

## CAPITOLO XX

# CARTOGRAFIA NUMERICA

### 7.1 PREMESSA

Poiché sia la conoscenza del territorio, inteso come spazio geografico relativo alle zone urbanizzate, agricole o naturali dove è possibile progettare, che la regolamentazione e lo sviluppo dell'Ambiente costruito passa attraverso il riconoscimento delle interazioni tra dinamiche a differenti scale e tra le dinamiche tra l'osservatore e l'oggetto osservato (abitante/territorio), si affronta il problema della localizzazione delle informazioni da inserire in un Sistema Informativo Territoriale (SIT). Infatti, è proprio la localizzazione dei singoli fenomeni e l'esplicitazione delle posizioni reciproche tra elementi diversi che consente l'utilizzo sinergico delle diverse informazioni.

Il problema della localizzazione è sempre stato affidato alla cartografia in cui la descrizione di un elemento geografico avviene tramite il disegno su mappa della posizione e dell'estensione dello stesso.

La Cartografia (cfr. Capitolo FFF), che è la scienza e l'arte di rappresentare sulla carta la superficie della Terra, è strettamente collegata alla Geodesia e alla Topografia e fornisce una rappresentazione grafica di porzioni di superficie terrestre, affrontando e cercando di risolvere al meglio il problema della non sviluppabilità della superficie ellissoidica su di un piano.

Con l'avvento delle nuove tecnologie informatiche si è diffuso l'uso della Cartografia Numerica (CN). Le nuove informazioni, non più semplicemente grafiche, ma acquisite in forma numerica, hanno portato, infatti, all'evoluzione di sistemi automatici per l'elaborazione di CN, che può essere considerata come una nuova disciplina a sé stante con specifiche problematiche.

La necessità di strutturare i dati cartografici numerici ha portato ad organizzare l'informazione in strati (layers), inizialmente per distinguerli in base al colore o allo spessore con cui dovevano essere stampati e, successivamente, classificandoli per strati informativi tematici (viabilità, idrografia, altimetria, reti tecnologiche, edificato, toponomastica, ecc.). Allo stesso tempo, l'evoluzione tecnologica e la richiesta per capacità di elaborazione della CN, non orientata alla

sola rappresentazione e riproduzione grafica, hanno reso disponibili nuovi strumenti di rappresentazione, evolutisi fino agli odierni strumenti GIS (*Geographic Information System*).

In generale, su una carta sono presenti vari oggetti caratterizzati da:

- *tipologia*, ovvero l'identificazione di un oggetto mediante l'immagine grafica, tale informazione è archiviata all'interno di uno strato ad esso dedicato;
- *localizzazione*, che rappresenta la posizione dell'oggetto all'interno di un sistema di riferimento definita dalle coordinate delle primitive grafiche che lo descrivono;
- *forma* (curve e segmenti), insita nel graficismo e che, all'interno di un sistema GIS, è memorizzata nella parte geografica;
- *attributi*, rappresentati dalla toponomastica, inseriti nel GIS nella parte descrittiva dell'oggetto;
- *relazioni spaziali*, ovvero distanze più o meno grandi tra elementi grafici, loro densità, allineamento, ecc., che nel GIS sono memorizzati in modo esplicito nella parte geografica;
- *tecnica di disegno*, primaria nella preparazione di una carta, non è un'informazione relativa alla semantica dell'oggetto, ma alla sua rappresentazione secondo una certa convenzione, questa non trova posto in un sistema GIS né tra gli attributi, né nella parte geografica.

I vantaggi della tecnologia GIS rispetto alla cartografia "disegnata" sono legati sia alla capacità di gestire un numero teoricamente infinito di strati informativi che a quella di gestire entità con un numero teoricamente infinito di attributi.

## 7.2 CARTOGRAFIA NUMERICA

Una cartografia può essere considerata come un disegno del territorio che si vuole rappresentare, completo di: parametratura, cornice e legenda; 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; planimetria, proiezione nel piano del disegno dei particolari naturali e artificiali del terreno; altimetria, distanza dei punti da

una superficie di riferimento di quota “zero”, rappresentata mediante punti quotati e curve di livello.

Una carta tradizionale fornisce una conoscenza del territorio, sia sulla base dell’osservazione puntuale di ogni singolo oggetto sia come visione d’insieme paragonabile a quella che si avrebbe osservando il territorio in direzione nadirale da conveniente altezza. Inoltre, consente la lettura dei contenuti metrici (distanze, aree, angoli, quote, coordinate) e qualitativi (tipologia strade, edificato, copertura naturale) su di essa rappresentati, nonché consentire lo sviluppo di processi logici deduttivi e induttivi in funzione di relazioni di concomitanza, di vicinanza, di frequenza, ecc. Più in generale, costituisce il supporto di base, anche in senso fisico, per i lavori di classificazione, di pianificazione, di progettazione e di gestione del territorio.

La CN fornisce le informazioni qualitative e metriche proprie di una cartografia tradizionale in forma di dati numerici distinti a loro volta in coordinate, che descrivono la geometria degli oggetti cartografati, e codifiche che ne indicano la tipologia, memorizzati in file elaborabili da calcolatore elettronico. Pertanto, la CN ha tutti i contenuti e tutte le funzioni di base della cartografia tradizionale. Tuttavia, mentre nella cartografia tradizionale il contenuto planimetrico e altimetrico sono dissociati, ovvero la planimetria si ricava sfruttando la parametratura della carta e l’altimetria si ottiene per interpolazione a partire dalle curve di livello e da punti quotati, nella CN è possibile associare la quota a tutti i particolari cartografati.

In particolare, l’elemento base della cartografia tradizionale è un disegno che contiene in forma implicita (indirettamente) le coordinate dei punti (reticolato geografico o chilometrico); viceversa, nella CN l’elemento base è l’insieme delle coordinate che contiene in forma implicita la sua visualizzazione sottoforma di disegno.

La CN deve rispondere a determinati requisiti che ne determinano l’attendibilità e l’affidabilità:

- *veridicità*: corrispondenza al vero delle informazioni;
- *leggibilità*: univocità nell’interpretazione, similitudine tra realtà e disegno e grazie agli elementi di autocertificazione (legenda, scala, ecc.);
- *congruenza*: nessuna informazione presente sulla carta deve essere contraddetta da altre.

La CN presenta molteplici vantaggi che ne hanno favorito una diffusione e un utilizzo maggiore rispetto alla cartografia tradizionale e che possono essere riassunti in:

1. *Univocità del contenuto metrico*: sono eliminati i problemi connessi alla soggettività della misura delle coordinate dei punti e alla deformazione nel tempo del supporto cartaceo. Non esiste più l'effetto dell'errore di graficismo, poiché la cartografia è memorizzata in forma numerica, cioè, vengono memorizzate le coordinate e non viene tracciato un disegno.
2. *Univocità del contenuto qualitativo*: la codifica sostituisce la lettura soggettiva della carta, infatti, ad ogni entità è associata una codifica che ne identifica la tipologia, pertanto, non è possibile fare errori d'interpretazione sulla natura degli oggetti rappresentati. Nella cartografia tradizionale, invece, la grafica non permette di distinguere con altrettanto dettaglio le diverse tipologie di entità. Ad esempio, le varie tipologie di edificato possono essere distinte usando solo un numero molto limitato di forme di tratteggio, al massimo una decina. Con i codici, invece, si può differenziare quanto si vuole.
3. *Sicurezza di conservazione dei dati nel tempo*: in quanto la memorizzazione su supporto digitale consente una riproduzione illimitata di copie, senza perdita di qualità.
4. *Facilità di gestione e aggiornamento dei dati*.
5. *Elaborare e visualizzare separatamente i contenuti della carta*: planimetria, altimetria, idrografia, edificato, ecc., possono essere elaborati e visualizzati a video separatamente l'uno dall'altro mediante codici e strati (*layer*). Sfruttando la geometria e la posizione topografica degli oggetti cartografati e la codifica ad essi associata come attributi è possibile eseguire il calcolo delle superfici, delle volumetrie, effettuare operazioni di classificazione, selezione, calcoli statistici, ecc. Queste elaborazioni sarebbero molto più complesse e laboriose da eseguire su una carta disegnata.
6. *Possibilità di interfacciamento con altri archivi*: attraverso i codici è possibile "collegare" ciascuna entità presente sulla CN con dati di vario genere contenuti in database esterni (es. anagrafe) per produrre *carte tematiche*.

Possiamo disporre di differenti tipologie di CN in base alla strutturazione del dato, quali:

- ✓ *Planimetrica (2D)*: esistono solo gli elementi caratteristici del contenuto planimetrico di una carta, (coord. E, N o  $\varphi, \lambda$ ).
- ✓ *Planimetrica e altimetrica (2,5D)*: gli oggetti rappresentati sono descritti mediante coordinate planimetriche, mentre l'altimetria, rappresentata da punti quotati e curve di livello.
- ✓ *Plano-altimetrica (3D)*: alle coordinate planimetriche di ogni punto che descrive particolari planimetrici è associata anche la quota. Ai punti che descrivono particolari artificiali è attribuita la quota al piede, cioè al livello del suolo, del particolare cui appartengono. In tal caso, i punti che costituiscono la CN sono memorizzati nella banca dati con un codice e le tre coordinate  $(E, N, q)$ .

In generale, la quota dei punti è riferita al terreno, ad esempio, per i punti che descrivono l'andamento planimetrico di una struttura artificiale che si estende in altezza sopra il piano di calpestio (perimetro di un edificio, muro, ecc.) deve essere attribuita *la quota al piede* della struttura, vale a dire quella che corrisponde all'intersezione della struttura con il piano di calpestio ad essa adiacente. Questa regola ammette alcune eccezioni; per esempio, per i tralicci e i pali della luce sarà fornita *la quota al piede*, mentre all'entità che definisce la linea elettrica da essi portata, dovrà essere associata la quota propria della linea stessa.

È possibile osservare in figura 7.1 i seguenti elementi:

- la quota del punto 1 è la quota del suolo al livello  $A$ ;
- la quota del punto 2 è la quota dal punto  $B$ ;
- i punti 3 e 4 fanno riferimento alla 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  $(C+L)$ .

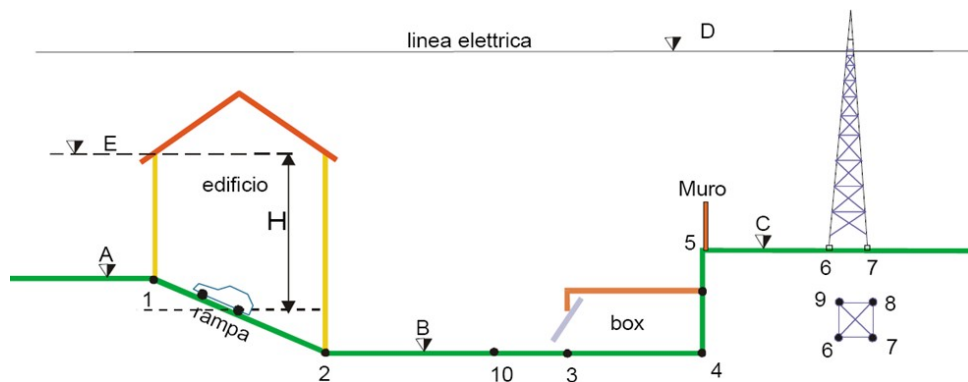


Fig. 7.1 – Quota degli elementi rappresentati in cartografia

L'utente potrà eventualmente, manipolare, modificare o ristrutturare la cartografia numerica che gli viene consegnata, per adattarla al tipo di gestione richiesto.

Nella CN tutte le entità rappresentate devono essere contenute nelle 4 primitive fondamentali: *punti* (punto trigonometrico, punto quotato, quota al piede degli edifici, ecc.); *linee* (limiti di colture, curve di livello, asse stradale, dividente edificio, limiti proprietà, ecc.); *poligoni* (edifici, aree verdi, specchi d'acqua, tronchi e nodi stradali, ecc.); *testo* (toponomastica quando questa non è attributo di un'altra entità). È importante che le entità areali coprano la totalità di superficie della carta ovvero che la carta superi il *controllo di qualità*.

### 7.2.1 Scala nominale

In generale, la *scala di rappresentazione* di una carta definisce il rapporto tra le misure disegnate e le misure reali dell'oggetto rappresentato.

Nella carta tradizionale, quando si vuole ricavare il valore reale di una distanza occorre misurarla e moltiplicarla per il denominatore del rapporto di scala della carta. Nella CN, invece, applicando il teorema di Pitagora alle coordinate planimetriche di due punti si ha direttamente la distanza. Possiamo, pertanto, dire che nella CN il rilievo è memorizzato nel rapporto di scala 1:1.

Questo induce a pensare che nella CN il concetto di scala di rappresentazione è superato, sia perché i punti sono archiviati con le loro coordinate assolute, sia per la possibilità di visualizzare (e stampare) il contenuto del disegno con diversi

fattori di scala. Ciò nonostante, si deve però tenere presente che, anche se esiste la possibilità teorica di stampare uno stesso disegno in differenti scale, non sempre queste operazioni producono risultati accettabili. Spesso, infatti, si ha a che fare con carte che contengono troppi dettagli e le linee risultano sovrapposte una sull'altra oppure con carte con pochissimi dettagli perdendo, quindi, di significatività.

Per risolvere questo problema la CN preserva il concetto di scala, inteso come massimo rapporto di scala a cui si può riprodurre una carta mediante plotter, in modo tale che essa abbia gli stessi requisiti qualitativi e metrici di una carta tradizionale avente la stessa scala.

A tale rapporto si dà il nome di *scala nominale*, pari al rapporto di scala che avrebbe una carta tradizionale di corrispondente precisione metrica e qualitativa. Traslando questo concetto nel disegno digitale, si può definire la scala nominale come il rapporto di scala nel quale è corretto stampare un disegno. La visualizzazione del disegno a scala superiore a quella nominale non fornisce, quindi, maggiori informazioni sull'oggetto disegnato, ma permette solo di leggerne meglio i dettagli.

In fase di lettura la scala nominale fornisce indicazioni riguardo l'incertezza del disegno stesso, cioè indicazione dell'incertezza dei segni. In fase di costruzione del disegno, invece, fornisce indicazioni sull'incertezza delle misure da fare e sulla quantità di segni da introdurre.

Per quantificare l'incertezza e la quantità dei segni da tracciare si ricorre ad una convenzione. Si considera, infatti, lo spessore 0,2 mm (errore di graficismo) come lo spessore minimo della penna e si assume come incertezza lo spessore della suddetta linea.

Ad esempio, in un disegno in scala 1:100 un oggetto è rappresentato con una linea spessa 0,2 mm, è necessario considerare che quella linea, riportata alla dimensione reale, copre una "fascia" pari ad 2 cm. Dato che per convenzione lo spessore 0,2 mm è lo spessore più sottile, in un disegno in scala 1:100 non si dovrà disegnare nessun oggetto più piccolo di 2 cm. Inoltre, in fase di lettura, quando si osserva una misura su un disegno in scala 1:100, ogni misura avrà un'incertezza pari a  $\pm 2$  cm.

La rappresentazione grafico-numerica a video è espressa in *unità disegno* (u.d.).

### 7.2.2 Precisione e tolleranza della CN

È opportuno distinguere la planimetria dall'altimetria.

#### Tolleranze planimetriche

Tolleranza di posizione: siano  $(E',N')$  le coordinate di un punto topografico P, memorizzate nella CN, e  $(E,N)$  le sue coordinate determinate topograficamente in sede di collaudo rispetto al vertice di poligonale più vicino con un s.q.m. di  $\pm 0,02$  m. La tolleranza per il valore  $S$ , calcolato come  $S = \sqrt{(E' - E)^2 + (N' - N)^2}$ , sarà di 0,10 m.

Siano  $(E',N')$  le coordinate di un punto P memorizzate nella cartografia numerica numerica, e  $(E,N)$  le sue coordinate determinate topograficamente in sede di collaudo rispetto ai vertici della rete di inquadramento con un s.q.m. di  $\pm 0,10$  m. La tolleranza per il valore  $S$  calcolato come  $S = \sqrt{(E' - E)^2 + (N' - N)^2}$ , sarà pari a:

- 0,60 m per la cartografia alla scala 1:2.000;
- 1,00 m per la cartografia alla scala 1:4.000.

Tolleranza nella distanza tra punti: Sia  $d$  la distanza, espressa in metri, tra due punti ricavata dalle coordinate memorizzate nella cartografia numerica e  $D$  la corrispondente distanza ricavata in sede di collaudo con misura diretta sul terreno. Per qualsiasi distanza compresa nell'ambito di uno pseudo foglio la tolleranza  $t$  della differenza  $(d-D)$  è:

- a) per i punti topografici:  $t = (0,10 + d/5.000)$  m;
- b) nella cartografia alla scala 1:2.000:  $t = (0,60 + d/1.000)$  m;
- c) nella cartografia alla scala 1:4.000:  $t = (1,00 + d/1.000)$  m.

#### Tolleranze altimetriche

Tolleranza delle quote dei punti della planimetria:

- a) punti topografici: la tolleranza  $t_q$  della differenza  $d_q$  fra la quota  $q$  di un punto topografico memorizzato nella banca dati e la sua quota  $Q$ , ricavata in sede di collaudo rispetto al più vicino vertice di poligonale con un s.q.m. inferiore a  $\pm 0,03$  m, è pari a  $t_q = 0,05$  m;
- b) altri punti: la tolleranza  $t_q$  della differenza  $d_q$  fra la quota  $q$  di un punto memorizzato nella banca dati e la sua quota  $Q$ , ricavata in sede di collaudo



rispetto al più vicino punto di inquadramento altimetrico con un s.q.m. inferiore a  $\pm 0,05$  m, è pari a:

- $t_q = 0,60$  m, per la cartografia alla scala 1:2.000,
- $t_q = 1,20$  m, per la cartografia alla scala 1:4.000.

Tolleranza dei dislivelli tra punti quotati:

Il dislivello  $dQ'$  tra due punti quotati ricavato dalle quote sulla carta e il dislivello  $dQ$  tra le quote degli stessi due punti posti a distanza  $D$ , misurate sul terreno, devono soddisfare le seguenti relazioni:

a) per la scala 1:2.000

$$(dQ-dQ') \leq 0,9 \text{ m per } D > 300 \text{ m,}$$

$$(dQ-dQ') \leq (0,6 + D/1.000) \text{ m negli altri casi;}$$

b) per la scala 1:4000:

$$(dQ-dQ') \leq 1,8 \text{ m per } D > 600 \text{ m,}$$

$$(dQ-dQ') \leq (1,2 + D/1.000) \text{ m negli altri casi.}$$

Tolleranza delle curve di livello:

La rappresentazione altimetrica mediante curve di livello dovrà rispettare i consueti aspetti formali. La corretta rappresentazione dell'andamento altimetrico del terreno mediante curve di livello verrà verificata solo mediante la ripetizione di operazioni di restituzione fotogrammetrica.

La ripetizione di una curva di livello non dovrà mai dar luogo ad una nuova curva di livello che intersechi quelle, già restituite, di quota maggiore o minore.

### 7.2.3 Funzione del sistema di codifica

Il sistema di codifica della CN, che identifica in modo univoco ogni oggetto rappresentato, definisce il grado di dettaglio del contenuto qualitativo della cartografia ed è determinato dal repertorio delle entità, strutturato in forma di tabella (tab.7.1), che ne prevede un dettaglio tipico di una CN alla scala nominale 1:1.000.

Nell'ultima colonna è specificato se quel contenuto è obbligatorio per la cartografia in scala 1:2.000.

Nei capitolati redatti dalla Commissione Geodetica Italiana per le cartografie tradizionali sono descritte le norme tecniche per la realizzazione di lavori di cartografia alla scala 1:1.000 e 1:2.000 e sono riportati gli elenchi dei contenuti

qualitativi che le carte devono assicurare per grandi categorie, come idrografia, orografia, edificato, ecc.; essi possono, quindi, essere assunti come elenchi degli oggetti cartografici differenziati nella cartografia numerica.

Tabella 7.1 – Esempio di schema di codifica per il layer “Edificato”

Layer	Tipo	Descrizione in chiaro	1:2.000
.....	....	.....	.....
3110_EDresiden	A	edificio residenziale	si
3120_EDrurale	A	cascina	si
3121_EDfienile	A	stalla, fienile	
3123_SERRA	A	serra permanente	si
3131_RIFUGI	A	rifugio o casa forestale, puntuale	si
3150_MULINI	A	mulino edificio, puntuale	si
3210_IPER	A	ipermercato	si
.....	....	.....	.....

Effettuata questa prima operazione, si passa alla successiva fase di scelta del tipo di codice da attribuire a ciascun oggetto, definendo una gerarchizzazione dell’informazione.

I codici possono essere di tipo alfanumerico o numerico, con lunghezza fissa o variabile, articolati ad albero (fig. 7.2). Una struttura di questo tipo, che prevede una lunghezza massima, consente ampliamenti senza stravolgere l’intera organizzazione dei dati.

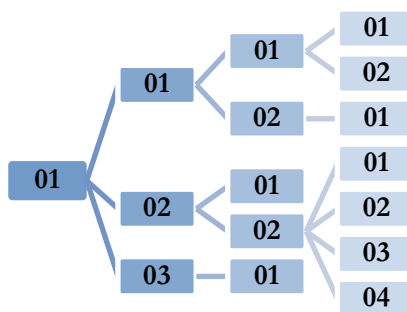


Figura 7.2 – Esempio di struttura ad albero con quattro categorie

Si individuano delle macro-categorie (edificato, orografia, trasporti, ecc.) e si associa un codice da inserire nel primo campo. A partire da queste si definiscono,

successivamente, delle sottocategorie (ad esempio box, baracca, ecc. per la macrocategoria edificato) con relative codifiche e così via fino alla descrizione completa degli attributi delle varie entità.

Per esempio, se si considera un codice di 8 cifre le prime due cifre possono essere utilizzate per l'identificazione di appartenenza dell'oggetto, le seconde due cifre possono indicare la tipologia dell'oggetto e le altre cifre del codice specificare maggiormente la tipologia dell'oggetto nell'ambito di una determinata classe.

Nella tabella 7.2, ad esempio, è rappresentata un'area adibita a struttura scolastica, la cui codifica numerica, strutturata secondo un codice di 8 cifre, prevede che, il primo gruppo di 2 cifre "02", indichi la grande categoria costituita da *edifici e costruzioni*, che il secondo gruppo di due cifre "05", indichi che, nell'ambito di detta categoria, esista la sottocategoria *costruzioni speciali*; il terzo gruppo di 2 cifre "03", indica l'ulteriore sottocategoria *scuola elementare*, mentre l'ultimo gruppo di 2 cifre serve a differenziare nel dettaglio gli oggetti afferenti a detta sottocategoria.

Tabella 7.2 – Esempio schema di codifica

Codifica	Definizione	Rappresentazione grafica
02*****	EDIFICI COSTRUZIONI	
0205****	<i>costruzioni speciali</i>	
020503** 02050301 02050302 02050303	scuola elementare perimetro scuola edificio scolastico viabilità interna	

## 7.3 Produzione di CN

### 7.3.1 Enti produttori

In Italia (per la legge n. 68 del 2 febbraio 1960) esistono tre produttori di cartografia ufficiale dello Stato: l'Istituto Geografico Militare, il Catasto (attuale

Agenzia del Territorio) e l'Istituto Idrografico della Marina. A questi si aggiungono, per specifici tematismi, lo Stato Maggiore dell'Aeronautica (carte per il volo aereo) ed il Servizio Geologico (carte geologiche).

In particolare, l'IGMI si occupa di redigere le carte numeriche a piccola scala (da 1:50.000 a 1:250.000) ricavati dalla digitalizzazione di mappe esistenti.

L'Agenzia del Territorio produce cartografia a grande scala (1:2.000, ma talvolta anche 1:4.000 e 1:500) per fornire una conoscenza dettagliata per fini fiscali e si sta occupando della digitalizzazione delle carte catastali esistenti.

L'Istituto Idrografico della Marina si occupa principalmente nel rilievo delle coste e nella misura della profondità dei fondali (batimetria), fornendo cartografia utile alla navigazione.

Le Regioni, infine, sono preposte alla redazione delle Carte Tecniche Regionali a media scala (da 1:10.000 a 1:25.000).

I Comuni, invece, curano le Carte Tecniche Comunali a grande scala (da 1:500 a 1:5.000).

### 7.3.2 Metodi di produzione

Esistono tre differenti metodi per produrre CN:

1. *Mediante rilievo diretto sul terreno con strumentazione topografica.*
2. *Mediante restituzione fotogrammetrica diretta* nella quale i particolari naturali e artificiali sono acquisiti direttamente in forma numerica, attribuendo totalmente un codice ai vari oggetti cartografici durante la fase di restituzione, oppure parzialmente se completato durante la fase di editing. Il *prodotto* della restituzione numerica diretta è un file di dati strutturato in modo semplice avente dei record fissi generalmente con non più di cinque campi, uno riservato al codice, tre necessari per la memorizzazione della coordinate  $(x, y, z)$ , l'ultimo riservato alla memorizzazione del tipo di operazione eseguita in restituzione. Dopo aver eseguito la fase di restituzione, così come avviene nella realizzazione di cartografia tradizionale, si procede alla fase di *ricognizione*, svolta secondo criteri tradizionali, ponendo particolare attenzione all'aspetto altimetrico. Successivamente si procede alla correzione della CN per tener conto dei risultati della ricognizione. Infine, nella fase di *editing*, oltre all'inserimento delle integrazioni di ricognizione, si apportano le

correzioni delle congruenze geometriche, si inserisce la toponomastica e si completa il sistema di codifica.

3. *Mediante digitalizzazione o scansione di cartografia esistente* tramite un digimetro (strumento misuratore di coordinate gestito da un calcolatore elettronico), costituito da un tavolo elettronico su cui si dispone la carta da digitalizzare ed un organo per la collimazione del punto da memorizzare (cursore), costituito da una lente su cui è inciso un reticolo per la collimazione e da una tastiera. Premendo i tasti della tastiera si inviano al calcolatore le coordinate del punto posto sotto il centro del reticolo, un codice che indica il tipo di tasto premuto sulla tastiera e una linea che consente la trasmissione sia delle coordinate che della codifica. La scansione avviene attraverso scanner piani o a rullo che trasformano i punti dell'immagine in coordinate piane numeriche.

### **7.3.3 Ricognizione in sito**

La fase di restituzione fotogrammetrica non è sufficiente a garantire una completa interpretazione dei particolari antropici o naturali che costituiscono il territorio, infatti, caratterizzata da un'attendibilità stimabile intorno all'85%. Questo, che è un valore medio, dipende dall'altezza di volo del rilievo e, quindi, dalla scala di realizzazione della cartografia. Pertanto, a completamento del rilievo si procede con la fase di ricognizione in campo, utile sia a colmare le lacune interpretative emerse durante la fase di restituzione (zone d'ombra, zone caratterizzate da fitta vegetazione, ecc.) che a raccogliere la toponomastica. Per completare le zone non visibili sui fotogrammi si può ricorrere, ad esempio, al rilievo topografico, al fine di consentire il conseguimento delle precisioni previste nel capitolato tecnico.

I risultati della ricognizione saranno integrati nella cartografia, ottenuta in fase di restituzione, direttamente in forma numerica utilizzando un sistema videografico con opportuno software di editing cartografico oppure digitalizzando il dato di ricognizione riportato sull'elaborato grafico prodotto al plotter a partire dai dati di restituzione.

### 7.3.4 Editing cartografico

La CN derivante dalla restituzione fotogrammetrica è sempre costituita da uno o più file opportunamente strutturati. Per integrarli con i dati provenienti dalla fase di ricognizione in sito, è necessario intervenire con le operazioni di *editing cartografico* che consistono essenzialmente in:

- correggere gli errori grossolani commessi durante la fase di digitalizzazione;
- integrare le informazioni con altri dati di aggiornamento;
- pulire i dati mediante individuazione e risoluzione delle congruenze geometriche (poligoni non adiacenti, linee che compongono una spezzata chiusa non si chiudono in un vertice, ecc.);
- inserire la toponomastica;
- inserire gli elementi di vestizione, quale ad esempio, un tratteggio inclinato le spezzate che delimitano gli edifici, in modo da evidenziare i vuoti dai pieni, nel contesto generale della cartografia.

### 7.3.5 Collaudo

Il collaudo, in corso d'opera e finale, è essenziale in quanto garantisce la correttezza delle procedure operative e la qualità delle informazioni che verranno successivamente fruite dall'utente finale.

In particolare, il collaudo in corso d'opera riguarda:

- il collaudo delle riprese aeree;
- il collaudo dei punti di inquadramento e di appoggio;
- il collaudo della ricognizione;
- il collaudo degli archivi della cartografia numerica;
- il collaudo degli elaborati grafici,

e durante il collaudo in corso d'opera:

- a) si segue l'andamento del lavoro fin dal suo inizio, eseguendo visite per verificare l'osservanza delle prescrizioni operative;
- b) si verifica, secondo il sistema del "campione" e con le modalità e nel numero che verranno previsti nel capitolato tecnico, gli elaborati che via via verranno ultimati in ciascuna fase e che, a tal fine, verranno raggruppati in "partite" da presentare a verifica di collaudo; il risultato sarà oggetto di apposito certificato di verifica (di accettazione o di rifiuto);

- c) alla fine del lavoro, relativo a tutto l'appalto, verrà certificata o meno la collaudabilità di tutte le fasi, sulla scorta delle relazioni di verifica eseguite in corso d'opera, e verrà compilato il certificato di collaudo secondo le norme di legge.

Oltre a quanto previsto dalla vigente legislazione in materia di opere pubbliche, saranno compiti specifici del Collaudatore:

- a) verificare, attraverso la documentazione prodotta dalla Ditta appaltatrice e l'analisi delle procedure di lavoro da essa seguite, ed effettuando i controlli qualitativi e metrici previsti negli articoli che seguono, che ogni fase sia prodotta secondo le prescrizioni di Capitolato e dare, quindi, l'autorizzazione a passare alla fase successiva;
- b) stendere il certificato finale di collaudo o respingere motivatamente gli elaborati del lavoro eseguito;
- c) verificare che siano soddisfatte le adempimenti amministrative, assicurative, fiscali e legali sia da parte dell'amministrazione che da parte dell'appaltatore;
- d) esprimere parere sulle eventuali riserve avanzate dall'appaltatore e dal Direttore dei Lavori e in merito alla penalità, qualora ve ne siano gli estremi;
- e) accertare l'area della superficie rilevata.

Per ciascuna partita il collaudatore accerterà la qualità del lavoro classificandolo come:

- a) positivo o accettabile, sia pure con lievi completamenti e correzioni;
- b) bisognevole di notevoli completamenti e correzioni;
- c) non accettabile.

Il collaudo finale sul terreno, invece, comporta le seguenti verifiche:

- a) la misura diretta sul terreno, sul 3% dei fogli di cui si compone la carta, di un numero statisticamente significativo di distanze tra punti di cui sia certa la corrispondenza tra punti fisici del terreno e vertici memorizzati nella cartografia numerica, in base alle quali verificare la tolleranza planimetrica sulle distanze prescritta dal capitolato;
- b) la determinazione, con operazioni topografiche riferite alla rete geodetica di inquadramento, di un numero statisticamente significativo di punti isolati ben definiti per verificare la precisione assoluta planimetrica prescritta dal capitolato e riguardante la posizione dei punti;

- c) la determinazione della quota di un significativo numero di punti quotati sul 3% dei fogli di cui si compone la cartografia, con operazioni di livellazione collegate ai capisaldi della rete altimetrica di inquadramento per verificare il rispetto delle tolleranze altimetriche prescritte dal capitolato;
- d) la ricognizione sul terreno, da eseguirsi insieme a personale messo a disposizione dalla Ditta Appaltatrice, per accertare eventuali omissioni od errori interpretativi e per il controllo qualitativo della rappresentazione morfologica dei particolari naturali ed artificiali del terreno; il controllo della ricognizione dovrà riguardare il 3% dei fogli di cui si compone la cartografia; per ciascun foglio si dovrà esaminare almeno il 20% della superficie del foglio.

Dopo la certificazione dell'avvenuta ultimazione dei lavori da parte della Direzione dei lavori, il Collaudatore, con apposita visita presso la sede dell'Amministrazione appaltante, procede a verificare la completezza degli elaborati secondo quanto previsto a tal riguardo dal capitolato.

Il Collaudatore redige un verbale di collaudo finale in cui sono brevemente richiamati i risultati delle prove di collaudo eseguite in corso d'opera. Il collaudo dell'appalto dovrà essere espletato entro due mesi dalla data dell'ultimazione dei lavori, accertata mediante apposito certificato del Direttore dei lavori su segnalazione della Ditta appaltatrice.

Riepilogando, le procedure di collaudo sono finalizzate a verificare: la consegna di strutture dati coerenti e semanticamente concordi con il capitolato; la consegna di geometrie valide (poligoni chiusi, linee che non si intersecano tra loro, ecc.); la consistenza topologica tra classi dello stesso strato, oltre a quella tra i diversi strati che di fatto deve garantire la completa copertura del territorio (ulteriormente suddiviso in porzioni a differenti scale di acquisizione).

### **7.3.6 Elaborati da consegnare**

Fatto salvo prescrizioni particolari dei specifici capitolati tecnici d'appalto, il materiale da consegnare è:

- a) Cartografia numerica standard: due versioni della cartografia numerica (3D e 2D) strutturata in pseudofogli, in formato \*.dxf, con la codifica prevista;
- b) CN in formato \*.shp: alle diverse scale, dovrà essere consegnata secondo le tre diverse primitive punti, polilinee e polilinee chiuse;



- c) Dati di inquadramento: dovrà essere consegnato un file, nello stesso formato della cartografia, contenente:
- il quadro d'unione dei fotogrammi;
  - il quadro d'unione dei fogli;
  - la perimetrazione del rilievo alle diverse scale di rappresentazione come risulta all'atto della consegna dei lavori;
  - i vertici IGM o IGM95 utilizzati per l'inquadramento;
  - i vertici delle reti principali planimetrica e altimetrica;
  - i punti di appoggio per l'orientamento dei modelli stereoscopici.
- Copia di questo file dovrà essere consegnato al Collaudatore in corso d'opera sia prima dell'inizio della fase di restituzione fotogrammetrica, sia dopo tale fase con la perimetrazione del territorio effettivamente rilevato.
- d) Database dei volumi: dovranno essere consegnati:
- ✓ gli elaborati di disegno, compatibili col software CAD 3D, perfettamente sovrapponibili alle tavole cartografiche di base contenenti:
    - i limiti degli isolati (assi strada);
    - l'individuazione degli isolati tramite un codice identificativo;
    - l'individuazione e numerazione dei fabbricati tramite un ulteriore codice identificativo;
    - associazione delle entità geometriche ai record dei database di cui al successivo punto b);
  - ✓ i database in formato MS Access compatibile contenenti per ogni isolato e per ogni fabbricato i dati relativi al calcolo dei volumi edificati.
- e) Elaborati grafici: ottenuti dal plottaggio della CN su materiale elioriproducibile trasparente:
- una serie di fogli con campitura dell'edificato e senza gli elementi altimetrici complementari (quota di gronda, altezza dell'edificio o quota media al piede);
  - una serie dei fogli senza la campitura dell'edificato e con gli elementi altimetrici complementari.

Per la produzione degli elaborati grafici si dovrà utilizzare un tipo di vestizione (campiture, linee speciali e simboli) da concordare con la Direzione Lavori.

Infine, in sede di consegna dei lavori la Committenza concorderà le modalità grafiche di allestimento degli elaborati grafici (cornici, scritte, legenda, ecc.). La Committenza potrà richiedere, se disponibili, i file in formato di plottaggio HP dai quali sono stati ottenuti gli elaborati grafici.

### **7.3.7 Aggiornamento della CN**

L'aggiornamento di una cartografia, in generale, consiste nel ricondurre la situazione rappresentata e realizzata in tempo più o meno remoto alla situazione attuale. Nel caso della CN si utilizzano dispositivi di sovrapposizione che facilitano notevolmente l'operazione rendendola, inoltre, più attendibile e sicura. In detti dispositivi l'operatore può direttamente confrontare la situazione cartografica sovrapposta alla nuova situazione del territorio (mediante un'immagine fotografica), velocizzando l'operazione ed avendo un maggior grado di affidabilità visto che è quasi eliminato il rischio di errori di omissione.

### **7.3.8 Formato di trasferimento della cartografia numerica**

I dati di CN sono prodotti e gestiti con strumentazioni differenti e sono generalmente articolati secondo strutture logiche diverse, proprie dei diversi sistemi hardware e software utilizzati. Tuttavia, poiché possono essere utilizzati da differenti gruppi o enti, deve essere garantita la trasferibilità dei dati fra i diversi sistemi di gestione esistenti. Questa trasferibilità è garantita dalla possibilità di convertire i propri dati in un sistema standard.

In Italia non sono stati prodotti sistemi di trasferimento codificati, universalmente accettati o comunque certificati a livello nazionale; è evidente che affinché un sistema di trasferimento sia valido deve essere inteso non come elemento statico ovvero da realizzare una volta per tutte, ma deve essere come un prodotto dinamico, da modificare in funzione di esigenze che le innovazioni tecnologiche e le richieste dell'utenza suggeriscono. Un tale sistema dovrà essere gestito da un apposito Ente che ne supporti il costante aggiornamento diffondendolo.

Ad oggi, tra gli altri, sono stati realizzati: il sistema *DIGEST* adottato dell'IGM, che è stato elaborato a livello europeo dal DGIWG (*Digital Geographic Information Working Group*), nato in ambiente militare ed avente lo scopo di scambiare informazioni geografiche, raster e vettoriali, provenienti sia dalla grande che dalla media scala; il sistema britannico NTF (*National Transfer Format*) adottato dalla Direzione Generale dell'Agenzia del Territorio e da alcune Regioni.

#### **7.4 La Carta Tecnica Regionale (CTR) regionale**

Tutte le Regioni, in seguito alla decisione dell'I.G.M. di non perfezionare le tavolette al 25.000 a partire dal 1962, hanno evidenziato la necessità di avere una cartografia aggiornata per la gestione dei fenomeni territoriali. Tale cartografia, a scala 1:10.000 e 1:5.000, è senza dubbio la base integrativa per la moderna programmazione e pianificazione territoriale ed urbanistica.

Le Regioni e la Cassa del Mezzogiorno, seguendo le specifiche per la Carta Tecnica emanate nel 1973 dalla Commissione Geodetica Italiana, impegnarono notevoli risorse economiche per la formazione di un'unica carta di base al 10.000, per ricavarne poi una serie di particolari a scale sempre maggiori.

Il Servizio Cartografico della Regione Puglia, in accordo agli obiettivi della L.R. n. 28 del 23 dicembre 1996 "*Realizzazione di cartografia di base e cartografia tematica attraverso un sistema di informazione territoriale*" ha promosso negli anni azioni mirate a realizzare una conoscenza omogenea del territorio regionale attraverso:

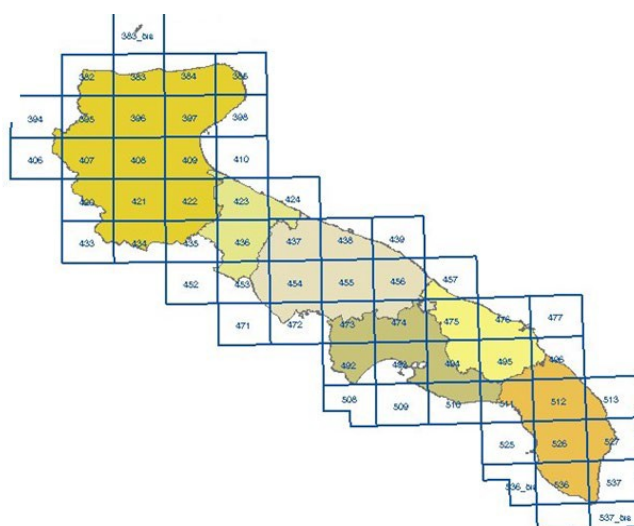
- l'elaborazione di capitolati speciali per la formazione di Carte Tecniche, onde adottare simbologie unificate, norme di inquadramento e direttive unitarie per gli Enti regionali in ordine ai criteri ed alle metodologie da impiegare per conseguire una dotazione informatica e/o cartografica in forma digitale;
- la realizzazione, l'informatizzazione, la conservazione e la distribuzione, anche attraverso un sito Web, di un insieme di Carte Tecniche, sulla base dello specifico fabbisogno informativo rinveniente dalla utenza provinciale e comunale.

Ciononostante, la situazione vedeva il territorio regionale coperto a macchia di leopardo. La nuova Carta Tecnica Regionale (CTR) nasce, pertanto, con l'obiettivo di completare la copertura del territorio regionale esistente e di rappresentare un prodotto omogeneo in termini di contenuti e di allineamento temporale.

La nuova CTR è stata realizzata da un volo aereo eseguito a partire dall'agosto 2006 e conclusosi nel mese di novembre 2006 (solo per piccole aree la copertura è relativa a marzo 2007). Il volo, eseguito utilizzando la camera fotogrammetrica digitale Z/I Imaging DMC della Intergraph a colori e con fotogrammi caratterizzati da una risoluzione a terra di circa 20 cm, è stato utilizzato per la produzione della nuova CTR e per l'aggiornamento di quella esistente. Il livello di dettaglio dei fotogrammi permette la derivazione, qualora si rendesse necessario, della cartografia in scala 1:2.000.

La copertura totale del territorio regionale ha comportato l'acquisizione complessiva di circa 26.000 fotogrammi, compresi quelli relativi alle strisciate longitudinali di raccordo.

La nuova CTR è stata realizzata alla scala 1:5.000, nel sistema di riferimento UTM WGS84-ETRS89 fuso 33N e anche la cartografia preesistente è stata riproiettata nel sistema UTM WGS84.



*Figura 7.3 – Fogli CTR 1:50.000, Regione Puglia*

La realizzazione della CTR vede la collaborazione dell'Istituto Geografico Militare (IGM) e, al fine di evitare inutili frammentazioni, la restituzione della CTR segue il taglio dei fogli IGM in scala 1:50.000, ma sono anche disponibili i files che seguono il grigliato dei fogli in scala 1:5.000, editati per la stampa e

corredati di bandella che riporta i dettagli tecnici della restituzione e dell'area inquadrata.

La rappresentazione del territorio regionale è stata suddivisa in 59 *fogli* in scala 1:50.000 (fig. 7.3). Ciascun foglio in scala 1:50.000 è suddiviso in 16 *sezioni* in scala 1:10.000 e 64 *elementi* in scala 1:5.000 (fig. 7.4).

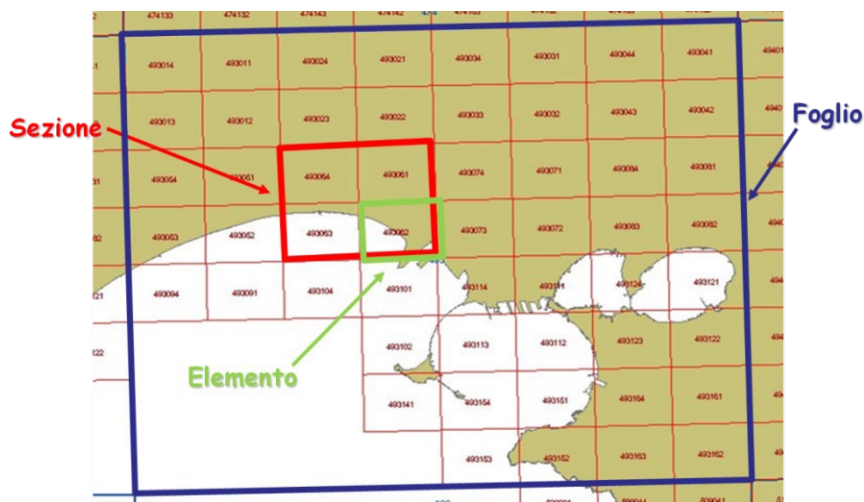


Figura 7.4 – Strutturazione della CTR in elementi 1:5.000, Regione Puglia

Ogni sezione, che racchiude un'area di circa 3600 ha, è designata da un nome di località e da un numero di sei cifre (es. 493050):

- le prime tre cifre indicano il n. del foglio al 50.000 (493);
- le due successive (da 01 a 16) la posizione della sezione nel foglio;
- la sesta cifra è sempre 0.

Ciascun elemento, designato con il nome di una località e da numero di sei cifre (es. 493051), racchiude un'area di circa 900 ha. La sesta cifra varia da 1 a 4 ed individua in senso orario l'elemento all'interno della sezione.