CARTOGRAFIA

Oltre il libro IV

Alfonso Bosellini, Tano Cavattoni, Fabio Fantini - Corso di **Scienze del Cielo e della Terra**

Come si costruiscono le carte geografiche

La costruzione delle carte
Il rilievo topografico
L'aerofotogrammetria
Il telerilevamento
Le proiezioni geografiche
Per saperne di più *I satelliti Meteosat*
Le proiezioni vere
Le proiezioni modificate
Le rappresentazioni convenzionali

A cura di:
Marcella Di Stefano
Simona Pederzoli

Italo Bovolenta editore

Copyright © 2009 Italo Bovolenta editore s.r.l. Ferrara

Questo documento è strettamente riservato ai docenti che adottano l'opera Corso di Scienze del Cielo e della Terra di Alfonso Bosellini, Tano Cavattoni, Fabio Fantini.

Il corso si compone di:
ISBN 978.88.08.04857.8 Volume A - Il cielo sopra di noi (di Tano Cavattoni) (pag. 232)
ISBN 978.88.08.06707.4 Volume B - La Terra dinamica e Storia geologica dell'Italia (di Alfonso Bosellini) (pag. 344)
ISBN 978.88.08.14856.8 Volume C - La dinamica esterna della Terra. Capire il paesaggio (di Alfonso Bosellini e Fabio Fantini) (pag. 208)
ISBN 978.88.08.12662.7 Volume A+B - Il cielo sopra di noi e La Terra dinamica (di Alfonso Bosellini, Tano Cavattoni) (pag. 564)
ISBN 978.88.08.10199.0 Volume A+B+C - Il cielo sopra di noi e La Terra dinamica e La dinamica esterna della Terra. Capire i paesaggio (di Alfonso Bosellini, Tano Cavattoni, Fabio Fantini) (pag. 696)

Realizzazione editoriale:

- Coordinamento redazionale: Andrea Pizzirani
- Progetto grafico: Chialab, Bologna
- Impaginazione: Pragma Media, Ferrara
- Disegni e ricerca iconografica: Andrea Pizzirani

Contributi:

- Redazione dei testi e stesura degli esercizi: Marcella Di Stefano, Simona Pederzoli
- Revisioni: Fabio Fantini, Stefano Piazzini

Copertina:

- Progetto grafico: Chialab, Bologna
- Realizzazione: Christian Magagni

La riproduzione, la copia e la diffusione dell'intero documento, o di sue parti, è autorizzata ai soli fini dell'utilizzo nell'attività didattica degli studenti delle classi che hanno adottato il testo.

Per segnalazioni o suggerimenti scrivere all'indirizzo:

Italo Bovolenta editore
Via Della Ginestra, 227/1
44020 Ferrara
tel. 0532/259386 - fax 0532/259387
e-mail bovolenta@iol.it
sito web: www.bovolentaeditore.it

IV

Come si costruiscono le carte geografiche

IV.1 La costruzione delle carte

La costruzione di una carta geografica si articola in più passaggi (che non elenchiamo in ordine temporale):

- rilievo, cioè acquisizione dei dati territoriali mediante esplorazione diretta del terreno (topografia) e/o mediante immagini del territorio (aerofotogrammetria, telerilevamento);
- adozione di un sistema di riferimento geodetico, cioè dell'ellissoide di riferimento e del suo orientamento rispetto al geoide;
- scelta della rappresentazione cartografica, cioè delle metodiche di tipo geometrico (proiezioni) e/o di tipo matematico (rappresentazioni) che consentono di trasferire la superficie terrestre su un piano bidimensionale;
- produzione dell'elaborato cartografico finale nel formato desiderato (cartaceo, digitale).

Tutte le scelte operate durante la costruzione di un elaborato cartografico dipendono dalle sue finalità, dall'estensione dell'area che si vuole rappresentare, dalle proprietà (equidistanza, equivalenza, conformità) che si vogliono conservare sull'elaborato cartografico.

I passaggi suddetti riguardano la costruzione di una carta rilevata (ad esempio un carta topografica 1:25 000), mentre le carte derivate vengono ricavate dalla rielaborazione di una o più carte (a loro volta rilevate o derivate) a scala maggiore.

IV.2 Il rilievo topografico

Una disciplina fondamentale collegata alla cartografia è la topografia. La **topografia**, avvalendosi di altre scienze, come la geometria, la statistica, la matematica, la fisica, stabilisce un insieme di tecniche di misura, di calcolo e di disegno che consentono di definire, con buona precisione, la posizione spaziale di un notevole numero di punti sul territorio.

▶ *Il* **rilevamento topografico** *è il metodo tradizionale di misurazione e di registrazione delle coordinate planimetriche e altimetriche (quote) dei punti di un territorio, mediante il quale si arriva a riprodurre una certa parte della superficie terrestre.*

Il rilevamento topografico ai fini cartografici comprende principalmente le seguenti procedure: triangolazione, trilaterazione, levata topografica e livellazione.

La **triangolazione** consiste nel tracciare una serie di triangoli di riferimento sul territorio da rappresentare, in modo da calcolare le distanze fra punti non direttamente accessibili e determinare le coordinate planimetriche di tali punti. Il metodo della triangolazione si basa sulle proprietà trigonometriche dei triangoli: in un qualsiasi triangolo, conoscendo la lunghezza di un lato e l'ampiezza degli angoli ad esso adiacenti, si possono determinare le lunghezze degli altri due lati, così come, conoscendo due lati e l'angolo tra essi compreso, si può calcolare l'altro lato.

Descriviamo ora più in dettaglio il metodo della triangolazione (figura IV.1). Si scelgono sul territorio due punti A e B, situati in un'area pianeggiante e distanti fra loro qualche km (fra 3 e 10 km). Di tali punti si determinano le coordinate assolute, le quote e si misura direttamente, con estrema precisione, la loro distanza AB, che viene denominata **base geodetica**. Si individuano sul territorio due punti C e D, visibili sia da A che da B e opposti alla base geodetica, costruendo così i triangoli ABC e ABD e si determinano con strumenti opportuni (ad esempio un teodolite) gli angoli α, β, γ, δ. In questo modo, dalla misura degli angoli e da calcoli trigonometrici, si ricava la nuova distanza CD. Questa nuova distanza sarà utilizzata come base per la costruzione di due nuovi triangoli ECD e CDF, utilizzando due nuovi punti di riferimento E e F, opposti alla base CD. A partire dai due nuovi triangoli, mediante la misura di angoli e calcoli trigonometrici, si calcola la distanza EF.

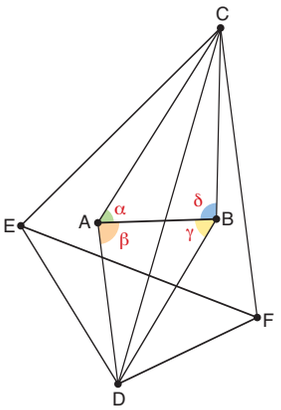


FIGURA IV.1 *Metodo della triangolazione topografica.*
- Vengono scelti sul territorio due punti A e B.
- Si determinano le coordinate assolute e le quote di A e di B e si misura la loro distanza AB, detta base geodetica.
- Si individuano due punti C e D, visibili sia da A che da B ed opposti alla base geodetica, costruendo i triangoli ABC e ABD.
- Dal vertice A misuro l'angolo α, relativo al triangolo ABC, e l'angolo β, relativo al triangolo ABD.
- Dal vertice B misuro l'angolo γ, relativo al triangolo ABD, e l'angolo δ, relativo al triangolo ABC.
- Conoscendo gli angoli α e δ si calcolano i lati AC e BC del triangolo ABC.
- Conoscendo gli angoli β e γ, si calcolano i lati AD e BD del triangolo ABD.
- Nel triangolo ACD, conoscendo l'angolo $C\hat{A}D$ ($\alpha+\beta$) e i lati AC e AD si ottiene CD. Si può ricavare CD applicando lo stesso procedimento al triangolo CBD.
- Scegliendo due nuovi punti E e F, opposti alla base CD, si ripete tutto il procedimento visto sopra per i nuovi triangoli ECD e CDF e si determina la distanza EF.

FIGURA IV.2 *Rete geodetica di I ordine*. Partendo dalle otto basi geodetiche (indicate con i cerchi colorati), mediante triangolazioni, sono stati costruiti i triangoli della rete geodetica del I ordine che copre l'intero territorio italiano.

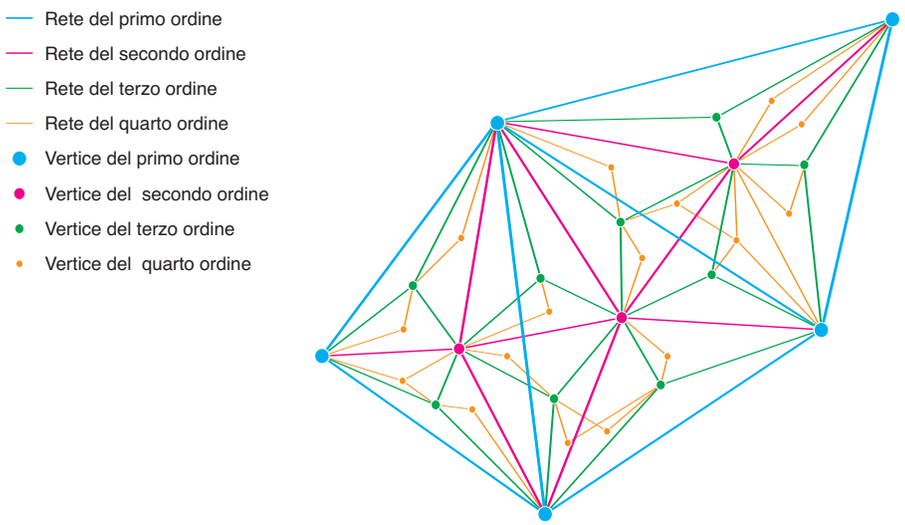


FIGURA IV.3 *Principio di costruzione delle triangolazioni di ordine successivo al primo.*

Ripentendo il procedimento più volte si arriva a calcolare distanze piuttosto ampie (in media fra 30 e 50 km e per le isole anche 200 km) e tali distanze diventano i lati di una rete di triangoli definita **rete geodetica di I ordine** (figura IV.2) che copre tutto il territorio nazionale.

I punti che congiungono i lati della rete trigonometrica sono chiamati **vertici** o **punti trigonometrici**. Generalmente tali vertici sono situati in siti panoramici, come cime di monti o campanili, ben visibili dagli altri punti con cui devono concorrere alla formazione dei triangoli.

Le basi geodetiche devono essere misurate con altissima precisione (errore inferiore al centimetro), poiché gli errori sulla loro misura si amplificano nel calcolo dei lati dei triangoli della rete geodetica.

All'interno della rete di I ordine, vengono costruite, mediante triangolazioni, reti di triangoli sempre più piccoli, ottenendo reti di II, III e IV ordine (figura IV.3). La rete geodetica costituisce il reticolo di fondo per la costruzione delle carte e attualmente essa consta di 20.000 vertici trigonometrici uniformemente distribuiti sul territorio nazionale con una interdistanza media di circa 5 km.

L'IGM ha costruito una nuova rete geodetica di elevata precisione basata su misurazioni GPS (nel Datum WGS84) denominata Rete IGM95 che si affianca alla rete geodetica classica. La rete principale IGM95 è costituita da un vertice ogni 20 km. Attualmente l'IGM sta operando un raffittimento di tale rete.

All'interno delle reti geodetiche si effettua la cosiddetta **levata topografica**: si determinano le posizioni, le distanze e le quote del maggior numero possibile di punti, allo scopo di ottenere un rilievo di maggior dettaglio, che viene poi riportato sulla carta. La carta viene infine completata grazie a ulteriori dettagli osservati direttamente sul campo.

Le quote dei punti sul livello medio del mare sono spesso ricavate mediante apposite misure dette **livellazioni**, che consistono nella misurazione del dislivello tra 2 o più punti del terreno. I punti quotati, detti **capisaldi**, sono dislocati lungo tutto il territorio nazionale formando la **rete di livellazione** (figura IV.4).

La topografia tradizionale comporta tempi lunghi, talvolta enormi rischi ed è assai costosa, a causa delle difficoltà nelle operazioni di rilievo (figura IV.5). Un enorme progresso è stato compiuto quando alla topografia si sono associate le tecniche aerofotogrammetriche (*vedi* § IV.3) che consentono di studiare la posizione relativa e le quote di punti sul territorio mediante la analisi di immagini fotografiche.

 - Copyright © 2009 Italo Bovolenta Editore

La disponibilità di nuovi strumenti ha portato recentemente la sostituzione della triangolazione con la **trilaterazione**, basata sulla misurazione delle distanze. Mentre in passato era diffusa la triangolazione, poiché era più semplice e preciso misurare gli angoli piuttosto che le distanze, con i nuovi strumenti a raggi infrarossi, raggi laser (es. distanziometri elettro-ottici) o radar è diventata più agevole la misura delle distanze. Infatti, con la trilaterazione è possibile misurare rapidamente e con grande precisione i lati di triangoli anche molto estesi (fino a circa 300 km). Attualmente l'impiego del GPS consente di effettuare misure molto precise di coordinate assolute, quote, distanze su scala intercontinentale e risulta conveniente per i rilievi di grandi reti geodetiche.

IV.3 L'aerofotogrammetria

Gran parte delle complesse operazioni di rilievo topografico è stata sostituita dal rilevamento con fotografie aeree che permette di operare gli stessi rilievi consentiti dai metodi topografici, ma con costi notevolmente inferiori. Attualmente la produzione cartografica è realizzata quasi totalmente grazie all'aerofotogrammetria, che sfrutta le foto aeree per produrre elaborati cartografici.

► *L'***aerofotogrammetria** *è un insieme di tecniche che permettono di ricostruire, a partire da foto aeree, la forma e le dimensioni di una porzione di terreno, determinando le posizioni relative di entità territoriali e calcolando le corrispondenti coordinate assolute.*

L'aerofotogrammetria consta di due fasi principali: la *presa*, che consiste nel rilevamento fotografico da aereo e la *restituzione*, che consiste nella costruzione di un modello del territorio a partire dai fotogrammi rilevati.

Il prodotto finale della restituzione fotogrammetrica può essere un elaborato cartografico in versione digitale, cartacea o fotografica (per esempio ortofotocarte). In genere l'aerofotogrammetria viene impiegata per la costruzione di carte topografiche o in scala ancora maggiore.

La costruzione di una carta col metodo aerofotogrammetrico richiede diverse operazioni.

– Si predispone un piano di volo nel quale si scelgono il territorio da fotografare, la rotta e la quota di sorvolo che dipenderà dalla scala dell'elaborato cartografico che si vuole ottenere. In questa fase si deve tenere conto del tempo meteorologico (per esempio assenza di nubi); dell'orario (le ombre degli oggetti possono nascondere particolari); della stagione (la presenza di un fitto fogliame può nascondere alcuni dettagli).
– Vengono scattati fotogrammi in sequenze, dette *strisciate*, da una fotocamera alloggiata nella carlinga di un aereo. L'intervallo di scatto è

FIGURA IV.4 *Rete di livellazione di alta precisione*. Questa rete di livellazione è stata realizzata fra il 1950 e il 1971. Inizialmente essa era formata da circa 13.000 capisaldi collocati lungo la rete viaria nazionale. Attualmente è in corso un raffittimento che porterà ad ottenere oltre 20.000 capisaldi.

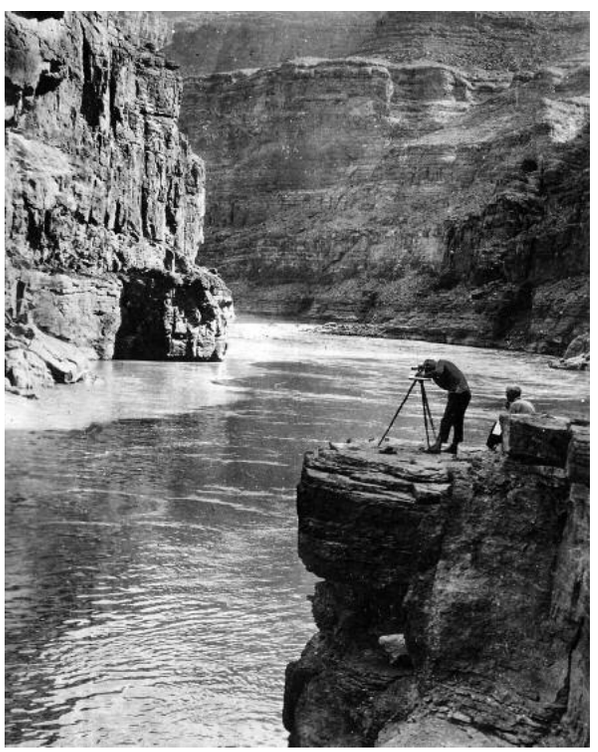


FIGURA IV.5 Le operazioni della topografia tradizionale, comportano tempi lunghi e seri rischi. Ad esempio, il trasporto delle attrezzature in quota per la determinazione di un vertice della rete geodetica in un punto panoramico può essere estremamente difficoltoso.

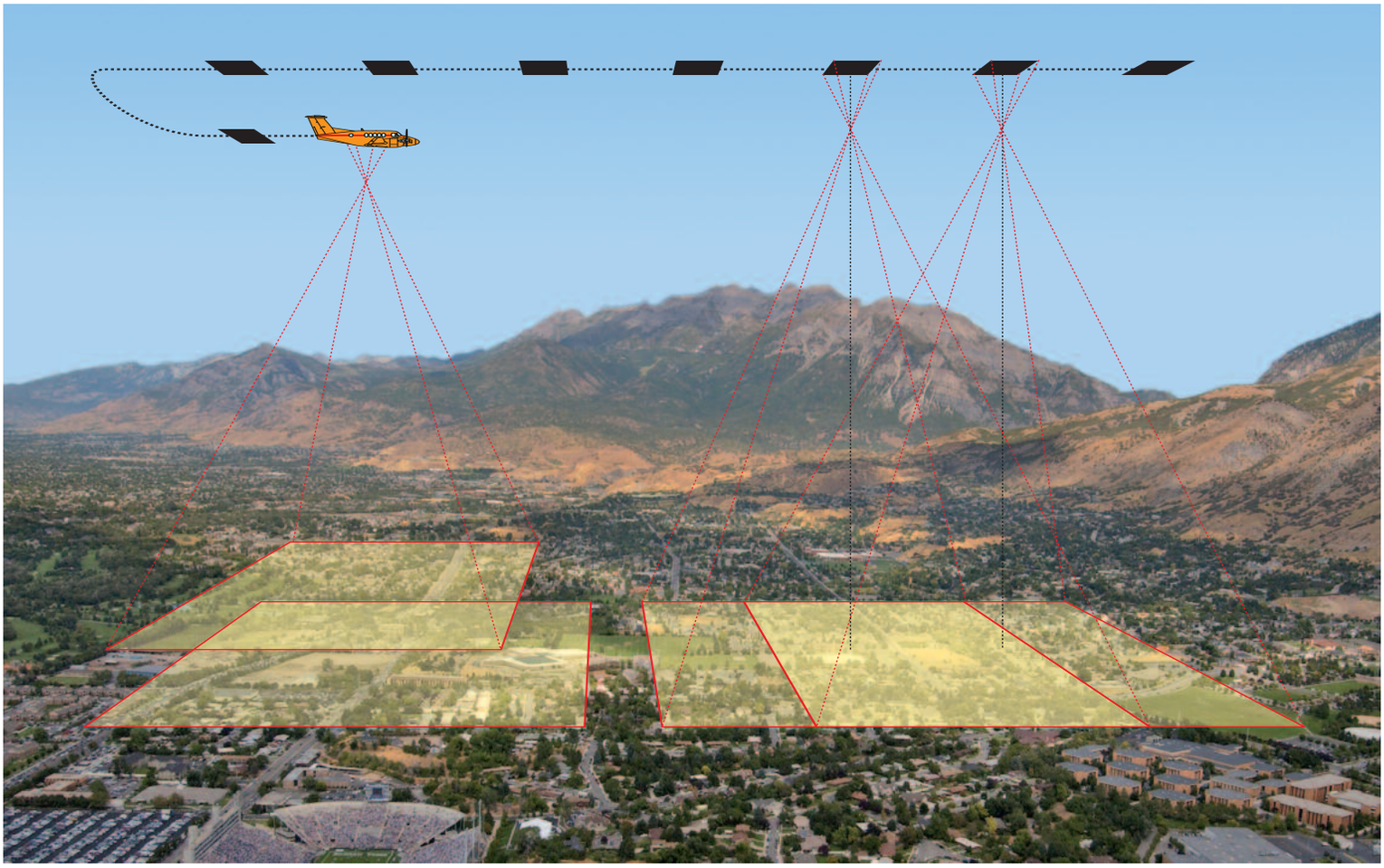


FIGURA IV.6 *Esecuzione di un rilievo aerofotogrammetrico*. Dall'aereo vengono scattati fotogrammi a intervalli regolari. Si notino la sovrapposizione del 60% fra fotogrammi consecutivi, (a destra) e la sovrapposizione del 15% fra fotogrammi di strisciate adiacenti (a sinistra).

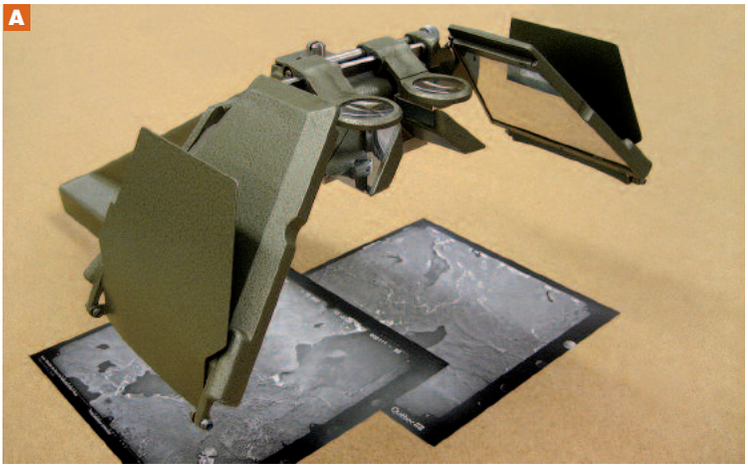


FIGURA IV.7 (A), *stereoscopio*. Lo stereoscopio è formato da un sistema di lenti e specchi, grazie ai quali è possibile ottenere una visione tridimensionale della porzione sovrapponibile di due fotogrammi consecutivi. Lo stereoscopio si utilizza per l'osservazione stereoscopica dei fotogrammi in modo da ottenere misure approssimate della posizione dei punti sul terreno.
B), *schema di funzionamento dello stereoscopio*. Si pongono i due fotogrammi contigui sotto allo stereoscopio a una determinata distanza fra loro. Tramite un gioco di specchi l'occhio destro vede solo il fotogramma destro e l'occhio sinistro solo il fotogramma sinistro. Le immagini dei due fotogrammi vengono inviate al cervello che è in grado di ricostruire un'unica immagine in tre dimensioni.

La visione stereoscopica è resa possibile dal fatto di possedere due occhi che vedono uno stesso oggetto da punti di vista leggermente diversi. Sulle retine dei due occhi vengono prodotte due immagini non identiche, ma leggermente sfalsate l'una rispetto all'altra. Il cervello combina le due immagini in modo da fornire un'unica immagine tridimensionale, conferendo il senso della profondità.

 Copyright © 2009 Italo Bovolenta Editore

predisposto in modo che ogni fotogramma si sovrapponga per circa il 60% con quello consecutivo. Ciascuna strisciata, inoltre, si deve sovrapporre per il 15% con quelle adiacenti (figura IV.6). È necessario che ogni oggetto del territorio sia ripreso da due fotogrammi al fine di determinarne le caratteristiche topografiche. Infatti uno stesso oggetto ripreso da due punti di vista differenti può essere visto in tre dimensioni (visione stereoscopica) con appositi strumenti, tra cui lo **stereoscopio** (figura IV.7). La porzione sovrapponibile dei due fotogrammi consecutivi costituisce un *modello stereoscopico*.

– Sul modello stereoscopico si fissano alcuni punti di appoggio, di cui verranno determinate le coordinate assolute (rilevate a terra ad esempio con metodi topografici, GPS, ecc.), indispensabili per l'operazione successiva.

– Si effettua la **stereorestituzione** che consiste nell'acquisizione degli elementi del terreno (naturali ed antropici) a partire dai fotogrammi e nella loro riproduzione su minute di restituzione (cartacee o digitali). Tale operazione si effettua con appositi strumenti: gli stereorestitutori. Gli stereorestitutori più moderni sono digitali, consentono di automatizzare il processo di restituzione e di acquisire le entità presenti nei fotogrammi sotto forma di dati numerici memorizzati in un computer. Le minute di restituzione ottenute sono spesso incomplete, perché può capitare che alcuni particolari che devono essere riportati sulla carta non siano distinguibili nei fotogrammi e quindi occorre che la minuta venga corretta e integrata.

– Si effettua la ricognizione diretta sul terreno per l'individuazione dei particolari che non erano visibili nei fotogrammi e si corregge la minuta di restituzione.

– Si realizza l'elaborato cartografico finale nelle forme richieste.

Mediante l'aerofotogrammetria si possono elaborare anche fotografie opportunamente modificate, utilizzabili in alcune applicazioni in sostituzione ad esempio di carte tematiche.

Le fotografie non sono impiegabili direttamente perché risultano affette da deformazioni geometriche (per esempio per via delle variazioni di quota del territorio sorvolato) e la scala non è costante all'interno dell'immagine. Bisogna perciò operare delle correzioni al fotogramma in modo da eliminare le deformazioni. Sull'immagine corretta si aggiungono i necessari simboli cartografici (per esempio curve di livello), che la rendono «leggibile» similmente a una carta, ottenendo la cosiddetta **ortofotocarta** (figura IV.8).

A differenza delle carte, nelle quali il redattore decide quali elementi inserire per rendere la carta fruibile, in un'ortofotocarta possono essere presenti informazioni disturbanti perché un fotogramma contiene elementi come ombre, chiome di alberi, ecc. che possono mascherare particolari importanti (per esempio bordi delle strade, centri abitati, ecc.) (figura IV.9).

FIGURA IV.8 L'ortofotocarta è un'immagine fotografica, opportunamente corretta, su cui vengono aggiunte indicazioni altimetriche, toponimi e altri simboli che la rendono simile a una carta topografica.

FIGURA IV.9 Foto aerea (A) e mappa (B) dello stesso quartiere a confronto. Le chiome degli alberi mascherano i dettagli sottostanti, visibili invece nella mappa.

Una metodica affine all'aerofotogrammetria è la *fotogrammetria terrestre* che utilizza riprese fotografiche da terra e ha scopi prettamente architettonici.

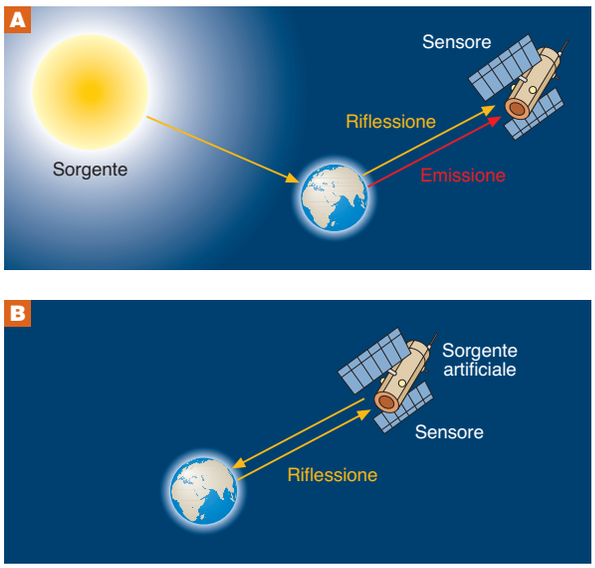


FIGURA IV.10 (A), *funzionamento di un sensore passivo*. La superficie terrestre riceve la radiazione solare, una parte della quale viene assorbita e poi riemessa e un'altra parte viene riflessa. I sensori passivi collocati su un satellite registrano le radiazioni emesse e riflesse dalla superficie terrestre. (B), *funzionamento di un sensore attivo*. Associata al sensore vi è una sorgente artificiale che emette radiazioni, le quali vengono in parte riflesse dalla superficie terrestre e poi rilevate dal sensore.

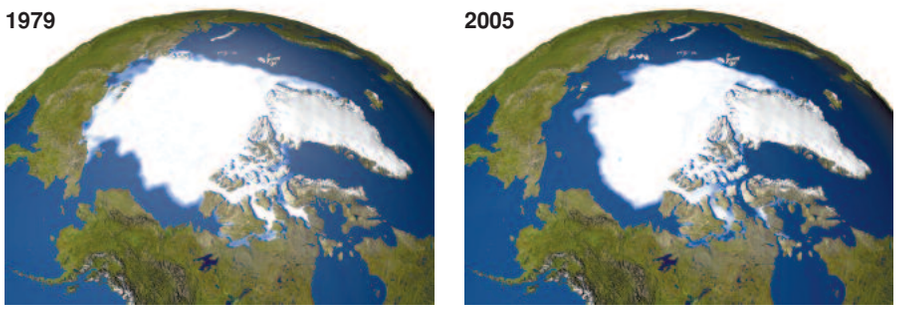
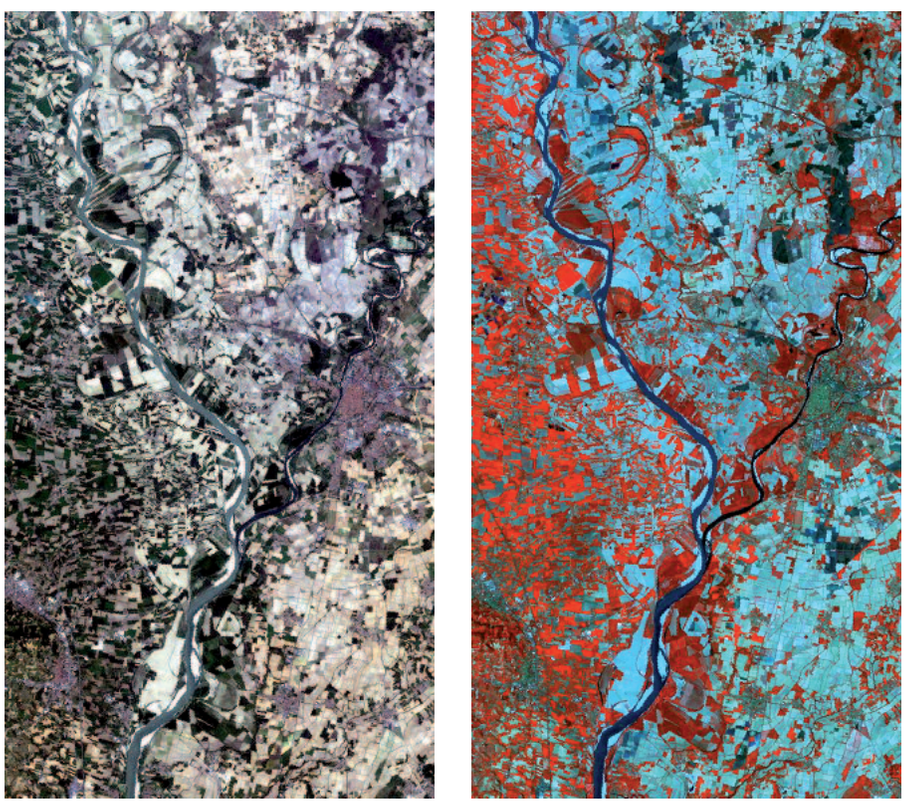


FIGURA IV.11 *Scioglimento dei ghiacciai polari*. Secondo la NASA, dal 1979 al 2003, il volume dei ghiacci polari è diminuito del 20%.



IV.4 Il telerilevamento

▶ *Il* **telerilevamento** *è un insieme di metodiche finalizzate al rilevamento a distanza del territorio, mediante la misurazione di vari tipi di radiazioni elettromagnetiche (ultraviolette, visibili, infrarosse, microonde), emesse o riflesse dai corpi, e all'interpretazione dei dati acquisiti.*

Il telerilevamento si basa sull'utilizzo di *sensori*, cioè strumenti che misurano l'energia associata alla radiazione elettromagnetica riflessa o emessa dai corpi.

I sensori possono essere terrestri oppure montati su aerei o satelliti artificiali. In tal senso la fotogrammetria (terrestre e aerea) è una tecnica di telerilevamento. Ultimamente, però, per telerilevamento si intende soprattutto quello effettuato con sensori (installati su aerei o su satelliti) diversi dalla pellicola fotografica.

Si distinguono sensori specifici a seconda della radiazione elettromagnetica a cui essi sono sensibili (per esempio sensori per rilevare raggi infrarossi). Inoltre esistono sensori passivi e attivi. Quelli passivi si limitano a rilevare le radiazioni emesse o riflesse dagli oggetti (figura IV.10 A), per esempio una pellicola fotografica registra le radiazioni riflesse da un oggetto illuminato dalla luce solare. Nel caso dei sensori attivi è invece una sorgente artificiale ad emettere le radiazioni che vengono in parte riflesse dai corpi e successivamente rilevate dal sensore (figura IV.10 B).

I nuovi sensori consentono di indagare il territorio nei suoi molteplici aspetti per produrre principalmente carte tematiche (per esempio meteorologiche) e di monitorare variabili in continua evoluzione. Ad esempio è possibile tenere sotto controllo l'entità della deforestazione di un'area, l'erosione costiera, l'arretramento di un ghiacciaio, ecc. (figura IV.11).

I moderni sensori passivi comprendono gli *scanner* che rilevano vari tipi di radiazioni elettromagnetiche e registrano in digitale le informazioni acquisite. Tra gli scanner ricordiamo quelli multispettrali che possono rilevare in modo sincronico più bande dello spettro elettromagnetico (per esempio banda dell'infrarosso vicino e del visibile), permettendo lo studio e il confronto di immagini contemporanee che evidenziano, però, particolari diversi del territorio (figura IV.12).

FIGURA IV.12 *Immagini della Pianura Padana alla confluenza tra il Ticino e il Po, nei pressi di Pavia, rilevate con sensori differenti, il secondo dei quali rileva la radiazione infrarossa*. L'immagine a sinistra è a colori reali; quella a destra a «falsi colori», con il rosso corrispondente all'infrarosso vicino. Si attribuisce un colore all'infrarosso vicino poiché è una radiazione non visibile. L'immagine «all'infrarosso» fornisce informazioni sullo stato della vegetazione in quanto quest'ultima riflette in maniera elevata la radiazione corrispondente all'infrarosso vicino che non è utilizzata nella fotosintesi.

 - Copyright © 2009 Italo Bovolenta Editore

Un altro tipo di scanner è quello all'infrarosso termico, in grado di evidenziare differenze di temperatura anche minime fra oggetti della superficie terrestre. Infatti l'energia emessa dai corpi sotto forma di radiazione dell'infrarosso termico aumenta all'aumentare della temperatura dei corpi. Le immagini rilevate all'infrarosso termico sono quindi utilizzate principalmente per studi vulcanologici, sull'inquinamento termico delle acque (figura IV. 13) e nel monitoraggio degli incendi.

Tra i sensori attivi figurano i *laser scanner* e i sistemi basati sulla tecnologia *radar*. La peculiarità di entrambi questi sistemi consiste nel poter effettuare riprese tridimensionali del territorio (figura IV.14). Le onde elettromagnetiche rilevate vengono amplificate e commutate in segnali elettronici adatti alla produzione di immagini digitali.

I laser scanner emettono fasci di luce laser che viene in parte riflessa dalla superficie terrestre e successivamente registrata da appositi ricevitori. Essi possono essere utilizzati ad esempio per studi sulla composizione dell'atmosfera e per studi batimetrici dei bassi fondali.

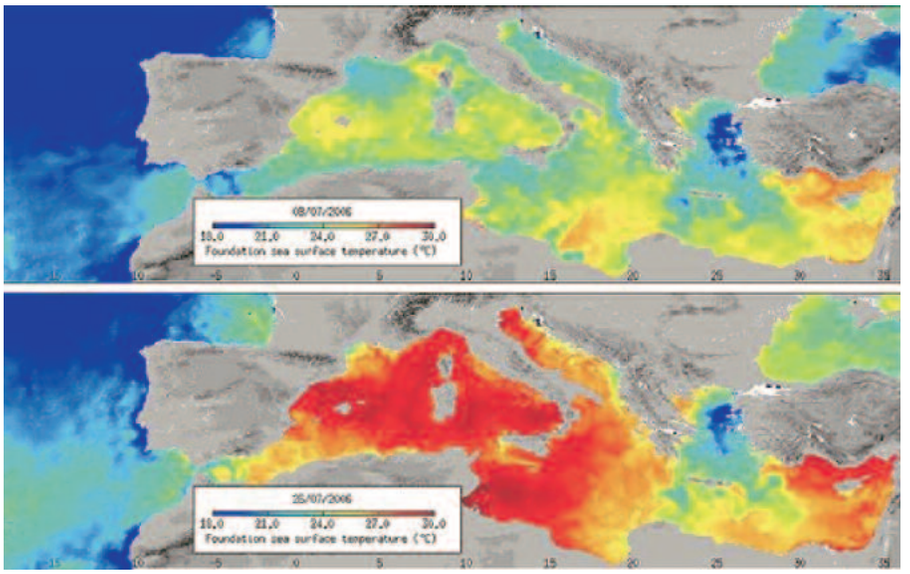


FIGURA IV.13 Immagini satellitari del Mar Mediterraneo rilevate mediante sensori all'infrarosso termico. Dal raffronto con immagini di anni precedenti risulta che il Mediterraneo ha recentemente subito un incremento della temperatura media.

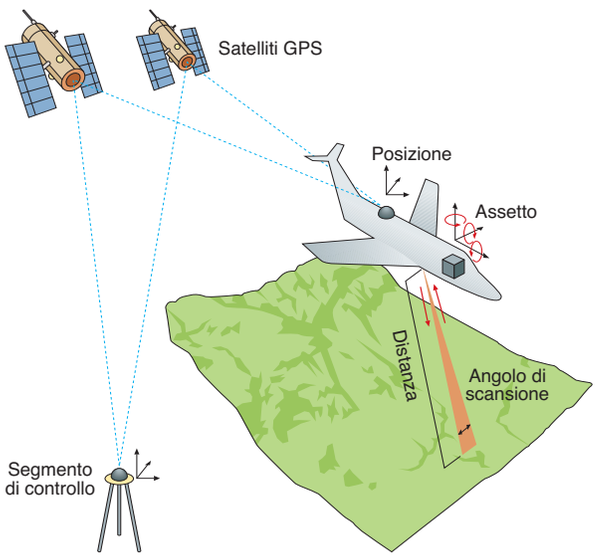
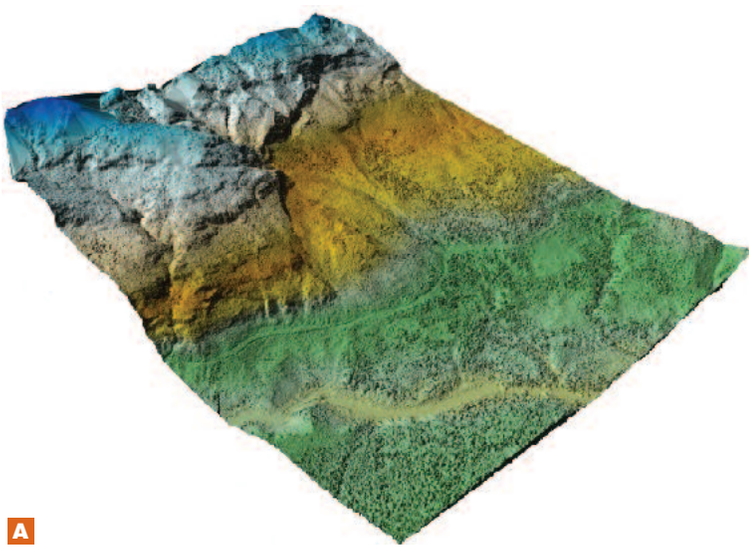
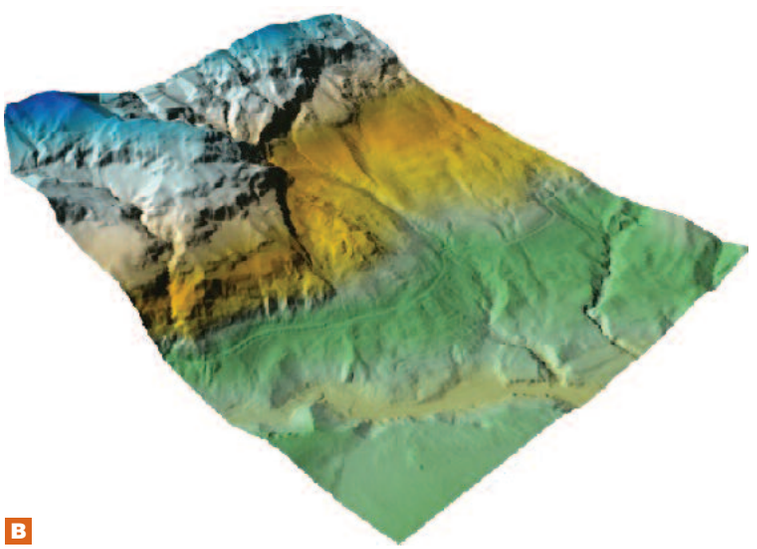


FIGURA IV.14 Il sistema per la scansione laser è montato su un aeromobile, la cui posizione è determinata mediante GPS. Il sistema si basa sulla emissione e riflessione di impulsi laser. (A), il primo ritorno della riflessione permette di creare un modello digitale della superficie (DSM). (B), il secondo eco di ritorno, in basso a destra «penetra» la vegetazione, creando un modello digitale del terreno DTM di ottimo dettaglio.
Le caratteristiche di precisione e rapidità del laser scanner elitrasportato ne fanno uno strumento indispensabile per la Protezione Civile, laddove è di primaria importanza la disponibilità di un rilievo rapido e preciso e la possibilità di monitorare aree coinvolte da eventi catastrofici senza impegnare operatori a terra. (Fonte, Protezione Civile, Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia).





Gli strumenti radar utilizzano un fascio di microonde che vengono riflesse in modo variabile dal terreno in ragione delle sue caratteristiche. Il tempo di arrivo degli echi riflessi dipende dalla distanza degli oggetti dallo strumento, quindi è influenzata dall'altimetria. Inoltre, la quantità di onde riflesse dipende dalla natura dei materiali colpiti.

A seconda degli scopi, così come si utilizzano sensori differenti, si sceglie di ricorrere al rilevamento da aereo oppure da satellite. Il telerilevamento satellitare permette di rilevare ampie aree del territorio (come continenti) in modo da ottenere cartografia a media e piccola scala (per esempio 1:200 000), mentre il telerilevamento aereo consente di rilevare superfici di estensione minore, ottenendo cartografia a grande e media scala. Il telerilevamento aereo ha il vantaggio di offrire generalmente una risoluzione migliore rispetto a quello satellitare, anche se in tempi recenti le riprese satellitari hanno raggiunto risoluzioni sempre maggiori (pari a 0,6 m per il satellite QUICKBIRD). Il telerilevamento satellitare, inoltre, consente di aggiornare i dati con una frequenza che il rilevamento aereo non può garantire e ha costi inferiori rispetto al telerilevamento aereo. Nel telerilevamento satellitare i segnali captati dai sensori satellitari vengono inviati frequentemente a centrali di raccolta poste sulla superficie terrestre, dove sono decodificati e trasformati in immagini. Analogamente ai fotogrammi, le immagini satellitari sono soggette a distorsioni e devono essere sottoposte a processi di correzione.

IV.5 Le proiezioni geografiche

Quando si rilevano le informazioni da inserire in una carta, si opera un trasferimento dei punti rilevati dalla superficie terrestre alla superficie dell'ellissoide di riferimento (cfr. § I.5), che deve essere orientato rispetto al geoide. In seguito, occorre proiettare tali punti dalla superficie ellissoidica al piano della carta. Questo problema è di facile risoluzione quando si deve rappresentare una zona di dimensioni modeste, poiché si può approssimare la porzione di ellissoide a un piano senza andare incontro a errori sensibili. Il problema diventa più complesso quando si deve rappresentare un'area estesa in un'unica carta. Infatti, in questo caso la superficie da rappresentare non è più approssimabile ad un piano. In questi casi, per trasferire una superficie ellissoidica su un piano, si usano proiezioni cartografiche.

Per saperne di più IV.1

I satelliti Meteosat

I satelliti artificiali hanno orbite pressoché circolari, in modo da poter riprendere la superficie terrestre sempre con la stessa risoluzione. Esistono due tipi di satelliti: eliosincroni e geostazionari.

Quasi tutti i satelliti che vengono utilizzati per la mappatura e la fotografia della superficie terrestre hanno orbita eliosincrona, cioè ruotano su un piano quasi perpendicolare a quello equatoriale e coprono le singole aree della superficie della Terra sempre alla stessa ora locale (ad esempio satelliti Landsat e Ikonos). I satelliti a orbita geostazionaria sono utilizzati, invece, per le telecomunicazioni o la meteorologia e si muovono sul piano equatoriale, con la medesima velocità angolare della Terra, in modo da essere visibili al suolo sempre in uno stesso punto, come per esempio i satelliti Meteosat (figura a lato).

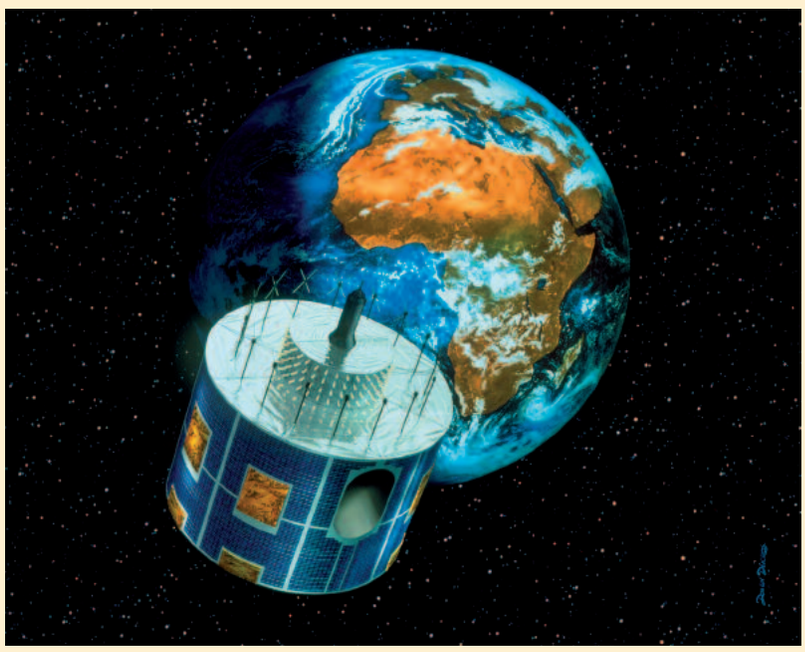


Illustrazione di un satellite meteorologico Meteosat in orbita attorno alla Terra.

Nell'illustrazione, un satellite Meteosat è rappresentato in modo da far notare la sua orbita geostazionaria sopra l'Africa e l'Europa. I Meteosat sono satelliti meteorologici dell'Ente Spaziale Europeo (ESA). Il satellite ha forma cilindrica; dietro il portello ovale grigio si trova uno scanner con tre bande di frequenza, che servono per registrare le immagini con frequenza della luce visibile, dell'infrarosso termico e del vapore acqueo.

Per ciascuna frequenza viene restituita un'immagine della Terra ogni 30 minuti. Sulla parte superiore del satellite si può notare il suo sistema di antenne. Dietro il portello ovale grigio si trova uno scanner.

 - Copyright © 2009 Italo Bovolenta Editore

▶ *Le* **proiezioni cartografiche** *sono procedimenti geometrici o matematici che consentono di trasferire il reticolato geografico su una carta per poi ottenere una rappresentazione planimetrica della superficie terrestre.*

Ai punti sull'ellissoide vengono fatti corrispondere punti sulla carta, secondo una corrispondenza biunivoca. Tali relazioni fra i punti dell'ellissoide terrestre e i punti della carta vengono calcolati mediante relazioni analitiche, dette *equazioni della carta*, la cui impostazione si basa sul tipo di proiezione cartografica adottata. In pratica, per costruire la planimetria di una carta, si imposta un sistema di due equazioni a due variabili: per un punto qualsiasi, le due equazioni forniscono l'ascissa e l'ordinata del punto sulla carta, in funzione della latitudine e della longitudine del punto stesso sull'ellissoide. In alcuni casi è possibile semplificare tali equazioni considerando la superficie di riferimento sferica, anziché ellissoidica.

Le proiezioni si distinguono in:

– **vere** (o pure), basate sui principi della geometria proiettiva;
– **modificate**, derivate dalle proiezioni vere con apposite correzioni matematiche;
– **convenzionali**, basate unicamente su relazioni matematiche, meglio definite **rappresentazioni**.

Il tipo di proiezione che si utilizza è scelto in relazione allo scopo per il quale viene elaborata la carta. Infatti, a seconda del tipo di proiezione adottata, la carta soddisfa proprietà (equidistanza, equivalenza, conformità) differenti (cfr. § III.4). Alcune carte non soddisfano nessuna delle tre proprietà, ma presentano deformazioni contenute.

IV.6 Le proiezioni vere

Nel caso delle proiezioni vere, i punti dell'ellissoide (approssimato ad una sfera per scopi didattici) vengono proiettati su una *superficie ausiliaria*, a partire da un punto di uscita dei raggi proiettivi, detto *punto di vista*.

In relazione al tipo di superficie di proiezione, le proiezioni vere possono essere di due tipi: proiezioni prospettiche e proiezioni di sviluppo. Nelle prime la superficie ausiliaria è un piano, detto piano ausiliario; nelle seconde la superficie ausiliaria è la superficie laterale di un cilindro oppure di un cono.

Nel caso delle **proiezioni prospettiche** viene proiettata parte della superficie terrestre da un determinato punto di vista sul piano ausiliario. Tale piano può essere tangente o secante al centro della zona che si vuole rappresentare.

In relazione alla posizione del punto di vista (figura IV.15), le proiezioni vengono distinte in:

– **ortografiche**, con punto di vista all'infinito;
– **centrografiche**, con punto di vista al centro della Terra;
– **scenografiche**, con punto di vista a distanza finita dalla superficie terrestre;
– **stereografiche**, con punto di vista in posizione diametralmente opposta rispetto al punto di tangenza della superficie di proiezione.

In relazione al piano ausiliario (figura IV.16) le proiezioni prospettiche possono essere:

– **polari**, con punto di tangenza in uno dei poli geografici;
– **equatoriali**, con punto di tangenza sull'equatore;
– **oblique**, con punto di tangenza in posizione intermedia fra equatore e polo.

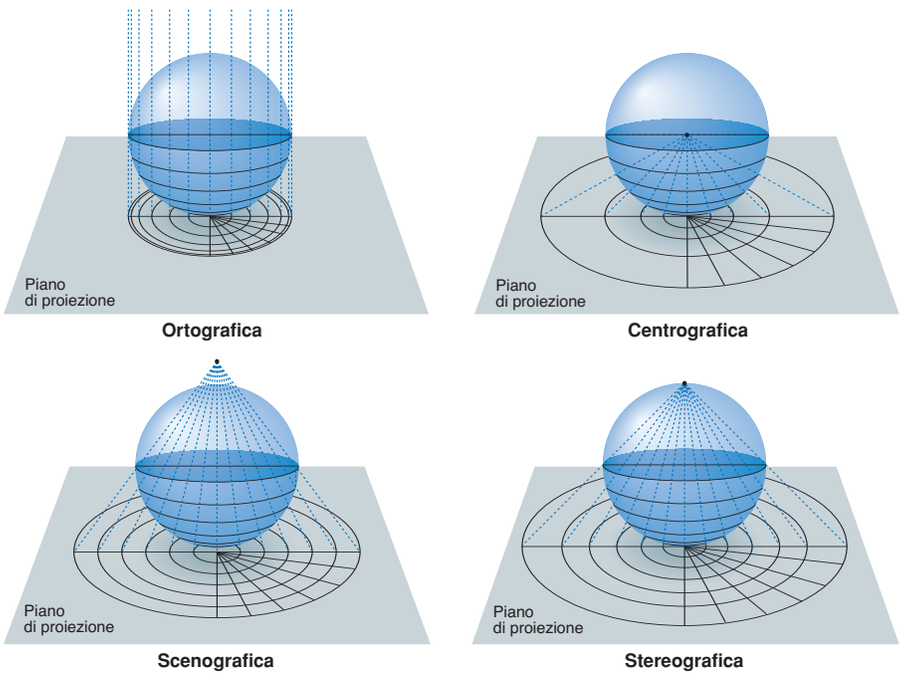


FIGURA IV.15 Tipi di proiezioni prospettiche in relazione al punto di vista dei raggi proiettivi.

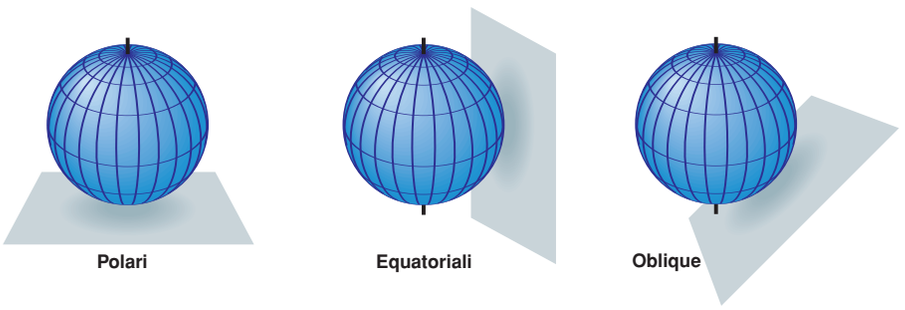


FIGURA IV.16 Tipi di proiezioni prospettiche in relazione alla posizione del piano ausiliario.

 - Copyright © 2009 Italo Bovolenta Editore

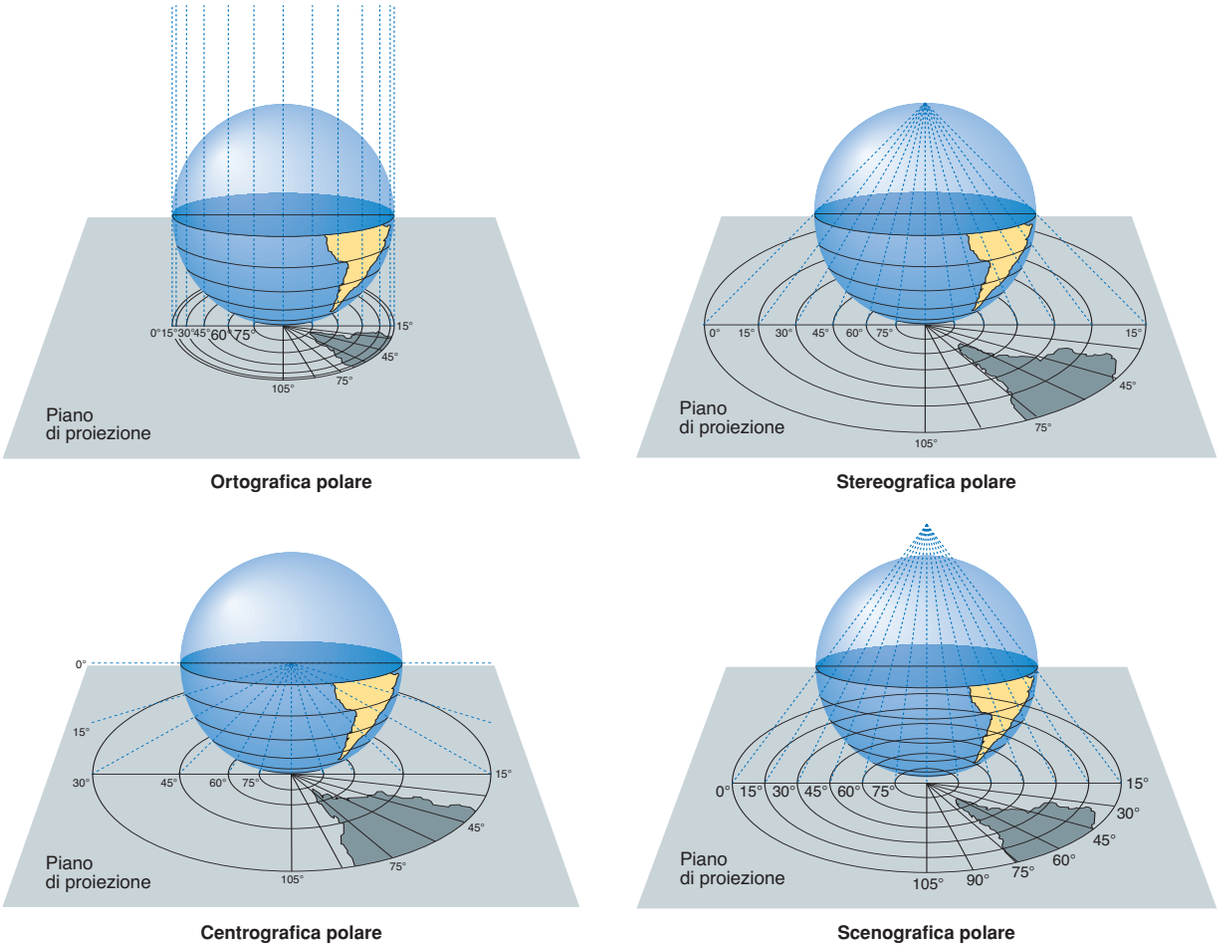


FIGURA IV.17 *Proiezioni prospettiche polari da punti di vista differenti*. (A), nella proiezione ortografica polare la distanza tra i paralleli diminuisce procedendo dal polo verso l'equatore, quindi l'equidistanza è rispettata solo lungo i paralleli e non lungo i meridiani. Le carte risultanti non sono né equivalenti né isogone. (B), Nella proiezione stereografica polare la distanza tra i paralleli aumenta procedendo dal polo verso l'equatore. Le carte che ne risultano sono rigorosamente conformi. Tali proiezioni sono state recentemente adottate, con convenzione internazionale, per la rappresentazione delle calotte polari. (C), nella proiezione centrografica polare la distanza tra i paralleli aumenta procedendo dal polo verso l'equatore. Si ottengono carte né equivalenti né conformi. (D), nella proiezione di tipo scenografico la distanza tra i paralleli può aumentare, diminuire o rimanere costante procedendo dal polo verso l'equatore in funzione della posizione del punto di vista.

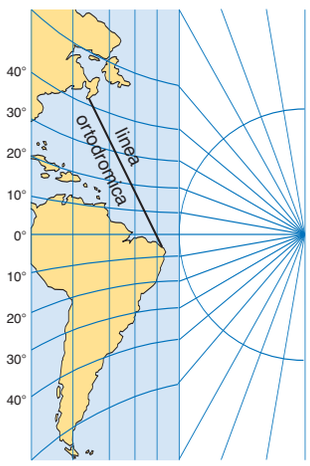


FIGURA IV.18 *Carta ottenuta con proiezione centrografica*. In questa carta una linea ortodromica è rappresentata come un segmento di retta.

A parità della posizione del piano ausiliario, variando il punto di vista, si ottengono differenti tipi di proiezioni prospettiche e, conseguentemente, le carte ottenute presentano proprietà diverse (figura IV.17).

Particolarmente importanti sono le carte ottenute dalle proiezioni centrografiche che consentono di rappresentare una **linea ortodromica**, ossia l'arco di circonferenza più breve congiungente due punti qualsiasi sulla superficie terrestre, con un segmento di retta. Tali carte rivestono una particolare importanza per la navigazione aerea (figura IV.18).

La linea ortodromica è un arco di circonferenza che appartiene a un cerchio massimo, ossia a un cerchio che ha come centro il centro della Terra. Tutti i raggi di proiezione che raggiungono i punti dell'ortodromica giacciono sul piano di tale cerchio. La linea ortodromica appartiene alla linea di intersezione di questo piano con il piano ausiliario. Dalla geometria è noto che l'intersezione di due piani è una retta, perciò la linea ortodromica è rappresentata come un segmento di retta.

Nelle **proiezioni di sviluppo** il reticolato geografico viene rappresentato applicando le leggi della geometria descrittiva. La rappresentazione planimetrica è ottenuta proiettando tutta o parte della sfera terrestre su un'altra superficie curva, cilindrica o conica, sviluppabile su un piano. Tali superfici ausiliarie, che possono essere tangenti o secanti rispetto alla sfera terrestre, hanno generalmente l'asse coincidente con l'asse terrestre (figura IV.19). Esse sono abitualmente usate per le carte corografiche.

Nelle proiezioni cilindriche la superficie ausiliaria è un cilindro tangente all'equatore oppure secante in corrispondenza di due paralleli. Un esempio di proiezione cilindrica è la **proiezione cilindrica equivalente di Lambert**. In questa proiezione si trasferiscono i punti della Terra su una superficie cilindrica tangente all'equatore. Per tutti i punti situati su ciascun parallelo è adottato come punto di vista l'intersezione del piano dello stesso parallelo con l'asse terrestre (figura IV.20 A).

Nello sviluppo piano che si ottiene, i paralleli sono rappresentati da rette parallele fra loro, la cui distanza diminuisce dall'equatore verso i poli; i meridiani sono paralleli tra loro, equidistanti ed ortogonali ai paralleli. Da ciò consegue che le maglie del reticolato geografico risultano quasi quadrate presso l'equatore, mentre assumono la forma di rettangoli sempre più schiacciati man mano che ci si avvicina ai poli. La carta ot-

 Copyright © 2009 Italo Bovolenta Editore

tenuta è equivalente ed equidistante lungo l'equatore. Infatti, solo l'equatore è rappresentato in scala poiché i paralleli, all'aumentare della latitudine, sono in proporzione più lunghi rispetto a quelli reali tanto che i poli, invece di essere due punti, sono rappresentati da due linee.

La proiezione cilindrica equivalente di Lambert, grazie alla proprietà dell'equivalenza, è utile per costruire carte tematiche dell'intera superficie terrestre oppure carte geografiche di zone prossime all'equatore.

Nelle proiezioni coniche la superficie ausiliaria è un cono retto che può essere tangente alla superficie terrestre lungo un parallelo (figura IV.20 B), oppure può essere secante (con intersezione lungo due paralleli). Dallo sviluppo della superficie si ottiene un reticolato in cui i paralleli sono archi di circonferenze concentriche mentre i meridiani sono i raggi di tali circonferenze.

IV.7 Le proiezioni modificate

Le **proiezioni modificate** derivano da proiezioni pure sottoposte a correzioni matematiche per ridurre le deformazioni della superficie rappresentata, in modo da conferire proprietà particolari alla carta. Un esempio molto importante di proiezione modificata è rappresentato dalla **Carta di Mercatore**, costruita già nel XVI secolo dal matematico e geografo fiammingo Mercatore. Si tratta di una proiezione cilindrica modificata in modo da eliminare lo schiacciamento polare (tipico delle proiezioni cilindriche tangenti all'equatore) rendendola conforme.

In questa carta i meridiani e i paralleli sono disegnati come due fasci di rette parallele, ortogonali tra loro; i meridiani sono egualmente distanziati tra loro, mentre i paralleli sono disegnati a intervalli sempre maggiori procedendo verso

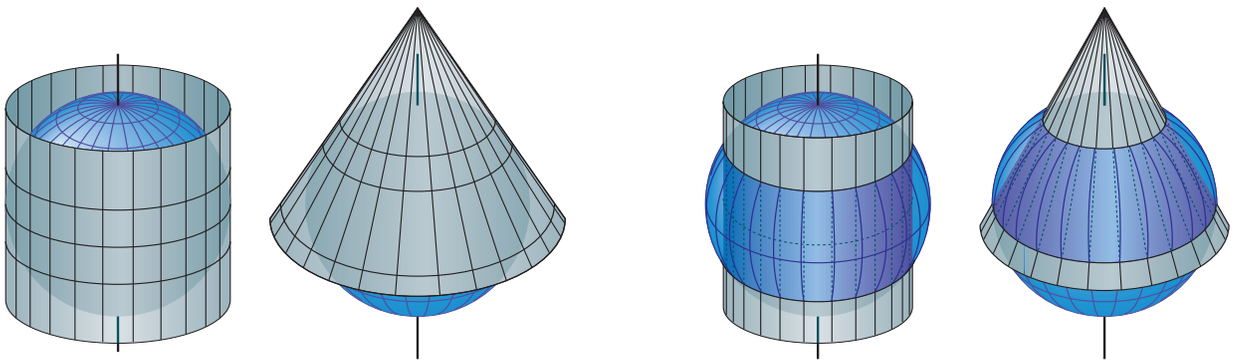
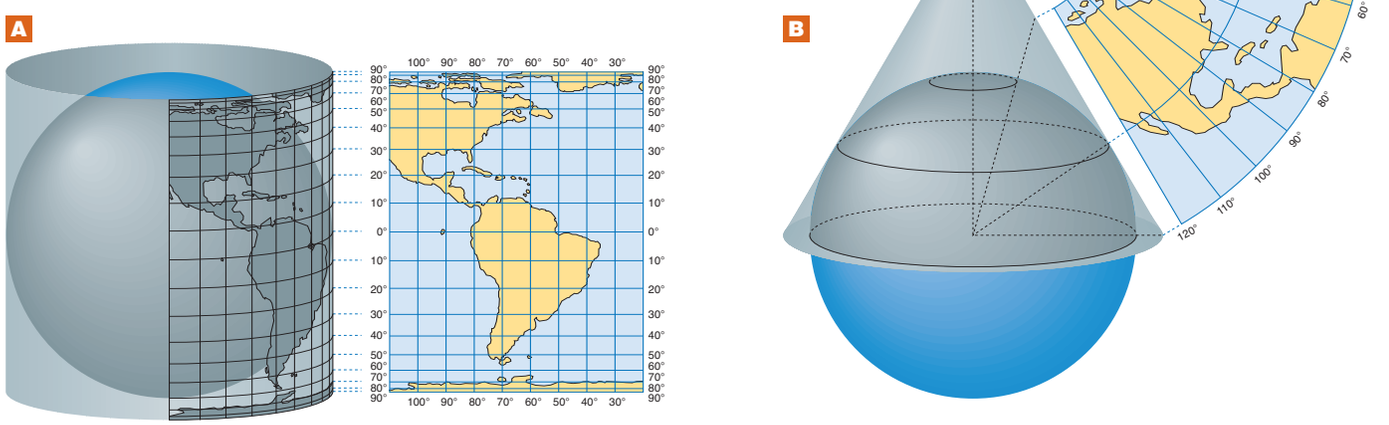


FIGURA IV.19 *Proiezioni di sviluppo cilindriche e coniche*. Negli schemi sono raffigurate proiezioni di sviluppo cilindriche e coniche con superfici ausiliarie tangenti o secanti.

FIGURA IV.20 *Esempi di proiezioni cilindriche e coniche*. (A), nella proiezione cilindrica equivalente di Lambert la superficie di sviluppo è tangente all'equatore. I meridiani sono rappresentati da segmenti tra loro paralleli. (B), nella proiezione conica raffigurata, la superficie di sviluppo è tangente ad un parallelo. In questo caso, i paralleli sono rappresentati come archi di circonferenza e i meridiani come i raggi di tale circonferenza.



 - Copyright © 2009 Italo Bovolenta Editore

i poli (figura IV.21). Nella carta di Mercatore i poli non sono rappresentabili poiché all'allungamento cui sono soggetti gli archi di parallelo (per il fatto che questi non convergono verso i poli) è fatto corrispondere un proporzionale allontanamento reciproco dei paralleli. Questa modificazione comporta notevoli deformazioni, infatti le regioni verso i poli risultano fortemente distorte e ingrandite, come avviene ad esempio per la Groenlandia che appare estremamente più estesa di quanto sia in realtà. Tali deformazioni sono però compensate da alcuni vantaggi.

▶ *La carta di Mercatore soddisfa due importanti proprietà: è rigorosamente conforme e riproduce in forma rettilinea qualsiasi linea lossodromica* (figura IV.21).

Una *linea lossodromica* è una qualsiasi linea che mantiene sempre lo stesso angolo rispetto ai meridiani.

La carta di Mercatore, grazie alle sue proprietà, risulta particolarmente adatta per la navigazione. Infatti nella navigazione non sempre si segue la linea ortodromica (che è realmente la rotta più breve), ma si preferisce mantenere, con l'aiuto di una bussola, una rotta che formi con il nord sempre lo stesso angolo, anche se essa non è la più breve. Le rotte così definite sono facili da seguire sulla carta di Mercatore, poiché esse sono rappresentate da lossodromiche rettilinee. Ancora oggi la maggior parte delle carte marittime, tra cui le carte italiane dell'Istituto Idrografico della Marina, sono costruite secondo il sistema di Mercatore.

Sulla superficie terrestre, a causa della convergenza dei meridiani verso i poli, la linea lossodromica (quando non coincide con un parallelo o con un meridiano) è costituita da una curva che si avvolge a spirale attorno al polo fino a raggiungerlo.

IV.8 Le rappresentazioni convenzionali

Alcune proiezioni si distaccano notevolmente da ogni principio geometrico e sono basate esclusivamente su relazioni matematiche, perciò sono definite **rappresentazioni convenzionali**. Esistono vari tipi di rappresentazioni convenzionali tra cui le *pseudocilindriche*, che somigliano a proiezioni di sviluppo cilindriche, le *pseudoconiche*, che somigliano a proiezioni coniche, le *poliedriche* che nascono dall'inviluppo dell'ellissoide in un poliedro, ecc.

Ricorrendo a tali rappresentazioni si possono ottenere carte che rispettano rigorosamente una delle tre proprietà delle carte: equidistanza, equivalenza o conformità.

Un'importante rappresentazione convenzionale è la **rappresentazione di Samson Flamsteed**, sviluppata già nel XVIII secolo. Essa è costruita attorno ad un meridiano, assunto come meridiano centrale. Questo meridiano è sviluppato come un segmento di retta, con una lunghezza uguale, in scala, a quella reale. I paralleli sono riportati come segmenti equidistanti, rettilinei e perpendicolari al meridiano centrale. Sui paralleli si segnano i punti in cui vengono intersecati gli altri meridiani e si possono così ricostruire anche gli altri meridiani, che risultano essere di forma sinusoidale (figura IV.22).

▶ *La rappresentazione di Samson Flamsteed è equidistante lungo il meridiano centrale e lungo i paralleli e inoltre è equivalente.*

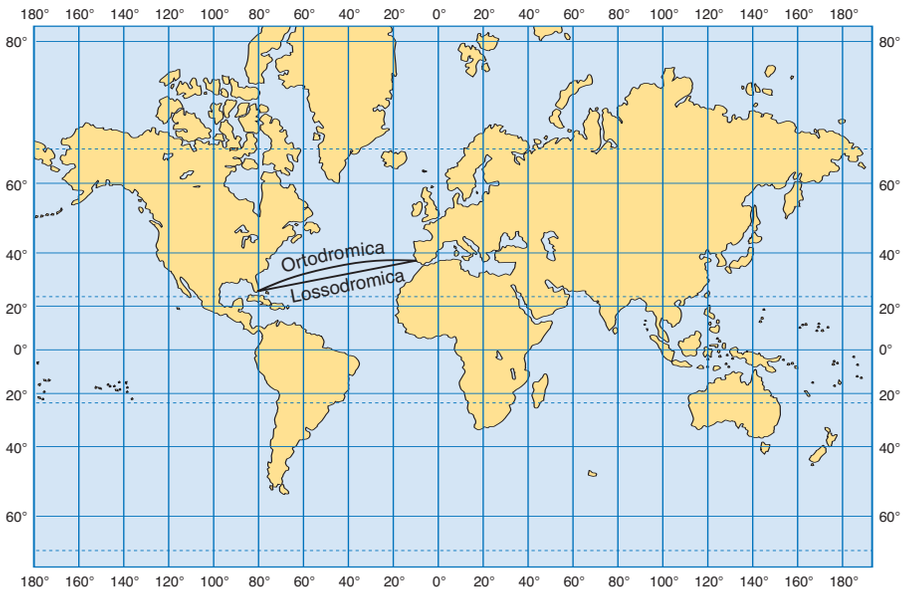


FIGURA IV.21 *Planisfero nella rappresentazione di Mercatore*. Si tratta di una proiezione cilindrica modificata che rende la carta conforme. Non sono rappresentati i poli e le zone circumpolari sono estremamente deformate e ingrandite. Nella carta sono tracciate le linee ortodromica e lossodromica (vedi spiegazione nel testo) tra Cadice e Miami. Benché la linea ortodromica appaia più lunga sulla carta rispetto alla lossodromica, è in realtà la rotta più breve tra Cadice e Miami.

Gerardo Mercatore, nome italianizzato (attraverso la forma latina Mercator) di Gerhard Kremer (1512-1594). Dopo avere fondato nella città belga di Lovanio una delle maggiori case cartografiche dell'epoca dovette rifugiarsi in Germania in seguito a un'accusa di eresia. Costruttore di perfezionati strumenti nautici, rinnovò la cartografia adeguandola alle nuove scoperte geografiche e introducendovi rigorosi metodi matematici.

Nel 1569 pubblicò il celebre mappamondo nautico in 18 fogli, dove per la prima volta fece uso della proiezione che porta il suo nome, tuttora usata nella navigazione lossodromica. Tra le sue opere maggiori è la serie di carte pubblicate postume con il titolo *Atlas*, da cui derivò il nome di tutte le raccolte di carte geografiche moderne.

 - Copyright © 2009 Italo Bovolenta Editore

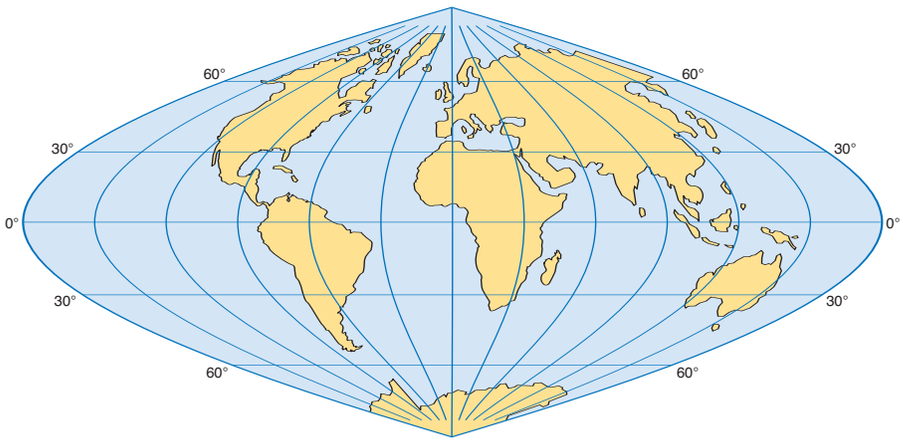


FIGURA IV.22 Planisfero nella rappresentazione di Samson Flamsteed, rappresentazione convenzionale equidistante lungo il meridiano centrale e lungo i paralleli ed equivalente. La rappresentazione di Samson Flamsteed è usata sia per costruire planisferi sia per riprodurre porzioni limitate della superficie terrestre.

Grazie a tale rappresentazione si riproduce senza forti deformazioni angolari soltanto la zona prossima al meridiano centrale, perciò essa è utile soprattutto per rappresentare zone di limitata estensione. Per tale motivo si utilizza la rappresentazione di Samson Flamsteed suddividendo la superficie terrestre in numerose zone e immaginando di avviluppare la Terra con un poliedro dotato di facce trapezoidali, ciascuna delle quali tangente a una delle zone in cui è stata suddivisa la Terra. Si parla perciò di rappresentazione poliedrica, infatti a ogni zona corrisponde una faccia del poliedro, tangente in corrispondenza del meridiano centrale della zona.

Un'altra rappresentazione convenzionale è quella utilizzata per produrre la **carta di Gauss**, definita anche «cilindrica inversa» (figura IV.23). Si tratta di una rappresentazione pseudocilindrica, infatti la rappresentazione ottenuta somiglia a quella che si otterrebbe proiettando i punti della Terra su una superficie cilindrica tangente lungo un meridiano, anziché lungo l'equatore, come nel caso delle proiezioni cilindriche fin qui viste. Il meridiano di tangenza e l'equatore risultano tra loro ortogonali, mentre gli altri paralleli e meridiani hanno andamento curvo e formano tra loro degli angoli retti, come avviene nella realtà (figura IV.24).

▶ *La carta di Gauss è conforme e mantiene l'equidistanza solo lungo il meridiano di tangenza.*

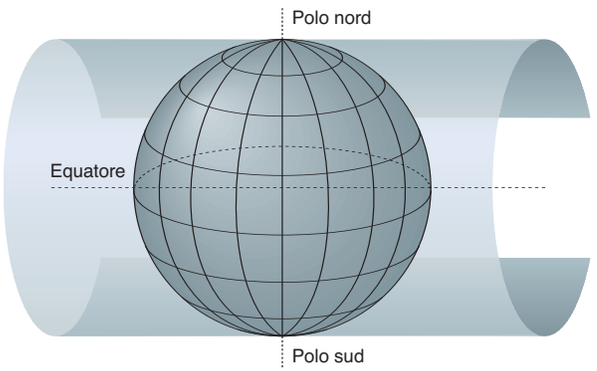


FIGURA IV.23 *Rappresentazione di Gauss*. La rappresentazione che si ottiene è analoga a quella che deriverebbe dalla proiezione della superficie terrestre su un cilindro tangente a un meridiano anziché all'equatore. Tale rappresentazione viene definita cilindrica «inversa» per distinguerla da quella in cui il cilindro è tangente all'equatore, denominata invece cilindrica «diretta».

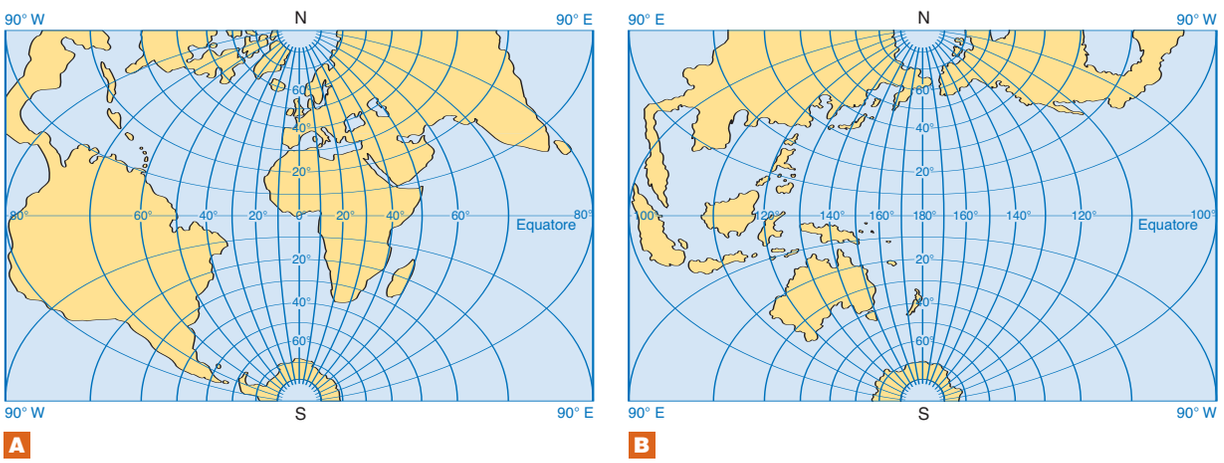


FIGURA IV.24 *La superficie terrestre nella rappresentazione conforme di Gauss*. Si tratta di una carta in cui l'equidistanza è conservata solo lungo il meridiano centrale. (A), come asse delle ordinate è stato assunto il meridiano di Greenwich. (B), come asse delle ordinate è stato assunto l'antimeridiano di Greenwich.

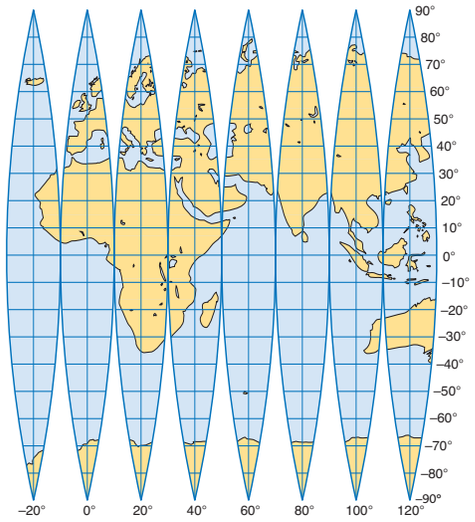


FIGURA IV.25 Esempio di suddivisione in fusi nella carta di Gauss.

Nella carta di Gauss si hanno deformazioni notevoli per le aree più lontane dal meridiano di tangenza. Per ridurre le fortissime deformazioni ai bordi della carta occorre che la zona rappresentata non superi l'estensione di 6° in longitudine. Quindi la Terra viene suddivisa in «fusi» dell'ampiezza di 6°, ognuno dei quali è proiettato su un cilindro, realizzando di fatto una rappresentazione *policilindrica* (figura IV.25). Per ogni fuso si assume come meridiano di riferimento quello coincidente con il meridiano di tangenza, ovvero il meridiano centrale del fuso.

La carta di Gauss, con il sistema di rappresentazione policilindrico in 60 fusi, è stata adottata in diversi Stati (tra cui l'Italia), situati tra 80° N e 80° S di latitudine, con il nome di sistema U.T.M. (*vedi* § V.2.1).

La scelta di rappresentazioni conformi ha motivazioni storiche: prima che si diffondesse l'utilizzo di moderni strumenti per determinare le distanze (per esempio distanziometri), il rilievo del territorio era basato soprattutto su misure angolari. Risultava quindi più agevole utilizzare proiezioni che rendessero le carte conformi per non dover modificare le misure angolari rilevate.

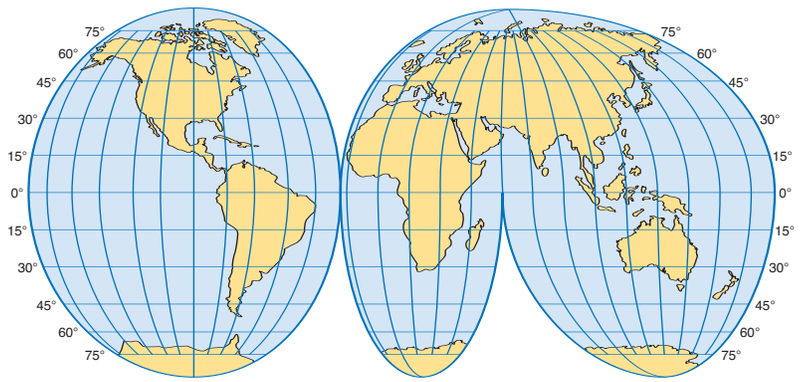


FIGURA IV.26 Planisfero ottenuto con una proiezione interrotta (soluzione di Goode-Philip). Queste proiezioni attenuano le deformazioni delle aree rappresentate.

Per la costruzione di planisferi nei quali si cerchi di rappresentare con la minor deformazione possibile i continenti e gli oceani, si fa spesso uso delle cosiddette **proiezioni interrotte**. Queste proiezioni si ottengono riunendo assieme, a nord e a sud dell'equatore, carte parziali, costituite da proiezioni di sviluppo modificate o da rappresentazioni convenzionali, raffiguranti ciascuna le aree che si vogliono riprodurre (figura IV.26).

Mettiamoci alla prova

1. Quali sono le principali operazioni nella costruzione di una carta?
2. Che cos'è il rilevamento topografico?
3. In che cosa consiste il metodo della triangolazione?
4. Spiega cos'è una rete geodetica e cosa sono i vertici trigonometrici.
5. Che cosa sono i capisaldi di livellazione?
6. In che cosa si differenziano la rete di livellazione e la rete geodetica?
7. In che cosa consiste la trilaterazione?
8. Che cos'è l'aerofotogrammetria?
9. Con quali criteri vengono scattati i fotogrammi durante una ripresa aerofotogrammetrica?
10. Quali sono le fasi di costruzione di una carta con il metodo aerofotogrammetrico?
11. Che cosa sono gli stereoscopi e come funzionano?
12. In che cosa si differenziano ortofotocarte e fotogrammi?
13. Che cos'è il telerilevamento?
14. Spiega la differenza fra sensori attivi e passivi.
15. Quali informazioni forniscono le radiazioni dell'infrarosso termico nello studio del territorio? Illustra altri due esempi di impieghi del telerilevamento ai fini dello studio del territorio.
16. Quali sono le differenze e le analogie nel rilievo di immagini da satellite e da aereo?
17. A che cosa servono le proiezioni?
18. Classifica le proiezioni prospettiche in relazione alla posizione del piano ausiliario e del punto di vista.
19. Quali sono le differenze tra proiezioni prospettiche e proiezioni di sviluppo?
20. Spiega quali sono le differenze fra proiezioni pure, modificate e convenzionali.
21. Che cos'è la linea ortodromica? E la linea lossodromica?
22. A che cosa servono particolarmente le carte in cui le linee ortodromiche sono rettilinee?
23. A che cosa servono particolarmente le carte in cui le linee lossodromiche sono rettilinee?
24. Descrivi le caratteristiche della proiezione di Mercatore.
25. Descrivi le caratteristiche della rappresentazione di Sanson Flamsteed.
26. Descrivi le caratteristiche della rappresentazione di Gauss.
27. Che cosa si intende per proiezioni interrotte?

 - Copyright © 2009 Italo Bovolenta Editore

FACCIAMO IL PUNTO

Sommario

Quali operazioni sono coinvolte nella costruzione di una carta? Distinguiamo carte rilevate, che vengono costruite in seguito a rilievi del territorio, e carte derivate che vengono ricavate a partire da carte preesistenti.
La costruzione di una carta rilevata prevede il rilievo del territorio da rappresentare, che può essere effettuato mediante metodi topografici, aerofotogrammetrici o mediante il telerilevamento. L'acquisizione di tali dati presuppone la scelta di un sistema di riferimento geodetico ben preciso (ellissoide di riferimento orientato). Si scelgono, inoltre, le procedure (proiezioni) più adatte per la trasposizione dei punti del territorio dalla superficie di riferimento alla carta. La carta viene infine prodotta in formato cartaceo o digitale.

Cosa si intende per rilevamento topografico? Il rilevamento topografico è il metodo tradizionale di rilievo del territorio che permette di ricavare planimetria e altimetria di una determinata superficie. Le tecniche topografiche comprendono la triangolazione, la levata topografica, la livellazione e la trilaterazione. Tali tecniche si avvalgono di misure dirette di angoli e di distanze, integrate da calcoli trigonometrici.
Mediante il rilievo topografico si individuano sul territorio nazionale dei punti materiali: i vertici trigonometrici, che costituiscono le reti geodetiche per le misure planimetriche, e i capisaldi di livellazione che costituiscono una rete di livellazione per le misure altimetriche.

In cosa consiste l'aerofotogrammetria? L'aerofotogrammetria è una tecnica di rilievo basata sull'acquisizione di immagini fotografiche scattate da aereo. Una stessa porzione di territorio viene ripresa da due punti di vista e i due fotogrammi della stessa zona vengono osservati con appositi strumenti, in modo da ottenere una immagine tridimensionale. Si ricavano modelli stereoscopici che, attraverso un processo di stereorestituzione, permettono di ottenere carte (in versione digitale o cartacea). Si possono, inoltre, ottenere le ortofotocarte, correggendo opportunamente i fotogrammi e corredandoli di simboli. L'aerofotogrammetria ha soppiantato in molti casi il rilievo topografico, grazie a costi minori e tempi di esecuzione più rapidi.

Cosa si intende per telerilevamento? Per telerilevamento si intende il rilievo a distanza del territorio, effettuato grazie a sensori che misurano differenti tipi di radiazioni elettromagnetiche, emesse e/o riflesse dai corpi che si trovano sulla superficie terrestre. Il telerilevamento può venire effettuato da terra, da aereo o da satellite rendendo possibile l'osservazione di territori molto vasti. Inoltre, l'utilizzo di sensori sensibili a vari di tipi di radiazioni elettromagnetiche (tra cui luce visibile, raggi infrarossi, microonde, ecc.) permette di evidenziare aspetti particolari del territorio. Le nuove metodiche di telerilevamento (es. laser scanner, sistemi radar) acquisiscono dati direttamente in digitale e spesso consentono di elaborare modelli tridimensionali del terreno.

A cosa servono le proiezioni cartografiche e in quali tipologie si suddividono? Le proiezioni cartografiche sono metodiche geometriche o matematiche che consentono di trasporre il reticolato geografico dalla superficie di riferimento (ellissoide o sfera) alla carta, per poi rappresentare gli elementi della superficie terrestre. Si distinguono: proiezioni vere, basate solo su criteri geometrici; proiezioni modificate, basate sulla combinazione di metodi geometrici e matematici; proiezioni convenzionali (definite rappresentazioni), basate unicamente su procedure matematiche. Le proiezioni vere si distinguono in proiezioni prospettiche, se la superficie su cui avviene la proiezione è un piano, e proiezioni di sviluppo, se tale superficie è un cono o un cilindro. Il tipo di proiezione da adottare viene scelto in base alle proprietà che deve possedere la carta ottenuta. Per costruire planisferi si utilizzano le proiezioni interrotte ottenute dall'assemblaggio di carte parziali.

Quali sono le proiezioni più importanti? Tra le proiezioni modificate vi è la proiezione di Mercatore, ottenuta utilizzando come superficie di proiezione un cilindro tangente all'equatore, ma modificata in via analitica per rendere conformi le carte da essa ricavate. Tale proiezione veniva utilizzata per produrre carte atte alla navigazione. Tra le rappresentazioni convenzionali vi è quella di Sanson Flamsteed, da cui si ottengono carte equidistanti lungo il meridiano centrale e lungo i paralleli ed equivalenti. Una rappresentazione convenzionale molto utilizzata è quella di Gauss, il cui risultato è quello che si otterrebbe immaginando di avvolgere la Terra con un cilindro tangente lungo un meridiano. La carta ottenuta è equidistante solo lungo il meridiano centrale ed è conforme. La rappresentazione di Gauss non è adatta a raffigurare territori vasti a causa delle elevate deformazioni ai bordi. Essa viene quindi adottata per rappresentare aree più piccole dette fusi.

 - Copyright © 2009 Italo Bovolenta Editore

VERIFICA LE CONOSCENZE

Domande a scelta multipla
(scegli il/i completamento/i corretto/i)

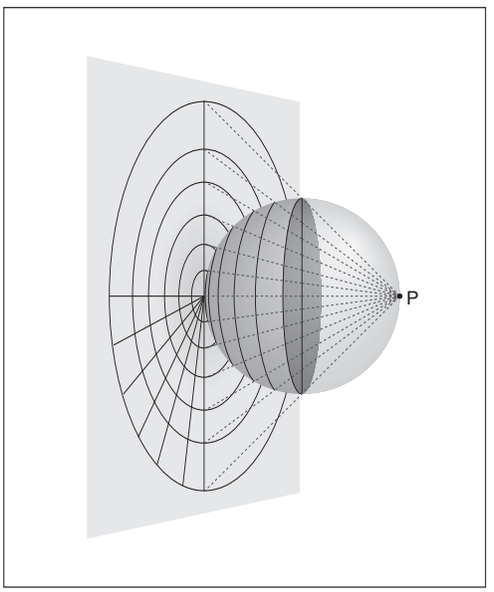
1 **Una base geodetica è:**
A un punto materiale delle rete geodetica;
B la distanza misurata direttamente fra due punti del territorio;
C un caposaldo di livellazione;
D un vertice trigonometrico.

2 **In una strisciata aerofotogrammetrica, la sovrapposizione fra due fotogrammi successivi è pari al:**
A 20%; B 15%;
C 40%; D 60%.

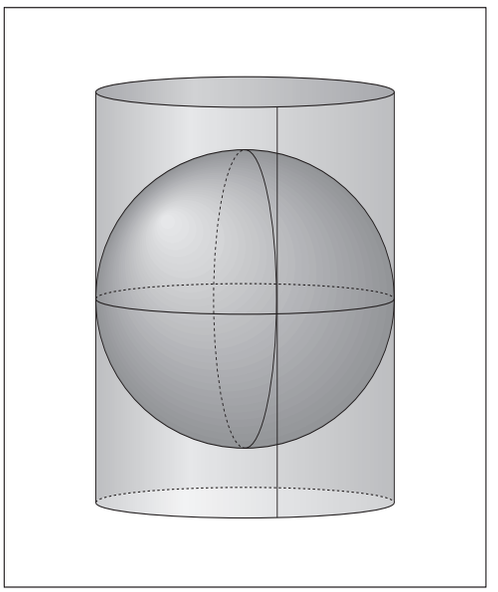
3 **Quale tipo di radiazione viene utilizzato per studiare lo stato di salute della vegetazione?**
A luce visibile; B infrarosso vicino;
C ultravioletto; D microonde.

4 **Quale tra i seguenti continenti non può essere rappresentato fedelmente con la Carta di Mercatore?**
A Oceania; B Antartide;
C Africa; D Europa.

5 **Indica quale tipo di proiezione prospettica è raffigurata nella figura in basso:**
A ortografica;
B centrografica;
C scenografica;
D stereografica.



6 **A quale tipo di proiezione si riferisce la figura riportata in basso?**
A proiezione cilindrica diretta;
B proiezione cilindrica inversa;
C proiezione ortografica;
D proiezione cilindrica secante.



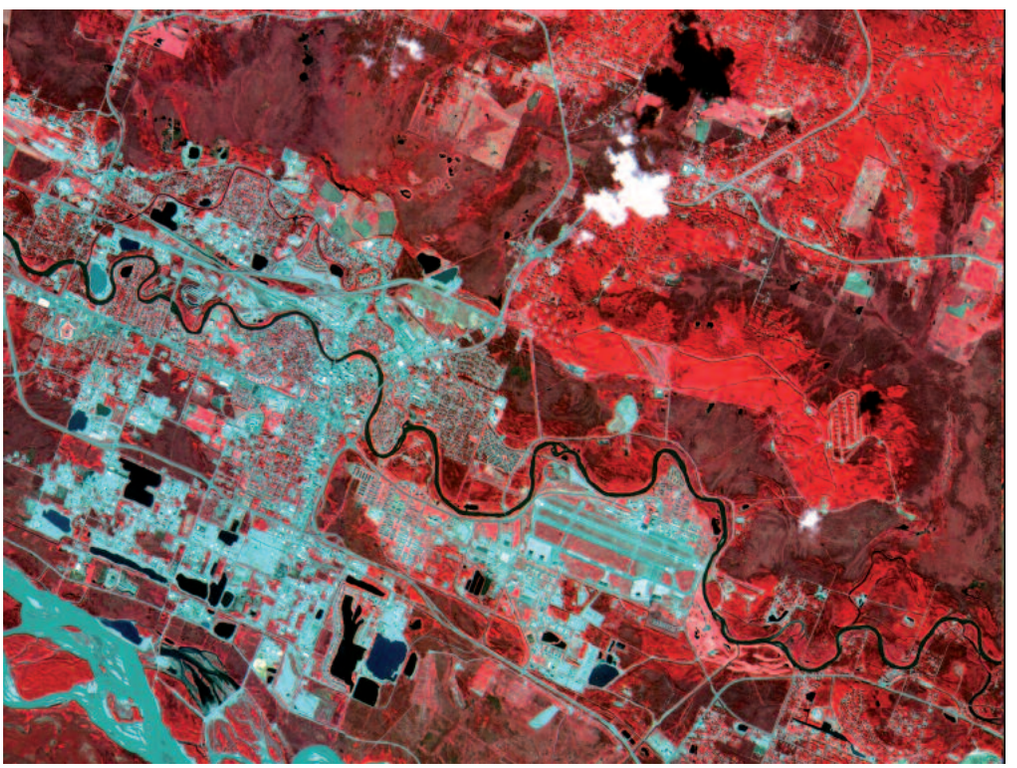
VERIFICA LE COMPETENZE

Quesiti ed Esercizi

7 Spiega perché la rappresentazione di Gauss non è adatta a rappresentare le zone polari e circumpolari.
8 Per quale motivo gli aerei che collegano Londra con Tokio seguono una rotta polare, che li porta a sorvolare la Siberia, piuttosto che passare sopra l'Europa e l'Asia meridionale?
9 Quale tecnica di telerilevamento è, secondo te, più adatta per studiare la morfologia di un territorio? Motiva la tua risposta.
10 Considera una proiezione di sviluppo conica con parallelo di tangenza situato a 45° di latitudine. Quale proprietà viene soddisfatta nella carta lungo questo parallelo?
11 Sapresti indicare il motivo per cui si sono affermate storicamente proiezioni da cui derivano carte conformi?

NB *Osserva l'immagine a «falsi colori» che rappresenta l'area di Fairbanks (Alaska) e rispondi alle domande seguenti.*

12 L'immagine è stat rilevata con un sensore attivo o passivo? Motiva la tua risposta.
13 Quale caratteristica del territorio viene evidenziata?



 - Copyright © 2009 Italo Bovolenta Editore