

Claudio Parente – Raffaele Santamaria

Introduzione alla Cartografia Numerica (Concetti fondamentali)

Giannini
Napoli, 2000

Indice

Premessa	3
1. Introduzione	5
2. I formati della cartografia numerica	5
2.1. Il formato raster	6
2.2. Il formato vettoriale	9
2.3. Alcune considerazioni sui formati della cartografia numerica	13
3. La numerizzazione della cartografia.....	14
3.1. La scansione	14
3.2. La digitalizzazione	19
4. La riproduzione su carta della cartografia numerica	22
5. La georeferenziazione.....	24
5.1. La trasformazione conforme	25
5.2. La trasformazione affine	27
Bibliografia	29

Premessa

La disponibilità sul mercato di software dedicati e di personal computer sempre più potenti e versatili ha contribuito in maniera determinante alla diffusione e all'utilizzo di cartografia numerica in molteplici campi di applicazione.

Le carte nautiche in formato digitale trovano un impiego sempre più ampio in navigazione e, qualora siano inserite in specifici e ben definiti sistemi informativi e risultino rispondenti a determinati standard fissati dall'IMO (International Maritime Organisation) e dall'IHO (International Hydrographic Organisation), viene attribuita ad esse la stessa importanza delle tradizionali edizioni cartacee. Ne consegue che il loro utilizzo, nel rispetto dei vincoli sopra richiamati, è ritenuto perfettamente equivalente all'obbligo di impiegare a bordo carte nautiche (su supporto cartaceo) aggiornate stabilito dalla norma V/20 della SOLAS (Safety Of Life at Sea) Convention del 1974.

Questo lavoro, chiaramente di carattere introduttivo, illustra alcuni concetti fondamentali della cartografia numerica e costituisce la base di partenza di un progetto più ampio che, in considerazione della evoluzione indotta dall'impiego di tecnologie informatiche nell'arte di condurre una nave, è volto ad aggiornare i contenuti disciplinari del Corso di Navigazione I e a fornire agli allievi un testo di riferimento.

Inizialmente vengono richiamate le caratteristiche fondamentali dei due formati (raster e vector) della cartografia numerica e se ne evidenziano limiti e potenzialità, inconvenienti e vantaggi, in riferimento alle fasi di produzione e di gestione.

L'attenzione viene poi focalizzata sui due principali processi di numerizzazione della cartografia esistente, la scansione e la digitalizzazione, fornendo elementi descrittivi circa le strumentazioni utilizzabili (scanner e digimetri) e le modalità operative.

Si passa quindi ad esaminare le possibilità di riproduzione su carta dei file cartografici, illustrando a grandi linee le caratteristiche costitutive e funzionali di plotter e stampanti.

Infine, in relazione alla georeferenziazione, operazione di collegamento dei file (sia raster che vector) ad un sistema di coordinate, si considerano due possibilità di trasformazione geometrica, conforme e

affine, riportandone le equazioni caratteristiche e la procedura applicativa.

Napoli, giugno 2000

Gli autori

1. Introduzione

L'espressione *cartografia numerica* o *cartografia digitale* viene utilizzata per indicare il risultato dell'applicazione alla cartografia tradizionale di un insieme di tecniche ed algoritmi che consentono di realizzare rappresentazioni grafiche dell'intera superficie terrestre o di parte di essa leggibili ed elaborabili da un computer .

Alla realizzazione del prodotto cartografico numerico si può giungere attraverso differenti modalità operative:

- restituzione fotogrammetrica numerica;
- numerizzazione manuale delle carte esistenti (utilizzo di digitimetro);
- scansione automatica dei supporti cartacei (utilizzo di scanner);
- elaborazione di dati acquisiti tramite rilievo topografico non fotogrammetrico;
- procedure integrate (utilizzo di scanner, funzioni cad, operazioni di conversione dei formati grafici, ecc.).

Qualora si tratti della numerizzazione delle carte esistenti, le soluzioni adottate nel processo produttivo tradizionale a monte del prodotto cartaceo vengono non già rifiutate o confutate, quanto piuttosto implicitamente accettate, mentre, nel caso della restituzione fotogrammetrica o comunque di una realizzazione ex novo, la difficoltà del passaggio dalla situazione reale al modello si ripropone nella sua complessità, pur trovando nuove possibilità operative nell'apporto informatico. Permane comunque la validità di considerazioni, procedure, elaborazioni e formule che caratterizzano la cartografia classica.

2. I formati della cartografia numerica

La cartografia numerica viene prodotta in due formati fondamentali: il **formato raster** ed il **formato vettoriale** (o **vector**).

2.1. Il formato raster

Nel formato raster l'immagine viene costruita attraverso un insieme di cellette, dette **pixels** (abbreviazione di *picture elements*), similmente a quanto avviene per un mosaico ad opera delle tessere.

Un file raster è costituito da due blocchi:

- un blocco di testa (header) che contiene alcune informazioni relative alla natura, alle dimensioni (numero di righe e numero di colonne) e alla struttura del file;
- un blocco di dati formato da una matrice di n righe e m colonne.

L'elemento della matrice, il pixel, reca una duplice informazione:

- l'una di carattere geometrico relativa alla posizione del pixel stesso all'interno della matrice;
- l'altra di tipo radiometrico costituita dal valore numerico associato al pixel.

Per quanto attiene quest'ultima, va sottolineato che il file raster non è altro che una descrizione numerica di una immagine letta attraverso particolari dispositivi (*CCD, Coupled Charge Device*) inseriti in un trasduttore ottico (scanner). Il fenomeno radiometrico viene espresso attraverso una delle seguenti modalità:

- un valore binario (0=nero, 1=bianco);
- un valore da 0 a 255, per esprimere una tonalità di grigio tra 256 possibili;
- un valore per esprimere un colore tra 256 predefiniti;
- un valore per esprimere un colore tra 256^3 possibilità cromatiche (ottenibili dalla combinazione dei tre colori fondamentali: rosso, verde e blu).

Poiché si tratta di matrici che recano informazioni di tipo "areale", le dimensioni dei file raster sono notevoli, nettamente superiori a quelle che caratterizzano analoghe rappresentazioni di tipo vettoriale. Di

conseguenza sono necessarie considerevoli risorse di memoria: l'ostacolo delle capacità, sia pure elevate, ma comunque limitate insite in un disco fisso di un PC può essere superato ricorrendo ai dischi ottico-magnetici, tra l'altro caratterizzati da tempi di accesso non eccessivi (3-4 volte maggiori di quelli relativi al disco fisso).

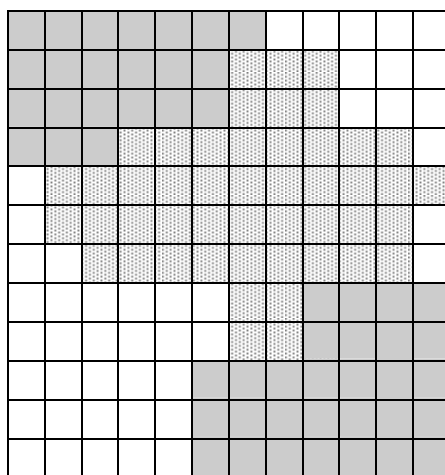


Fig. 1 - Esempificazione del formato raster basato sulla composizione di pixel a diversa tonalità di grigi

Le dimensioni di un file raster sono strettamente collegate a due parametri, impostati al momento dell'acquisizione dell'immagine (processo di scansione):

- la risoluzione geometrica;
- la risoluzione radiometrica.

La **risoluzione geometrica** è determinata dal numero dei pixels presenti per pollice lungo ogni asse e si esprime in **dpi** (dots per inch, punti per pollice). La **risoluzione radiometrica** è determinata dal dettaglio di informazione cromatica associata al pixel ovvero dalla tipologia cromatica prescelta e quindi dal numero di bit necessari per l'archiviazione.

In relazione alla risoluzione cromatica si ha che i file raster possono essere di quattro tipologie fondamentali:

- bianco/nero;
- livelli di grigio;
- color index;
- true color.

Tipo	Numero di bit necessari	Numero di colori
Bianco /nero	1	2
Livelli di grigio	8	256
Color index	8	256
True color	24	$256^3=16.777.216$

Fig. 2 - Numero di bit necessari e numero di colori possibili con i diversi tipi di file raster

La **dimensione effettiva** N_{byte} di un file raster, ovvero lo spazio necessario, in numero di byte, per la sua archiviazione, può essere calcolata con la formula:

$$N_{byte} = \frac{RIS^2 \times N_{bit} \times S}{8}$$

dove risulta:

RIS= risoluzione espressa in punti per pollice

N_{bit} = Numero di bit per pixel (1, 8 o 24)

S = Superficie del documento espressa in pollici².

	100 dpi	200 dpi	300 dpi	400 dpi
Bianco/nero	720	2880	6480	11520
Livelli di grigio	5760	23040	51840	92160
Color indexed	5760	23040	51840	92160
True Color	17280	69120	155520	276480

Fig. 3 – Tabella relativa alle dimensioni assunte dai file (in KB) in funzione delle modalità di scansione (risoluzione e radiometria) per un documento cartografico di dimensioni pari a circa cm 61 x cm 61

Esistono comunque possibilità di **compattazione** dei dati (**compressione**) che consentono di diminuire la dimensione dei file. Una semplice ed immediata tecnica di compressione consiste nel memorizzare il numero dei pixel uguali invece che memorizzarli brutalmente in sequenza. Ad esempio, considerata una figura in bianco (B) e nero (N), la prima riga data dalla sequenza di 4 pixel bianchi, 3 neri, 7 bianchi, 5 neri, anziché come BBBBNNNBBBBBBBNNNNN viene memorizzata semplicemente come 4B3N7B5N.

La generazione del file raster avviene di solito in maniera del tutto automatica attraverso i meccanismi della scansione delle immagini ovvero utilizzando gli scanner. La presenza sul mercato di numerosi tipi di software per il trattamento delle immagini rende possibile operare sui file raster anche prescindendo dalla conoscenza diretta della struttura del file.

I formati standard attualmente in uso sono molteplici; tra i più frequenti nelle applicazioni cartografiche si ricordano: TIFF, BITMAP, GIF, TGA, ecc.

2.2. Il formato vettoriale

La cartografia numerica in formato vettoriale si ottiene attraverso l'impiego di primitive geometriche semplici e complesse; alle prime appartengono il **punto** e la **linea**. Il punto è individuato dalla coppia di coordinate cartesiane (x,y) che ne esprimono la posizione nel sistema di

riferimento adottato; la linea è costituita da un insieme ordinato di punti, per cui è determinata da una successione di coordinate.

Si può in definitiva affermare che il formato in questione si basa sull'utilizzo di un unico elemento, il **vettore**, attraverso il quale diviene possibile costruire qualsiasi geometria, anche la più complessa: un punto sarà individuato da un vettore di modulo nullo, una spezzata da una sequenza di vettori, un poligono da una sequenza di vettori tali che il punto di inizio del primo è punto di fine per l'ultimo.

Per realizzare elaborazioni automatiche sui dati cartografici occorre formalizzare le relazioni spaziali che possono intercorrere tra gli oggetti indicati e descritti dalla carta e quindi tra le primitive geometriche che li rappresentano. Esempi di tali relazioni, dette **topologiche**, sono: l'**adiacenza**, l'**intersezione**, l'**inclusione**, la **connessione**.

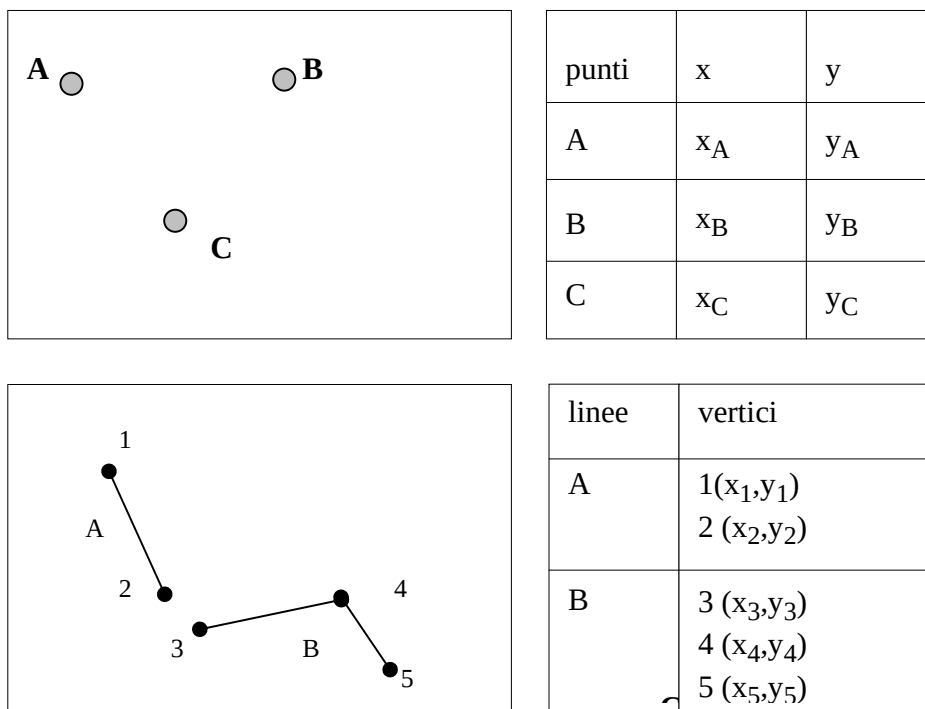


Fig. 4 - Primitive geometriche del formato vector: rappresentazione grafica e schematizzazione della struttura di archiviazione

Elemento fondamentale della cartografia numerica in formato vettoriale diviene il **codice identificativo** delle primitive geometriche. In una carta tradizionale l'informazione è integrata da attributi grafici, solitamente convenzionali, meglio definiti nella legenda: si tratta di segni, simboli, colori, tratteggi, sfumi, testi e toponimi che aggiungono alla mappa una importante componente descrittiva rendendola più comprensibile. Si può pertanto affermare che il processo di interpretazione diventa di tipo deduttivo incentrato sul sistema di decodifica della legenda. Nella cartografia numerica vettoriale, invece, il riconoscimento dell'elemento geografico è insito nella strutturazione dei dati: la presenza di un codice identificativo consente il collegamento ad una serie di dati aggiuntivi, detti **attributi**, che esplicitano il significato associato alla primitiva geometrica.

Gli attributi possono essere distinti in 4 grandi categorie:

- attributi metrici;
- attributi grafici;
- attributi descrittivi;
- attributi complessi.

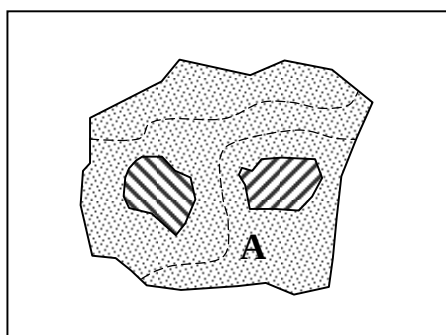
Gli **attributi metrici** sono implicitamente connessi alle componenti vettoriali, poiché riguardano le dimensioni delle primitive geometriche e la loro collocazione. Di conseguenza non necessitano di una strutturazione, ma possono essere determinati ogni volta tramite algoritmi di calcolo. Esempi di tali attributi sono: ubicazione dell'entità geometrica, lunghezza delle linee, perimetri e superfici dei poligoni.

Gli **attributi grafici** sono dei codici numerici che determinano le modalità di rappresentazione degli elementi geometrici. In altri termini essi consentono la visualizzazione al monitor del PC e la stampa nelle modalità desiderate, stabilendo, ad esempio, lo spessore, il colore e lo stile delle linee (tratteggiate, continue, ecc.).

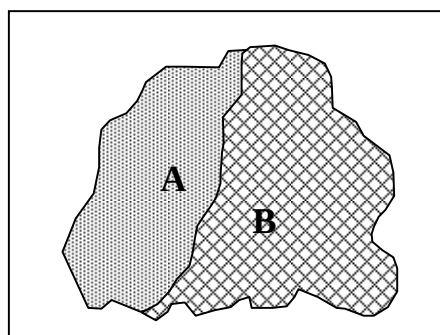
Gli **attributi descrittivi** non riguardano direttamente le dimensioni e le modalità grafiche di rappresentazione delle entità geometriche, ma sono numeri e testi che vengono associati alle primitive tramite il codice identificativo (ad esempio: tipo di pavimentazione di una strada, destinazione d'uso di un fabbricato, ecc.).

Gli **attributi complessi** costituiscono, in realtà, ancora elementi descrittivi associati alle primitive e come tali potrebbero essere inseriti nell'ambito della 3^a categoria: la distinzione viene operata per sottolinearne la particolarità, ovvero la maggiore complessità, trattandosi non di semplici testi o numeri, ma piuttosto di immagini o suoni.

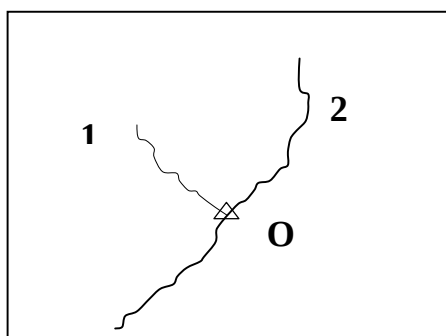
La gestione degli attributi descrittivi e complessi richiede l'impiego di particolari tipi di software, quali quelli che caratterizzano un **GIS (Geographic Information System)**.



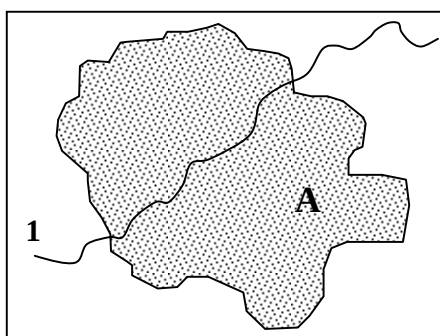
Inclusione: l'area A contiene altre aree e linee



Adiacenza: le aree A e B sono adiacenti



Connessione: le linee 1 e 2 sono connesse in O



Intersezione: la linea 1 interseca l'area A

Fig.5 - Esempi di relazioni topologiche

L'utente della cartografia numerica vettoriale può, tramite computer, compiere delle interrogazioni e richiamare sul monitor la visualizzazione

delle primitive geometriche e degli attributi grafici, opportunamente selezionati nella composizione desiderata: l'eventuale ricostruzione della carta così da riprodurre un output identico a quello riscontrabile sul tradizionale supporto cartaceo costituisce solo una delle possibili soluzioni.

Tra i formati vettoriali più diffusi si ricordano: DXF, DWG, DGN.

2.3. Alcune considerazioni sui formati della cartografia numerica

I primi studi sulla cartografia numerica sono stati caratterizzati spesso da un confronto tra il formato raster e quello vettoriale per stabilire quale fosse da preferirsi. In realtà non si può definire in assoluto il formato migliore poiché ciascuno presenta inconvenienti e vantaggi.

Il formato raster, se da una parte può essere facilmente prodotto attraverso l'uso degli scanner, dall'altro determina una grandezza considerevole dei file per cui è necessario molto spazio per l'archiviazione dei dati (vedi tabella riportata in fig. 3).

Il formato vettoriale, al contrario, richiede laboriosi e lunghi processi di produzione, ma i file risultanti presentano, a parità di quantità di informazione, dimensioni più limitate (nell'ordine di 1/8) rispetto ai raster.

La strutturazione delle informazioni secondo "strati" (**layers**) diversi da richiamare all'occorrenza nella combinazione desiderata risulta più agevole con il formato vettoriale: attraverso l'uso di codici, due entità geometriche possono essere facilmente collocate su livelli diversi. Al contrario l'ubicazione differenziata di elementi raster può avvenire solo se essi costituiscono immagini (e quindi file diversi) o se si ricorre ad operazioni complesse di trattamento iconografico (ad esempio: operazioni di "taglio", "incolla", "rifinitura").

La maggiore rigidità del formato raster determina anche una più difficile operazione di aggiornamento rispetto al vettoriale.

L'attuale tendenza nelle applicazioni di cartografia numerica è volta all'integrazione tra i due formati: spesso i file vettoriali riportano grafici semplificati, ma comunque sufficienti a garantire la rappresentazione di quelle entità geometriche cui collegare banche dati; i raster, più densi di informazioni, vengono utilizzati su layer aggiuntivi per arricchire il livello descrittivo (si è soliti dire, in tal caso, che i raster fanno "da sfondo" ai vector).

3. La numerizzazione della cartografia

Per ottenere la copia digitale della cartografia esistente su supporto cartaceo possono essere utilizzate diverse procedure. Gli iter fondamentali sono due: l'uno è basato sull'utilizzo dello scanner per ottenere file raster, l'altro è fondato sull'impiego del digimetro per la realizzazione di file vettoriali.

3.1. La scansione

Il processo di scansione consente di ottenere a basso costo e in maniera rapida la riproduzione, in formato raster, della cartografia esistente su supporto cartaceo.

L'acquisizione delle immagini è resa possibile dallo scanner, uno strumento collegato ad un PC e basato sull'assemblaggio di: una sorgente luminosa, una lente, un particolare dispositivo denominato *CCD (Coupled Charge Device)* e uno o più convertitori analogici. I CCD consentono di convertire il segnale luminoso in segnale elettrico.

Le dimensioni disponibili sul mercato vanno dall'UNIA4 (210mm x 295mm) all'UNIA0 (1230mm x 925mm); esistono anche formati 24cm x 24cm utili per la scansione dei fotogrammi aerei (23cm x 23cm).

Gli scanner possono presentare:

- un sensore singolo (di tipo mobile);
- una barra (mobile) di sensori;
- una matrice di sensori.

Nel 1° caso la scansione avviene per linee: la presenza di un tamburo rotante consente lo scorrere del documento al disotto del sensore che rimane immobile; quando viene ultimata una linea, il sensore si muove orizzontalmente di un pixel e viene acquisita una nuova linea dell'immagine.

Nel 2° caso una barra di sensori (solitamente 2048) si muove in una direzione (Y) acquisendo una intera linea (X).

Nel 3° caso l'acquisizione delle immagini è resa possibile attraverso una intera matrice di sensori che operano per areole successive.

Le dimensioni e la disposizione dei sensori CCD determinano la **risoluzione geometrica** dello scanner e quindi la risoluzione geometrica del file raster in uscita.

La risoluzione geometrica può essere **reale**, allorquando direttamente legata alle dimensioni e al numero dei sensori, oppure **interpolata**, allorquando riferita alla possibilità di aumentare quella effettiva connessa allo strumento attraverso l'introduzione di pixel con valori interpolati tra cellette vicine. In quest'ultimo caso non si ottiene un aumento del contenuto dell'informazione originaria, ma semplicemente una descrizione dell'immagine attraverso una grana più fine.

In relazione alle modalità operative gli scanner possono essere classificati in:

- scanner a movimento manuale;
- scanner a tamburo rotante;
- scanner piani.

Gli **scanner a movimento manuale (*handy-scan*)** sono completamente inadatti per scopi cartografici: le modalità operative (scorrimento manuale sul documento cartaceo con velocità più o meno costante), la scarsa risoluzione (300dpi sia per il bianco/nero che per il colore), le limitate dimensioni della scansione (10-15 cm), le difficoltà di ricucitura di strisce non contigue fanno scartare a priori qualsiasi ipotesi di impiego di tali strumenti per la numerizzazione della cartografia esistente.

Negli **scanner a tamburo rotante** il documento viene fatto scorrere per mezzo di rotelle a pressione mentre la barra dei sensori rimane immobile. Problemi di slittamento del documento, specie se su supporto in poliestere, inducono errori nella precisione geometrica della riproduzione digitale. Le risoluzioni possono raggiungere i 1200 dpi.

Gli **scanner piani** presentano una superficie di appoggio, solitamente in vetro, su cui viene poggiato il documento da scansare che rimane immobile, mentre su di esso scorre la barra o la matrice dei sensori. Potendo operare sia per trasparenza che per illuminazione diretta

consentono anche l'acquisizione di immagini direttamente da diapositive e negative.

I formati vanno dall'UNIA4 all'UNIA0, con possibilità di operare in bianco/nero, a tonalità di grigio, a colori.

Uno scanner piano di piccolo formato e di fascia media presenta una risoluzione che varia tra i 300 e i 600 dpi lungo l'asse X e dai 600 ai 1400 dpi lungo l'asse Y: i CCD sono responsabili della risoluzione lungo l'asse X, mentre la risoluzione lungo l'asse Y è determinata dal movimento meccanico della fonte luminosa sotto il pannello di vetro. La risoluzione di uno scanner piano viene sempre riportata come prodotto tra due numeri (ad esempio 300x600), dove ciascuno esprime le potenzialità ottiche (in dpi) lungo una direzione. Per scanner di più elevate capacità le risoluzioni possibili raggiungono i 4096 dpi (con costi elevati).

Nel risultato del processo di scansione è possibile riscontrare tre tipologie di errore:

- errori di origine;
- errori strumentali;
- errori umani.

Gli **errori di origine** sono relativi alla fonte cartacea originale e comprendono:

- ❑ errori di graficismo;
- ❑ deformazioni subite dal supporto cartaceo;
- ❑ errori di riporto della parametratura.

Gli errori di graficismo sono determinati, come è noto, dalla disomogeneità e dallo spessore del tratto; l'entità è solitamente stimata in 0,2 mm. Le deformazioni del supporto possono essere anche di tipo anisotropo: l'entità dei valori può raggiungere 2 mm/1m. Gli errori di riporto della parametratura, qualora siano sufficientemente sistematici, sono assimilabili a un errore di scala; diversamente possono costituire uno sfasamento della parametratura rispetto al resto della carta.

Gli **errori strumentali** sono dovuti alle caratteristiche costitutive e funzionali dello scanner: il tipo a tamburo, ad esempio, introduce degli allungamenti nella direzione di trascinamento del foglio.

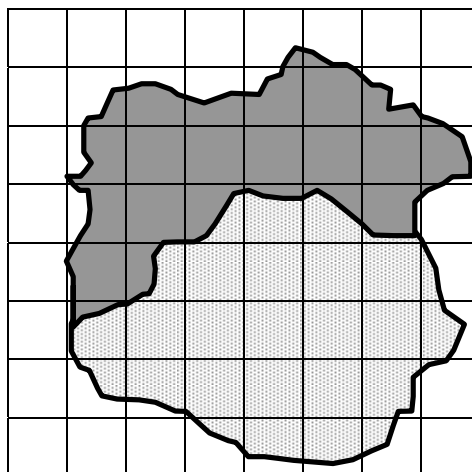


Fig. 6 – Processo di scansione: immagine iniziale rapportata alla griglia di riferimento per la scansione

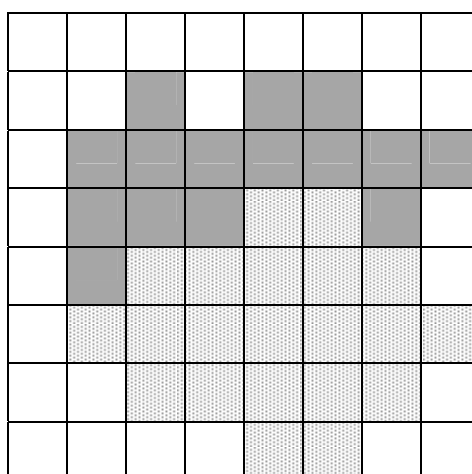


Fig. 7 – Processo di scansione: immagine finale rapportata alla griglia di scansione

Gli **errori umani** sono legati alla precisione con cui l'operatore effettua la procedura e sono quindi connessi al posizionamento del foglio.

0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	1	0	1	1	0	0
0	1	1	1	1	1	1	1
0	1	1	1	2	2	1	0
0	1	2	2	2	2	2	0
0	2	2	2	2	2	2	2
0	0	2	2	2	2	2	0
0	0	0	0	2	2	0	0

Fig.8 – Processo di scansione: schematizzazione della matrice numerica per l'archiviazione dell'immagine

Righe	colonne (da, fino a, valore)				
1	1,8,0				
2	1,2,0	3,3,1	4,4,0	5,6,1	7,8,0
3	1,1,0	2,8,1			
4	1,1,0	2,4,1	5,6,2	7,7,1	8,8,0
5	1,1,0	2,2,1	3,7,2	8,80	
6	1,1,0	2,8,2			
7	1,2,0	3,7,2	8,8,0		
8	1,4,0	5,6,2	7,8,0		

Fig. 9 – Processo di scansione: struttura del file relativo all'immagine scansionata

3.2. La digitalizzazione

La riproduzione in formato vettoriale della cartografia esistente su supporto cartaceo può essere realizzata attraverso l'impiego di **digimetri** (o **digitizer**). Tali strumenti sono costituiti da tre elementi fondamentali:

- una superficie piana;
- un cursore;
- una interfaccia di collegamento con un PC.

La superficie piana è costituita da una tavola di materiale plastico in cui è inserito un reticolo elettromagnetico formato da conduttori elettrici percorsi da corrente. Il cursore assolve la funzione di puntamento ed acquisizione dei dati che si vogliono rilevare dal documento poggiato sulla tavola: lasciando scorrere il cursore, un solenoide, il cui centro è rappresentato dalla croce di puntamento, interagisce con il campo elettromagnetico e rileva il segnale presente ad ogni intersezione del reticolo. Una interfaccia di collegamento consente di trasformare in digitale il segnale ricevuto dal cursore e di inviare lo stesso al computer come coppia di coordinate cartesiane misurate a partire da una origine definita. Sul cursore sono presenti alcuni pulsanti (solitamente da 2 a 16) per attribuire un codice di un byte (carattere) al punto rilevato; una spia luminosa (led) avverte quando il cursore è attivo.

I digitizer sono disponibili sul mercato in diversi formati, dall'UNI A4 all'UNI A0. Per i formati più piccoli (A4-A3) si utilizza la definizione di **tavoletta digitalizzatrice**.

Il diametro e le distanze intercorrenti tra i conduttori del grigliato definiscono la **risoluzione** di un digimetro. Solitamente si va da 10 linee per mm (0,1mm) a 1000 linee per pollice (0,0254 mm) nei grandi formati.

Per i digitizer si possono avere diverse modalità operative, così riassumibili:

- point mode;
- run mode;
- track mode;
- line mode.

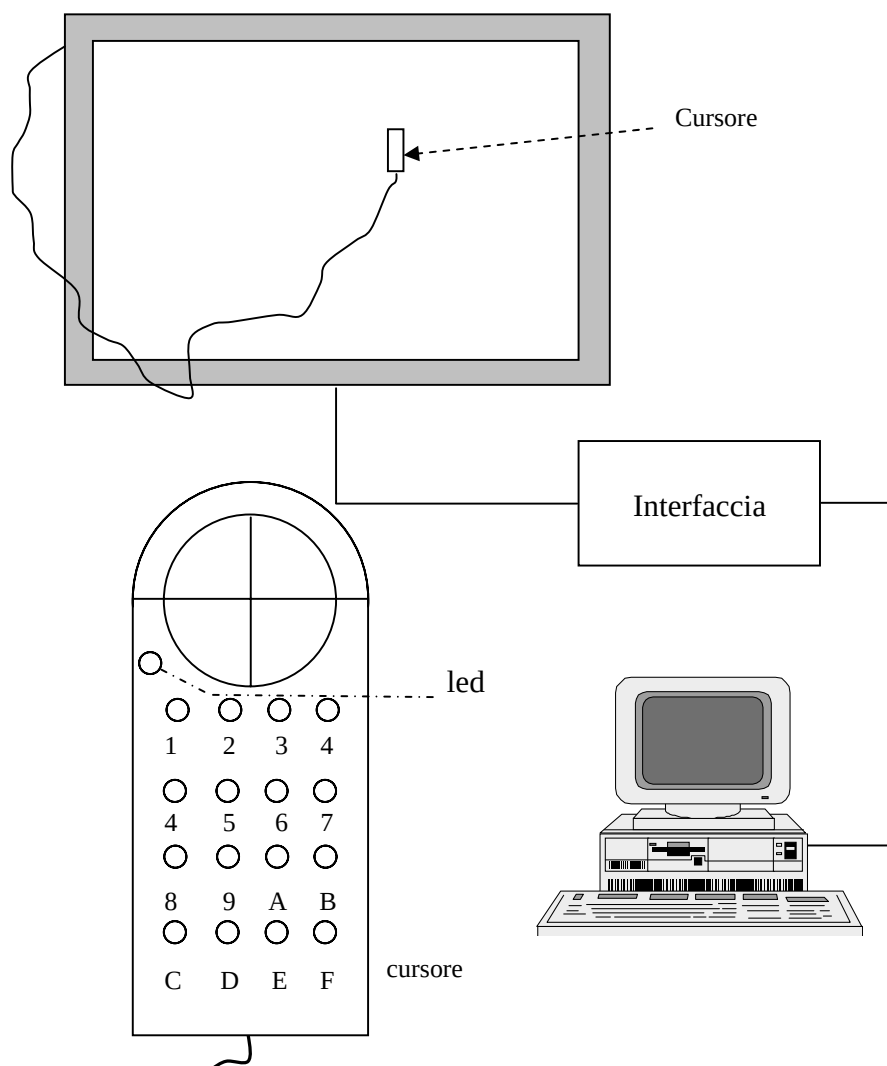


Fig. 10 - Schema illustrativo di un digimetro con particolare del cursore

Il primo caso (*point mode*) rappresenta anche quello più comune: dal digitizer viene inviata una coppia di coordinate ogni qual volta si preme un

tasto del cursore; per ogni nuovo invio occorre rilasciare il tasto e poi ripremerlo.

Nel secondo caso (*run mode*) il digitizer trasmette punti in continuazione, ad una prefissata frequenza, senza che si debba premere alcun tasto del cursore. Finchè quest'ultimo non è rimosso dalla propria posizione, vengono trasmesse sempre le stesse coordinate.

Con la terza modalità (*track mode*), la trasmissione di punti in continuo è possibile solo quando viene premuto un tasto; l'immissione di coordinate cessa non appena il tasto viene rilasciato.

Il quarto tipo di funzionamento (*line mode*) è caratterizzato da una trasmissione di dati in continuo che viene attivata e disattivata premendo un tasto.

Qualora si operi con modalità in continuo, il posto del cursore viene preso da una sorta di penna o stilo che rende più agevole l'inseguimento delle linee, ma fornisce risultati di minor precisione.

Esiste infine l'opzione *snapping* che consente di definire una griglia teorica, con passo selezionabile, sulla quale vengono ricondotti automaticamente tutti i punti collimati: tale opzione, utile per talune applicazioni CAD (*Computer Aided Design*) relative per lo più al disegno meccanico e architettonico, trova scarso impiego per la cartografia.

Nel risultato del processo di digitalizzazione, come in quello di scansione, è possibile riscontrare errori di origine, errori strumentali ed errori umani.

Gli **errori di origine** sono gli stessi di cui si è detto al paragrafo precedente.

Gli **errori strumentali** sono legati al digitizer nel suo complesso e comprendono:

- ❑ errore intrinseco connesso alla precisione che compete allo strumento;
- ❑ errore dovuto ad anomalie della superficie del tavolo che potrebbe presentare imperfezioni in alcuni punti;
- ❑ errore dovuto ad anomalie nella spaziatura del grigliato dei conduttori;
- ❑ errore di eccentricità del solenoide rispetto al centro del crocicchio di collimazione;

- ❑ errore di collimazione determinato dallo spessore e dalla forma dell'elemento di puntamento;
- ❑ errore di parallasse determinato dal fatto che il vetro su cui è inciso il crocicchio non poggia direttamente sul punto da collimare.

Gli **errori umani** sono legati alla precisione con cui l'operatore effettua la procedura e quindi sono connessi al posizionamento del foglio e alla collimazione dei punti.

4. La riproduzione su carta della cartografia numerica

La disponibilità di cartografia digitale rende possibile in qualsiasi momento la riproduzione grafica su supporto cartaceo: possono essere utilizzati dispositivi diversi, distinguibili in classi in base a formato, risoluzione, tipo di supporto, velocità, ecc.

Per i file vettoriali (ma non per quelli raster) si possono utilizzare i **plotter a penna**, disponibili in due tipologie fondamentali: il **plotter piano** e quello **a rullo** (detto anche **a tamburo**).

Il primo è formato da un semplice tavolo sul quale viene poggiato e fissato il supporto di disegno. La combinazione dei due movimenti, l'uno secondo y assicurato da un braccio orizzontale e l'altro secondo x reso possibile dallo scorrere di un dispositivo che rappresenta l'equipaggiamento di scrittura, consente di raggiungere qualsiasi punto del piano. Tali movimenti sono controllati numericamente dal computer: l'entità dello spostamento più piccolo consentito rappresenta la **risoluzione** dello strumento.

L'equipaggiamento di scrittura è formato solitamente da quattro penne, selezionabili via software, ciascuna delle quali può essere alzata o abbassata tramite un relè.

Le dimensioni coprono l'intera gamma che va dall'A4 all'A0. I costi elevati per i modelli di grande precisione e di grande formato hanno contribuito a ricercare strumenti alternativi per l'output.

L'altra categoria, quella dei **plotter a rullo** o **a tamburo**, fino a poco tempo fa era particolarmente diffusa a causa dell'estrema versatilità e del costo relativamente contenuto.

Il supporto di disegno è costituito in tal caso da un rotolo continuo di altezza pari a quella del formato dello strumento (solitamente A0) e lunghezze considerevoli (30-50 m). Durante la fase di scrittura grafica il movimento secondo X viene assicurato dallo scorrere della carta su di un apposito rullo, mentre il movimento secondo Y è realizzato dallo scorrere dell'equipaggiamento di scrittura.

Possono essere supportate contemporaneamente fino a 8 penne; la tipologia di quest'ultime risulta particolarmente varia, essendo utilizzabili biro, pennarelli, china a carica, matite, ecc. Anche i supporti possono essere di varia natura, dalla carta normale al cartoncino, al poliestere indeformabile, ecc.

I plotter a rullo sono meno precisi di quelli piani: il trascinamento della carta assicurato dalla pressione esercitata da rotelle di plastica contro la zigrinatura del tamburo può dare origine a slittamenti con perdita di precisione del disegno specialmente con supporti lucidi.

I plotter a penna vengono sempre più rimpiazzati da **stampanti** di diverse dimensioni che, soprattutto nel caso dei grandi formati (A0), vengono comunemente chiamate **plotter a getto d'inchiostro**. Questi consentono di riprodurre una vasta gamma di files sia di tipo raster (TIFF, BITMAP, JPEG, ecc.) che vettoriale (DXF, DGN, ecc.), con elevate velocità di disegno (circa 10 minuti per situazioni complesse).

Il funzionamento si basa su un tamburo rotante, che consente lo scorrere di un supporto nella direzione X, e un equipaggiamento mobile, secondo Y, costituito da 4 ugelli collegati alle cartucce di inchiostro (nero + 3 colori fondamentali).

Il disegno viene realizzato attraverso la generazione di strisce: quando il tamburo è fermo, il complesso scrivente si sposta secondo l'asse y tracciando una striscia di pochi millimetri di altezza; quindi il tamburo ruota consentendo al supporto un movimento secondo X pari all'altezza della striscia stessa e viene disegnata la striscia successiva.

Per ottimizzare i tempi di realizzazione, le strisce vengono generate alternativamente da sinistra verso destra e viceversa.

La limitazione alle dimensioni del disegno sono legate, nella direzione dell'asse Y, alla lunghezza del rullo, che può raggiungere i 90

cm; nessun problema, invece, nella direzione dell'asse X, risultando quest'ultima dipendente dalla lunghezza del rotolo che forma il supporto e che è nell'ordine di alcune decine di metri.

Vengono garantite buone risoluzioni, fino a 720x720 dpi e possono essere utilizzati supporti diversi, non solo carta normale, ma anche film poliestere indeformabile.

I costi contenuti (a partire da 5-6 milioni), l'economicità di esercizio (non è richiesta alcuna manutenzione se non la sostituzione delle cartucce d'inchiostro), l'elevato grado di risoluzione, la rapidità di riproduzione, l'estrema versatilità stanno contribuendo in maniera determinante alla diffusione dei plotter a getto d'inchiostro.

5. La georeferenziazione

I file raster e vettoriali relativi alla numerizzazione di una carta acquistano un reale significato cartografico solo attraverso il processo di **georeferenziazione**, ovvero mediante il collegamento ad un sistema di coordinate assunto come riferimento per la rappresentazione della superficie terrestre o parte di essa.

Per collocare l'immagine raster o il grafico vettoriale nello spazio cartografico desiderato si realizza una trasformazione geometrica che, nel caso più semplice, può limitarsi ad una rototraslazione con variazione del fattore di scala (trasformazione conforme); per eliminare o comunque cercare di contenere le deformazioni introdotte dalla numerizzazione (si pensi, ad esempio, agli errori di scansione o a quelli di digitalizzazione o ancora a quelli contenuti in un file vettoriale proveniente dalla applicazione di funzioni cad su una immagine ottenuta da scansione e non sottoposta ad ulteriori trattamenti) è opportuno impiegare algoritmi che consentano anche di diversificare il fattore di scala secondo l'asse x rispetto a quello secondo y e di avere scorrimenti (trasformazione affine, omografica, ecc.).

In definitiva la georeferenziazione richiede l'utilizzo di un software in grado di attribuire nuove coordinate al file di partenza applicando una trasformazione geometrica: l'utente deve indicare per alcuni punti le coordinate sia iniziali sia finali; il software determina in automatico le coordinate finali di tutti i punti e colloca l'immagine (o il grafico vettoriale) nella nuova posizione .

5.1. La trasformazione conforme

La **trasformazione conforme** ha equazioni:

$$x' = ax + by + c$$

$$y' = -bx + ay + d$$

Determinati i 4 parametri a, b, c, d diviene possibile calcolare x', y' a partire da x, y .

Per raggiungere tale obiettivo occorre conoscere le coordinate x, y di almeno 2 punti noti nell'immagine (o grafico vettoriale) di partenza e le coordinate x', y' dei corrispondenti punti nell'immagine (o grafico vettoriale) finale, così da risolvere il sistema di 4 equazioni in 4 incognite le cui soluzioni forniscono i parametri incogniti.

Schematizzando la trasformazione conforme come sequenza logica di alcune operazioni fondamentali, è possibile individuare 4 parametri geometrici che permettono il passaggio dalla situazione iniziale a quella finale:

t_x = traslazione rigida dell'immagine (o del grafico vettoriale) secondo l'asse x ;

t_y = traslazione rigida dell'immagine (o del grafico vettoriale) secondo l'asse y ;

ρ = rotazione rigida dell'immagine (o del grafico vettoriale);

λ = fattore di scala secondo gli assi x ed y .

Utilizzando i parametri geometrici le equazioni della trasformazione conforme diventano:

$$x' = x\lambda \cos(\rho) + y\lambda \sin(\rho) + t_x$$

$$y' = y\lambda \cos(\rho) - x\lambda \sin(\rho) + t_y$$

La trasformazione conforme è in definitiva una rototraslazione con variazione isotropa di scala.

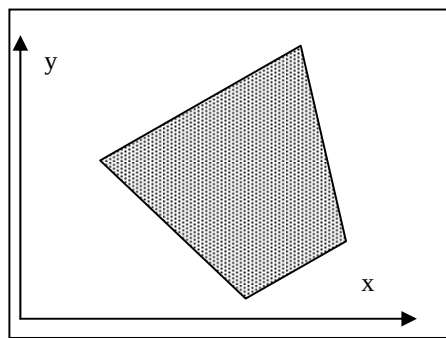
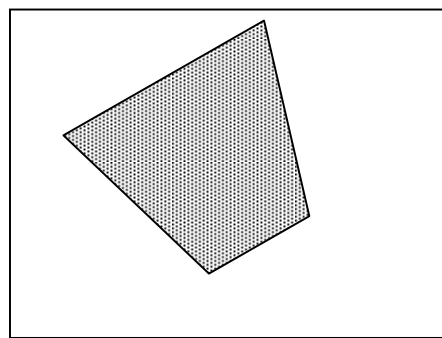
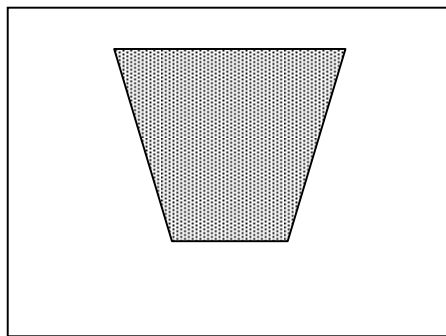


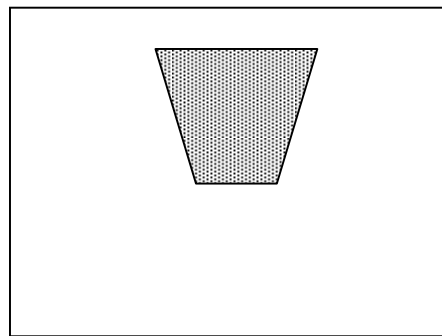
Immagine di partenza nel piano x,y



Applicazione delle traslazioni t_x, t_y



Applicazione della rotazione ρ



Applicazione del fattore di scala λ

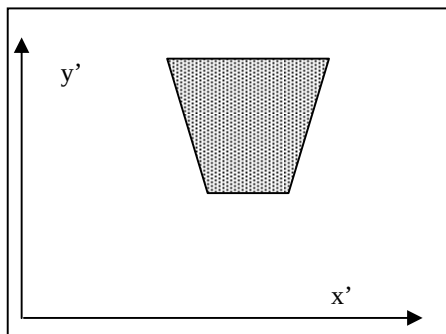


Immagine finale nel piano x',y'

Fig. 11 - Schematizzazione della trasformazione conforme

5.2. La trasformazione affine

La **trasformazione affine** è caratterizzata dalle equazioni:

$$x' = ax + by + c$$

$$y' = dx + ey + f$$

Per determinare i parametri a, b, c, d, e, f , è necessario conoscere le coordinate x, y di almeno 3 punti nell'immagine (o grafico vettoriale) di partenza e le coordinate x', y' dei corrispondenti punti nell'immagine (o grafico vettoriale) finale.

Schematizzando la trasformazione affine come sequenza logica di alcune operazioni fondamentali, si individuano 6 parametri geometrici che permettono il passaggio dalla situazione iniziale a quella finale:

t_x = traslazione rigida dell'immagine (o del grafico vettoriale) secondo l'asse x ;

t_y = traslazione rigida dell'immagine (o del grafico vettoriale) secondo l'asse y ;

ρ = rotazione rigida dell'immagine (o del grafico vettoriale)

λ_x = fattore di scala secondo l'asse x ;

λ_y = fattore di scala secondo l'asse y ;

γ = angolo di scorrimento.

Utilizzando i parametri geometrici le equazioni della trasformazione affine diventano:

$$x' = x\lambda_x \cos(\rho) + y\lambda_x \sin(\rho + \gamma) + t_x$$

$$y' = y\lambda_y \cos(\rho - \gamma) - x\lambda_y \sin(\rho) + t_y$$

La trasformazione affine è una rototraslazione con scorrimento angolare e variazione anisotropa di scala.

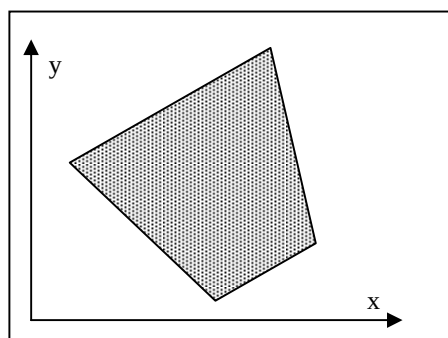
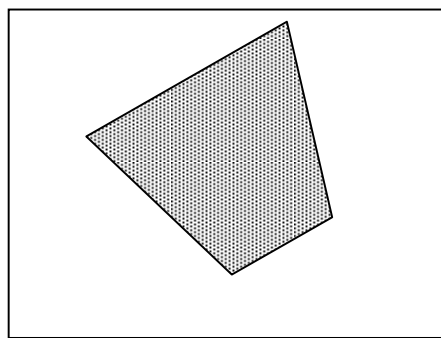
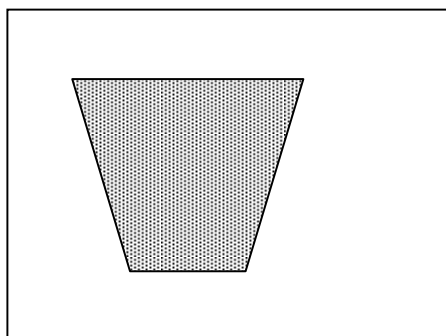


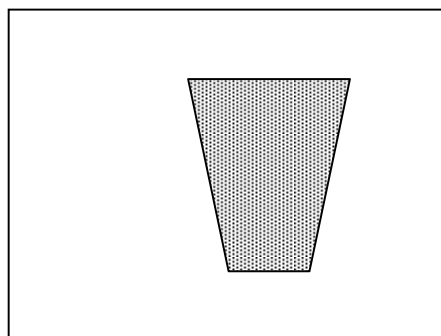
Immagine di partenza nel piano x,y



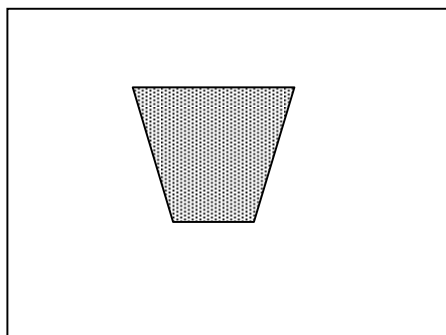
Applicazione delle traslazioni t_x, t_y



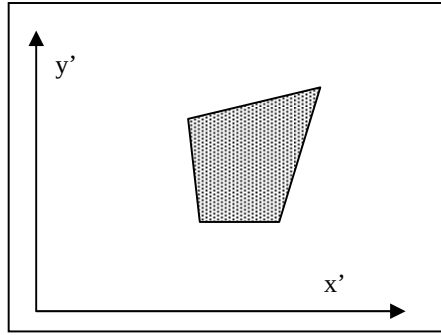
Applicazione della rotazione ρ



Applicazione del fattore di scala λ_x



Applicazione del fattore di scala λ_y



Applicazione dello scorrimento γ
Immagine finale nel piano x',y'

Fig. 12 - Schematizzazione della trasformazione affine

Bibliografia

- AA.VV. (1999), *MapInfo 5.0 – User's guide*, MapInfo Inc., Troy, New York
- AA.VV. (1997), *MGE – User's guide*, Intergraph Inc., Huntsville, Alabama
- AA.VV. (1996), *Microstation95 – User's guide*, Bentley Inc., USA
- AA.VV. (1996), *Microstation Geographic – User's guide*, Bentley Inc., USA
- AMADIO, G. (1996), *La cartografia numerica come base per i sistemi informativi territoriali: formazione, aggiornamento, standardizzazione, collaudi*, Bollettino SIFET n. 4/96
- BURROUGH, P.A. (1986), *Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assesment*, Claredon Press, Oxford
- CAMBURSANO, C. (1997), *Cartografia numerica*, Casa Editrice Esculapio, Bologna
- CANNAFOGLIA, C. (1990), *Alcune problematiche connesse alla formazione del Catasto Numerico attraverso la digitalizzazione delle mappe esistenti*, Bollettino SIFET n° 2/90
- FOIETTA, P., MANDRILE, L., (1991), *Cartografia con il Personal Computer*, CLUP Città Studi, Milano
- JONES, C. (1997), *Geograhical Information System and Computer Cartography*, Longman Press, London
- MAGUIRE, D. J., GOODCHILD, M. F., RHIND, D. W. (1991), *Geographic Information Systems: principles and applications*, Longman Press, London
- PARENTE, C., PUGLIANO, A., SANTAMARIA, R., (1999), *Confronto tra alcuni metodi utilizzabili per la digitalizzazione della cartografia*, Atti della III Conferenza ASITA, Napoli 1999
- PEVERIERI, G. (1995), *GIS - Strumenti per la gestione del territorio*, Il Rostro, Milano
- PIGATO, C. (1999), *Il raddrizzamento delle immagini mediante AutoCAD*, Bollettino SIFET n° 1-2/99
- SPALLA, A. (1995), *Cartografia numerica*, Bollettino SIFET n. 2/95
- SURACE, L. (1998), *La georeferenziazione dell'informazione territoriale*, Bollettino di Geodesia e Scienze Affini, n°2/98, IGM, Firenze

Pubblicazione gratuita distribuita a scambio
Istituto di Navigazione “G. Simeon”, I.U.N., Napoli