

PARTE II

CARTOGRAFIA

1. Evoluzione della situazione cartografica

La pianificazione e la progettazione del territorio si avvaleva fino all'incirca al termine degli anni '70 dei seguenti supporti cartografici: la carta nazionale alla scala 1:25000 dell'Istituto geografico militare italiano (Igm), la carta catastale dell'ufficio tecnico erariale alla scala 1:2000 o 1:4000, le carte comunali, realizzate per la maggior parte con la tecnica fotogrammetrica, nelle quali la scala prevalente era, ed è, quella 1:2000 per la parte urbanizzata del territorio comunale e quella 1:5000 per la parte extra-urbana. Mentre la carta alla scala 1:25000 dell'Igm e quella catastale esistono per tutto il territorio nazionale, la cartografia comunale è disponibile solo per un limitato numero di comuni.

Anche al lettore meno esperto di problemi cartografici è noto che sia la carta alla scala 1:25000 dell'Igm che quella catastale sono inadatte a costituire supporto alla pianificazione e alla progettazione del territorio, soprattutto a livello comunale e comprensoriale; nella prima infatti il grado di dettaglio e la precisione metrica sono condizionati dal rapporto di scala, che rende necessario un largo uso di segni convenzionali e che fa sì che la determinazione della posizione plano-altimetrica di un qualsiasi punto del terreno su di essa rappresentato avvenga con un margine d'incertezza mai inferiore a una decina di metri; la seconda, per la totale mancanza dell'altimetria, della morfologia, delle infrastrutture, ecc., dovuta alla sua finalizzazione amministrativo-fiscale, pur fornendo una serie di informazioni utili, si presenta molte volte agli occhi dell'utilizzatore con l'aspetto tipico di quelle carte geografiche mute che erano croce e delizia degli studenti d'altri tempi.

Ciononostante proprio queste due cartografie nazionali, a volte fuse in un unico aberrante connubio realizzato sovrapponendo l'altimetria della carta Igm alla carta catastale, dopo aver aumentato la

scala della prima e diminuita quella della seconda mediante procedimenti fotografici, sono state utilizzate come base cartografica in tutti quegli innumerevoli casi nei quali le esigenze della pianificazione e della gestione del territorio si scontravano con la mancanza di mezzi, di tempi, o più semplicemente di sensibilità al problema da parte dell'amministrazione, pubblica o privata che fosse, che impediva la realizzazione di una cartografia adeguata. Se poi si considera il fatto che le due suddette cartografie soffrono di una cronica carenza di aggiornamento, che a volte le rende più utili allo studio di una situazione che fu anziché alla conoscenza del presente, vediamo che risultano tristemente attuali le parole che l'arch. Beruto scriveva quasi un secolo fa, nel 1884, a conclusione della relazione sul piano regolatore di Milano:

... Inoltre e Atlante e mappe erano in arretrato di aggiornamento, per cui, sebbene si sia largamente fatto uso della fotografia, andò consunto nel lavoro di preparazione buona parte del tempo che meglio sarebbesi impiegato nello studio del piano. Gli studi poi che si facevano sopra planimetriche imperfette, non ressero alla prova del riporto sulle più complete, dal che ne venne che invece di correggere e migliorare i primi elaborati si dovette più volte tornare da capo a nuovi progetti per superare nuove difficoltà...

Questa assuefazione, pressoché generalizzata, all'uso improprio delle due cartografie nazionali per scopi di pianificazione e progettuali, ha avuto inoltre come conseguenza un discredito immeritato, fatta eccezione per l'aspetto aggiornamento, su due opere cartografiche che molte nazioni, anche europee, tuttoggi ci invidiano.

Parallelamente a questo «paese reale» che si comportava in modo poco ortodosso nei riguardi della cartografia, si muovevano altre forze che operavano nel tentativo di dare dei contorni al problema e di trovarne delle soluzioni. Le ditte produttrici di cartografia, che, ormai padrone della tecnica fotogrammetrica, erano in grado d'offrire un prodotto valido a costi ragionevoli, con un'azione capillare di propaganda, anche se a volte inquinata nell'aspetto tecnico dalle scorrettezze alle quali spinge a volte la concorrenza nel libero mercato, andavano a poco a poco sensibilizzando le amministrazioni pubbliche sulla necessità di costruire una nuova cartografia. I professori universitari e delle scuole tecniche, in congressi, convegni, dibattiti, tavole rotonde, sotto l'egida della Commissione geodetica italiana e della Società italiana di topografia e fotogrammetria, conducevano un'incessante attività di divulgazione per portare a conoscenza dei tecnici e degli amministratori degli enti pubblici e privati le nuove tecniche di rilevamento cartografico per evidenziare il ruolo della cartografia nel gover-

no del territorio e per mettere in guardia gli utilizzatori di cartografia sui danni tecnici ed economici che derivano dal pianificare e progettare su cartografie non aggiornate, mal fatte o non idonee allo scopo.

Oltre a questa attività corale, esisteva poi il continuo lavoro dei singoli, che si esplicava nell'assistenza all'industria della fotogrammetria, nella diffusione di nuove tecniche fotogrammetriche, nell'approntamento di capitolati, nel sensibilizzare tutti quegli ambienti di ricerca e di lavoro che sono in qualche modo connessi all'utilizzazione di cartografia. Vi era infine una grande quantità di tecnici preposti al governo del territorio che, resisi conto che le loro esigenze in fatto di cartografia non potevano essere soddisfatte dalla cartografia Igm o da quella catastale, richiedevano continuamente l'allestimento di nuove carte.

Ma tutto questo fervore di attività non avrebbe sortito probabilmente ancora per molto tempo un risultato soddisfacente, se non si fosse avuto l'elemento catalizzante costituito dall'istituzione delle Regioni a statuto ordinario. A questo punto non sono più voci isolate, se pur numerose, che propagandano, auspicano o chiedono una cartografia moderna ed aggiornata ma sono i tecnici di tutte le Regioni italiane; ed è in effetti solo con l'inizio degli anni '70 che, riconosciuta finalmente da tutti la lapalissiana verità che per governare il territorio bisogna per lo meno conoscerlo, e preso atto che un'adeguata cartografia per conoscerlo non esiste, si comincia a realizzarla.

2. Il concetto di «cartografia di base»

L'iniziativa degli enti Regione volta a costruire la carta tecnica regionale del territorio di loro competenza, benché preceduta dai fermenti ricordati e da uno specifico lavoro della Commissione geodetica italiana, che aveva tra l'altro provveduto a far redigere un apposito capitolato d'appalto, non ha portato, come vedremo, a un'opera che possa dirsi esemplare se vista con un'ottica nazionale; tuttavia, oltre al risultato concreto d'avere fornito di cartografia adeguata molti tecnici, ha anche il merito d'avere operato da elemento trainante nei confronti degli enti locali. In particolare poi l'iniziativa regionale ha contribuito in modo sostanziale a dar corpo al concetto di *sistema cartografico* di un territorio in sostituzione di quello di cartografia del territorio. Dalla considerazione che esistono più livelli di governo del territorio, i quali implicano scelte decisionali basate su informazioni più o meno dettagliate e quindi su una conoscenza più o meno approfondita del territorio, discende infatti l'esigenza di dotare gli

organi tecnici di ciascun livello di una cartografia adeguata al grado di risoluzione delle indagini conoscitive che sono alla base delle loro scelte tenendo conto, per ottimizzare il rapporto tra il costo della cartografia regionale e i benefici che derivano dal suo impiego, delle esigenze di cartografia proprie dei vari livelli. La cartografia regionale viene così concepita non come uno strumento a sé, ma come l'elemento di un sistema cartografico comprendente la cartografia nazionale, regionale, provinciale, comprensoriale e comunale.

Tenuto conto che a livello superiore vi è la cartografia nazionale e a quello inferiore la più diffusa è la cartografia comunale, quasi sempre alla scala 1:2000, sarebbe dovuto derivare da questa impostazione un'unica soluzione di scala e tipologia per la cartografia regionale; si vedrà più avanti che così non è stato. Tuttavia il solo fatto di aver impostato il problema della cartografia regionale inquadrandolo in uno schema generale ha portato a superare certe schematizzazioni che si reggevano più che altro su equilibrismi verbali; valga per tutti il termine *carta tecnica regionale* all'inizio impiegato per la cartografia regionale: l'aggettivo *tecnica* fu forse scelto per indicare che il contenuto qualitativo e metrico doveva essere in grado di soddisfare le esigenze dei tecnici della pianificazione regionale; tuttavia non vi è motivo perché non si debba ritenere *tecnica* anche una carta comunale alle scale 1:2000 o la carta Igm alla scala 1:25000.

Oggi è ormai invalso l'uso di non fare distinzioni che dipendono dalla scala o dalla tipologia della carta e di indicare col termine *cartografia di base* tutte le carte che riguardano un certo territorio, purché costruite con tecniche topografiche o fotogrammetriche secondo i principi rigorosi della cartografia. In altre parole, volendo tentare una definizione, si può dire che si può considerare come *cartografia di base* di un territorio ogni sua rappresentazione cartografica realizzata con metodi topografici o fotogrammetrici rigorosi, inquadrata nel sistema di riferimento planimetrico e altimetrico nazionale e che si presenta nella consueta forma di *carta disegnata* o di *fotocarta*.

3. Carta disegnata e fotocarta

Per *carta disegnata* si intende il tipo di carta topografica comunemente prodotta e utilizzata; sono tali ad es. la carta Igm alla scala 1:25000, la carta catastale, le carte comunali alla scala 1:2000, e così via. La carta viene ricavata o con procedimento di rilevamento a terra mediante strumenti topografici o da fotografie aeree mediante un *restitutore fotogrammetrico*; torneremo più avanti su queste tecniche

per descriverle nei dettagli; per ora ci è sufficiente dire che consentono di produrre un elaborato che rappresenta la superficie del territorio mediante il disegno dei particolari naturali e artificiali che lo caratterizzano (corsi d'acqua, strade, ferrovie, ponti, case, limiti di colture e di boschi, ecc.); questo disegno, che rappresenta la *planimetria* della carta, viene poi integrato con l'*altimetria*, composta di punti quotati e di curve di livello e che completa la visione globale della morfologia del terreno.

La rappresentazione della superficie del territorio che così si ottiene è simile a quella che si avrebbe da una sua vista dall'alto; tuttavia ogni particolare naturale o artificiale risulta più scarno, se confrontato con l'aspetto che di esso si avrebbe da una visione diretta; la cartografia di base rappresenta infatti la realtà attraverso il disegno, e quindi la semplifica mediante una geometrizzazione innaturale delle sue forme; nello stesso tempo però per il suo utilizzatore l'acquisizione dell'informazione è più semplice e immediata, e quindi più accessibile, perché la carta è il prodotto dello studio della realtà fatto da un esperto — il topografo o il fotogrammetra — che l'interpreta e la traduce in un elaborato di facile comprensione.

Contrariamente alla carta disegnata, realizzabile sia con il metodo topografico che con quello fotogrammetrico, la *fotocarta* deriva sempre da riprese fotografiche aeree; ed è ricavata deformando l'immagine che si ottiene dalla fotografia in modo che assuma la caratteristica propria delle carte topografiche e fotogrammetriche di rappresentare la superficie del terreno come se fosse proiettata su un piano orizzontale, cioè su un piano ortogonale alla direzione media della verticale della zona rappresentata. Mentre però nelle carte disegnate ogni particolare del terreno è rappresentato in pianta, nella fotocarta questo non avviene perché essa è derivata direttamente dall'immagine fotografica e quindi conserva la visione prospettica delle cose che è propria delle proiezioni centrali, quali sono appunto le fotografie. Ne consegue pertanto che, nelle carte a grande scala di centri urbani, in una carta disegnata ogni edificio è rappresentato dal contorno della sua pianta ed è quindi possibile ricavare la dimensione di ogni segmento che ne compone il perimetro, così come è possibile misurare la larghezza di una strada e così via; nella fotocarta, invece, l'effetto prospettico può occultare il lato di un edificio o nascondere una strada, rilevabile soltanto per la discontinuità dei tetti. Nelle medie e piccole scale la carta disegnata si avvale delle risorse del disegno per evidenziare le strutture reticolari del terreno, naturali, (es. il reticolo idrografico), artificiali, (es. la rete viaria); la fotocarta dà invece una visione che è più simile a quella che si avrebbe da una vista

diretta, ma può risultare di difficile comprensione se l'utilizzatore non è già pratico di fotointerpretazione.

Si vedranno più avanti le tecniche di costruzione delle carte disegnate e delle fotocarte, dopodiché saranno più chiare al lettore le differenze tra questi due prodotti e sarà quindi più proficuo discuterne i rispettivi pregi e difetti.

Ogni qual volta nel seguito si parlerà di *tipologia* della carta di base, ci si riferirà all'essere essa una carta disegnata o una fotocarta.

4. Influenza del rapporto di scala sulla precisione e sul grado di dettaglio di una carta di base

Il contenuto d'informazioni di tipo qualitativo di una carta di base e la precisione delle misure su di essa eseguibili dipendono dal suo fattore di scala, cioè dal rapporto di riduzione con il quale vengono rappresentate le grandezze lineari; si dice che la scala di una carta è tanto più piccola quanto più piccole sono, rispetto alla realtà, le dimensioni di ciò che essa rappresenta. Per quanto riguarda la scala le carte di base si dividono in tre categorie — a grande, media e piccola scala — prive di confini ben definiti; noi adotteremo i seguenti:

- carte a grande scala 1:500; 1:1000; 1:2000;
- carte a media scala 1:5000, 1:10.000;
- carte a piccola scala da 1:25.000 in poi.

Dalla scala della carta dipendono i due parametri che la caratterizzano dal punto di vista metrico.

1. il suo *grado di risoluzione*, cioè la dimensione lineare del particolare più piccolo rappresentabile sulla carta. È dato dal minimo spessore del tratto grafico con cui la carta viene disegnata e che viene assunto, per convenzione, uguale a 0,2 mm, moltiplicato per il fattore di riduzione; ad esempio per una carta alla scala 1:10000 il grado di risoluzione è di 2 m e cioè non è possibile rappresentare sulla carta particolari del terreno inferiori a tale grandezza;
2. l'*errore massimo che si commette nel rilevare da essa la posizione di un punto*: si conviene che esso debba essere inferiore al prodotto di 0,5 mm per il rapporto di riduzione della carta; per una carta alla scala 1:10000 ad es. l'errore massimo di posizionamento di un punto vale 5 m.

I particolari artificiali e naturali del terreno che devono essere riportati su una carta perché ne sia una rappresentazione valida (case, strade, fiumi, ecc.) hanno in generale una dimensione che, se divisa

per il rapporto di riduzione delle carte a grande e media scala, è superiore a 0,2 mm e possono quindi essere rappresentati nel giusto rapporto in carte di grandezza di scala opportuna. Ad es. una strada larga 10 m può venire rappresentata correttamente su una carta alla scala 1:10000 con due linee di 0,2 mm di spessore tra loro distanziate di 1 mm; chi utilizza la carta misurando su di essa la larghezza di quella strada ne ricaverà cioè la larghezza reale di 10 m moltiplicando la larghezza di 1 mm misurata sulla carta per il rapporto di riduzione che è 1:10.000; la stessa strada non può venire invece rappresentata nel giusto rapporto di riduzione su una carta alla scala 1:50.000, poiché in questo caso dovrebbe avere larghezza di 0,2 mm; essa viene pertanto rappresentata sulla carta con un *segno convenzionale*, cioè con un simbolismo che indica l'esistenza, la posizione e il grado di importanza ma che ne altera le dimensioni; ad es. la si rappresenta con due linee: una continua e una a tratto, distanziate di 1 mm.

Ne consegue che, mentre da un punto di vista d'impostazione generale non vi è differenza fra le carte a media e a grande scala, esiste invece una diversità notevole tra le carte a grande e media e quelle a piccola scala; nelle prime le dimensioni reali di quanto rappresentato possono essere ricavate moltiplicando la misura presa sulla carta per il suo coefficiente di scala; nelle seconde questo procedimento può portare a errori notevoli perché, essendo il rapporto di riduzione molto elevato, la realizzazione delle carte richiede che vengano impiegati in larga misura *segni convenzionali*, cioè una serie di simboli che non stanno nel giusto rapporto con le dimensioni reali degli oggetti.

Al diminuire della scala della carta, cioè con l'aumentare del rapporto di riduzione, si ha quindi un minor contenuto d'informazione in termini qualitativi e metrici; d'altra parte però col diminuire della scala si produce sulla carta una specie di semplificazione, che cancella quanto ne costituisce la tessitura minuta ed esalta i tratti più importanti del territorio; inoltre aumenta, a parità di dimensioni del foglio, la zona reale di territorio rappresentata. Pertanto, se è vero che le grandi scale consentono un grado di lettura molto fine del territorio, è anche vero che quelle a piccola scala permettono una visione di insieme che le prime non danno.

5. Carte «costruite» e carte «derivate»

Le carte di base si suddividono poi, indipendentemente dalle scale, in *costruite e derivate*; le prime, che in genere si chiamano semplicemente *carte* omettendo l'aggettivo *costruite*, sono quelle realmente costruite nella scala in cui si presentano; le seconde quelle ricavate per riduzione di altre a scala più grande. Ad es. quando si costruisce la carta alla scala 1:2000 del territorio di un comune e si produce anche, a partire da essa, una carta alla scala 1:5000; in questo caso la carta vera e propria è quella alla scala 1:2000 mentre quella alla scala 1:5000 è derivata.

Una carta derivata viene sempre ricavata da una scala maggiore; *non è mai lecito* il contrario, e cioè costruire ad es. una carta alla scala 1:10.000 e da essa ottenere per ingrandimento una carta derivata alla scala 1:5000; il semplice ingrandimento fotografico lascia, infatti, immutato il grado di dettaglio e la precisione metrica mentre inganna l'utilizzatore che, scambiando la carta derivata per una costruita, trae da essa informazioni errate.

Una carta derivata può essere ottenuta per semplice riduzione fotografica soltanto se il rapporto di scala della carta derivata viene ad essere minore di due o tre volte al massimo di quello della carta da cui è derivata; ad es. da una carta alla scala 1:2000 se ne può ottenere, per riduzione fotografica, una derivata alla scala 1:5000, ma non una alla scala 1:10.000; infatti riducendo troppo la carta originaria il disegno si perde, nel senso che il tratto grafico diventa troppo sottile, i numeri che indicano le quote non sono più leggibili, ecc. Quindi se si vuol passare da una carta a una certa scala a una derivata a scala molto inferiore, occorre effettuare, oltre alla riduzione fotografica, anche un lavoro di ridisegno; ad es. volendo ricavare da una carta alla scala 1:2000 una carta derivata alla scala 1:10.000 si dovrà:

- ridurre fotograficamente la carta alla scala 1:2000 nel rapporto 1:5000;
- ridisegnare la carta derivata alla scala 1:5000 semplificandola e riscrivendo ingranditi i numeri e le lettere (quote, toponomastica, ecc.);
- ridurre infine fotograficamente questa carta alla scala 1:5000 e ridisegnarla nel rapporto 1:10000.

Quanto detto in questo paragrafo è da intendersi riferito alle carte disegnate; nelle fotocarte infatti la differenza tra derivata e costruita non ha motivo di esistere: il grado di dettaglio della fotocarta

e la sua precisione sono quelli della foto aerea da cui essa deriva; l'essere essa ingrandita rispetto alla scala della foto aerea non ne aumenta ovviamente il grado di dettaglio né il contenuto metrico ma tutt'al più, ne facilita la lettura o semplifica la deduzione delle informazioni di tipo metrico.

6. Le funzioni della cartografia di base

È spesso difficile, e talvolta anche fuorviante, inquadrare in uno schema troppo rigido un problema che si presenta con contorni ampi e sfumati quale l'elencare e definire le *funzioni* che la cartografia di base svolge nel contesto del governo del territorio, in particolare quando esso implica scelte decisionali guidate da informazioni prodotte da un sistema informativo che si avvale di una gestione dei dati basata su tecniche informatiche. E tuttavia, poiché i tipi di prodotto che l'industria topografica e fotogrammetrica propone per soddisfare la domanda di cartografia di base sono tra loro molto diversi e non equivalenti, occorre che coloro che hanno la responsabilità della scelta abbiano ben chiare le operazioni che devono potersi compiere su una cartografia di base e valutare quindi se tutte, o solo alcune di esse, potranno essere effettuate sul prodotto che verrà fornito. Si osserverà quindi il problema delle funzioni della cartografia di base nel governo del territorio con un'ottica un po' scolastica, che consentirà però un'impostazione più agile del discorso, in modo da formulare poi un numero limitato, ma sufficiente, di paradigmi di comportamento nella scelta della scala e della tipologia di una carta di base.

Ciò premesso, le funzioni della cartografia di base sono fondamentalmente le seguenti:

- fornire informazioni di tipo qualitativo; e cioè consentire di ricavare sia una visione d'insieme del territorio rappresentato sia l'esistenza, la dimensione e la forma dei particolari naturali e artificiali del terreno;
- fornire informazioni di tipo metrico, e cioè premettere di ricavare la distanza topografica e la differenza di quota tra due qualsiasi punti su di essa rappresentati;
- costituire — opportunamente semplificata — la base topografica per la formazione delle carte tematiche;
- fornire le coordinate di tutti gli elementi topografici che costituiscono l'ossatura portante del sistema informativo; come si ve-

drà più chiaramente in seguito è infatti proprio il riferimento spaziale l'anello di saldatura tra i dati del sistema informativo, i quali, in quanto relativi alle varie componenti del territorio, sono disomogenei e perciò, senza un riferimento topografico, non avrebbero quella pienezza di significato che è alla base dello studio delle interazioni e delle correlazioni dei vari fenomeni che avvengono sul territorio;

- consentire il riporto su di essa dei progetti che costituiscono il risultato della pianificazione e della progettazione.

Per le prime due funzioni risulta determinante la giusta scelta del rapporto di scala, il quale, come visto, condiziona in modo sostanziale il grado di dettaglio e la risoluzione di una carta; esso dovrà pertanto essere scelto in modo da realizzare un soddisfacente compromesso tra la necessità di sintesi e quella d'analisi dell'utilizzatore. Nei casi dubbi, cioè quando l'aspetto tecnico lascerà spazio a soluzioni differenti, converrà prendere in considerazione l'aspetto economico e quello dei tempi di realizzazione; i costi di una carta di base, e anche i suoi tempi di realizzazione, crescono infatti in progressione geometrica con l'aumentare della scala della carta.

È importante tenere presente che l'informazione, qualitativa e metrica, ricavata da una carta di base non deve lasciare all'utente dubbi d'interpretazione; con ciò si vuol dire che natura, forma e posizione di un particolare naturale o artificiale del terreno riportato dalla carta devono essere interpretati nello stesso modo da tutti i suoi utilizzatori, e così pure la misura delle distanze o della differenza di quota tra due qualsiasi punti rappresentati sulla carta deve portare a un unico risultato, prescindendo da chi esegue la misura.

Il fatto che la cartografia di base debba potere essere presa come supporto delle carte tematiche significa poi che si deve poter alleggerire il suo contenuto d'informazioni non necessarie alla comprensione e all'utilizzazione della carta tematica, e che anzi ne renderebbe difficoltoso l'allestimento; questa contiene infatti altri tipi di informazioni, che consistono molto spesso nell'individuazione del perimetro di aree omogenee rispetto a un determinato fenomeno (es. una carta della destinazione d'uso del suolo agricolo con indicate le aree con lo stesso tipo di coltura); l'evidenziazione in genere è effettuata mediante la campitura con retini delle aree omogenee e per facilitarne la lettura è opportuno quindi eliminare dalla cartografia di base quanto non utile all'utilizzatore della carta tematica, lasciando solo i particolari planimetrici e altimetrici necessari per definire la posizione delle diverse aree.

L'utilizzazione della cartografia di base come supporto di tutte le informazioni spaziali del sistema informativo implica, come verrà spiegato più avanti, la trasformazione in forma numerica di parte delle informazioni planimetriche e altimetriche in essa contenute in forma grafica, per poterle elaborare mediante il calcolatore elettronico; le caratteristiche della cartografia di base dovranno quindi essere tali da rendere possibili le varie fasi di lavoro richieste dalla tecnica che si intende utilizzare per la digitalizzazione della carta.

Infine sulla cartografia di base devono essere riportati gli studi ai quali è servita; anche per questo dovrà quindi essere possibile sfoltire la carta di base di tutti i particolari d'ostacolo alla facile comprensione dell'elaborato. Ad es. per la stesura d'un piano regolatore di un centro urbano potrà convenire disporre di una cartografia di base in cui non siano campiti con retini gli edifici rappresentati sulla carta.

Nello scegliere la scala e la tipologia di una carta di base occorre dunque tener presente i diversi usi a cui è destinata e verificare se la soluzione adottata è quella ottimale. Naturalmente in taluni casi non si potrà prendere in considerazione esclusivamente l'aspetto tecnico del problema, risultando più vincolanti problemi di costo o di tempo di realizzazione; anche in questa ipotesi tuttavia l'inevitabile compromesso tra *carta ideale* e *carta realizzabile* dovrà essere raggiunto tenendo conto di quanto detto.

7. La riproducibilità della cartografia

La cartografia di base è uno strumento di lavoro indispensabile per quanti operano nei settori della pianificazione, della progettazione e della gestione del territorio; è però costosa e richiede tempi di realizzazione non trascurabili: una volta realizzata, è quindi doveroso metterla a disposizione del maggior numero possibile di utenti. Nel progettare pertanto l'allestimento bisogna tener presente il grado di diffusione che potrà avere e, ove sia alto, si dovrà realizzarla in modo che sia facilmente ed economicamente riproducibile.

Per la cartografia di base dei comuni e dei comprensori il problema non presenta particolari implicazioni, poiché il numero di utenti è limitato e, per un uso ormai consolidato, le carte vengono prodotte in bianco e nero su supporti elioriproducibili. Diverso invece si presenta il caso della cartografia regionale: gli utenti sono molto più numerosi e quindi il problema della riproducibilità è molto importante: nel caso di carte diseguate dovranno essere evitate le carte

a colori che, oltre ad avere enormi costi di stampa, mal si prestano al riporto dei progetti; per le fotocopie, invece, si dovrà accertarne la riproducibilità a costi accettabili e senza eccessiva perdita di qualità del prodotto.

DEFINIZIONI DEI VARI TIPI DI CARTE

Si definisce "carta" la rappresentazione figurativa sul piano della superficie fisica terrestre, secondo norme e segni convenzionali, dalla quale sia possibile ricavare elementi geometrici (distanze, dislivelli, angoli, aree, ecc.) con prefissate tolleranze.

Il prodotto finale di un generico rilievo topografico è la costruzione di una rappresentazione grafica (o carta), ad una determinata scala $s = 1/n$, nella quale siano riportati tutti gli elementi osservati e classificati sul terreno mediante segni convenzionali, imitativi per quanto consentito dalla scala, ovvero puramente convenzionali, rispettando determinati limiti di precisione.

Si ottengono in tal modo le carte topografiche rilevate che sono la fonte e la base geometrica di ogni carta di diversa utilizzazione.

Da queste si possono ricavare le carte derivate, ottenute riducendo la scala di rappresentazione con opportuni procedimenti di riduzione fotografica, con la conseguente eliminazione di molti particolari e l'aumento dei segni convenzionali.

Si noti, che il procedimento inverso, cioè l'ingrandimento di una carta topografica non consente la costruzione di una nuova carta, a scala più grande, non solo perché l'ultima sarebbe priva dei particolari che le competono ma soprattutto perché la nuova carta manterrebbe la precisione, ovviamente minore, relativa alla scala della rappresentazione da cui è stata generata.

In relazione ai contenuti delle carte possiamo distinguere:

A) -CARTE GENERALI: (rilevate o derivate) dette anche "regolari". Tali carte hanno lo scopo di dare del terreno la più completa rappresentazione possibile, compatibile con la scala, di tutti i particolari di interesse generale (orografia, idrografia, morfologia, viabilità, manufatti, limiti amministrativi, toponomastica, ecc.), comprensiva delle indicazioni altimetriche e dei riferimenti relativi al sistema di coordinate piane utilizzate e/o al reticolato geografico. La caratteristica fondamentale di una carta topografica generale viene stabilita dal rispettare geometricamente determinate tolleranze, cioè dalla possibilità di effettuare misure grafiche sulla carta con prefissati limiti di precisione. La precisione di una carta è espressa dall'errore medio planimetrico e dall'errore medio altimetrico nella determinazione grafica della posizione dei punti rappresentati, ricavati da una copia stampata della carta.

In generale l'errore medio planimetrico è compreso tra 0.2 e 0.5 mm alla scala della carta; si tiene conto dell'errore di graficismo, ossia dell'errore massimo (0.2 mm) che può commettere un buon disegnatore cartografico nel tracciare una linea. Di conseguenza una carta topografica in scala 1/1000 avrà un errore medio altimetrico compreso tra 20 e 50 cm. L'errore medio altimetrico per le carte rilevate è compreso tra ± 0.02 e ± 0.2 mm, alla scala della carta, per le quote numeriche scritte (punti quotati) e tra ± 0.1 e ± 0.5 mm per quelle ricavate dalle curve di livello, la cui equidistanza è in genere stabilita da 1/1000 del denominatore della scala.

La scelta della scala di una rappresentazione cartografica è legata alla combinazione dei due elementi che determinano la precisione di una carta:

- l'errore di graficismo, ossia l'errore massimo (0.2 mm - 0.5 mm) che un buon disegnatore cartografo può commettere nel tracciamento di

una linea;

- la dimensione del più piccolo particolare fisico del terreno (o manufatto) che si vuole evidenziare graficamente con simbolo imitativo in scala.

Per esempio: calcolare l'errore medio altimetrico, planimetrico di un progetto esecutivo.

B) -CARTE TEMATICHE: carte speciali compilate per un determinato scopo; possono essere ottenute dalle carte generali rilevate o derivate inserendovi, dopo averle eventualmente private di alcuni particolari, la rappresentazione di altri elementi, rilevati di proposito sul terreno riguardanti speciali fenomeni. A volte sono allestite per mettere in maggiore evidenza cartografica un certo aspetto della rappresentazione.

Sono carte tematiche le carte catastali, geologiche, magnetiche, forestali, stradali, ecc. La differenza più evidente tra le carte tematiche e le topografiche (generali) è da ricercare nei limiti di precisione geometrica della carta, che per le tematiche sono alquanto elastici. Si possono avere quindi carte tematiche con assenza di contenuto geometrico e via via carte tematiche con maggiori qualità di precisione, ma sempre inferiori o al più paragonabili alle caratteristiche della carta topografica da cui la tematica è stata tratta. Le considerazioni che seguono si riferiscono alla costruzione delle carte topografiche.

POSIZIONE DEL PROBLEMA DELLA CARTOGRAFIA

La rappresentazione sul piano di una determinata porzione della superficie fisica terrestre comporta problemi diversi a seconda della estensione della zona interessata dalla carta.

Se si tratta di una porzione sufficientemente ristretta, tale cioè da essere compresa nel "campo topografico" del suo punto centrale, la superficie di riferimento per le operazioni planimetriche è, in questo caso, il piano tangente all'ellissoide terrestre nel punto stesso: di conseguenza la rappresentazione cartografica è immediata in quanto il piano della carta coincide col suddetto piano tangente e su di esso vengono tracciate figure simili alle corrispondenti figure esistenti nella realtà, con rapporti di similitudine costante per tutta la carta e pari alla scala $s = 1/n$.

E' il caso risolto nell'esercizio grafico "Piano quotato e Piano a curve di livello" svolto nel corso di Topografia, nella cui rappresentazione grafica sono riportati:

- angoli, uguali a quelli misurati in campagna,
- distanze topografiche pari a quelle misurate, con la riduzione indicata dalla scala,
- coordinate planimetriche, ridotte in scala, riferite a sistemi locali.

Si noti che anche in questo caso le quote, sia che vengano trascritte con caratteri numerici per i punti quotati, sia rappresentate dalle curve di livello, sono sempre riferite alla superficie assunta come riferimento altimetrico, cioè al Geoide (livello medio marino).

Più complesso è invece il problema di rappresentare porzioni più estese della superficie fisica terrestre perché in tal caso la superficie di riferimento da adottare per le misure planimetriche non può essere il piano tangente. Si è già visto (fig. 1) che la complessità di rappresentazione della superficie fisica ci ha imposto l'adozione di una ben precisa superficie di riferimento (il Geoide) sulla quale ven-

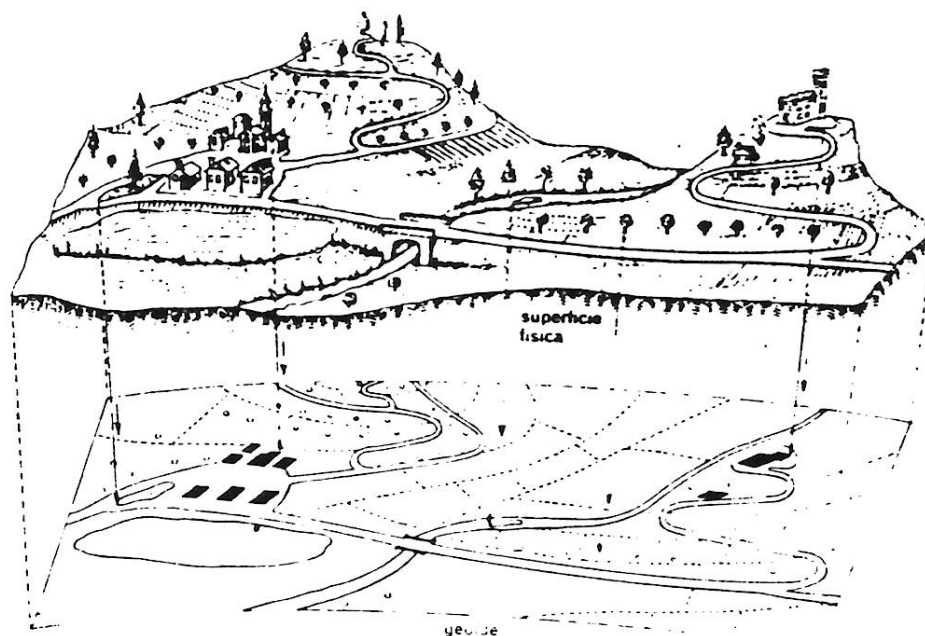


Fig. 1. Superficie fisica del terreno, geoide e rappresentazione del terreno

gono proiettati, secondo la direzione della verticale, tutti i punti che interessano il rilievo, o punti caratteristici del terreno. Si suppone quindi di eseguire le misure di angoli e di distanze sul geoide, in modo da ricavare la posizione di un punto qualsiasi in coordinate curvilinee. A causa delle approssimazioni che ne derivano abbiamo già visto come sia lecito, solo per le coordinate planimetriche, sostituire al geoide alcune superfici più facilmente individuabili con espressioni analitiche: l'ellissoide o la sfera locale. In ogni caso è sempre possibile individuare la posizione di un punto qualunque sulla superficie di riferimento (e quindi sulla superficie fisica terrestre) attraverso le sue coordinate geografiche ellissoidiche: latitudine φ e longitudine λ .

A questo punto sarebbe già possibile una rappresentazione in scala molto piccola del geoide conservando un supporto curvilineo: il mappamondo, in cui in genere $s = \frac{1}{10.000.000}$.

E' naturale che quando si voglia una rappresentazione in scala più grande si dovrà ricorrere ad un supporto piano, e quindi alla necessità di stabilire una corrispondenza biunivoca tra coordinate curvilinee φ e λ e coordinate piane x, y .

$$(1) \quad \begin{cases} x = f(\varphi, \lambda) \\ y = f(\varphi, \lambda) \end{cases}$$

in modo che ad ogni punto dell'ellissoide terrestre corrisponda un punto del piano di rappresentazione e viceversa.

E' noto dalla geometria che tale corrispondenza può aversi in modo rigoroso solo tra superfici aventi la stessa curvatura totale (prodotto degli inversi dei raggi principali di curvatura). Superfici aventi la stessa curvatura totale si dicono applicabili; in particolare se una superficie è applicabile al piano essa si dice sviluppabile. Nel caso dell'ellissoide terrestre i raggi principali di curvatura sono ρ (raggio del meridiano) e N (Gran Normale), e quindi

$$\frac{1}{\rho} + \frac{1}{N} = \frac{1}{R^2} \neq 0 \quad (R \text{ raggio della sfera locale})$$

quantità variabile in funzione di φ , diversa da 0 (curvatura totale del piano). E' evidente, quindi, che non è possibile rappresentare la superficie terrestre sul piano senza introdurre delle deformazioni (esempio della palla di gomma).

Per esprimere e poter valutare analiticamente tali deformazioni si fa uso dei loro moduli e precisamente:

- modulo di deformazione lineare $m_l = \frac{ds'}{ds}$ dove ds' è la distanza misurata sulla carta moltiplicata per n denominatore della scala e ds è la distanza misurata sull'ellissoide.

Le carte in cui $m_l = 1$ si dicono equidistanti:

- modulo di deformazione superficiale $m_s = \frac{S'}{S}$ dove S' è l'area misurata sulla carta per il quadrato del denominatore della scala e S è l'area misurata sull'ellissoide.

Le carte in cui $m_s = 1$ si dicono equivalenti:

- modulo di deformazione angolare $m_a = \alpha' - \alpha$ dove α' è un angolo misurato sulla carta, α è l'angolo corrispondente sull'ellissoide.

Le carte in cui $m_a = 0$ si dicono conformi.

Nell'impossibilità di ottenere una carta che possieda contemporaneamente i tre requisiti ($m_l = 1$; $m_s = 1$; $m_a = 0$) si studiano i diversi sistemi per costruire delle carte che approssimino quanto più è possibile la similitudine tra carta e superficie fisica terrestre proiettata sulla superficie di riferimento (ellissoide internazionale o sfera locale).

Esistono infiniti modi di creare tali corrispondenze biunivoche, sia per via geometrica, sia per via analitica; per valutare la possibilità d'uso di ciascuno si dovranno studiare:

- le espressioni analitiche delle formule di corrispondenza,
- i valori assunti dai moduli di deformazione,
- la posizione in piano del reticolato geografico (cioè le linee sul piano che corrispondono ai meridiani e paralleli).

A) RISOLUZIONE GEOMETRICA

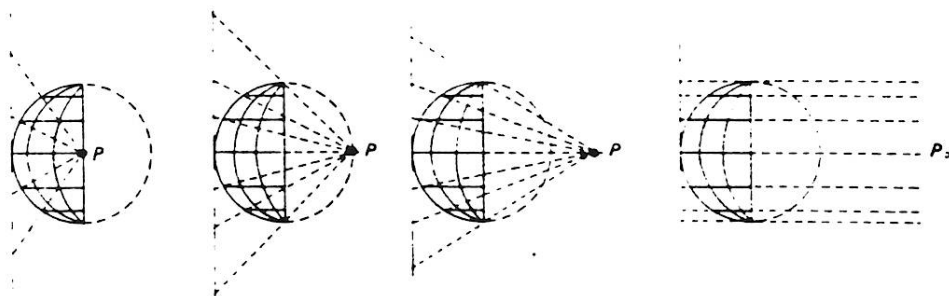
Le corrispondenze biunivoche si possono trovare per via geometrica individuando diversi sistemi di proiezione cartografica:

Proiezioni prospettiche

55

Si approssima il geode con la sfera locale del punto situato al centro della zona da rappresentare, e si proiettano i punti della superficie terrestre sul piano tangente alla sfera locale. A seconda della posizione del centro di proiezione P si hanno le seguenti proiezioni prospettiche:

- centrografica: P al centro della sfera;
- stereografica: P all'antipodo del punto di tangenza;
- scenografica: P sulla normale al piano tangente fuori della sfera;
- ortografica: P sulla normale al piano tangente all' ∞ (fig. n.2).



Si vede subito che le deformazioni sono contenute solo all'intorno del punto e che si può estendere la zona di rappresentazione se il piano diventa secante.

Proiezioni cilindriche

Il geode viene approssimato con l'ellissoide internazionale (o anche con la sfera locale). La proiezione avviene su di un cilindro tangente lungo l'equatore (diretta) (fig.n.3), o su di un cilindro tangente lungo un meridiano (inversa) (fig.n.4), proiettando ogni punto o dal centro della

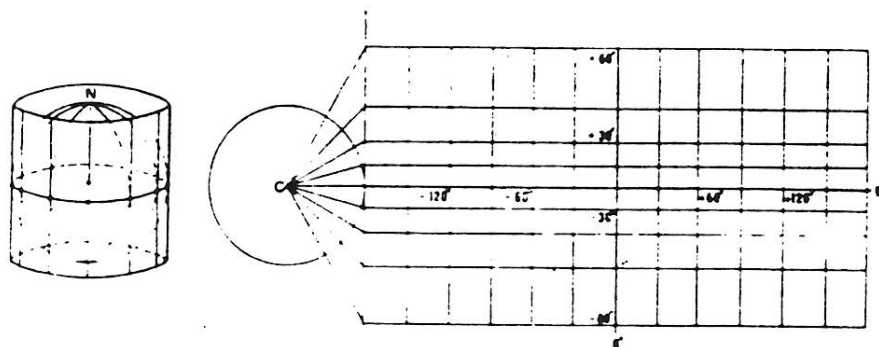


Fig. 3

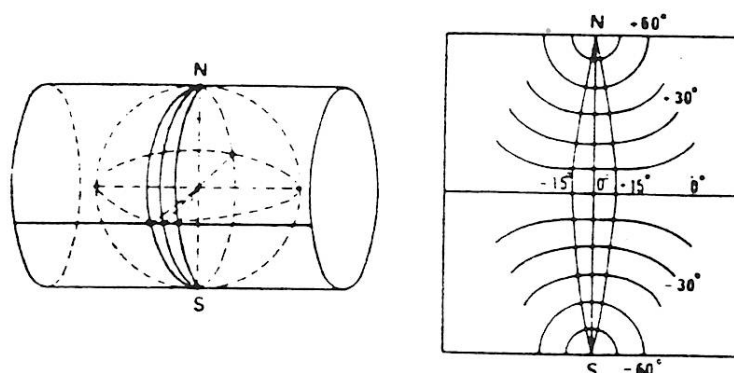


Fig. 4

sfera o dal centro del parallelo del punto. Successivamente il cilindro, (che ha curvatura totale nulla), tagliato lungo una generatrice, viene sviluppato sul piano. Anche in questo caso le deformazioni sono contenute solo a cavallo della linea di tangenza ed eventualmente si possono usare cilindri secanti per ridurre le deformazioni ai margini della zona interessata.

Proiezioni coniche

Il geode, approssimato all'ellissoide o alla sfera, viene proiettato sul cono che gli è tangente lungo il parallelo alla latitudine media della fascia da rappresentare, con centro di proiezione di ogni punto P al centro della sfera o al centro del parallelo del punto.

Il cono viene poi sviluppato sul piano (fig. n. 5).

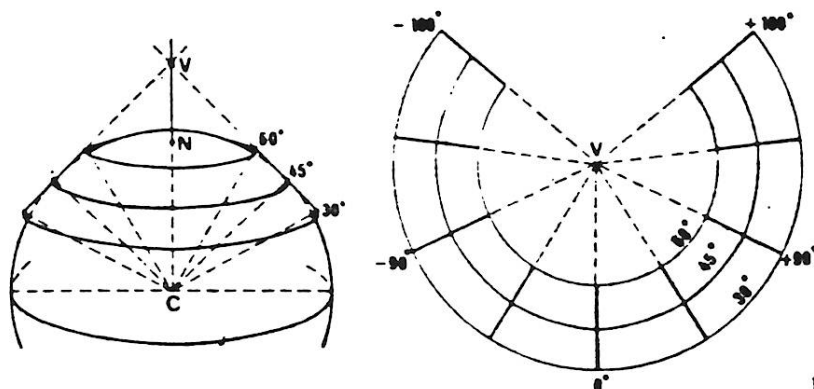


Fig. 5

Si vedrà più innanzi come queste proiezioni con opportune modifiche siano state utilizzate per le rappresentazioni cartografiche.

B) RISOLUZIONE ANALITICA

E' possibile risolvere il problema di individuare la corrispondenza biunivoca tra punti del geode e punti del piano per via analitica. Si tratta di individuare tra le infinità di soluzioni che risolvono le

$$(1) \begin{cases} x = f(\varphi, \lambda) \\ y = f(\varphi, \lambda) \end{cases}$$

quelle che più ci soddisfano, imponendo determinate condizioni.

Ovviamente l'imposizione di alcune condizioni limita il verificarsi di altre, cioè è impossibile scrivere delle equazioni che abbiano come risultato per i moduli di deformazione rispettivamente i valori 1, 1, 0 ma è possibile ottenere corrispondenze in cui siano verificati valori molto prossimi a quelli desiderati con dei compromessi tra le varie deformazioni.

Considerando il modulo di deformazione lineare:

$$m_1 = m = \frac{ds'}{ds} \quad \text{si avrà (fig. 6)}$$

$$ds'^2 = dx^2 + dy^2$$

Si definiscono:

57

- latitudine isometrica la funzione U

$$U = \int_0^{\varphi} \frac{\rho}{r} d\varphi$$

ove:

φ = latitudine;

ρ = raggio di curvatura del meridiano passante per il punto;

r = raggio del parallelo passante per il punto.

La latitudine isometrica è detta anche crescente. Infatti al crescere di φ sappiamo che diminuisce r (ai poli, infatti, è $r=0$ e $\rho/r \rightarrow \infty$, e quindi il rapporto ρ/r è crescente.

- carte afillattiche le carte che non sono nè conformi nè equivalenti ma in cui sono presenti in maniera più o meno sensibile tutti i tipi di deformazione descritti, nel tentativo di trovare un compromesso tra le diverse deformazioni, avendole limitate il più possibile.

Carta di Mercatore

Considerando la proiezione cilindrica pura (fig. n. 3) con cilindro tangente lungo l'equatore si ottiene che meridiani e paralleli si proiettano secondo linee rette, parallele tra loro e a distanza costante i primi, mentre risultano a distanza crescente con la latitudine i secondi.

La rappresentazione così ricavata è afillattica e le deformazioni sono crescenti al crescere della latitudine.

Mercatore (1569) modificò tale proiezione in modo da ottenere una carta conforme. Infatti la proiezione dei paralleli verrà ottenuta da una espressione analitica funzione della latitudine isometrica.

Se nelle (6) si assume $f(U) = kU$ si avrà:

$$\begin{cases} x = kU \\ y = k\lambda \end{cases} \quad (\text{fig. n. 7})$$

essendo nulle le derivate di ordine successivo di $\frac{df(U)}{dU}$.

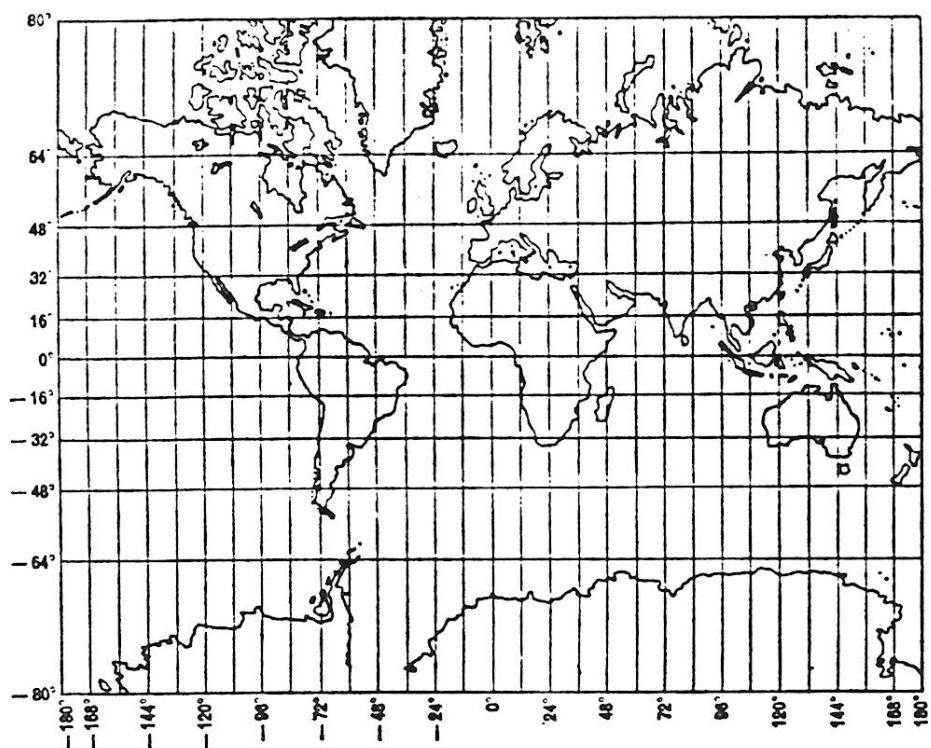


Fig. 7

Si noti che il modulo di deformazione lineare è costante su ogni parallelo in particolare $m = 1$ sull'equatore mentre $m = \infty$ ai poli, quindi avremo che la scala della rappresentazione dovrà variare passando da un parallelo all'altro (fig. n.8).

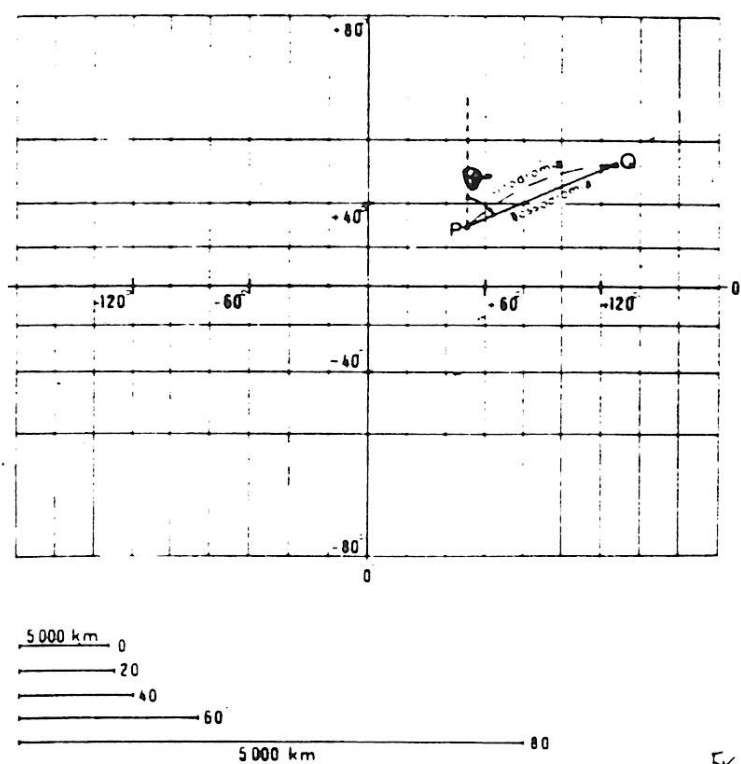


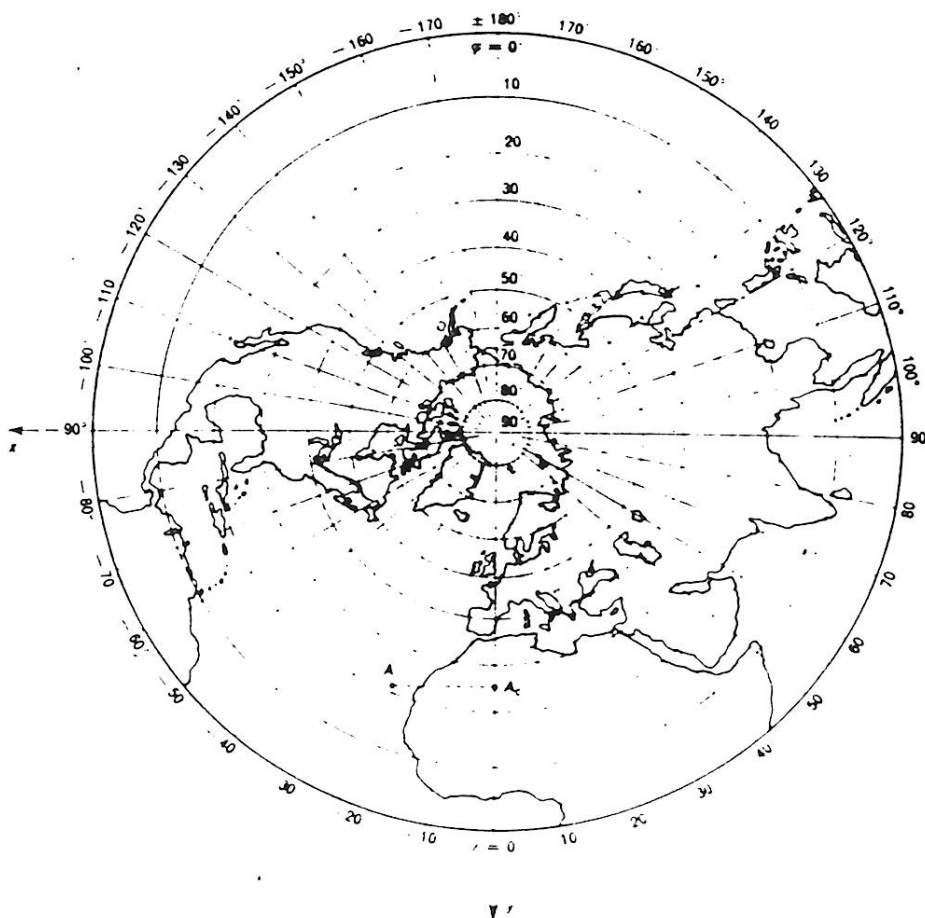
Fig. 8

I vantaggi di tale tipo di rappresentazione si riferiscono non solo alla possibilità di rappresentare con continuità l'intera superficie del globo (tra -80° e $+80^\circ$ di latitudine) in un unico sistema di coordinate piane, ma soprattutto per la caratteristica di individuare sulla carta la congiungente tra due punti P e Q come una retta che interseca tutti i meridiani secondo un angolo costante θ (angolo di rotta) e quindi, poichè la carta è conforme, anche nell'ellissoide la linea corrispondente alla retta PQ interseca i meridiani secondo lo stesso angolo costante θ .

Si tenga presente che la "lossodromia" non corrisponde sull'ellissoide alla linea di minor percorso (che coincide con la geodetica^(*)) dei due punti P e Q; per distanze molto grandi si ricorre ad una spezzata di lossodromie che approssimi la "ortodromia" coincidente con la trasformata della geodetica.

Proiezione stereografica

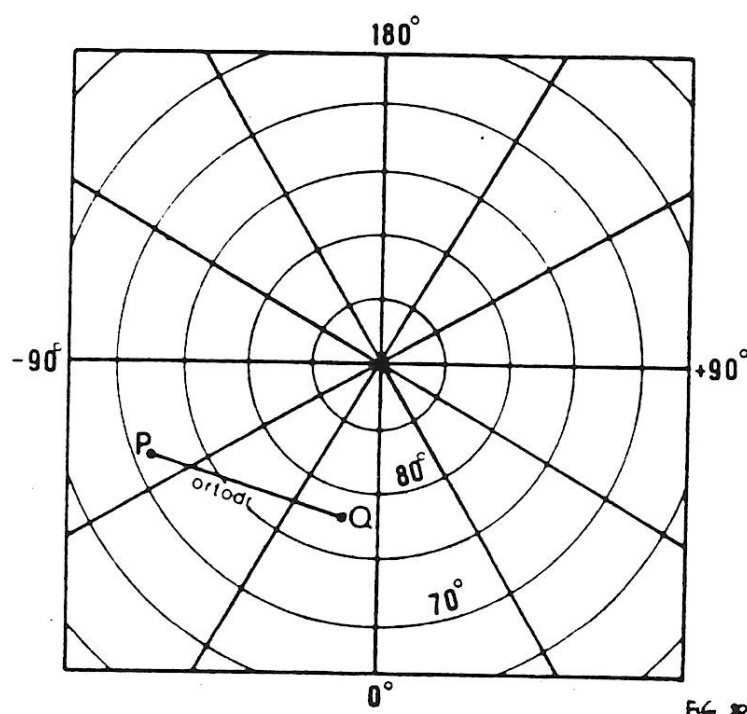
La rappresentazione U.P.S. (Universal Polar Stereometric) (Fig. n.9), è utilizzata per rappresentare le due calotte polari: è la sola proiezione



(*) Si definisce "geodetica" quella linea sulla superficie ellissoidica che gode della proprietà di avere in ogni punto la normale principale coincidente con la normale alla superficie.

geometrica pura che si utilizza. Il piano di proiezione è tangente a un polo e i punti sono proiettati con centro nell'altro polo. Si vede subito che è una carta conforme perchè i meridiani, che sono trasformati in rette uscenti da uno stesso punto, formano angoli uguali alle differenze di longitudine e incontrano, secondo angoli retti, i paralleli che coincidono con circonferenze concentriche.

Su questa carta la ortodromia (ossia la trasformata della geodetica tra due punti) si può considerare rettilinea e permette di individuare i diversi angoli di rotta da mantenere per seguire un percorso minimo, corrispondente ai diversi angoli che la retta forma con i meridiani (fig. n. 10).



Carta di Gauss

Viene solitamente indicata con la sigla U.T.M. (Universal Transverse of Mercator) perchè ottenuta dalla proiezione cilindrica inversa, con il cilindro tangente all'ellissoide lungo un meridiano. Si ricava una rappresentazione del tipo di fig. 11 nella quale è riportato il reticolato geografico relativo al semiellissoide compreso tra le longitudini -90° e $+90^\circ$. Per ridurre le fortissime deformazioni occorre limitare il valore della differenza di longitudine dei punti rispetto al meridiano di tangenza per cui la rappresentazione viene effettuata per "FUSI" di una limitata ampiezza (in genere 6°), per ognuno dei quali si assume come meridiano

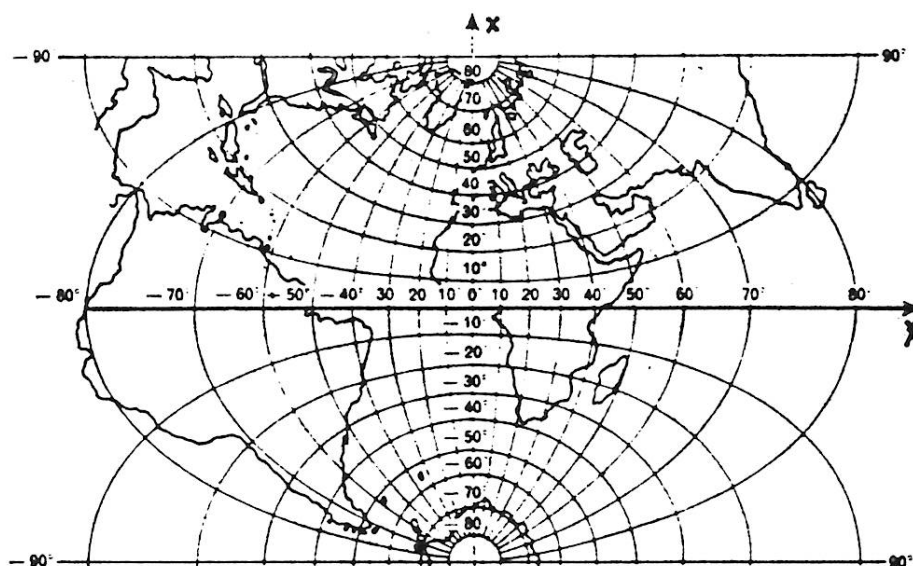
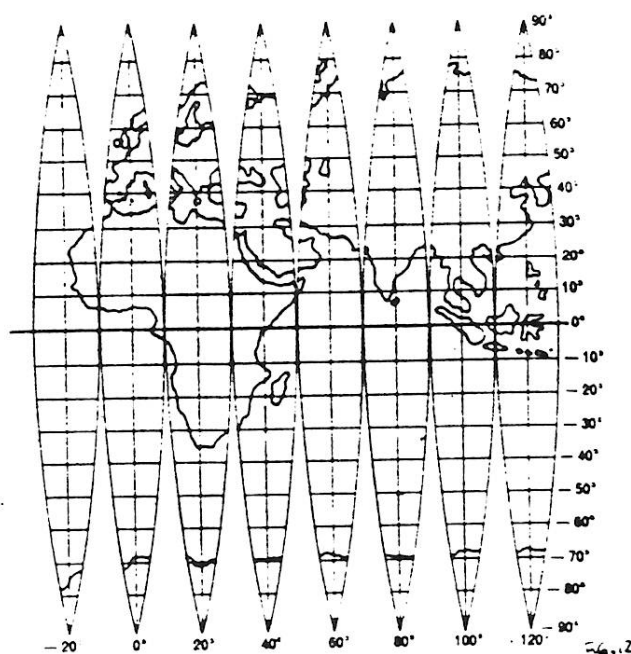


Fig. 11

di riferimento quello coincidente con il meridiano di tangenza ovvero meridiano centrale del fuso (fig. n.12). Con la limitazione di ampiezza del fuso si ha il vantaggio di ridurre le deformazioni in limiti accettabili, come si vedrà più innanzi.



Per ricavare analiticamente le formule della rappresentazione imporremo la condizione che il meridiano di tangenza si sviluppi con la sua lunghezza reale lungo l'asse delle x, indicando con B l'arco di meridiano

compreso tra l'equatore ed il parallelo del punto considerato, si ha:

$$f(U) = B = \int_0^{\varphi} d\varphi$$

Avendo determinato la $f(U)$ si possono ricavare tutte le sue derivate ed ottenere le espressioni dalle formule di corrispondenza.

$$x = B + a_2 \lambda^2 + a_4 \lambda^4 + a_6 \lambda^6 + \dots$$

$$y = a_1 \lambda + a_3 \lambda^3 + a_5 \lambda^5 + \dots$$

dove, a_1, a_2 ecc. sono coefficienti che dipendono solo dalla latitudine.

Analizzando le espressioni analitiche che si ottengono per $\varphi = \text{cost.}$ (paralleli) e $\lambda = \text{cost.}$ (meridiani) si ritrovano le curve già viste nella proiezione geometrica che hanno le convessità verso gli assi e si intersecano tra loro con angoli di $\frac{\pi}{2}$ essendo la carta conforme.

Si può ricavare analiticamente il valore di γ = angolo di convergenza dei meridiani, cioè l'angolo formato dalle tangenti a due meridiani in due punti dello stesso parallelo (fig. n. 13).

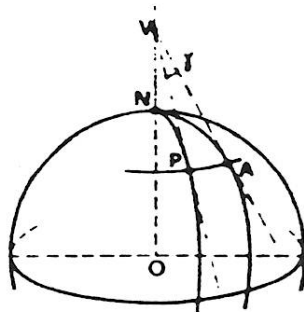


fig. 13

$$\text{tg } \gamma = \frac{dx}{dy}$$

Le curve relative ai meridiani e paralleli individuano sulla carta il "reticolato geografico" che coincide con i margini secondo cui sono tagliati i fogli che compongono una carta, assicurando ovviamente la continuità tra fogli contigui (fig. n.14). La carta di Gauss, con il sistema di rappresentazione policilindrico per fusi è stata adottata in diversi stati compresi tra -80 e $+80$ di latitudine (ai poli è stata adottata la U.P.S.).

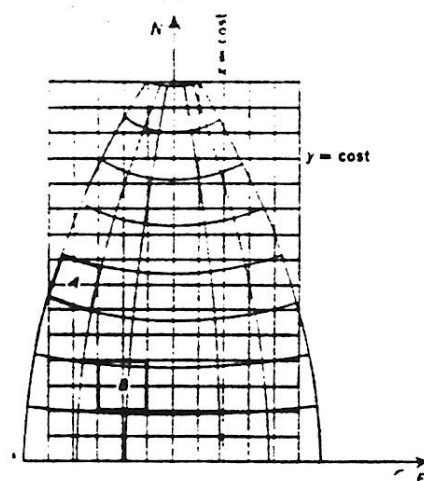


Fig. 14 A) Taglio dei fogli della cartografia italiana secondo le trasformate di due meridiani e di due paralleli; B) Taglio dei fogli secondo il reticolato chilometrico.

Naturalmente ogni fuso ha il suo sistema di riferimento per le coordinate piane e, in particolare, nel sistema U.T.M. si è convenuto di assumere per il meridiano centrale del fuso rettificato una coordinata y o E di 500 km (per evitare ascisse negative) mentre le ordinate x o N sono riferite all'equatore rettificato.

E' stato adottato quindi un sistema (U.T.M.) valido per tutto il globo per esprimere in cifre la posizione planimetrica di un punto qualsiasi.

A tale scopo si indica dapprima il fuso (numeri da 1 a 60 procedendo da W verso E, il numero 1 è compreso tra i meridiani 180° e $174^\circ W$ da Greenwich, il numero 31 da 0° a $6^\circ E$ e quindi l'Italia è compresa nei fusi 32, 33 e per una parte della penisola salentina anche 34). Ogni fuso è diviso in 20 "zone" ciascuna avente 8° di latitudine indicate da lettere maiuscole (l'Italia che si estende in latitudine da circa 36° a 48° è interessata dalla zona S da 32° a 40° e dalla T da 40° a 48°). Ciascuna zona è suddivisa in quadrati di 100 Km di lato, individuati da una coppia di lettere maiuscole (fig. n. 15); quindi in definitiva un punto è individuato da

- numero del fuso;
- lettera della zona;
- coppia di lettere del quadrato
- coordinate piane N e E (4+4 cifre)

la coordinata N esprime la distanza in km dall'equatore (esempio 33 T XF 4562 6325) mentre la E definisce la distanza dal meridiano origine con l'approssimazione delle centinaia di metri.

La cartografia italiana (si consiglia di consultare contemporaneamente una tavoletta I.G.M. 1:25.000). La carta ufficiale dello Stato è una carta rilevata alla scala 1:25.000 dall'I.G.M., disegnata nella rappresentazione conforme di Gauss con formule di trasformazione ricavate dal prof. Boaga. All'Italia competono due fusi: fuso 32 (fuso Ovest o 1° fuso) e fuso 33 (fuso Est o 2° fuso) del sistema U.T.M. e, per ovviare alla di-

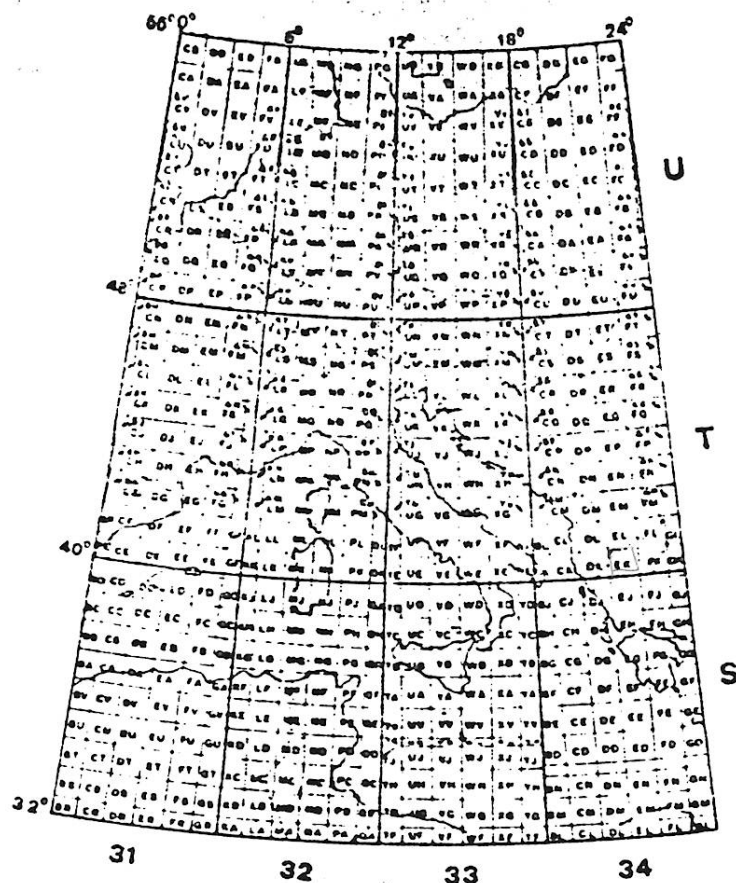


Fig. 15

scontinuità dei due sistemi di riferimento, è stata creata una "zona di sovrapposizione" di 30' (dal meridiano 12° al 12°30') nella quale le coordinate dei punti sono riferite ad entrambi i sistemi; mentre il fuso Est si estende per altri 30' per includere anche l'estremità della penisola salentina che ricadrebbe nel 34° (fig. n. 16).

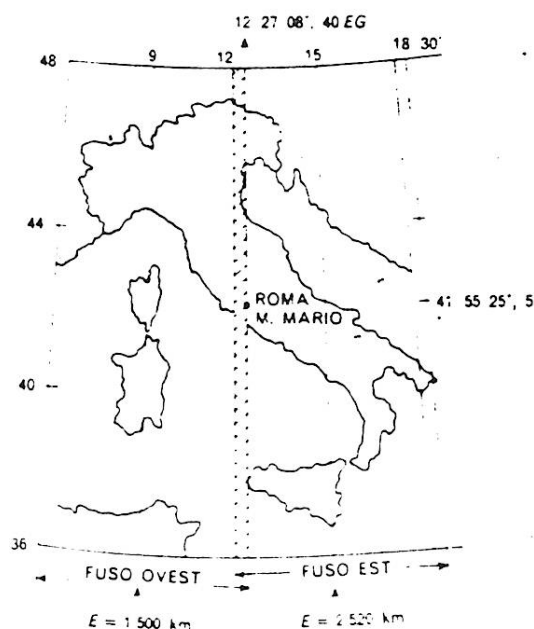
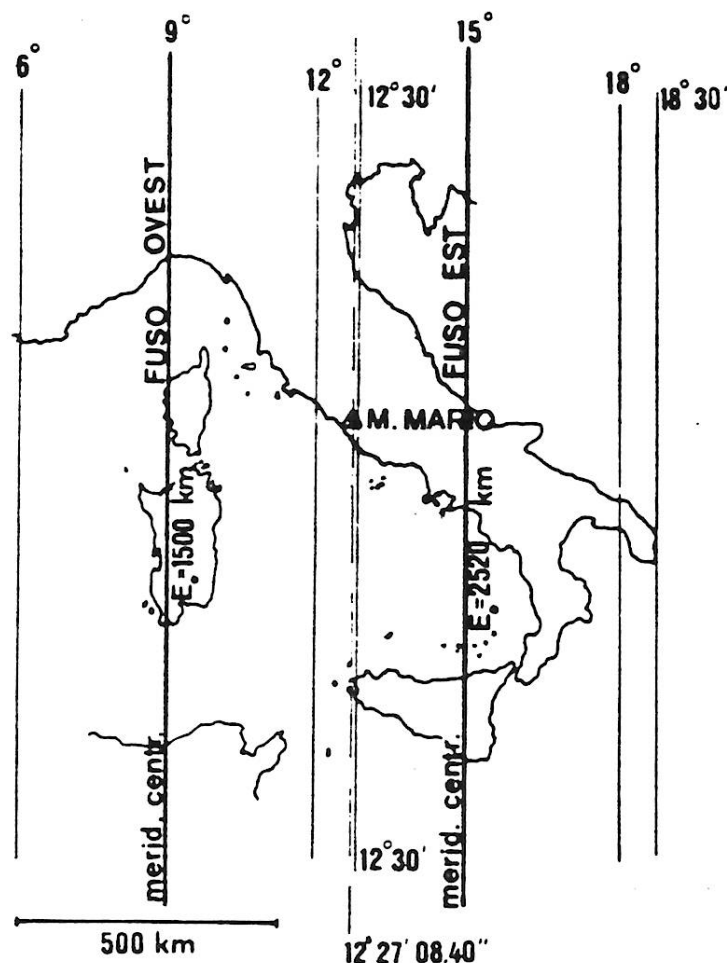


Fig. 16 Fusi della cartografia italiana.

Ai meridiani centrali dei due fusi è stata attribuita nel sistema Gauss-Bouaga rispettivamente l'ascissa 1500 Km (per il meridiano 9°) e 2520 km (per il 15°) (falsa origine) in modo che la prima cifra della coordinata E indica immediatamente a che fuso appartiene il punto (fig. n. 17).



La carta è stata riportata anche nelle scale 1:100.000 e 1:50.000 utilizzando sempre supporti grafici di dimensioni 40x40 cm; naturalmente alla scala 1:100.000 queste dimensioni corrispondono ad una differenza di 20' per la latitudine φ e 30' per la longitudine λ , alla scala 1:50.000 si avranno 10' di latitudine e 15' di longitudine mentre alla scala 1:25.000 si avranno 5' in latitudine e 7'30" in longitudine. Il "Foglio" in scala 1:100.000 è contraddistinto da un numero che va da 1 a 277 (fig. n.18), comprende 4 "quadranti" in scala 1:50.000 individuati dai numeri romani I, II, III, IV ed, infine, ogni quadrante è suddiviso in 4 tavolette in scala: 1:25.000 indicate dalle sigle NO, NE, SO, SE (fig. n.19).

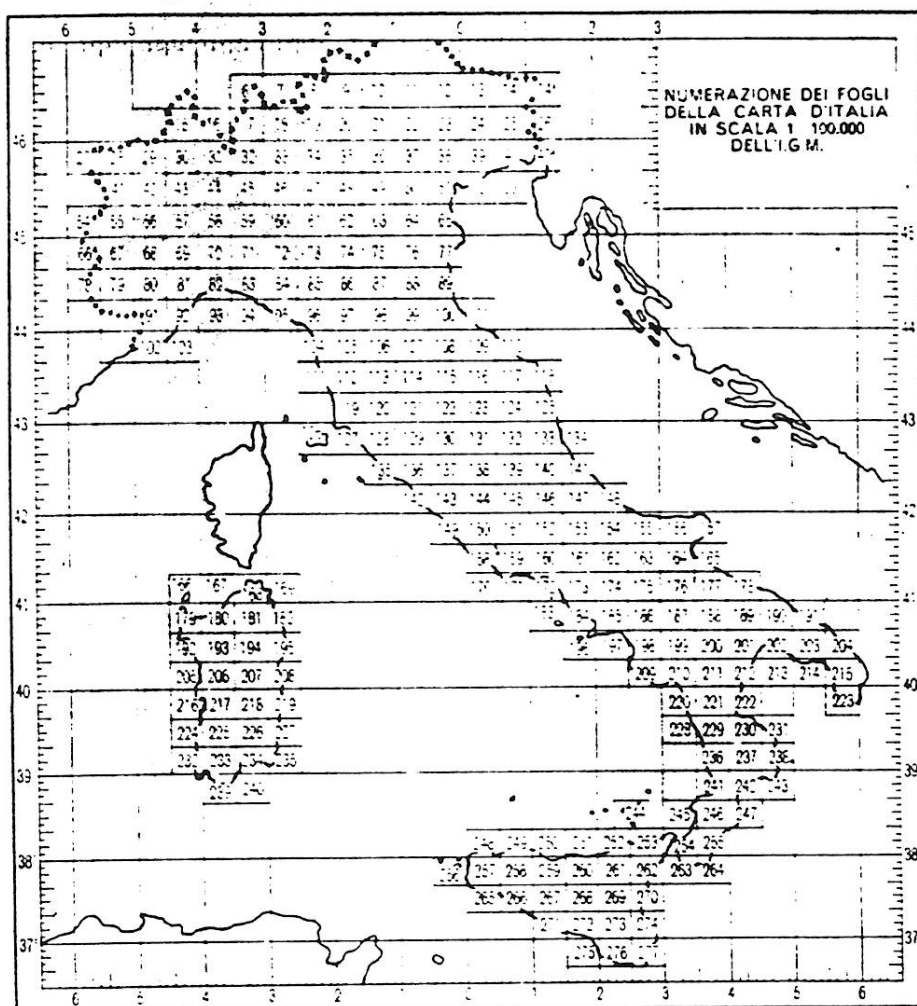


Fig. 18 Suddivisione della carta d'Italia alla scala 1:100.000.

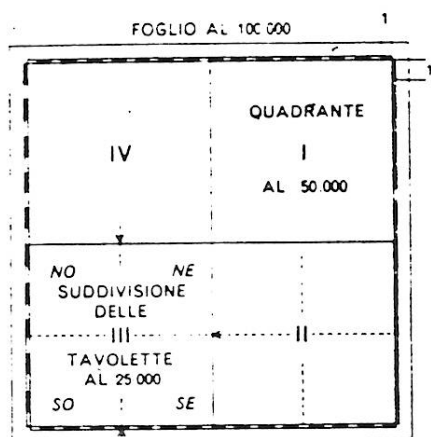


Fig. 19 Suddivisioni del foglio alla scala 1:100.000 della carta d'Italia.

Nella tavoletta al 25.000, anch'essa tagliata secondo meridiani e paralleli, vengono riportati

- a) i reticolati chilometrici relativi ai due sistemi, U.T.M. e Gauss-Boga,
- b) la legenda dei simboli grafici che sostituiscono la rappresentazione in scala dei particolari, quando le dimensioni degli stessi sono paragonabili all'errore di graficismo;
- c) le indicazioni altimetriche relative a punti quotati, curve di livello, con le relative precisioni (± 1.5 m per i punti quotati e ± 2.5 m per le curve di livello).
- d) il valore dell'angolo di convergenza dei meridiani e della declinazione magnetica per il punto centrale della carta.

Si tenga presente che per la carta 1:25.000 è stata apportata una "contrazione" al piano di rappresentazione, ottenuta moltiplicando tutte le coordinate dei punti del terreno e dei vertici delle tavolette per una costante pari a 0.9996, il che equivale a rendere praticamente equidistante la carta. Infatti il modulo di deformazione lineare che prima era compreso tra 1 (lungo il meridiano di tangenza) e 1.0008 (agli estremi del fuso) viene trasformato in 0.9996 sull'asse e 1.0004 ai margini, quindi misure grafiche nell'ambito di una tavoletta si possono considerare, nei limiti di precisione conseguibile, non affette da deformazioni.

grafia di base deve essere trasferita dalla sua forma grafica in una numerica, elaborabile dal calcolatore; le metodologie e le strumentazioni all'uso impiegate verranno descritte più avanti. Si vuole invece fare cenno in questo paragrafo a un modo nuovo di affrontare il problema.

I moderni restitutori analitici, o anche i più comuni restitutori analogici purché dotati di dispositivi di misurazione automatica delle coordinate strumentali, consentono di ricavare automaticamente le coordinate planoaltimetriche di tutti i punti usualmente restituiti graficamente per la costruzione della carta. Pertanto, anziché seguire il procedimento comunemente adottato per il trasferimento in forma di banca dati di una cartografia di base e che consiste nel numerizzare, mediante tecniche basate sull'impiego del digimetro, la cartografia in forma grafica, si stanno sperimentando nuove metodologie volte a ottenere direttamente la cartografia di base in forma numerica. Queste sperimentazioni, condotte non solo in ambiti universitari ma anche da alcune imprese fotogrammetriche dotate di strumentazioni molto avanzate, riguardano principalmente la realizzazione di cartografia numerica dei centri urbani e in particolare la cartografia a grandissima scala dei centri storici.

5. La costruzione delle fotocarte

5.1. *Differenza tra carta fotogrammetrica e fotocarta*

Come visto, l'elemento fondamentale che differenzia una carta fotogrammetrica da una fotocarta è l'essere la prima disegnata e la seconda ottenuta direttamente dalla proiezione della fotografia: essa si presenta quindi come un ingrandimento fotografico.

Nella costruzione della carta fotogrammetrica classica il restituitista effettua, all'atto della restituzione, una fotointerpretazione della fotografia e riproduce con il tratto della matita gli elementi naturali e artificiali del terreno, fornendo così un prodotto estremamente facile da «leggere». Necessariamente, però, opera delle semplificazioni; ad es. di un'area coperta da bosco indicherà solo i limiti del bosco, corredandoli con un segno convenzionale. Guardando la carta non si avrà, pertanto, un'idea precisa della reale consistenza del bosco, cioè della sua fittezza o dell'eventuale esistenza di piccole radure, ecc. Il fotopiano e l'ortofotocarta lasciano invece inalterata l'informazione qualitativa che esiste sulla fotografia, di cui sono una fedele riproduzione, ma obbligano l'utente a effettuare ogni volta

quel lavoro di fotointerpretazione che nella carta tradizionale è stato eseguito, una volta per tutte, dal restituitista.

Ulteriori considerazioni sui vantaggi e gli svantaggi di una carta fotogrammetrica e di una fotocarta verranno esposte al par. 3, cap. 6, parte I.

5.2. *Il mosaico semplice*

È una fotocarta ottenuta unendo tra di loro i fotogrammi di una ripresa aerea senza che su di essi venga eseguita alcuna rettifica metrica; tranne che in casi di terreno perfettamente piano e orizzontale e in condizioni di presa nadirali, cioè con assetto verticale dell'asse della camera da presa, il mosaico semplice manca delle proprietà metriche proprie di una carta di base e può essere utilizzato solo per indagini qualitative.

5.3. *Il mosaico controllato*

Viene prodotto col metodo del raddrizzamento, con cui è possibile dare una rappresentazione cartografica di un territorio quando la sua superficie è assimilabile a un piano a pendenza costante: in questo caso, utilizzando le comuni tecniche di proiezione fotografica, è possibile ottenere, dalla proiezione centrale di una sola fotografia, un risultato simile a quello che si avrebbe da una proiezione ortogonale del modello stereoscopico corrispondente.

Per produrre il mosaico controllato si utilizzano speciali proiettori fotografici, detti *raddrizzatori*, che hanno la caratteristica di poter dare delle inclinazioni sia all'asse ottico dell'obiettivo del proiettore sia al piano di proiezione. Col raddrizzatore si procede al raddrizzamento dei singoli fotogrammi, cioè si inserisce nel raddrizzatore il negativo del fotogramma e lo si ristampa deformandolo in modo che acquisti proprietà metriche e ingrandendolo alla scala voluta. Ciò è ottenuto controllando che la distanza tra due o più punti che appaiono sul fotogramma raddrizzato (in genere dei vertici trigonometrici o dei punti ricavati dalla carta Igmi alla scala 1 : 25.000) sia uguale a quella che si ricava dalle coordinate di detti punti. La deformazione del fotogramma originale viene effettuata basculando opportunamente il piano del raddrizzatore su cui viene ristampato il fotogramma. Dopo aver raddrizzato i vari fotogrammi, questi vengono mosaicati, nuovamente fotografati e tagliati secondo un formato voluto.

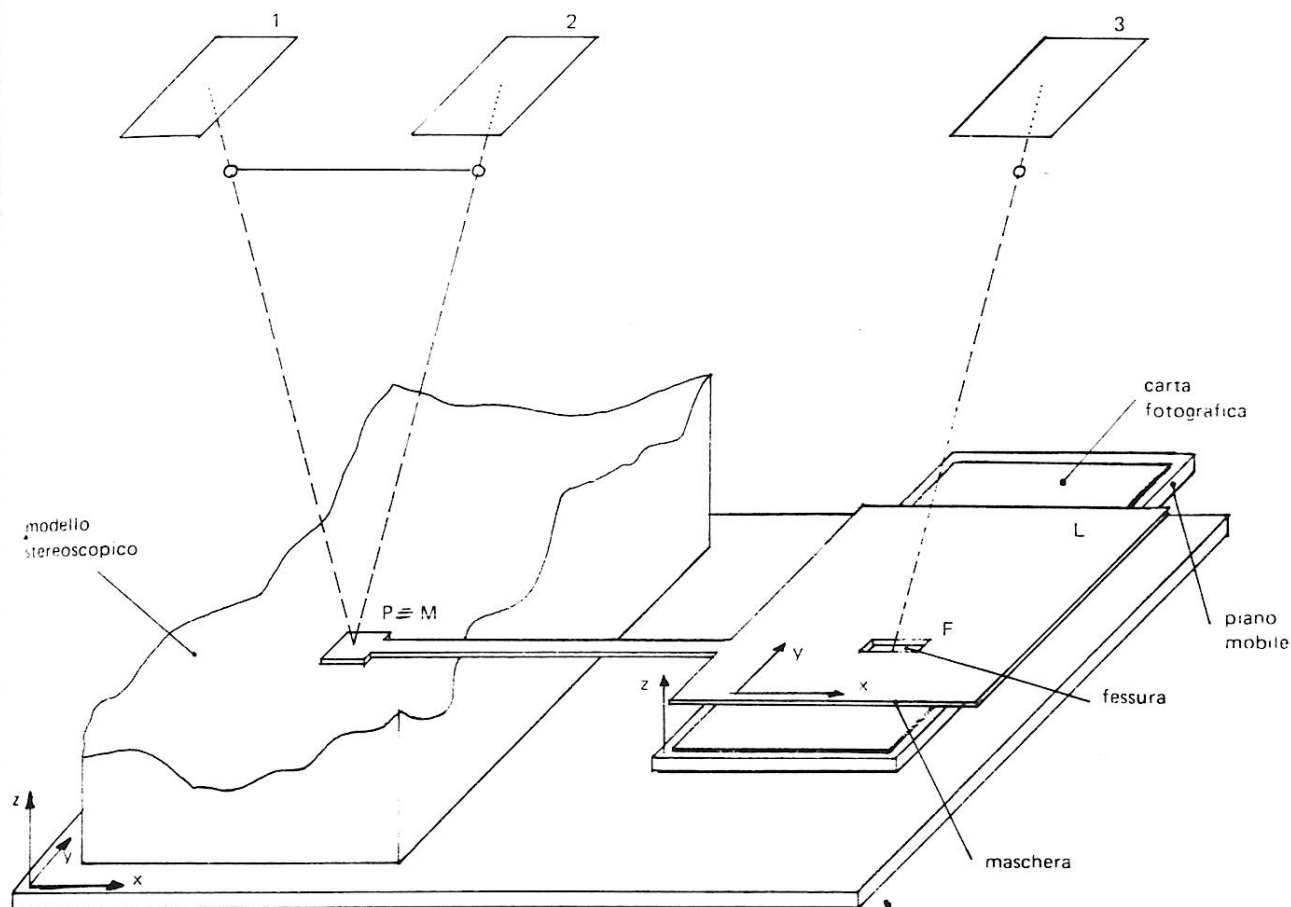


Fig. 8 - Schema di un ortoproiettore. Nella parte sinistra della figura si è schematizzato il modello stereoscopico del terreno creato dall'intersezione di raggi omologhi provenienti dai due fotogrammi; nella parte destra vediamo un terzo fotogramma che è una copia di quello n. 2 che forma il modello stereoscopico e che ha nello strumento la sua stessa posizione angolare. Quando l'operatore collima sul modello stereoscopico un punto P la posizione della maschera L è tale per cui nella fessura F in essa praticata passa il raggio proiettante il punto P dal terzo fotogramma. Sotto la maschera L si trova un foglio di carta sensibile che è appoggiato su un piano il quale segue gli spostamenti in altezza della maschera L ; l'insieme maschera-piano deve seguire gli spostamenti lungo l'asse z della marca M quando essa si sposta per individuare la intersezione dei raggi omologhi nelle diverse parti del modello; l'operatore ottiene l'ortofoto del modello stereoscopico percorrendo tutto il modello con la marca M e ottenendo sul foglio di carta sensibile l'immagine raddrizzata dalla proiezione del terzo fotogramma realizzata attraverso la fessura F .

5.4. *L'ortofotocarta*

5.4.1. *Principio tecnico*

La tecnica dell'ortoproiezione permette di passare direttamente dalla proiezione centrale del fotogramma a quella ortogonale anche con terreni non pianeggianti; è quindi valida anche ai fini metrici in sostituzione o in alternativa alla carta fotogrammetrica. Con essa è possibile anche ricavare, in modo più o meno automatico, l'altimetria del terreno.

Si osservi la fig. 8: in essa è identificabile il sistema strumentale con il piano xy materializzato dal tavolo di proiezione. A sinistra, vicino all'origine degli assi, è il «modello», supposto materializzato e sopra le camere orientate assolutamente del restitutore. Si pensi ora di collegare l'organo che individua l'intersezione dei raggi omologhi con una lastra L fornita di una fessura F di piccole dimensioni. La lastra abbia una giacitura parallela al piano x, y e sotto ad essa vi sia una pellicola fotografica E . Sopra sia posto un proiettore orientato come la camera di destra, e in cui è inserito lo stesso fotogramma, ma in negativo.

Questo schema semplificato descrive il concetto su cui si basa il raddrizzamento differenziale (ortoproiezione). Infatti, supposto il modello formato e orientato, quando l'organo che individua il punto di intersezione dei raggi omologhi è in corrispondenza di un punto P del modello, la fessura che riceve il fascetto luminoso proveniente dall'intorno dell'immagine di P sul secondo fotogramma, permette d'impressionare la carta dando di P , o meglio del suo intorno, un'immagine raddrizzata. Ripetendo il procedimento per tutti i punti del modello in modo sistematico (scansione del modello), esplorando ad esempio lungo l'asse Y mantenendo la marca aderente al terreno, cioè in quota, si ottiene l'ortofoto dell'intero modello, costituita da strisciole contigue; l'asse di ogni strisciolina prende il nome di «profilo di scansione».

All'andamento effettivo del terreno si sostituisce cioè un solido scalettato che tanto più si avvicina alla vera forma del terreno quanto più piccola è la fessura.

Ragioni tecniche ed economiche fanno sì che questa sia generalmente compresa fra i 2 e gli 8 mm di larghezza e 1 mm d'altezza e la velocità della scansione secondo Y sia variabile dall'operatore in funzione dell'accidentalità del terreno.

Negli strumenti ortofotografici più perfezionati esistono dispositivi d'alta tecnologia ottico-meccanica in grado di produrre ortofotocarte

che, oltre a essere metricamente corrette nel senso topografico della parola, sono da un punto di vista qualitativo paragonabili alle foto aeree dalle quali vengono ricavate.

L'ortofoto può essere prodotta in bianco e nero e a colori, a seconda della pellicola usata per le riprese.

L'ortofotocarta si ottiene completando l'ortofoto (che è il prodotto che esce dall'ortofotoproiettore) con le curve di livello e la toponomastica. Secondo alcuni, oltre a esse, sull'ortofotocarta dovrebbero essere evidenziati, con un'operazione di disegno, i principali particolari topografici.

5.4.2. Strumenti on-line e off-line

Gli strumenti per la costruzione dell'ortofoto si possono distinguere in:

1. *on-line (in linea)*: permettono la costruzione dell'ortofoto solo contemporaneamente alla scansione del modello;
2. *off-line (fuori linea)*: costruiscono l'ortofoto indipendentemente dalla scansione memorizzando in forma analitica o analogica durante la scansione, l'altimetria del modello, che servirà successivamente per la restituzione dell'ortofoto.

Il procedimento «in linea» è preferibile quando non si prevede una elevata produzione; quello «fuori linea» per il rilievo di grandi estensioni.

Col procedimento fuori-linea ci sono più strumenti che generano i profili di scansione, e un unico ortoproiettore che produce le ortofoto; da queste si passa poi all'ortocarta su cui le curve di livello possono essere ottenute sia automaticamente sia col metodo tradizionale.

5.4.3. Riproduzione dell'ortofotocarta

Generalmente quando si realizza una cartografia con il metodo dell'ortofoto gli elaborati consegnati al committente consistono in una serie di fogli su pellicola elioriproducibile e in alcune serie di fogli a stampa fotografica su carta. Le eliocopie ottenibili dalla pellicola elioriproducibile vengono per lo più utilizzate come minuta di lavoro, mentre quando si vuole ottenere la maggiore quantità di informazioni possibile si lavora sulla copia a stampa. Solo quest'ultima infatti contiene la stessa quantità di informazioni della pellicola di prima generazione.

Quando però si deve produrre una cartografia che deve avere una grande diffusione, come nel caso di quella regionale, non è pensabile

di distribuire agli utenti delle stampe fotografiche su carta per il loro costo troppo elevato; la soluzione deve quindi essere analoga a quella adottata per la carta tradizionale: la riproduzione a mezzo stampa tipografica. Mentre però questa non pregiudica la qualità di una carta di tipo tradizionale, ma anzi l'aumenta da un punto di vista estetico, nella riproduzione a stampa tipografica od offset l'ortofotocarta perde una certa quantità di informazione dovendo essere «retinata» la fotografia, operazione attuata sovrapponendo alla pellicola della foto un «retino» al fine di poter riprodurre i vari toni di grigio della fotografia mediante una distribuzione regolare di punti di dimensione variabile e di tonalità costante: più grossi in corrispondenza dei grigi scuri e del nero e sempre più piccoli a misura che diminuisce l'intensità del grigio che devono riprodurre. Con questo accorgimento è possibile ottenere un'immagine della figura riprodotta chiara e intellegibile all'occhio umano ma che si rivela, se esaminata con una lente per ottenerne maggiori informazioni, formata, come detto, da una serie di punti.