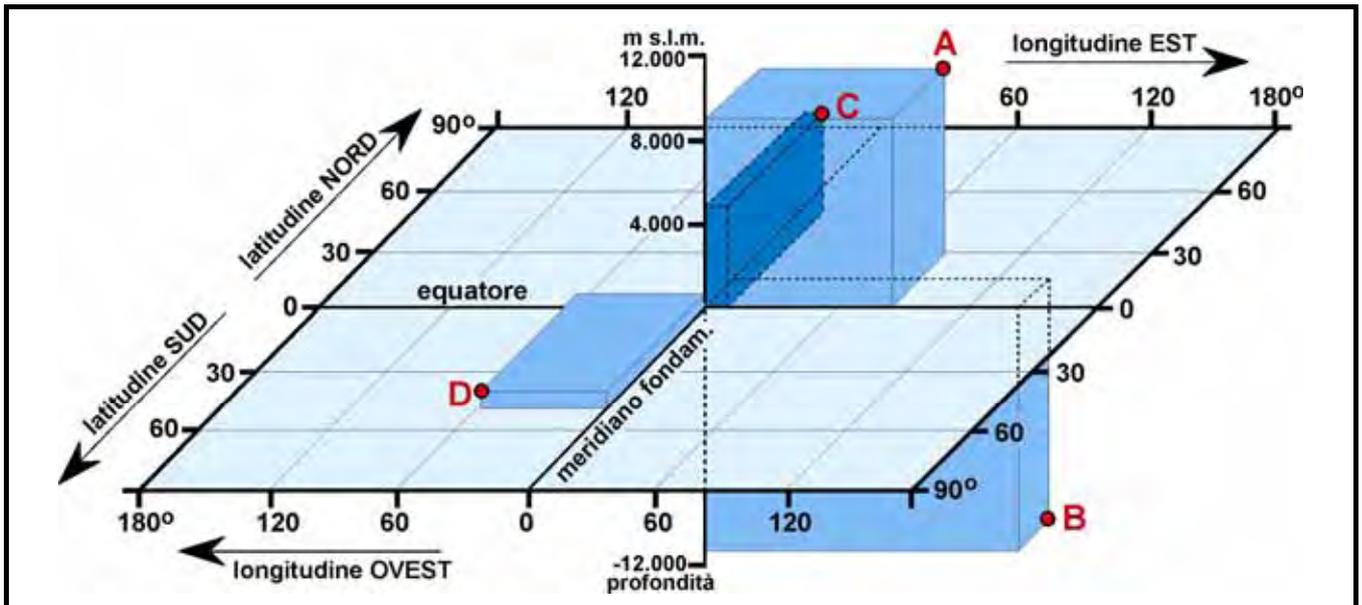


Fig. 3.26 - Lo schema rappresenta il sistema di coordinate spaziali (**longitudine**, **latitudine** e **altitudine**) per qualunque punto della superficie terrestre. Per i punti, considerati come esempi, le coordinate sono riportate nella tabella a lato.

		Latitudine	Longitudine	Altitudine
		°Nord/Sud	°Est/Ovest	m s.l.m.
A	M.te Everest	28 N	86 E	8.847
B	Fossa filippine	15 N	145 E	-11.516
C	M.te Bianco	46 N	7 E	4.810
D	Isole Falkland	50 S	60 W	698

La scala utilizzata per le altitudini è esagerata per evitare l'appiattimento del diagramma in senso verticale.

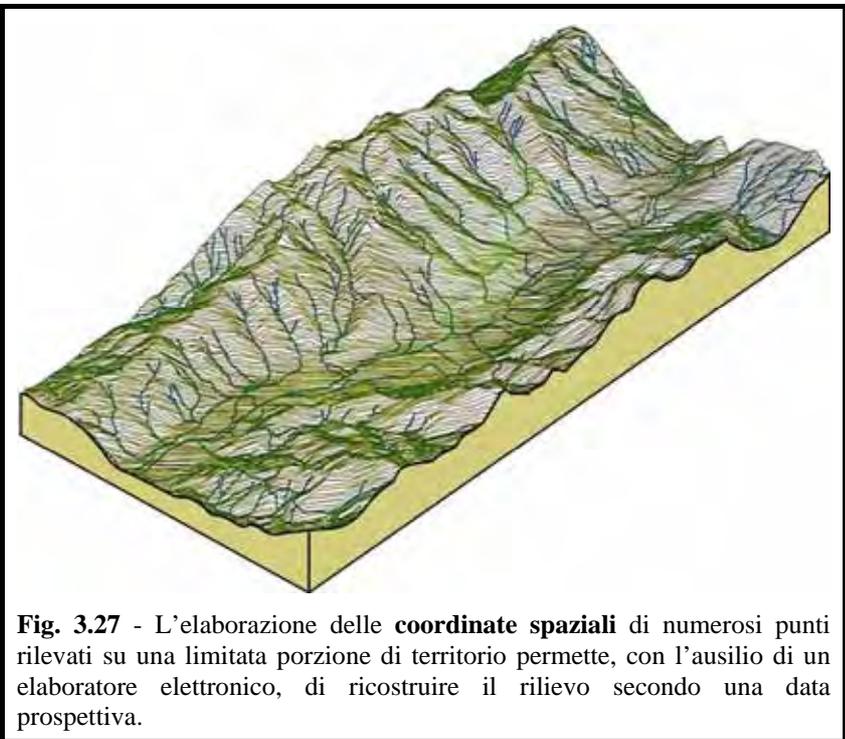


Fig. 3.27 - L'elaborazione delle **coordinate spaziali** di numerosi punti rilevati su una limitata porzione di territorio permette, con l'ausilio di un elaboratore elettronico, di ricostruire il rilievo secondo una data prospettiva.

L'asse perpendicolare a tale piano, passante per la stessa origine di intersezione equatore/meridiano fondamentale, rappresenta le altitudini positive verso l'alto e negative (profondità) verso il basso. Nel diagramma spaziale di **fig. 3.26** sono rappresentati, come esempi, quattro punti particolari della superficie terrestre. Ma lo stesso ragionamento potrebbe essere effettuato con un sistema di coordinate spaziali sulla base di una porzione di territorio molto più limitata (anche pochi chilometri quadrati) avendo a disposizione una carta topografica di grande dettaglio (per es. in scala 1:10.000) dalla quale si possano derivare le coordinate spaziali di numerosi punti. Elaborando i valori delle coordinate con l'ausilio di un elaboratore elettronico, è possibile produrre immagini simili a quella indicata in **fig. 3.27**, dove il rilievo è rappresentato secondo una prospettiva scelta a piacere.

Queste elaborazioni permettono di visualizzare la forma del territorio e di effettuare misure e calcoli topografici per fini applicativi in tempi talmente brevi, da rendere possibili interpretazioni delle dinamiche territoriali fino a pochi decenni fa impensabili.

SCHEDA 3.1 - Gli enti cartografici italiani

In Italia l'attuale ordinamento prevede alcuni ENTI CARTOGRAFICI UFFICIALI:

Servizio Geologico d'Italia. Redige ed aggiorna la cartografia geologica del territorio nazionale. Prima della proclamazione del Regno d'Italia, Felice Giordano, ispettore del Corpo delle Miniere, aveva segnalato al governo il problema della conoscenza geologica del territorio in modo sistematico, come ormai da decenni si stava facendo in altri paesi del mondo. Fu istituita una commissione di cui fece parte anche Quintino SELLA, scienziato di fama internazionale in campo mineralogico e fondatore del Club Alpino Italiano. Fu egli stesso che presentò al Re un decreto che ordinava la realizzazione della carta geologica d'Italia in scala 1:50.000. Ma tre mesi dopo Quintino Sella diventò ministro delle finanze nel governo Rattazzi e dal suo ministero, inesorabilmente votato al pareggio dei conti dello Stato, il progetto non venne mai finanziato. Con l'avvento al potere di Depretis, nel 1876, iniziò il rilevamento del territorio italiano, ma in una scala meno dettagliata, 1:100.000. È stata una impresa che si è a lungo trascinata, con colpevole e scarsa attenzione dello Stato, tanto che l'ultimo foglio fu pubblicato nel 1970, 109 anni dopo la firma del decreto. È una storia esemplare che è alla radice della insufficiente conoscenza del territorio, aggravata dal fatto che, ancora oggi, il Servizio Geologico d'Italia (come altri enti) non è in grado di funzionare in modo adeguato rispetto alle gravi emergenze dei dissesti ambientali. La **Carta Geologica d'Italia** è stata redatta sulla base topografica I.G.M. in scala 1:100.000. Usando segni convenzionali e diversi colori, si rappresentano le strutture fondamentali e le formazioni costituenti le porzioni più superficiali della crosta, la loro origine ed età, aspetti molto utili per gli studi territoriali e per la gestione delle risorse naturali (esempi in **figg. 3.28** e **3.29**).

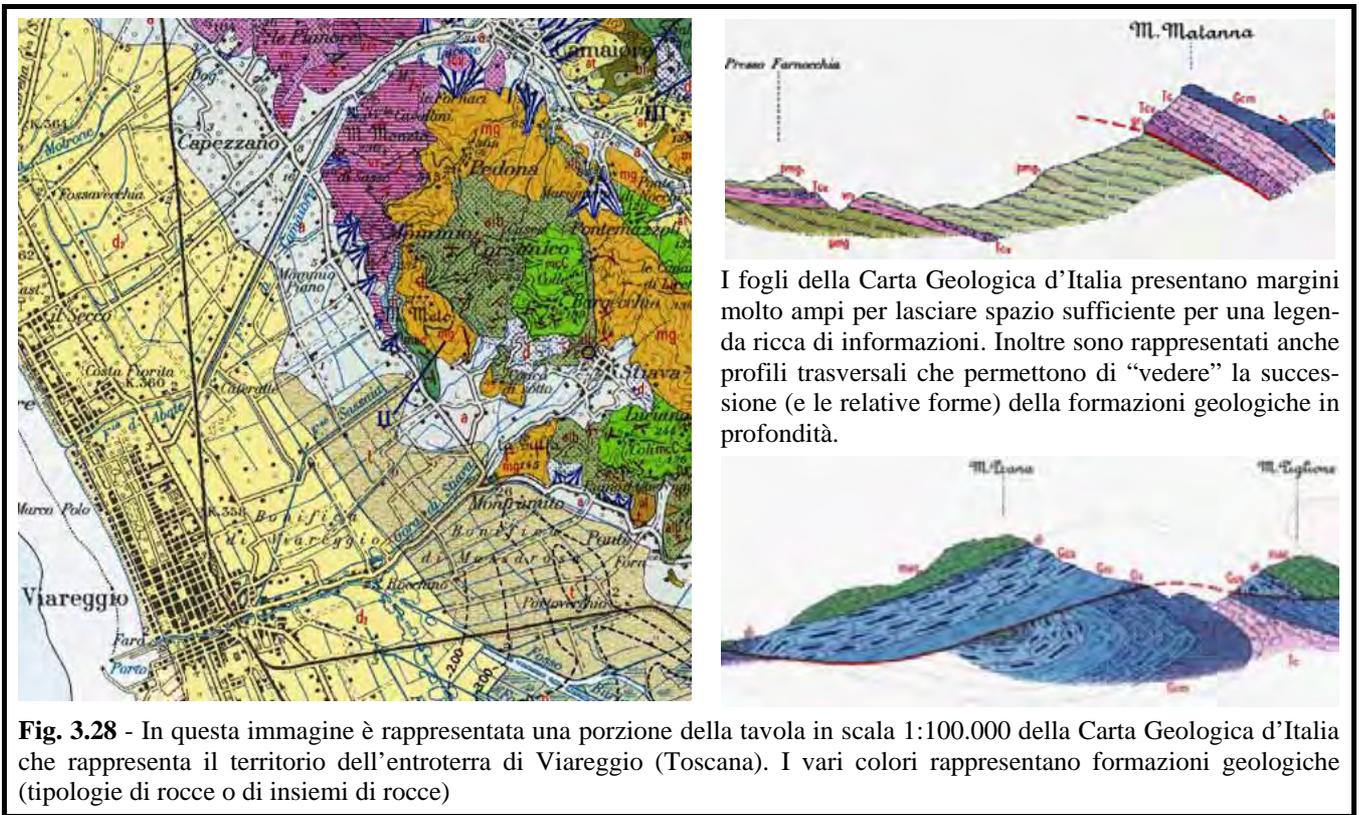


Fig. 3.28 - In questa immagine è rappresentata una porzione della tavola in scala 1:100.000 della Carta Geologica d'Italia che rappresenta il territorio dell'entroterra di Viareggio (Toscana). I vari colori rappresentano formazioni geologiche (tipologie di rocce o di insiemi di rocce)

Istituto Geografico Militare Italiano (IGM). Nato soprattutto per curare l'allestimento delle reti geodetiche, planimetriche e altimetriche necessarie al rilevamento topografico di tutto il territorio nazionale. Realizza cartografie a varie scale. Tra le più significative si citano la Carta Topografica alla scala 1:100.000 (**figg. 3.18A** e **3.19**), 1:50.000 (**figg. 3.13** e **3.18B**) e 1:25.000 (**figg. 3.11** e **3.18C**). Negli anni '60, ha dato avvio a una nuova serie di carte che rispondono ai criteri di unificazione europea con la realizzazione di fogli alla scala 1:50.000, sottomultipli della carta alla scala 1:250.000 e a sua volta inquadrata su una carta alla scala 1:1.000.000 identica alla Carta Internazionale del Mondo.

Ministero della difesa - Marina Militare Italiana - Istituto Idrografico della Marina. Ha il compito di eseguire il rilievo sistematico dei mari italiani, studiare le coste, produrre e aggiornare le carte nautiche ufficiali per la navigazione marittima. La cartografia prodotta comprende la copertura dei mari nazionali con la rappresentazione dei litorali e dei porti dalla scala 1:50.000 alla scala 1:5.000. La carta fondamentale italiana per la fascia costiera (I.I.M.) è in scala 1:100.000 nel formato 110 x 70 cm.

Ministero della difesa - Aeronautica Militare - Centro Informazioni Geotopografiche Aeronautiche (ex Sezione fotocartografica dello Stato Maggiore dell'Aeronautica). Ha compiti di pianificazione e programmazione nel settore fotocartografico, di produzione di carte per la navigazione aerea e di informazione geotopografiche. Ha realizzato la **Carta Aeronautica d'Italia** (1:500.000), a tinte ipsometriche (rappresentazione del rilievo con le sfumature di colore) divisa in undici fogli, il cui uso è legato alla navigazione aerea.

Ministero dell'Economia e delle Finanze Agenzia del Territorio (ex Amministrazione del catasto e dei servizi tecnici erariali). Rileva, conserva ed aggiorna le mappe catastali dei comuni; esse descrivono con dettaglio la situazione del territorio nazionale dal punto di vista della proprietà fondiaria e urbana, delle colture e della utilizzazione del suolo. Il Catasto per la conservazione della proprietà privata e pubblica, per la valutazione dei redditi fondiari ed urbani, per la qualificazione e classificazione dei terreni, si basa su una propria cartografia. Lo scopo amministrativo e fiscale fanno della carta catastale una "carta speciale"; essa non prevede necessariamente la rappresentazione altimetrica del terreno; si tratta di mappe (carte in grande scala, fino a 1:500) che costituiscono un prezioso ausilio tecnico per i Comuni.

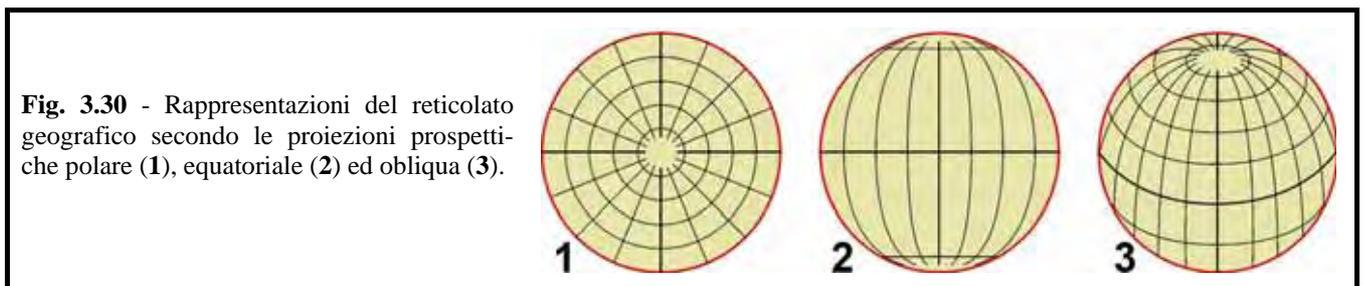
SCHEDA 3.2 - Proiezioni prospettiche o azimutali

Le proiezioni prospettiche affrontano il problema come un pittore che voglia rappresentare lo spazio nelle due dimensioni di un quadro. Anche il globo terrestre può essere visto in prospettiva, come proiettato su un quadro piano da un qualunque punto di vista. Quindi gli elementi essenziali di una proiezione sono: *punto di vista*, il *globo terrestre* e il *piano di proiezione*. Il modo con cui questi tre elementi essenziali stanno fra loro permette di classificare il tipo di proiezione prospettica. In funzione della **posizione del piano di proiezione (fig. 3.30)** le proiezioni possono essere:

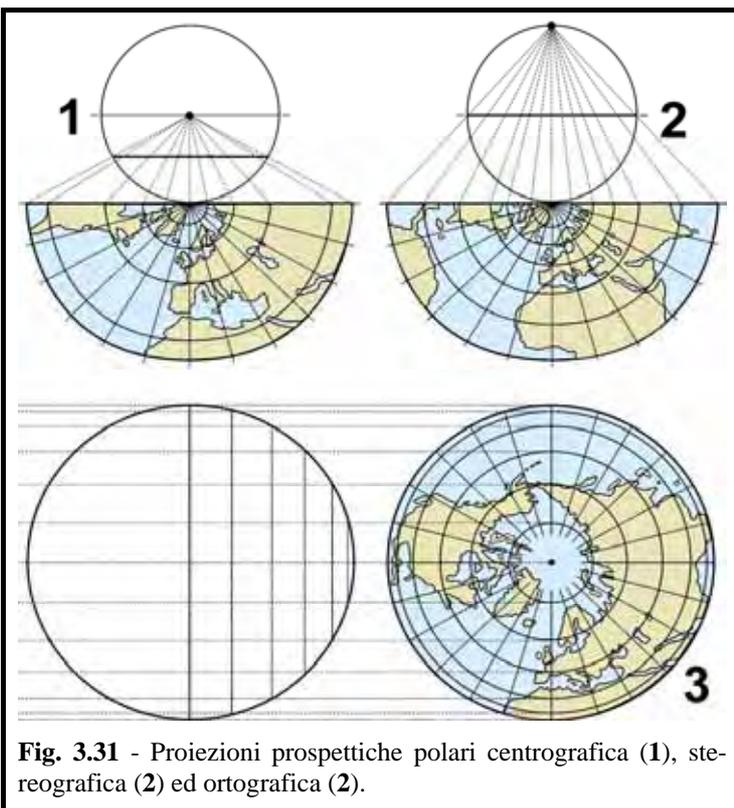
- polari** (se tangenti ad un polo);
- equatoriali** (se tangenti all'equatore);
- oblique** (se tangenti ad un qualunque parallelo).

Mentre in funzione della **posizione del punto di vista** le proiezioni possono essere:

- ortografiche** (se all'infinito);
- stereografiche** (se all'antipode del punto di tangenza del piano);
- centrografiche** (se al centro della Terra).



Pertanto si possono distinguere i casi nel seguito descritti.



PROIEZIONI PROSPETTICHE POLARI. Il disegno della carta è sempre circolare e serve per rappresentare unicamente le terre polari con contenute deformazioni verso il centro; verso l'esterno le terre che si trovano a latitudini più basse risultano con contorni via via più deformati. I meridiani appaiono come raggi divergenti dal centro (polo), mentre i paralleli risultano cerchi concentrici disposti a seconda della posizione del punto di vista:

proiezione prospettica polare centrografica (fig. 3.31/1) in cui i paralleli si allontanano molto verso l'esterno; l'equatore non è proiettabile;

proiezione prospettica polare stereografica (fig. 3.31/2); i paralleli si allontanano di poco dal centro; il cerchio più esterno è l'equatore;

proiezione prospettica polare ortografica (fig. 3.31/3); i paralleli si avvicinano dal centro; anche in questo caso il cerchio più esterno è l'equatore.

PROIEZIONI PROSPETTICHE EQUATORIALI. L'equatore e il meridiano, che passa per il punto di tangenza del piano di proiezione, sono due rette che si tagliano a metà nel centro di proiezione; si distinguono i seguenti casi:

proiezione prospettica equatoriale centrografica (fig. 3.32/1); i paralleli sono curve complesse che rivolgono la concavità verso i poli; i meridiani sono

rette parallele, perpendicolari all'equatore e più distanziate verso l'esterno;

proiezione prospettica equatoriale stereografica (fig. 3.32/2); i paralleli sono archi via via più distanziati e con raggio che diminuisce verso i poli; i meridiani sono archi più distanziati verso l'esterno;

proiezione prospettica equatoriale ortografica (fig. 3.32/3); i paralleli sono rette parallele all'equatore la cui distanza diminuisce verso i poli; i meridiani sono archi più ravvicinati verso l'esterno.

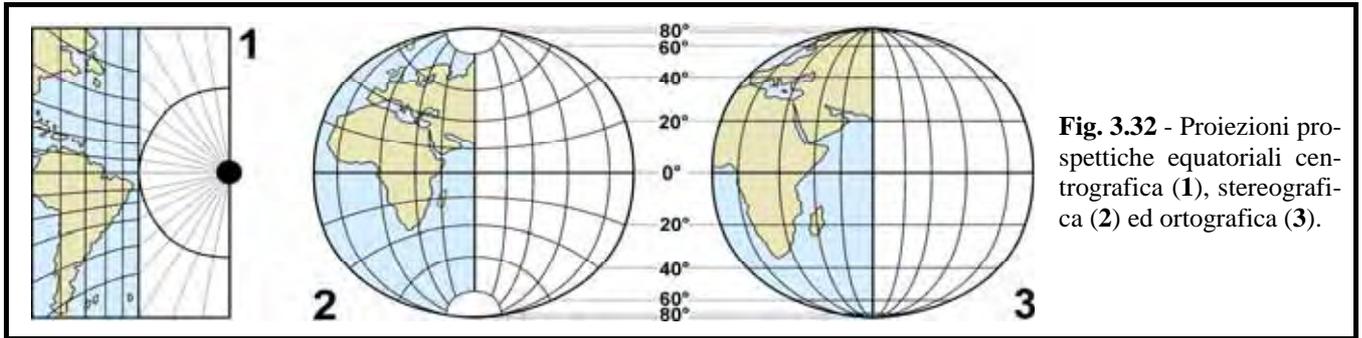


Fig. 3.32 - Proiezioni prospettiche equatoriali centrografica (1), stereografica (2) ed ortografica (3).

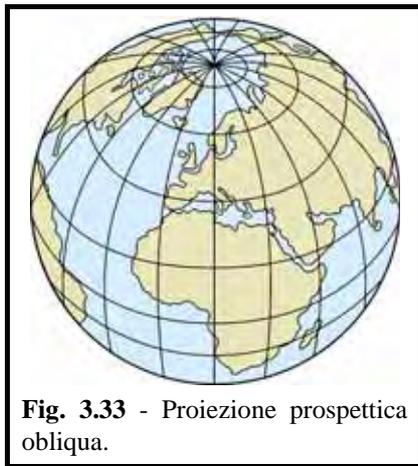


Fig. 3.33 - Proiezione prospettica obliqua.

PROIEZIONI PROSPETTICHE OBLIQUE. Il disegno è sempre circolare; meridiani e paralleli sono sempre archi di circonferenza, mentre alcuni paralleli possono essere addirittura dei cerchi (fig. 3.33).

SCHEDA 3.3 - Proiezioni di sviluppo

Le proiezioni di sviluppo sono ottenute immaginando di avvolgere il globo terrestre con un cono (**proiezione di sviluppo conica**) o con un cilindro (**proiezione di sviluppo cilindrica**). La proiezione del reticolato geografico avviene sulla superficie interna del cono (la fig. 3.34 riporta il caso di una proiezione centrografica) o del cilindro (la fig. 3.35 riporta il caso di una proiezione ortografica) che possiamo poi immaginare di "srotolare" sul piano. Dallo sviluppo del cono si ottiene un settore circolare (fig. 3.36), mentre da quello del cilindro si ottiene un rettangolo (fig.

3.37). La linea di tangenza fra il piano di proiezione e il globo nelle coniche è rappresentata da un parallelo la cui latitudine dipende dalla ampiezza del cono, mentre nelle cilindriche è rappresentata dall'equatore. Nel reticolato conico (fig. 3.36) vi è un polo al centro del settore; i meridiani sono raggi divergenti dal polo; i paralleli sono archi concentrici. L'equatore è l'arco più esterno e le maglie del reticolo sono trapezi con basi curve. Nel reticolo cilindrico i meridiani sono paralleli, equidistanti e perpendicolari all'equatore. I paralleli sono rette parallele all'equatore con distanza che diminuisce (ortografici - fig. 3.35) o aumenta (centrografici - fig. 3.37).

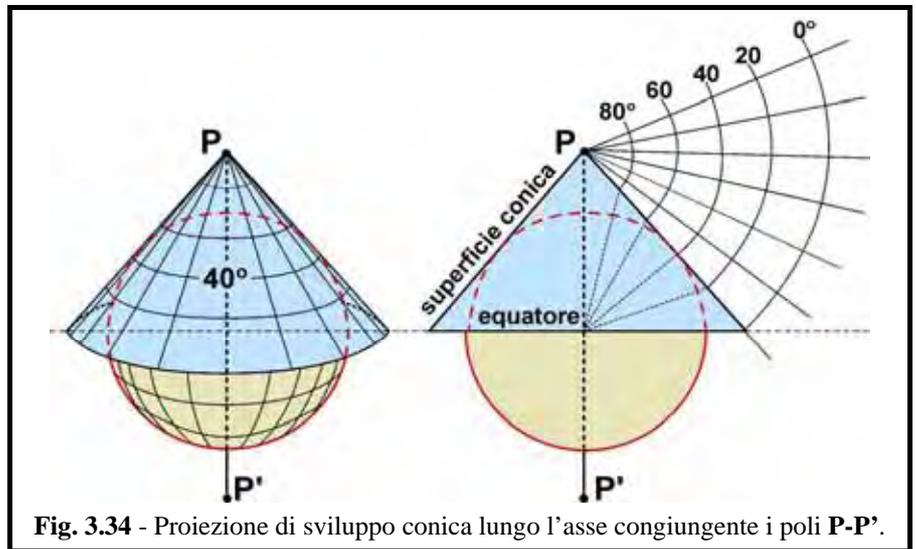


Fig. 3.34 - Proiezione di sviluppo conica lungo l'asse congiungente i poli P-P'.

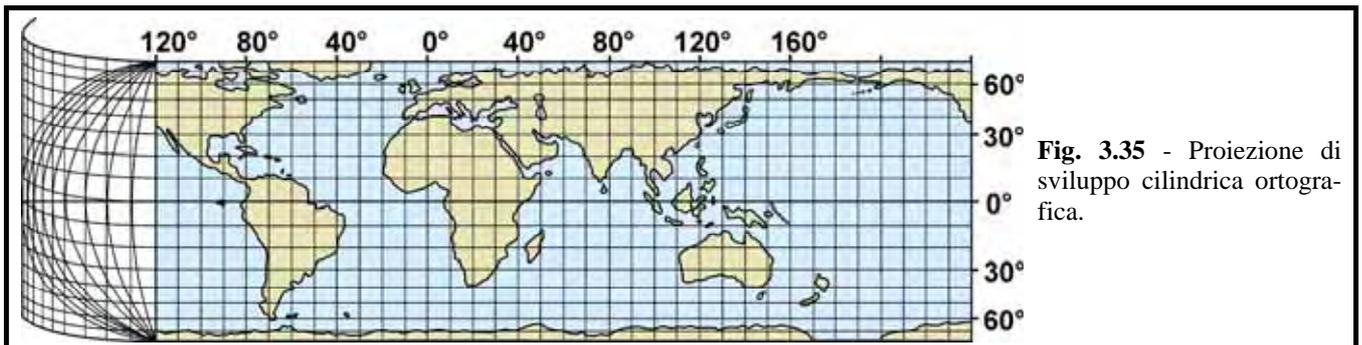


Fig. 3.35 - Proiezione di sviluppo cilindrica ortografica.

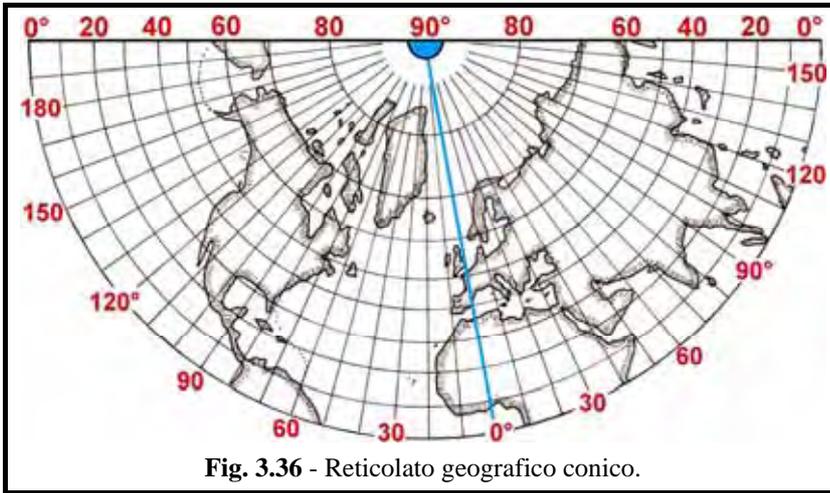


Fig. 3.36 - Reticolato geografico conico.

Tali proiezioni sono dette **vere**, perché ottenute dalla applicazione delle regole geometriche della proiezione. Esse non forniscono una precisione sufficiente; pertanto sono state proposte opportune modifiche per ottenere le **proiezioni di sviluppo modificate**, anche indicate come pseudoconiche (coniche modificate) e pseudocilindriche (cilindriche modificate). Un esempio è la **conica equivalente di Lambert-Gauss**, in cui il cono è “secante” (invece che tangente) al globo terrestre lungo due paralleli comprendenti il territorio che si vuole rappresentare con la migliore approssimazione. Questa proiezione è indicata per le regioni di media latitudine e le carte che si ottengono possono essere considerate equivalenti. Molto importante è la

cilindrica conforme di Mercatore (fig. 3.38) in cui i meridiani sono disposti come nelle cilindriche vere, mentre i paralleli sono rette parallele all’equatore che si allontanano reciprocamente verso i poli secondo una progressione corretta in modo da ridurre al minimo gli errori angolari. Si tratta quindi di un tipo di carta conforme adatta alla navigazione sia aerea, sia su mare ed alla quale si ispira il sistema U.T.M. (par. 3.7); l’aspetto negativo è rappresentato dalle notevoli deformazioni alle elevate latitudini.

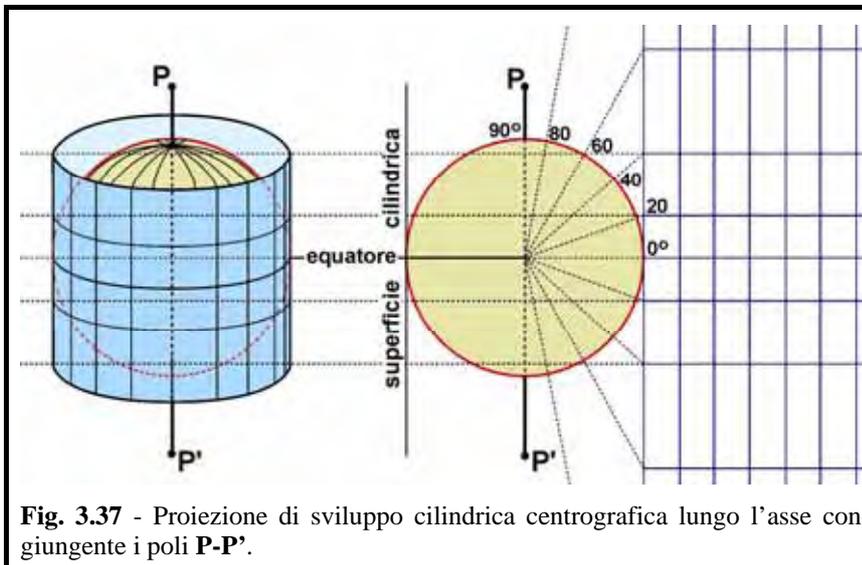


Fig. 3.37 - Proiezione di sviluppo cilindrica centrografica lungo l’asse congiungente i poli P-P’.

Se le proiezioni sono modificate secondo criteri non rigorosamente geometrici, ma con metodi in parte empirici, per ottenere il miglior compromesso fra le diverse esigenze di conformità, di equivalenza e di equidistanza, si ottengono le **proiezioni convenzionali**. Esse, per il fatto di non essere precise per nessuno dei diversi fattori di deformazione e quindi di non essere adatte per speciali applicazioni, ma essendo forse quelle più indicate per rappresentare l’intero globo terrestre sulla carta senza grandi deformazioni per nessuno di quegli stessi fattori, hanno un notevole valore divulgativo e sono molto usate negli atlanti tradizionali. Fra esse ricordiamo:

- **proiezione di Mollweide**; l’equatore e il meridiano centrale sono due segmenti che si tagliano a metà e il primo ha una lunghezza doppia del secondo (fig. 3.39/1); i paralleli sono rette parallele all’equatore come nella cilindrica ortografica, ma con distanze fra essi che diminuiscono più gradualmente delle due metà dell’equatore, che sono due semicirconferenze; allo scopo di ridurre le deformazioni, si può frazionare la proiezione in porzioni del globo comprendendo gruppi di continenti (fig. 3.39/2) ottenendo la **proiezione interrotta di Mollweide**;
- **proiezione ellittica equivalente di Eckert** in cui i poli vengono “stirati” per ridurre gli errori angolari che caratterizzano la proiezione di Mollweide, soprattutto alle elevate latitudini, migliorando anche i rapporti di equivalenza (fig. 3.39/3);
- **proiezione sinusoidale di Eckert** in cui i meridiani sono curve sinusoidali migliorando i rapporti di equivalenza rispetto alla precedente proiezione; ma aumentano gli errori angolari sui bordi, dove il contorno dei continenti è molto deformato (fig. 3.39/4).

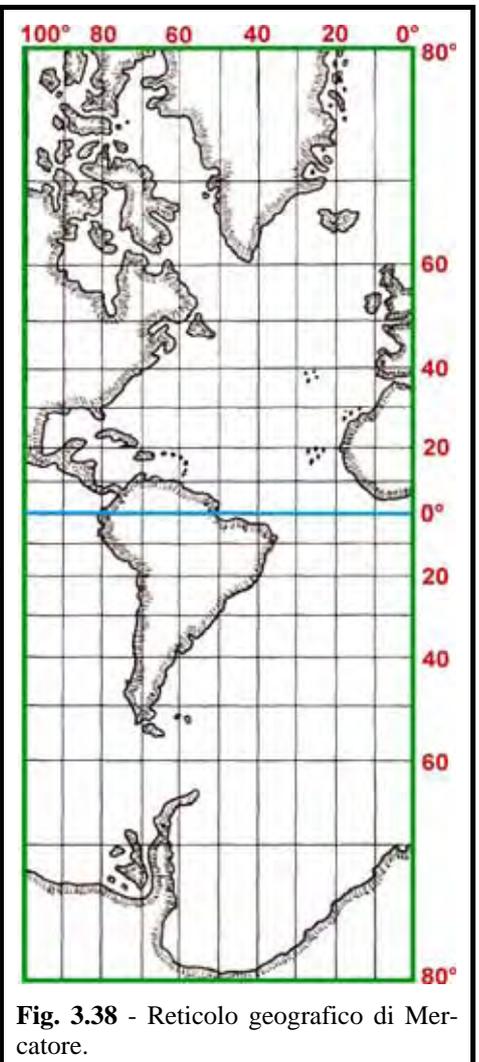


Fig. 3.38 - Reticolo geografico di Mercatore.

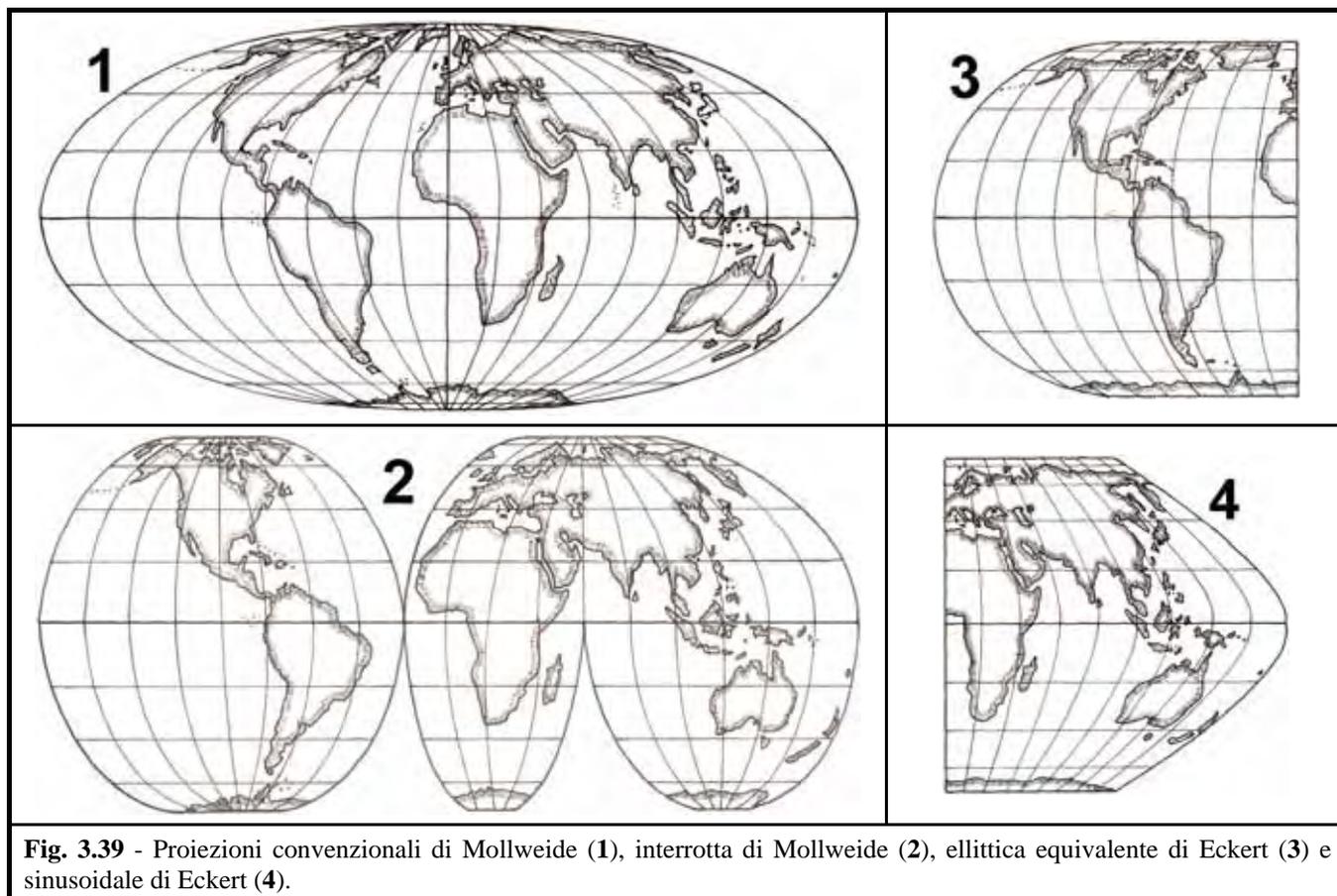


Fig. 3.39 - Proiezioni convenzionali di Mollweide (1), interrotta di Mollweide (2), ellittica equivalente di Eckert (3) e sinusoidale di Eckert (4).

SCHEDA 3.4 - Esempi di applicazioni in cartografia

CURVA IPSOGRAFICA. Facendo riferimento alla carta topografica in scala 1:25.000 illustrata in **fig. 3.20**, è possibile ricavare informazioni sulla pendenza dei versanti lungo una data sezione (**fig. 3.21**). Dalla stessa carta si possono ottenere altri dati utili per una migliore conoscenza del territorio rappresentato. Con un planimetro (strumento per la misura delle superfici) o con la tecnica della sovrapposizione di un foglio trasparente di carta millimetrata, si misura l'area compresa tra l'altitudine massima e una determinata curva di livello (in **fig. 3.20** tra 2.556 m s.l.m. e l'isoipsa 2.400 m). Questa superficie è valutata sulla carta in cm^2 , misura rapportata in quella reale in km^2 o in ettari [ha] secondo il quadrato del rapporto in scala (trattandosi di superfici). Questa operazione non comporta errori significativi in quanto le carte topografiche sono a piccola e media scala, equivalenti con un buon grado di precisione. La misura successiva viene eseguita sull'area compresa fra l'altitudine massima e una curva di livello di altitudine inferiore. Oppure viene misurata l'area fra la prima isoipsa e la seconda (fra le curve 2.400 e 2.300 m), ottenendo così la superficie di una **fascia altimetrica** o **ipsografica**; in questo caso il valore ottenuto viene cumulato al precedente per ottenere lo stesso che si sarebbe ottenuto misurando tutta la superficie compresa tra la vetta e la seconda isoipsa. Viene poi misurata l'area tra la vetta e una terza curva di livello (2.200 m), oppure l'area della fascia 2.300 - 2.200 m che viene cumulata al precedente valore. Si eseguono diverse misure che si riferiscono a superfici sempre più ampie verso valle, fino al valore finale che rappresenta l'area totale. I valori ottenuti si rappresentano su un diagramma dove, sulle ordinate, sono riportate le altitudini, mentre in ascissa, le aree crescenti verso valle (**fig. 3.40**).

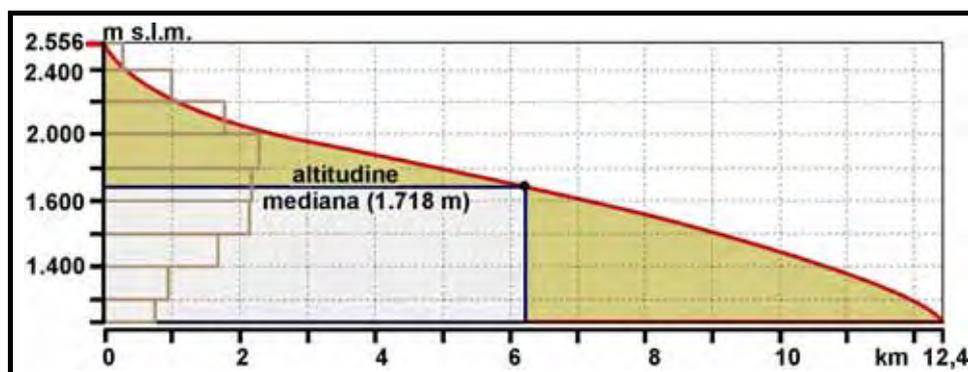


Fig. 3.40 - Curva ipsografica del territorio riportato in **fig. 3.20**. Le singole fasce altimetriche sono riportate come istogrammi di lunghezza proporzionale alle superfici; la loro somma è la superficie totale di $\sim 12,4 \text{ km}^2$, leggibile in corrispondenza del termine della curva a destra del diagramma.

Si individuano quindi diversi punti; la posizione di ciascuno è determinata dalle coordinate che sono la superficie cumulata tra la vetta e la curva di livello per l'ascissa e la quota di quella isoipsa per l'ordinata. Unendo i punti si ottiene la **curva**

ipsografica (o **ipsometrica**) che illustra la relazione tra estensione del territorio e altitudine. Da tale diagramma è possibile ricavare graficamente l'*altitudine mediana*, definibile come quella quota al di sopra e al di sotto della quale sono le due metà areali del territorio. Nella **fig. 3.41** è riportata la curva ipsografica del Mondo.

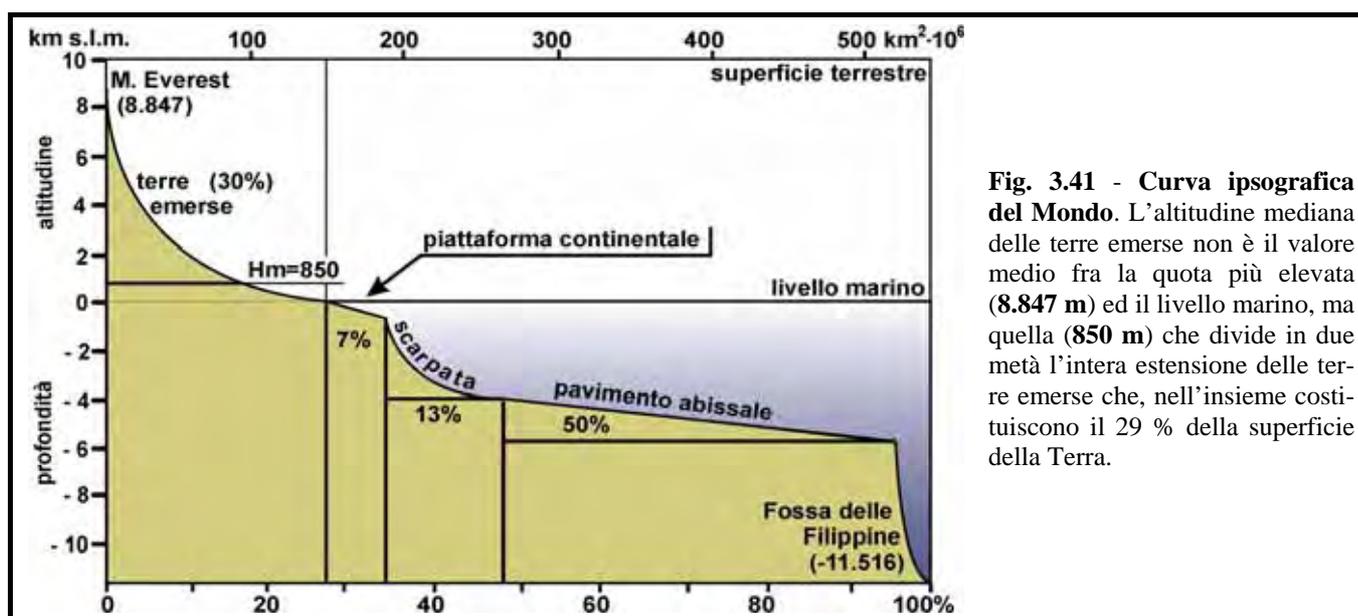


Fig. 3.41 - Curva ipsografica del Mondo. L'altitudine mediana delle terre emerse non è il valore medio fra la quota più elevata (8.847 m) ed il livello marino, ma quella (850 m) che divide in due metà l'intera estensione delle terre emerse che, nell'insieme costituiscono il 29 % della superficie della Terra.

L'analisi della distribuzione delle fasce altimetriche è utile per interpretare i fenomeni idrologici. Le porzioni di bacino ad elevata altitudine, soprattutto nelle Alpi, sono caratterizzate dall'accumulo di neve nella stagione invernale; pertanto i deflussi sono influenzati dalla fusione dei ghiacci e delle nevi nella tarda primavera e all'inizio dell'estate. Se la curva ipsografica evidenzia una prevalenza delle fasce altimetriche di bassa altitudine, il bacino alimenta il reticolo idrografico e le riserve sotterranee con contributi che derivano quasi esclusivamente dalle piogge.

CURVA DI FONDO DI UN FIUME. In **fig. 3.20**, presso la vetta situata a NW (in alto a destra) di altitudine pari a 2.556 m, si trovano le sorgenti dei due corsi d'acqua che confluiscono poco a monte della sezione terminale situata a quota 951 m. I corsi d'acqua sono indicati con tratti che tagliano le curve di livello secondo linee di massima pendenza. Il torrente più lungo che nasce a NW di quella vetta ha le sorgenti poco sopra la curva di livello 2.400 m. Fra le isoipse principali, con equidistanza $e = 200$ m, ve ne sono altre secondarie con equidistanza $e = 50$ m. Le sorgenti si trovano ad una altitudine leggermente inferiore alla curva 2.450 m. Le origini di quel corso d'acqua quindi si trovano a ~ 2.240 m s.l.m.; il torrente compie un percorso che lo porta a 951 m s.l.m. (limite inferiore della carta) con un dislivello pari a $2.240 - 951 = 1.289$ m. Con un compasso di precisione ad apertura fissa ($3 \div 5$ mm) si contano i passi necessari dalle origini alla sezione terminale; moltiplicando il numero di passi per il valore di apertura del compasso, si ottiene la lunghezza totale del corso d'acqua espressa in millimetri sulla carta. Utilizzando il rapporto di scala, si ottiene la lunghezza reale che, nel nostro caso, vale $\sim 5,8$ km. Quindi l'acqua del torrente scende a valle con una pendenza che si può grossolanamente stimare come il rapporto dislivello/lunghezza ($1.289 \text{ m} : 5,8 \text{ km} = 222,2 \text{ m/km}$, un dislivello di poco più di 220 m per kilometro di percorso. Il profilo longitudinale del corso d'acqua è paragonabile ad un triangolo rettangolo la cui ipotenusa rappresenta la lunghezza reale dell'asta fluviale, l'altezza è il dislivello fra le quote massima e minima (1.289 m), mentre la base (5,8 km = 5.800 m) rappresenta la proiezione della lunghezza vera misurata sulla carta. Il rapporto fra i cateti $1.289 : 5.800 = 0,22$ è la pendenza dell'ipotenusa; moltiplicando tale valore per 100, si ottiene la pendenza % (22 %). Una pendenza pari al 100 % corrisponde ad un angolo di 45° (in quanto i due cateti sono uguali). Ma la pendenza del torrente non è la stessa in tutto il percorso; per avere più informazioni di come essa cambia dalle origini verso valle, è necessario disegnare la **curva di fondo** del corso d'acqua.

Si misura un primo valore, sulla carta, che si riferisce alla distanza tra le sorgenti e l'intersezione del corso d'acqua con l'isoipsa 2.400 m, un secondo valore sulla distanza tra le sorgenti e l'isoipsa 2.300 m, un terzo valore fino alla curva di livello 2.200 e così via, con distanze crescenti dalle sorgenti fino alle diverse curve di livello con equidistanza $e = 100$ m (o anche $e = 50$ m, ed anche meno, se è necessaria maggiore precisione). Si ottengono diverse coppie di dati (lunghezza dell'asta fluviale e quota) che individuano, su un diagramma con altitudine [m s.l.m.] per ordinate e lunghezza del torrente [km] per le ascisse, una serie di punti. Unendo questi ultimi si ottiene la curva di fondo del corso d'acqua considerato (**fig. 3.42**). Misurando l'area compresa fra la curva di fondo e gli assi e dividendo tale valore per la base (5,8 km), si ottiene l'altezza di un rettangolo equivalente che esprime l'*altitudine mediana* del corso d'acqua; cioè la quota al di sopra e al di sotto della quale corrono le due metà della lunghezza totale del torrente. Il rapporto percentuale tra l'altezza del triangolo di area uguale e la base (proiezione della lunghezza totale del corso d'acqua espressa in metri) esprime la *pendenza media* dell'alveo (cioè un valore più attendibile rispetto a quello sopra calcolato considerando il profilo longitudinale del torrente come un semplice triangolo). L'alveo del torrente è più ripido nel tratto a monte, dato che la curva di fondo è più alta del segmento che esprime il valore medio. A valle la curva di fondo passa sotto la retta ad indicare una minor pendenza. Questo fenomeno è caratteristico della maggior parte dei corsi d'acqua, molto più ripidi ed impetuosi in alta montagna rispetto alle fasce collinari e di pianura.

La **fig. 3.42** esagera le altezze sulle ordinate rispetto alle lunghezze sulle ascisse; il profilo appare quindi più ripido rispetto alla realtà. Utilizzando ipoteticamente la stessa scala per i due assi, il profilo apparirebbe meno inclinato, con l'altezza pari a poco meno di un quinto della base. La misura delle lunghezze sulla carta topografica è in realtà una misura delle loro proiezioni; nel caso illustrato le lunghezze misurate sono quelle riportate sulle ascisse, mentre quelle vere andrebbero misurate sul profilo. Tutte le determinazioni su carte sono misure su pianta topografica, quindi sottostimate rispetto alle dimensioni reali in modo tanto maggiore quanto più accentuate sono le pendenze dei rilievi e dei corsi d'acqua. Le misure su aree sono comunque rappresentative delle superfici reali che accolgono le acque delle precipitazioni che è l'aspetto che più interessa ai fini idrologici; la maggior parte dei corsi d'acqua inoltre ha pendenze inferiori al 10 % ed anche inferiori all'1 %; pertanto l'errore è trascurabile o addirittura inferiore al grado di precisione degli strumenti utilizzati. Nel caso di alvei con forti pendenze la costruzione della curva di fondo permette di ovviare a tali inconvenienti.

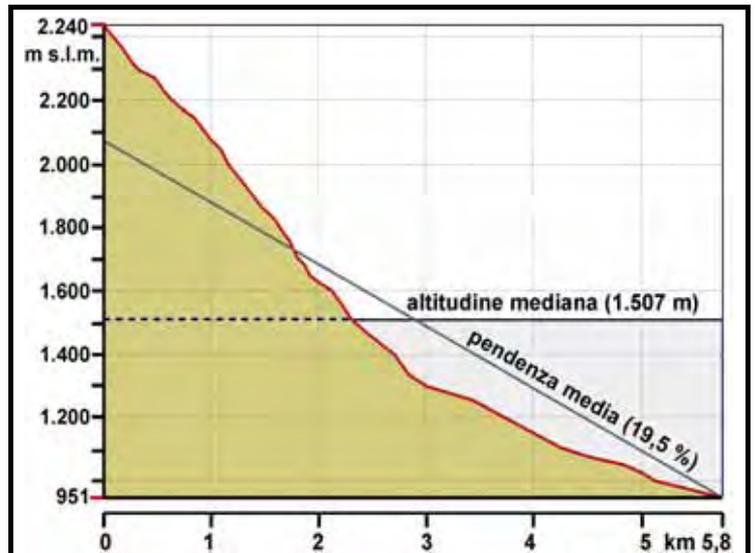


Fig. 3.42 - Curva di fondo del corso d'acqua indicato nella carta topografica di **fig. 3.20**. Lo zero delle ordinate viene fatto coincidere con la quota 951 m, corrispondente alla sezione terminale del torrente.

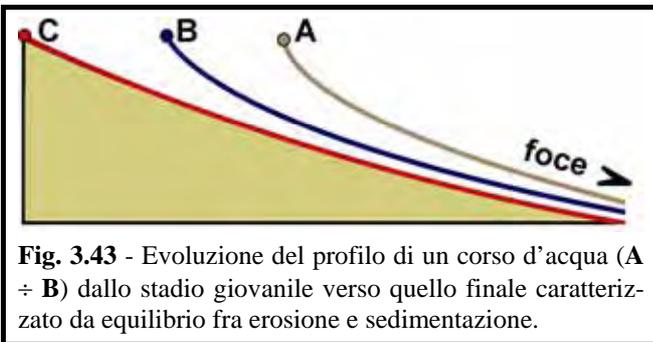


Fig. 3.43 - Evoluzione del profilo di un corso d'acqua (A ÷ B) dallo stadio giovanile verso quello finale caratterizzato da equilibrio fra erosione e sedimentazione.

La curva di fondo è un **profilo longitudinale di un corso d'acqua**, che rappresenta il variare della pendenza dalle sorgenti alla foce. Si consideri un ipotetico fiume che drena le acque di un bacino nel suo stadio giovanile; il profilo longitudinale ha l'aspetto della curva A della **fig. 3.43**. Con il tempo l'erosione favorisce l'arretramento delle sorgenti e la diminuzione della pendenza (curva B), finché si arriva ad una situazione in cui l'inclinazione è quasi uniforme (curva C). Con lo stadio di vecchiaia il grafico tende a diventare un triangolo dove il cateto base (**livello base** del profilo, corrispondente alla quota della foce) è la lunghezza totale in pianta del fiume, l'altezza è il dislivello fra le sorgenti e la foce,

mentre l'ipotenusa è un tratto a pendenza costante, con equilibrio fra erosione e sedimentazione in tutta la sua lunghezza.

INDICE DI FORMA. Importante è anche la forma di un determinato territorio; tanto più essa è simile a quella circolare, tanto più breve è il tempo di concentrazione delle acque di ruscellamento. In un bacino allungato gli afflussi derivati da un rovescio temporalesco sono più diluiti nel tempo. La forma del bacino può essere espressa dall'**indice di sinuosità (I)**, che indica il rapporto tra il perimetro **L** [km] del bacino e quello di una circonferenza racchiudente un'area **A** [km²] di uguale estensione:

$$I = \frac{L}{2 \cdot \sqrt{\pi \cdot A}}$$

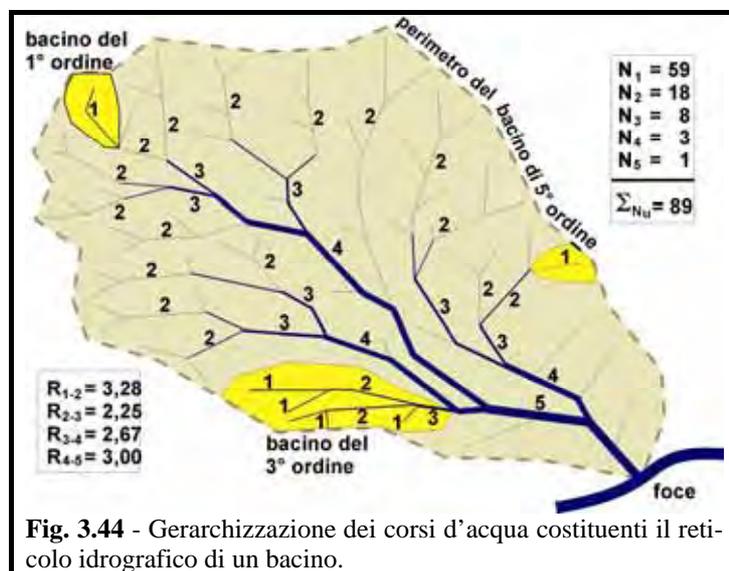


Fig. 3.44 - Gerarchizzazione dei corsi d'acqua costituenti il reticolo idrografico di un bacino.

Se il bacino avesse una forma perfettamente circolare, sarebbe **I = 1**; tanto più la forma è lontana da quella circolare, tanto più **I** è superiore ad uno.

GERARCHIZZAZIONE DEL RETICOLO IDROGRAFICO. Quando la rete idrografica ha una buona organizzazione in sistemi di corsi d'acqua che, confluendo assieme, danno origine a fiumi via via più importanti, è possibile, lavorando su una carta topografica, non solo separare con linee spartiacque i vari bacini idrografici parziali presenti in un determinato bacino, ma indicare l'ordine gerarchico dei vari segmenti fluviali con un criterio uniforme, sia pure convenzionale. Le aste che non ricevono confluenze vengono dette di primo ordine. Due corsi d'acqua di primo ordine che confluiscono danno origine ad un segmento di secondo ordine. Due di secondo danno origine ad uno di terzo ordine e così via. Attenzione! Un'asta, per esempio, di terzo ordine, se riceve il contributo di un corso d'acqua di ordine inferiore, permane, a valle del-

