

## CAPITOLO IX

### CARTOGRAFIA NUMERICA

#### 1 Caratteristiche della cartografia numerica

##### 1.1 *Schema concettuale*

##### 1.1.1 *Cartografia tradizionale e cartografia numerica: analogia dei rispettivi schemi concettuali*

Consideriamo una generica *carta tecnica tradizionale a grande scala* (nel seguito indicata col semplice termine di *carta tradizionale*) e vediamo di delinearne le caratteristiche qualitative e metriche. Possiamo dire che essa è costituita da un disegno del territorio che vuole rappresentare e che tale disegno, suddiviso in tavole e completato con opportune cornici e parametratura, viene realizzato in un sistema di coordinate cartesiane piane i cui punti sono in corrispondenza biunivoca, in funzione di precise relazioni di tipo geometrico e/o matematico, con quelli della superficie fisica del territorio rappresentato; aggiungiamo poi che la rappresentazione viene realizzata secondo uno schema che prevede due categorie di informazioni: la planimetria e l'altimetria; la prima costituita dalla proiezione nel piano del disegno dei particolari naturali e artificiali del terreno e la seconda dai punti quotati e dalle curve di livello; la planimetria è sempre presente, mentre l'altimetria può non esserci e in questo caso la carta è solo planimetrica.

Altri elementi caratteristici che fanno del disegno una carta sono *il rapporto di scala 1:n*, essendo  $n$  il numero di volte di cui risulta ridotta sulla carta la distanza topografica tra due punti, e *la legenda*, che fornisce la chiave di lettura della carta in funzione di tipi di linee, retinature, simboli, segni convenzionali, ecc..

Infine *il contenuto metrico* dovrà essere conforme a delle tolleranze, che stabiliscono i massimi scostamenti che si possono verificare tra le distanze e i dislivelli ricavabili dalla carta e i corrispondenti nella realtà. L'elemento più caratterizzante della carta è senza dubbio il rapporto di scala; esso infatti determina, per convenzione ormai consolidata, il grado di dettaglio della carta, la sua precisione, l'equidistanza delle curve di livello e il grado di impiego di segni convenzionali.

Le *funzioni base* che questo disegno assolve, vale a dire gli scopi principali per cui esso viene realizzato e impiegato sono:

- fornire una conoscenza del territorio basata sia sull'osservazione puntuale di ogni singolo oggetto, sia come visione generale di insieme paragonabile a quella che si avrebbe osservando il territorio in direzione nadirale da conveniente altezza;
- consentire di sviluppare processi logici di tipo deduttivo e induttivo in funzione di relazioni di concomitanza, di vicinanza, di frequenza, ecc. ecc.;
- costituire il supporto di base, anche in senso fisico, per i lavori di classificazione, di pianificazione, di progettazione e di gestione del territorio.

Tutte le caratteristiche qualitative e metriche che sono state elencate indicano a quali *aspetti formali* un disegno del territorio debba soddisfare e quali *contenuti* debba avere, affinché corrisponda in termini tecnici ad una *carta*.

Ma affinché questo disegno sia, come in effetti vuol essere, un elemento di conoscenza del territorio, oltre a qualificarsi come il prodotto di applicazioni tecniche che si richiamano a discipline scientifiche quali la Geodesia, la Cartografia, la Topografia e la Fotogrammetria, esso deve avere dei requisiti generali che sono quelli che gli conferiscono la sua impronta genetica di *strumento di Informazione*. Questi requisiti generali sono:

- la *congruenza*, in base alla quale una qualsiasi informazione contenuta nella carta non deve essere in contraddizione con alcuna delle altre;
- la *leggibilità*, che deve garantire l'univocità di interpretazione, la quale deriva oltre che dalla similitudine fra la realtà e il disegno, anche dagli elementi di *autocertificazione* della carta stessa (rapporto di scala, cornice, legenda, ecc.);
- la *veridicità*, cioè la corrispondenza al vero dell'informazione qualitativa, che costituisce un vincolo anche più severo delle stesse tolleranze metriche.

Mentre gli aspetti formali, i contenuti e le funzioni base della cartografia, hanno subito delle evoluzioni nel corso dei tempi, questi requisiti generali, anche se sottintesi, hanno sempre permeato la sua intima essenza.

Lo schema concettuale della cartografia tradizionale si basa quindi su:

- requisiti generali
- aspetti formali
- contenuti
- funzioni base.

Da esso emerge chiaramente *cosa sia una carta tradizionale* senza che si sia detta una parola su *come essa venga prodotta*. La tipologia della carta deriva dai suoi aspetti formali, dai suoi contenuti o dalle particolari funzioni che essa deve assolvere.

Il *modo* con cui la carta deve venire realizzata sarà invece oggetto di norme di Capitolato, le quali hanno lo scopo di fornire alla Committenza degli elementi di garanzia aprioristici sul prodotto che essa vuole ottenere; di creare i presupposti necessari perché si possa effettuare l'affidamento dei lavori secondo determinate procedure di Legge; di creare, come di fatto è avvenuto, degli standard di produzione che semplificano il rapporto domanda-offerta.

Per definire le caratteristiche qualitative e metriche della cartografia numerica ci atterremo allo schema concettuale sopra esposto, poiché non ci sono, allo stato attuale, motivi e ragioni per introdurre uno diverso

### 1.1.2 Definizione della cartografia numerica

Seguendo la stessa impostazione metodologica con la quale è stata definita al precedente paragrafo la cartografia tradizionale, e cioè tenendo conto dei requisiti principali, degli aspetti formali, dei contenuti e delle funzioni base, elenchiamo gli *elementi distintivi fondamentali* che nel loro insieme costituiscono la definizione di cartografia numerica.

- La cartografia numerica fornisce le informazioni qualitative e metriche proprie di una cartografia sotto due aspetti: in forma di dati numerici (coordinate che descrivono la geometria degli oggetti cartografati e codifiche che ne indicano la tipologia), memorizzati su supporto magnetico elaborabile da calcolatore elettronico, e in forma di *visualizzazioni* su video-grafico o su supporto cartaceo mediante plotter, simili nell'aspetto alla cartografia tradizionale; la cartografia numerica costituisce pertanto *un'immagine speculare* della cartografia tradizionale, in quanto quest'ultima è un prodotto cartografico in forma di disegno che contiene in forma implicita gli stessi dati sotto forma di coordinate; mentre la cartografia numerica è costituita da un archivio di coordinate che contiene in forma implicita la sua visualizzazione sotto forma di disegno; la visualizzazione costituisce quindi parte integrante della cartografia numerica, e deve essere insita in essa, così come parte integrante di una carta tradizionale sono la cornice, i riferimenti cartografici e la parametratura che consentono di ricavare le coordinate di ogni punto rappresentato.
- La cartografia numerica consente di *trasformare il dato cartografico in informazione* non solo in funzione di processi logici di un operatore umano che ne utilizzi una delle sue possibili visualizzazioni, ma anche in funzione di elaborazioni basate su logiche programmate ed effettuate mediante il calcolatore elettronico.
- *La cartografia numerica* sostituisce la cartografia tradizionale e quindi, nonostante la diversità di aspetto formale, ne deve mantenere i requisiti principali, *deve possederne almeno tutti i contenuti*, e deve assolverne *almeno le stesse funzioni base*.
- La cartografia numerica conferisce una totale univocità al contenuto metrico della cartografia poiché elimina sia gli elementi di soggettività che affliggono le operazioni di misura mediante le quali nella cartografia tradizionale si passa dal disegno alle coordinate, sia le conseguenze della deformabilità e deteriorabilità dei supporti cartacei; l'univocità risulta inoltre totale anche dal punto di vista del contenuto qualitativo, essendo l'interpretazione del disegno sostituita dalla lettura della codifica.
- La cartografia numerica consente di estendere la tipologia della cartografia, affiancando alla cartografia solo planimetrica e a quella plano-altimetrica con punti quotati e curve di livello, altre tipologie di cartografia in funzione di un incremento dell'informazione altimetrica, che è reso possibile dal fatto che, sotto l'aspetto formale, non vi è più differenza tra informazione planimetrica e informazione altimetrica, poiché ad ogni punto della carta possono essere associate oltre alle coordinate planimetriche anche quella altimetrica.
- La cartografia numerica consente di utilizzare la geometria e la posizione topografica degli oggetti cartografati e la codifica ad essi associata come attributi in base ai quali effettuare operazioni computerizzate di classificazione, di selezione, di calcoli statistici, ecc..
- La cartografia numerica consente di utilizzare la cartografia come comune denominatore di riferimento nei sistemi informativi territoriali o in qualsiasi banca dati per i quali sia significativa la collocazione spaziale.
- *La cartografia numerica considerata come prodotto finito*, deve essere paragonabile a quello che, nella cartografia tradizionale, rappresenta il fotoinciso finale.

L'utente potrà poi, se vorrà, manipolare, modificare o ristrutturare la cartografia numerica che gli viene consegnata, per adattarla al tipo di gestione proprio del Sistema Informativo Territoriale (SIT) di cui costituisce il riferimento spaziale, ma tali eventuali interventi devono essere considerati estranei al processo produttivo. La cartografia numerica non è quindi semplicemente un archivio di dati numerici dai quali sono deducibili delle geometrie che opportunamente interpretate e ricomposte possono dar luogo ad entità a loro volta identificabili attraverso un sistema di codifica, ma ne costituiscono parte integrante anche tutti i dati, anch'essi formanti un archivio numerico, necessari a realizzarne la visualizzazione completa di linee speciali, campiture, simboli, toponomastica, ecc. sia su video-grafico che su supporto cartaceo mediante plottaggio.

### 1.1.3 Tipologia della cartografia numerica

Per quanto riguarda la tipologia della cartografia numerica è imperativo che essa non sia correlata al metodo di produzione che porta a classificarla come cartografia numerica digitalizzata e cartografia numerica diretta. Un'impostazione corretta del problema deve invece prevedere una casistica articolata come nel seguito.

- Cartografia numerica solo planimetrica; in essa esiste solo gli elementi che sono caratteristici del contenuto planimetrico di una carta, che vengono dati attraverso le sole coordinate planimetriche.
- Cartografia numerica con planimetria e altimetria; è una carta numerica dove, analogamente a quanto avviene per la cartografia tradizionale, vi è una planimetria, descritta mediante coordinate soltanto planimetriche, e un'altimetria, consistente in punti quotati e curve di livello, descritta mediante le coordinate planimetriche e la quota.
- Cartografia numerica tridimensionale; in questo tipo di cartografia alle coordinate planimetriche di ogni punto che descrive particolari planimetrici viene associata anche la quota. Continua ad esistere anche l'altimetria tradizionale data mediante curve di livello e punti quotati. Ai punti che de scrivono particolari artificiali deve essere attribuita la quota *al piede*, cioè al livello del suolo, del particolare cui appartengono.

## 1.2 Scala nominale

Uno degli aspetti più fortemente innovativi, nel contesto della tradizione cartografica, è costituito dal fatto che per la cartografia numerica sembrerebbe superato il concetto di rapporto di scala, poiché, a meno del fattore di deformazione della proiezione cartografica adottata, il teorema di Pitagora applicato alle coordinate planimetriche di due punti ne dà direttamente la distanza topografica; il rilievo è cioè memorizzato in forma di coordinate assolute e perciò è sempre e comunque in scala 1:1.

Sembrerebbe pertanto improprio parlare di scala di una carta numerica; tuttavia si ritiene che non si debba abbandonare questo riferimento soprattutto in considerazione del fatto che i dati

di cartografia numerica possono essere visualizzati, mediante plotter o su video grafici, con rimpicciolimenti ed ingrandimenti esasperati.

Ciò significa che una cartografia numerica realizzata seguendo gli stessi canoni cartografici che porterebbero alla realizzazione di una carta tradizionale alla scala 1:2000, potrebbe essere facilmente visualizzata o portata a scale maggiori, ad esempio alla scala 1:500 o anche 1:200, e ingenerare nell'utente l'equivoco di possedere una precisione che invece non le è propria.

L'utente invece deve avere chiaro il concetto che una cartografia numerica ha un contenuto di precisione metrico ben preciso, dovuto alle procedure di costruzione della carta, dettato dai canoni della fotogrammetria classica; pertanto pensare di acquisire maggiori informazioni operando su visualizzazioni a scale maggiori di quella nominale equivale all'errore dell'utilizzatore di cartografia tradizionale che crede di aumentarne il contenuto informativo e metrico facendone un ingrandimento fotografico.

Si conviene pertanto che si debba mantenere il concetto di rapporto di scala anche per la cartografia numerica e che si debba intendere per rapporto di scala di una cartografia numerica quella che corrisponde al massimo rapporto di scala a cui si può riprodurre una carta numerica mediante plotter, in modo che essa abbia i requisiti qualitativi e metrici di una carta tradizionale avente la stessa scala.

Anche per la cartografia numerica il rapporto di scala definisce quindi il grado di precisione metrica e il contenuto qualitativo.

Per correttezza formale sarà tuttavia opportuno usare, per la cartografia numerica, il termine di *scala nominale*, intendendo con tale espressione il rapporto di scala che avrebbe una carta tradizionale di corrispondente precisione metrica e contenuto qualitativo.

A parziale rettifica di quanto esposto in merito alle operazioni di ingrandimento della cartografia numerica in rapporti di scala superiori a quella nominale, conviene tuttavia prendere atto che la visualizzazione su video-grafico consente, o per meglio dire invoglia, a rappresentare la cartografia numerica a scala superiore a quella nominale; pertanto, fermo restando che ogni ingrandimento superiore alla scala nominale della carta deve essere considerato a rischio dell'utente, sarebbe tuttavia sbagliato considerare la visualizzazione su video-grafico ad una scala superiore a quella nominale alla stregua dell'esecrato ingrandimento fotografico della carta tradizionale; la facilità di produrre automaticamente su video-grafico o mediante plotter, visualizzazioni della cartografia numerica in rapporti di scala maggiori di quello nominale va vista come una ulteriore possibilità offerta dalla cartografia numerica per leggere *non di più* di quella che essa in effetti contiene, ma di leggerlo *meglio*.

### 1.3 *Caratteristiche del contenuto planimetrico e altimetrico della cartografia numerica*

#### 1.3.1 *Il contenuto planimetrico*

L'utente della cartografia tradizionale, osservando la carta, individua entità che sono oggettivamente riportate nella carta stessa: riconosce una casa, una strada, altri particolari. Tuttavia il potere di analisi consentito dalla visione diretta della cartografia, gli consente anche di evincere altre informazioni: osservando ad esempio una pista aeroportuale, le recinzioni della zona aeroportuale, le infrastrutture dell'aeroporto, ecc., l'utilizzatore è in grado di riconoscere tutta la zona che è asservita a questo particolare tipo di infrastruttura.

E ancora: l'osservatore, guardando la carta può ricavare l'informazione dello spazio occupato da un nodo stradale, anche se un nodo stradale su una carta tradizionale è semplicemente uno spazio bianco, non contraddistinto da alcun segno particolare.

E' il potere di aggregazione logica che deriva dalla consuetudine all'osservazione della carta a permettere all'utilizzatore di distinguere entità che in realtà sulla carta non sono rappresentate, ma che costituiscono la concretizzazione di concetti.

Nella elaborazione della cartografia numerica mediante logiche programmate, questa componente dovuta all'osservazione dell'operatore non è più possibile.

E' necessario perciò che le entità, riconoscibili nella utilizzazione tradizionale della cartografia grazie ad operazioni soggettive eseguite di volta in volta dall'operatore, vengano invece oggettivizzate come entità realmente esistenti e che sia associato ad esse un codice per permetterne il riconoscimento nel contesto generale.

Per rifarsi all'esempio della struttura aeroportuale, oltre ad essere differenziabile la pista aeroportuale con un suo codice, l'aerostazione, con un suo codice, deve anche essere evidenziato un perimetro come linea ideale, o come linea reale a seconda che esista o no una reale delimitazione dell'area aeroportuale, e la superficie delimitata da perimetro, ideale o reale, dovrà essere contraddistinto da un codice che definisce la tipologia "area aeroportuale".

Per portare un altro esempio, nella memorizzazione di una realtà urbana, non sarà sufficiente dare i perimetri delle case o di quelle strutture superficiali che definiscono il perimetro di un isolato, ma per una corretta gestione della cartografia occorrerà che le strade, rappresentate nella cartografia tradizionale da spazi bianchi, siano opportunamente perimetrare e memorizzate, ad esempio secondo una struttura di tronchi e di nodi, dove appunto una sede stradale è un *tronco*, quando scorre tra un perimetro di due edifici, oppure un *nodo* in quelle zone in cui più strade si intersecano tra di loro.

Occorre, in pratica, che tutte le superfici rappresentate nella cartografia siano in qualche modo sempre contraddistinte da un codice di tipologia. Così come un utente di cartografia tradizionale, se, con procedimento casuale, individua con la punta di una matita un punto della carta, non corrispondente ad alcun segno grafico, valutando la rappresentazione dei particolari che sono in un intorno di questo punto, riesce a stabilire che esso appartiene ad esempio ad un'area a seminativo, o ad un bosco, oppure che questo punto è interno ad un edificio, così pure l'utente della cartografia numerica, considerando un punto individuato da una coppia di coordinate casuali, deve poter ricavare come informazione diretta e non come risultato di

un'elaborazione, il dato di appartenenza di questo punto ad una superficie codificata rispettivamente con un codice di limite di coltura agraria a seminativo, ovvero con un codice di limite di bosco o ancora, per seguire l'esempio portato per la carta tradizionale, con un codice di edificio.

In altri termini si può dire che nella cartografia numerica non debbono esistere superfici non codificate. Mentre cioè la carta tradizionale è costituita riportando segni grafici di tipo puntuale, lineare ed areale su uno sfondo bianco, nella cartografia numerica non può esistere uno *sfondo* non codificato; le entità puntuali e lineari potranno essere interne ad entità areali o coincidere con i vertici o il perimetro di esse, ma non potranno appartenere o intersecare uno sfondo non codificato.

### 1.3.2 *Contenuto altimetrico della cartografia.*

Come già visto al paragrafo 1.1.2, un elemento fortemente caratterizzante della cartografia numerica è la possibilità che essa offre di superare la divisione fra il dato planimetrico e il dato altimetrico. Infatti utilizzando una carta tradizionale si possono ricavare con operazioni di misura relative alla parametratura le coordinate planimetriche di tutti i punti della carta; per ricavare invece la quota di un generico punto è necessario ricorrere a procedimenti di interpolazione che forniscono il dato *quota* in funzione delle informazioni altimetriche rappresentate dai punti quotati e dalle curve di livello.

Nella cartografia numerica invece il contenuto altimetrico può essere costituito da quattro categorie di entità:

- punti quotati, intesi nell'usuale significato cartografico;
- curve di livello;
- quota di ogni punto di descrizione di particolari planimetrici naturali o artificiali;
- quota delle unità volumetriche alla linea di gronda, intendendosi per unità volumetrica di un edificio ogni parte dell'edificio omogenea dal punto di vista della quota di gronda.

Non ci soffermeremo nel seguito sulla descrizione delle categorie punti quotati e curve di livello perché la definizione di quali punti del territorio debbano essere quotati (centri di incroci, piazze, cortili, infrastrutture viarie, ecc.) e di come debbano essere realizzate le curve di livello rientra nei canoni della Cartografia classica.

Si ritiene invece opportuno sottolineare i contenuti delle altre due categorie, perché peculiari della cartografia numerica.

#### *Quote dei punti di descrizione di particolari planimetrici*

I punti che costituiscono la cartografia numerica sono memorizzati nella banca dati con una quadrupletta di numeri e cioè: un codice e le tre coordinate E,N,q del punto.

Sia che il particolare planimetrico abbia oppure no estensione in altezza, la quota dei punti che lo descrivono nella cartografia numerica deve essere quella del terreno.

Ad esempio i punti che descrivono l'andamento planimetrico di una struttura artificiale che si estende in altezza al di sopra del piano di calpestio, (ad esempio. il perimetro di un edificio, un

muro, ecc.) deve essere attribuita *la quota al piede* della struttura, cioè quella che corrisponde all'intersezione della struttura con il piano di calpestio ad essa adiacente.

Questa regola ammette alcune eccezioni; per esempio: per tralicci e pali della luce dovrà essere data la *quota al piede*, mentre all'entità che definisce la linea elettrica da essi portata, dovrà essere associata la quota propria della linea stessa.

#### *Quota di gronda delle unità volumetriche.*

Ad ogni unità volumetrica deve essere attribuita la quota della linea di gronda; tale informazione può essere costituita da un'entità puntuale avente coordinate planimetriche interne al perimetro dell'unità volumetrica e quota uguale alla quota della linea di gronda.

A chiarimento di quanto sopra esposto si propongono i seguenti esempi.

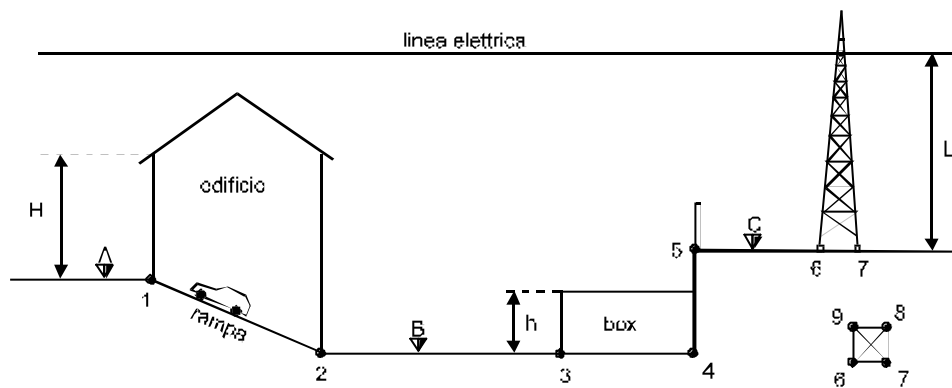


figura 1

Esempio di contenuto planimetrico e altimetrico proprio della cartografia numerica

Nella figura 1, la quota del punto 1 sarà la quota del suolo al livello A; la quota del punto 2 sarà la quota del punto B. Ugualmente i punti 3 e 4 avranno come quota la quota del punto B. La quota di gronda dell'edificio sarà la quota di  $A+H$ ; la quota di gronda del box sarà la quota di  $B+h$ . La quota del punto 5, piede del muro, sarà la quota del punto C. I punti 6,7,8 e 9 che descrivono il perimetro del traliccio avranno la quota del punto C; il punto centrale avrà la quota della linea elettrica ( $C+L$ ).

L'edificio rappresentato in figura 2 dovrà essere memorizzato nella cartografia numerica con quattro entità: il perimetro totale P dell'intero edificio, che non avrà quota di gronda e il perimetro delle tre unità volumetriche A, B, C con le rispettive quote di gronda.

La quota dei vertici delle spezzate chiuse che rappresentano i quattro perimetri sarà pari alla quota al suolo (160.2 nell'esempio in figura 2).



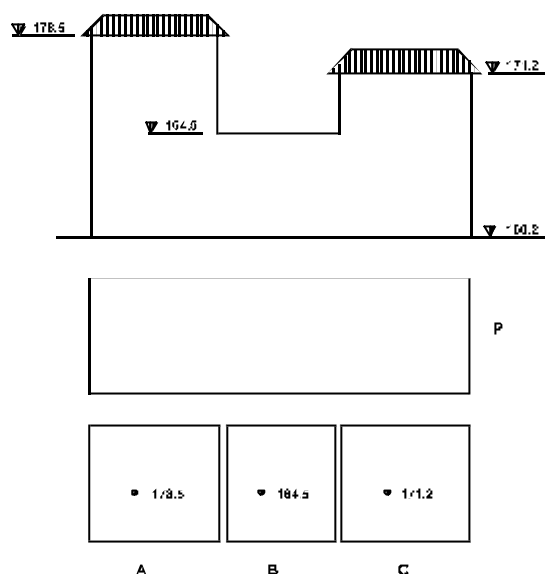


figura 2

Suddivisione di un edificio in unità volumetriche.

#### 1.4 Funzione del sistema di codifica

Solo l'attribuzione di un codice ad ogni entità memorizzata nella cartografia numerica, può consentire all'utente la possibilità di una sua lettura, oltre che per osservazione diretta della sua visualizzazione, anche con elaborazioni effettuate mediante calcolatore elettronico. Lo studio e la scelta del sistema di codifica sono quindi momenti essenziali nella costruzione della cartografia numerica perché l'articolazione del sistema di codifica ne definisce il contenuto qualitativo.

Per creare un sistema di codifica occorre innanzitutto stabilire l'elenco degli oggetti che si vogliono tenere differenziati nell'ambito della cartografia numerica .

Per fare questo, tenuto conto della scala nominale della cartografia numerica ci si può ricondurre allo stesso tipo di differenziazione degli oggetti che viene fatto in una cartografia tradizionale di pari scala.

Poiché, come esposto in premessa, ci si riferisce fondamentalmente a cartografia numerica a grande scala nominale, l'elenco degli oggetti che devono essere tenuti differenziati può essere desunto dai capitolati redatti a suo tempo dalla Commissione Geodetica Italiana per le cartografie tradizionali appunto a grande scala. In tali capitolati sono descritte le norme tecniche da seguire per la realizzazione di lavori di cartografia e sono riportati gli elenchi dei contenuti qualitativi che le carte devono assicurare. Questi elenchi suddividono per grandi categorie, come idrografia, orografia, edificato, ecc, tutti gli oggetti che devono essere rappresentati nella cartografie. Essi possono quindi venire assunti come elenchi degli oggetti cartografici che devono essere tenuti differenziati nella cartografia numerica; in particolare si può mantenere valida la suddivisione esistente in grandi categorie.

Effettuata questa prima operazione di definizione dei contenuti, integrando eventualmente gli elenchi citati per tener conto delle considerazioni esposte nei paragrafi precedenti, si passa alla successiva fase di scelta del tipo di codice da attribuire a ciascun oggetto cartografico.

I codici possono essere di tipo alfanumerico o numerico, con lunghezza fissa o variabile.

Generalmente negli strumenti restitutori per produzione di cartografia numerica, sia analitici, sia analogici encoderizzati, viene riservato al codice un campo costituito da un numero di caratteri fisso; in molti strumenti questo campo è di 8 caratteri.

Dovendo rispettare il vincolo della lunghezza fissa del codice, per avere comunque un sistema di codifica flessibile, che consenta di realizzare selezioni sugli oggetti cartografati in funzione delle categorie cui afferiscono, è opportuno adottare codifiche che si basano su *articolazioni ad albero*

Vediamo come le 8 cifre di un codice possano essere sfruttate per creare una codifica con strutturazione ad albero in modo tale cioè che le prime due cifre del codice indichino l'appartenenza dell'oggetto a una delle grandi categorie cui prima si è fatto riferimento, le seconde due cifre del codice indichino la tipologia dell'oggetto, e le altre cifre del codice specificino maggiormente la tipologia dell'oggetto nell'ambito di una determinata classe. A scopo illustrativo si consideri la figura 3; in essa è rappresentata un'area aeroportuale con delle strutture tipiche di essa e cioè le piste, gli edifici dell'aerostazione, il perimetro della zona aeroportuale ecc.

Come si vede un tipo di codifica numerica strutturata secondo un codice di 8 cifre potrebbe prevedere che appunto con il primo gruppo di 2 cifre 03 si indichi la grande categoria costituita da *edifici e costruzioni*, che il secondo gruppo di due cifre 05, indica che nell'ambito della categoria *edifici e costruzioni* la sottocategoria *costruzioni speciali* che il terzo gruppo di 2 cifre 05 indica che i, nell'ambito della sottocategoria *costruzioni speciali* l'ulteriore sottocategoria *aeroporti* e che l'ultimo gruppo di 2 cifre serva a differenziare nel dettaglio gli oggetti afferenti alla categoria *aeroporti*.

codifica	definizione	rappresentazione grafica
03*****	EDIFICI E COSTRUZIONI	
0305****	<i>costruzioni speciali</i>	
030505**	aeroporti	
03050501	perimetro di aeroporto	
03050502	edifici aeroportuali	
03050503	piste di decollo	
03050504	assi delle piste di decollo	

figura 3

Esempio relativo ai tipi di oggetti da memorizzare per descrivere compiutamente un aeroporto. sono stati completati con asterischi i codici che non possono essere associati a nessuna entità in quanto incompleti.

## 2 Metodi di produzione

Esistono tre differenti metodi per produrre cartografia numerica:

- mediante rilievo diretto sul terreno con strumentazione topografica;
- mediante restituzione fotogrammetrica diretta;
- mediante digitalizzazione di cartografia esistente.

In questo capitolo non si descriverà la produzione di cartografia in forma numerica mediante rilievo diretto sul terreno con strumentazione topografica perché dell'argomento si è già trattato al capitolo V.

### 2.1 Metodo fotogrammetrico numerico diretto

La realizzazione di cartografia numerica con metodo fotogrammetrico numerico diretto differisce sostanzialmente dalla realizzazione mediante restituzione fotogrammetrica di cartografia tradizionale, in quanto i particolari naturali e artificiali, che vengono desunti dalla osservazione stereoscopica delle fotografie aeree e acquisiti per far parte della cartografia, vengono acquisiti direttamente in forma numerica.

Per quanto riguarda quindi la fase di presa, di inquadramento e determinazione di punti di appoggio dei modelli, non vi è differenza fra realizzazione di cartografia numerica o cartografia tradizionale.

La differenza subentra nel momento in cui si attua la fase di restituzione.

Innanzitutto devono essere utilizzati strumenti in grado di memorizzare su memorie di massa le coordinate dei punti via via collimati e quindi: o strumenti di tipo analitico, oppure strumenti analogici encoderizzati.

Per quanto attiene il dato che viene acquisito in restituzione, questo può essere:

*la traduzione numerica del dato di tipo tradizionale*, se viene richiesta un cartografia solo planimetrica, oppure planimetrica con altimetria, ma nella quale comunque gli elementi della planimetria vengono tenuti distinti da quelli dell'altimetria, come avviene per la cartografia tradizionale;

*il dato cartografico tridimensionale*, quando si richiede che per ogni punto cartografato siano memorizzate, oltre che le coordinate planimetriche, anche la quota.

Nel primo caso avremo l'acquisizione degli elementi della planimetria mediante le sole coordinate  $x,y$  e degli elementi plano-altimetrici (punti quotati e curve di livello) mediante coordinate  $x,y$  a cui viene associato il valore  $z$  della quota. Nel secondo caso invece, in cui si richiede che la cartografia numerica sia di tipo tridimensionale, la coordinata  $z$ , dovrà essere acquisita per tutti i punti che concorrono alla determinazione di tutti i particolari planimetrici.

Durante la fase di restituzione l'operatore può seguire il procedere del suo lavoro in due modi diversi:

- se associato allo strumento restitutore c'è un tavolo tracciatore, può essere prodotta, in linea alla restituzione, una minuta di tipo tradizionale;
- se allo strumento restitutore è associato un video grafico, la cartografia numerica può essere direttamente visualizzata sul video in funzione delle coordinate che vengono via via memorizzate sulle memorie di massa e che costituiranno l'archivio della restituzione numerica.

Nel caso in cui la restituzione fotogrammetrica numerica diretta avvenga con l'ausilio di video grafico e senza la produzione di una vera e propria minuta di restituzione, dovrà comunque essere ricavato dal dato numerico, mediante tracciamento automatico al plotter, un elaborato grafico a documentazione della restituzione che dovrà essere utilizzato per la ricognizione e anche per costituire un documento sul lavoro eseguito, qualora richiesto dai capitolati con cui vengono affidati i lavori.

Le differenze però fra cartografia tradizionale e cartografia numerica che hanno maggiori implicazioni di natura operativa sono sostanzialmente le seguenti.

- Il restitutista che realizza cartografia numerica *deve attribuire un codice* ai vari oggetti cartografici che via via osserva stereoscopicamente e memorizza. Questa operazione di attribuzione di codifica, che è peculiare della cartografia numerica, può essere realizzata, all'atto della restituzione già in maniera, oppure può essere parziale: in tal caso verrà definitivamente completata durante la fase di editing. La scelta di impiegare più tempo al momento della restituzione per codificare tutti gli elementi restituiti, o di demandare alla fase di editing questa operazione, dipende dalla organizzazione operativa della ditta esecutrice dei lavori.
- Il restitutista deve tenere presente che la cartografia numerica realizzata con il suo lavoro di restituzione, è costituita da archivi di dati che hanno una loro strutturazione. Per poter fornire le entità che rappresentano nella cartografia numerica gli oggetti cartografici, eseguirà *la fase di restituzione applicando dei criteri logici* che in generale, nella produzione della restituzione fotogrammetrica avente lo scopo di produrre cartografia tradizionale, non sono necessari. Infatti, mentre nella cartografia tradizionale la restituzione può avvenire passando continuamente da un tipo di particolare a un altro senza porre attenzione a ricostruire oggetti cartografici completi, nella cartografia numerica si cercherà, anche in restituzione, di ricostruire nella loro interezza questi oggetti cartografici, in modo da ridurre al minimo le operazioni di editing necessarie al perfezionamento questo tipo di strutturazione dei dati.
- Quando si deve produrre una cartografia numerica tridimensionale il restitutista *cerca di determinare in sede di restituzione la quota al piede del maggior numero di particolari* naturali e artificiali che deve restituire. Infatti mentre nella cartografia tradizionale i particolari planimetrici vengono riprodotti soltanto secondo la loro planimetria e quindi possono essere collimati, al momento della restituzione, a una quota anche arbitraria, (si consideri il caso tipico in cui si percorre il perimetro di una casa secondo la linea di gronda e non secondo la linea al piede), in una cartografia numerica tridimensionale occorrerà porre particolare cura per cercare di individuare la corretta quota dei punti restituiti.

- In una cartografia numerica tridimensionale tutte le strutture artificiali devono essere date con la loro quota la piede: a ogni punto deve cioè essere associata la quota del piano di calpestio che è la quota del punto di distacco della struttura artificiale dal suolo. Molti punti non possono essere collimati al suolo perché, a causa dell'effetto prospettico dei fotogrammi, non sono visibili stereoscopicamente. All'impossibilità di determinare in restituzione la quota di tali punti si può ovviare:
  - determinando le quote mancanti in sede di ricognizione,
  - applicando particolari accorgimenti operativi, uno dei quali può consistere nel restituire punti al livello del suolo che siano prossimi al punto di cui non si vede la quota la piede; successivamente in fase di editing al punto sarà attribuita una quota determinata in funzione delle quote dei punti restituiti appositamente per questo scopo.

Un'ulteriore differenza che si può riscontrare nella fase di restituzione tra la produzione della cartografia tradizionale e quella della cartografia numerica fotogrammetrica diretta, è che, quando la cartografia numerica viene realizzata utilizzando strumenti dotati di *dispositivi di sovrapposizione*, l'operatore può essere facilitato nell'eseguire il lavoro di restituzione poiché ha un confronto diretto fra ciò che è già stato acquisito e ciò che deve essere acquisito per costituire la cartografia finale .

Finora sono state esaminate le implicazioni di natura operativa causate, sulla fase di restituzione fotogrammetrica, dal dovere realizzare cartografia numerica anziché cartografia tradizionale. Esaminiamo ora il prodotto della restituzione numerica fotogrammetrica.

Il *prodotto* della restituzione numerica diretta è un file di dati strutturato in maniera semplice: è un file a record fissi dove ciascun record ha generalmente non più di cinque campi. Un campo è riservato al codice, tre campi sono necessari per la memorizzazione della coordinate x,y,z; un ulteriore campo è talvolta riservato alla memorizzazione del tipo di operazione eseguita in restituzione. Devono infatti essere dati dei criteri per far comprendere quando una sequenza di record si riferisca ad un'unica entità e quando questa sequenza di record debba ritenersi interrotta perché inizia la descrizione di una nuova entità. Vi sono diversi modi di dare questa informazione, uno dei più diffusi consiste nel restituire due volte l'ultimo punto di un'entità, memorizzandone quindi due volte le coordinate; quando però è disponibile nella struttura dei record l'ulteriore campo riservato al codice numerico , in questo campo possono venire memorizzati valori diversi per indicare appunto l'inizio di una nuova entità, la sua tipologia e altro.

Come nella realizzazione di cartografia tradizionale, anche nella realizzazione di cartografia numerica, dopo aver eseguito la fase di restituzione di dovrà procedere alla fase di *ricognizione*; questa viene svolta secondo criteri tradizionali, avendo però cura di porre particolare attenzione all'aspetto altimetrico qualora la cartografia sia di tipo tridimensionale. Successivamente si procederà alla correzione della cartografia numerica per tener conto dei risultati della ricognizione. Queste operazioni di inserimento della cartografia numerica vengono eseguite generalmente contestualmente alla fase di *editing*, nella quale oltre all'inserimento delle integrazioni di ricognizione , vengono anche eseguite le operazioni di correzione delle congruenze geometriche, di inserimento della toponomastica e di completamento del sistema di codifica. I dati della ricognizione potranno essere inseriti direttamente grazie a opportuni so-

ftware che gestiscono il sistema grafico, oppure potranno essere riportati in maniera tradizionale sulla minuta di restituzione e rinumerizzati mediante procedimento di digitalizzazione.

## 2.2 Digitalizzazione di cartografia esistente

La digitalizzazione di una carta si realizza, nella maggior parte dei casi, con il digimetro che è uno strumento misuratore di coordinate gestito da un calcolatore elettronico.

Il digimetro è costituito da:

- un tavolo elettronico su cui si dispone la carta da digitalizzare;
- un organo per la collimazione del punto da memorizzare; tale organo viene chiamato cursore ed è costituito da una lente su cui è inciso un reticolo per la collimazione e da una tastiera; premendo i tasti della tastiera vengono inviate al calcolatore:
  - le coordinate del punto posto sotto il centro del reticolo inciso sulla lente di collimazione;
  - un codice di indicazione del tipo di tasto premuto sulla tastiera;
- una linea che consente la trasmissione delle coordinate e della codifica del punto collimato al calcolatore che memorizza le informazioni provenienti dal digimetro in un'opportuna banca di dati.

Nella pratica operativa la digitalizzazione avviene come descritto nel seguito.

- L'operatore posiziona la carta sul digimetro collegato al calcolatore e dà l'avvio al programma che consente al calcolatore la gestione del digimetro.
- La prima operazione prevista da qualsiasi software di digitalizzazione di carte è l'operazione di orientamento della carta. L'operatore per attuare questa operazione collima alcuni punti sulla carta di cui siano note le coordinate-carta e ne misura le relative coordinate nel sistema di riferimento del digimetro; quindi imposta, al calcolatore, le corrispondenti coordinate carta al fine di calcolare i parametri di corrispondenza fra il sistema digimetro e il sistema carta.
- A seconda dell'architettura di memorizzazione dei dati che il software di gestione realizza, l'operatore viene guidato a collimare quei punti che devono essere memorizzati e ad impostarne le relative codifiche.

Volendo fare un esempio, possiamo descrivere come potrebbe avvenire la digitalizzazione di una carta eseguita al fine di realizzare una banca di dati. Il software di gestione dovrà prevedere l'esecuzione delle fasi operative nel seguito elencate.

- Fase preliminare di calcolo dei parametri di orientamento della carta.
- Richiesta della codifica dell'entità da digitalizzare. L'operatore potrà comunicare la risposta al calcolatore impostandola o dalla tastiera del calcolatore o dalla tastierina del cursore oppure digitalizzando un punto su quello che si definisce menu.

Il menu è una zona del digimetro riservata, sulla quale non viene disposta la carta: questa zona è divisa in caselle e ad ogni casella si fa corrispondere, da software, una risposta particolare; quando l'operatore, per rispondere ad una domanda che gli viene posta dal programma, digitalizza un punto appartenente ad una casella del menu, il programma di gestione individua che le coordinate del punto che gli vengono inviate non sono di un punto della carta, ma appartengono alla zona riservata e, in particolare, a quella certa casella per la quale è già stata memorizzata una precisa risposta.

Impostare da menu le risposte ai programmi di gestione consente una discreta economia di tempo all'operatore.

- Fase di collimazione dei punti che descrivono il perimetro dell'entità in esame.

L'operatore, guidato dal software di gestione, digitalizza i punti secondo la logica prevista dal programma, ad esempio percorrendo il perimetro in senso orario e richiudendo il perimetro sul punto iniziale: un sistema di contatori provvederà ad attribuire ad ogni punto la sua codifica e opportuni test sui valori delle coordinate, indicheranno quali punti siano già stati digitalizzati e quindi non debbano essere memorizzati più volte.

Con questo metodo di digitalizzazione, all'atto della numerizzazione vera e propria, possono essere eseguite anche altre operazioni, e cioè:

- si seleziona ciò che si vuole digitalizzare, cioè si numerizza solo ciò che deve essere inserito nella banca dati topografici;
- si può procedere contemporaneamente alla strutturazione della banca dati poiché si associano le codifiche dell'oggetto digitalizzato alle coordinate dei punti atti a descriverlo, individuando al tempo stesso quali siano questi punti;
- si può già dare un ordine logico ai punti che descrivono un oggetto in modo che la sua geometria resti definita.

Altre caratteristiche del metodo sono il basso costo dello strumento e il breve tempo di addestramento necessario per la formazione degli operatori.

L'operazione di digitalizzazione di tipo manuale ha come svantaggio il fatto di non essere, o almeno di non apparire, veloce; questo avviene perché spesso si confonde l'operazione di trascrizione di una carta in banca dati, con una sola delle sue fasi e cioè appunto la digitalizzazione; se però consideriamo l'insieme delle operazioni che l'operatore compie e non solo la digitalizzazione, possiamo dire che il metodo manuale non è così lento come potrebbe apparire, quando lo si confronta con il metodo a inseguimento di linee e con il metodo automatico che verranno descritti nei prossimi paragrafi.

### **3 Intervento sui dati**

#### **3.1 Editing cartografico**

Quale che sia la fonte dei dati della cartografia numerica, sia cioè che venga realizzata con metodo topografico classico, o per restituzione numerica diretta o per digitalizzazione di