

Rivista IBM

Direttore editoriale: Glauco Maggi

Direttore responsabile: Marcello Antozzi

Redazione: Laura Ragazzola

Progetto grafico: Italo Lupi

Impaginazione: Eleonora Biagetti

A cura della Direzione Comunicazioni IBM SEMEA
20090 Segrate (MI)

In copertina, mappa della provincia di Bergamo, rilievo aerofotogrammetrico del 1955, scala 1:25000 (dai tipi dell'Istituto Geografico Militare, autorizzazione n. 3370, in data 28/3/1991).

Carte storiche, militari, catastali, urbanistiche: documentazione cartografica o più semplicemente immagini del territorio. Insomma, ricostruzioni di spazi reali, in cui diversi elementi, nelle loro molteplici relazioni, sono tradotti in figure bidimensionali attraverso un linguaggio visivo che è mutato nel corso dei secoli.

La forma del territorio, come è stata rappresentata ieri e oggi, costituisce il tema centrale delle immagini di questo numero: dalle pittoriche raffigurazioni dei cabrei seicenteschi alle moderne carte digitali elaborate dal computer. Accanto alle rappresentazioni cartografiche, tre maestri della fotografia - Gabriele Basilico, Luigi Ghirri, Francesco Radino - testimoniano tre differenti modi di leggere il paesaggio: anche la fotografia, infatti, ci restituisce una immagine del territorio, sia pure "filtrata" dalla personale interpretazione del fotografo.

Gabriele Basilico, paesaggi e coste del Nord della Francia; Luigi Ghirri, immagini della campagna emiliana; Francesco Radino, vedute d'Islanda.

Numero monografico a cura di Luca Marescotti, docente di Teoria dell'Urbanistica presso il Politecnico di Milano.



Rivista IBM vuole offrire attraverso gli articoli dei suoi collaboratori un'occasione di dialogo su fatti, problemi, situazioni. Naturalmente Rivista IBM lascia agli autori la responsabilità delle opinioni espresse.

Periodico della IBM SEMEA
Anno XXVII, numero 1, 1991
Autorizzazione Tribunale di Milano, numero 261
del 24/9/1965
Spedizione in abbonamento postale gruppo IV
Tipografia: Cordani, Milano.
Fotocomposizione: Visualtype
Impianti: Colorlito

rivista IBM

INFORMATICA & PIANIFICAZIONE TERRITORIALE

3

Luca Marescotti

La gestione informatica del territorio

4

Mariano Cunietti

Misurare per conoscere

16

Riccardo Galetto

Per una corretta interpretazione della cartografia numerica

28

Luigi Colombo, Mariano Cunietti

Dettaglio, scala e precisione nella cartografia

42

Luca Marescotti

Potenzialità e funzioni dei Sistemi Informativi Geografici

50

Valeria Erba

L'informatica nella pianificazione comunale

62

Giovanmaria Lechi

Telerilevamento e qualità delle informazioni

67

Bibliografia

Strada
Nort.
che
disio



LA GESTIONE INFORMATICA DEL TERRITORIO

Il centro dell'attenzione di questo numero monografico sui Sistemi Informativi Geografici vuole essere la possibilità di migliorare l'uso che facciamo del territorio, di rendere l'impatto dell'organizzazione delle nostre attività il più possibile compatibile con l'ambiente, di concentrare le nostre forze per giungere a controllare e a dirigere le trasformazioni per offrire alle generazioni che verranno non un deserto, ma un luogo dove vivere meglio e più a lungo. A conforto di una simile affermazione, che è anche un'ipotesi guida e un assunto operativo, troviamo le innovazioni tecnologiche, le meraviglie della grafica, le immense potenzialità dell'integrazione tra dati geometrici e alfanumerici e iconografici, la possibilità di navigare tra archivi diversi e memorie geograficamente distribuite. L'innovazione tecnologica si dimostra sempre più rapida e sempre più imprevedibili si dimostrano le implicazioni che essa ha nello sviluppo della pratica e nella formazione delle teorie. Così oggi parlare di Sistemi Informativi Geografici non significa perdersi dietro ad una moda inutile o futile, ma ricostruire da diversi punti di vista le enormi modificazioni teoriche che si presentano e le integrazioni tra realtà eterogenee, ma confluenti in un unico nuovo modello conoscitivo. All'interno della cartografia, vista come disciplina autonoma ma nello stesso tempo con la consapevolezza che si tratta di un'importante piattaforma su cui si appoggiano i GIS, si possono individuare gli elementi fondamentali teorici a partire dall'impostazione stessa delle definizioni e delle metodologie fino alla sua utilizzazione finale che ne orienta il progetto. Gli articoli trattano in ordine i seguenti argomenti.

- La precisione dei moderni strumenti di misura e la possibilità di rilevazioni dettagliate portano nella cartografia nuovi punti di vista, sia in architettura (il rilievo degli edifici e dei nuclei storici), sia in urbanistica (la cartografia urbana e territoriale). La necessità di una rigorosa analisi qualitativa degli oggetti in funzione della costruzione di un modello conoscitivo reale, cioè operativo, conduce direttamente al nodo del rapporto tra dettaglio possibile e dettaglio utile al fine di intervenire sull'architettura e sul territorio, tra questi e la sintesi non più solo cartografica, ma come preludio a modelli più complessi, come sono i Sistemi Informativi Geografici. (Mariano Cunietti)
- Di fatto, la possibilità di costruire cartografie numeriche pone coerentemente l'impegno a distinguerle dalla cartografia automatica, come terminologia legata alla produzione, ai suoi diversi passi e al suo stretto legame con la visualizzazione. La precisione e la scala devono far parte di un progetto concreto e mirato agli obiettivi della rilevazione, così come diviene necessario ridefinire che cosa si intenda per terza dimensione nella cartografia numerica, e quali problemi pone la standardizzazione dei formati. (Riccardo Galetto)
- L'applicazione delle memorie magnetiche e della fotogrammetria nella costituzione della cartografia numerica su calcolatore conforta le intuizioni teoriche verso nuove valutazioni sui concetti di cartografia di base e di scala di rappresentazione: si apre direttamente nella applicazione di un caso specifico il confronto tra cartografia e sistema informativo geografico in un progetto ancora in corso di sviluppo. (Luigi Colombo e Mariano Cunietti)
- Dalla cartografia numerica si passa, attraverso l'integrazione con basi di dati statistici, descrittivi e anche iconografici, ai Sistemi Informativi Geografici. I GIS sono qualcosa di più di un'integrazione attraverso puntatori di dati eterogenei, ma costituiscono di fatto un potente modello conoscitivo che potrebbe permettere nuovi modi di intendere la stessa disciplina dell'urbanistica, se naturalmente fosse sostenuto da un'adeguata volontà di capirne le potenzialità e le utilità nella pianificazione delle trasformazioni territoriali. (Luca Marescotti)
- Il problema della conoscenza e del ricorso ad analisi finalizzate al supporto delle decisioni e quindi alle scelte si affianca all'azione degli enti di governo territoriale e alle loro specifiche funzioni, anche in vista dell'attuazione dei piani urbanistici e del varo dei governi metropolitani. Si configurano, quindi, le caratteristiche del Sistema Informativo Geografico in funzione delle diverse utenze che da esso trarranno gli elementi per la loro azione. (Valeria Erba)
- Infine, si prospetta l'aggancio ad altre fonti informative, da tempo effettive, ma scarsamente utilizzate nella pianificazione. Si tratta delle informazioni qualitative tipiche del telerilevamento da satellite, che possono avere utilità notevole nel governo delle trasformazioni territoriali, grazie alla possibilità di analisi che si possono correntemente fare e alla sovrapposizione con la cartografia numerica. (Giovannaria Lechi)

Questi articoli costituiscono soprattutto una suggestione — non certo un trattato concluso — sulle strade da seguire. Da essi si evince, inoltre, un invito alla collaborazione tra le discipline del rilevamento, quelle informatiche del trattamento dei dati e quelle urbanistiche di governo e di gestione del territorio. Ma contemporaneamente con questi articoli si vuole affermare una direzione di studio ormai consolidata nel Politecnico di Milano e che si è avvalsa di contributi non indifferenti forniti dalle relazioni tra molteplici discipline e tra diverse facoltà universitarie e atenei, tra ricerca e didattica e tra queste e il mondo esterno: convenzioni, contratti e studi congiunti aperti con le amministrazioni pubbliche e con le società industriali sono stati momenti fondamentali di questa crescita. A questi rapporti e al loro sviluppo è dedicato il presente lavoro come ringraziamento e come augurio. Il tempo è ormai maturo per nuove e affascinanti avventure nel mondo del trattamento dell'informazioni geografiche e nella loro finalizzazione a supporto dei processi decisionali.

Luca Marescotti



MISURARE PER CONOSCERE

Mariano Cunietti

Mariano Cunietti, fisico, dal 1964 è professore ordinario di Teoria e Pratica delle Misure presso l'Istituto di Topografia, Fotogrammetria e Geofisica del Politecnico di Milano dove svolge attività di ricerca e di insegnamento sin dal 1948. Nel 1966 è stato eletto Presidente della SIFET (Società Italiana di Fotogrammetria e Topografia). Delegato italiano presso la OEEPE (Organizzazione Europea di Studi di Fotogrammetria Strumentale), nel 1982 ha iniziato ad organizzare annualmente le "Giornate della Misurazione" delle quali nel 1991 si terrà la X riunione. Dal 1966 è membro d'onore della SIFET.

Misurare è prerogativa dell'uomo. Si può ammaestrare un animale ad eseguire quasi tutte le operazioni dell'uomo, ma non si può ammaestrarlo ad eseguire ed utilizzare una misura.

Fra le macchine costruite dall'uomo lo strumento di misura occupa un posto particolarissimo. Gran parte delle macchine trasformano oggetti in altri oggetti, tipi di energia in altri tipi di energia. Gli strumenti di misura "trasformano" gli oggetti in numeri. Molte macchine prodotte dal genio dell'uomo, a partire dalla ruota, sono nate da un'azione mimetica della natura.

Lo strumento di misura non ha nessun equivalente nell'ambito del naturale, dello spontaneo.

Per capire la misurazione è necessario porsi in questa prospettiva.

Quando conto gli oggetti, gli individui, i pezzi, che compongono un insieme, scopro, con l'operazione di contare, il numero cardinale nascosto nell'oggetto "insieme di più cose".

Quando ordino gli oggetti secondo una serie in base alla somiglianza reciproca, scopro in ciascun oggetto il numero ordinale che definisce la posizione dell'oggetto nella "serie ordinata" degli oggetti.

Questi due sono gli unici casi in cui l'attribuzione di un numero ad un oggetto è una vera scoperta.

Il numero è già intrinseco all'oggetto e l'operazione che chiamo misurazione lo porta alla luce.

Ogni altra operazione di misurazione eseguita sugli oggetti non scopre il numero, ma lo inventa. Pur senza avere nulla di arbitrario, di casuale, di ambiguo, la misura di un oggetto, salvo nei due casi sopra citati, è una convenzione che mi permette di etichettare un oggetto con un numero.

La stipulazione di questa convenzione, che può essere di data recentissima, o affondare le sue origini in un passato lontanissimo, sottostà ad alcune condizioni che dipendono:

- dalle proprietà dei numeri (cardinali e ordinali);
- dalle proprietà e caratteristiche stesse degli oggetti misurati;
- da principi universali di chiarezza, semplicità ed utilità.

Proprio perché è frutto di operazioni convenzionali definite fra uomini la misura è un prodotto dell'intelletto umano e solo dall'intelletto umano è capita ed usata.

L'intelletto umano e quindi l'uomo si fanno un gran vanto di questa operazione che trasforma in numeri gli oggetti.

C'è chi afferma che il progresso poggia su questa operazione convenzionale, sulle misure. L'uomo abbandona il qualitativo per tradurre la realtà degli oggetti nella forma quantitativa, cioè tramite la misura.

Nulla vi è di più falso.

Se noi cerchiamo l'origine logica della misurazione ci accorgiamo che alla base, a fondamento di una misurazione sta una qualità e che la misurazione quantifica l'intensità, la presenza di questa qualità nell'oggetto considerato, comparativamente alla intensità, alla presenza di quella stessa qualità in altri oggetti.

Misurare un oggetto è perciò insieme riconoscere nell'oggetto una qualità ed anche quantificare l'intensità di questa presenza mediante un numero.

Nell'operazione di misura dobbiamo perciò riconoscere queste due fasi operative essenziali:

- la prima fase è quella che individua, seleziona, discretizza la qualità;
- la seconda è quella che traduce in numero l'intensità di presenza della qualità considerata.

Lo stesso strumento perciò, sia esso operativo manuale (misure dirette), oppure teorico astratto (una relazione matematica - misure indirette) esegue entrambe le funzioni sopra elencate. Troppo spesso noi poniamo attenzione soprattutto alla seconda, trascurando la prima.

Non si può in nessun caso dare preminenza all'una sull'altra. Sarebbe come negare la misura stessa che è, come afferma Hegel, "sintesi della qualità e della quantità".

Quando con uno strumento misuriamo una grandezza presente in un oggetto reale, innanzitutto, mediante lo schema operativo, mediante lo strumento, noi selezioniamo la qualità, la isoliamo rispetto alle altre e la rendiamo automaticamente discreta. Cioè riteniamo che le qualità formino un insieme discreto di caratteristiche che individuano l'oggetto. È proprio vero che le qualità sono discrete e non invece costituiscono anch'esse un continuo che viene selezionato, forse con grossolanità, dall'opera del misuratore?

Qualunque sia, comunque, la risposta importante ma non essenziale, a questo quesito, è certo che tutte le volte che noi misuriamo implicitamente mediante la stessa operazione definiamo la qualità discretizzata la cui intensità di presenza vogliamo misurare.

Questa qualità e questa quantità sinteticamente associate noi chiamiamo grandezze.

Da ciò risulta con ancora maggiore evidenza che la misura è legata all'intelletto ed alla sua insostituibile opera di analisi. L'oggetto nella sua continuità reale viene scomposto nella discontinuità finita delle qualità che lo compongono, e queste qualità noi quantifichiamo con la misurazione. A che serve all'intelletto questa operazione di analisi prima di quantificazione poi? Serve a costruire il modello della natura, quel modello che noi arbitrariamente e illusoriamente chiamiamo conoscenza. Il contatto fra il modello mentale della natura e la natura stessa avviene tramite le misure.

Questo contatto avviene però in due sensi. In un primo tempo (primo in senso logico) la misura porta informazioni dalla natura al modello. In un secondo tempo, la misura permette di realizzare cose nuove nell'ambito naturale o almeno di modificare ed alterare questo ambito.

Questo stare a cavallo fra natura e modello è anche la "tragedia" della misura.

La scienza studia la natura e ne fa la misura per poter costruire un modello adeguato, verificabile, della natura stessa.

La tecnica, all'interno del modello, elabora i progetti di intervento nel naturale, e questi progetti si esprimono come numeri che realizzati divengono oggetti reali della natura modificata. Come nella natura prima della misura il numero non era presente, così nell'oggetto prodotto dalla tecnica il numero scompare di nuovo.

In questo ciclo la misura nasce e muore. Essa si esaurisce all'interno di questa operazione che nella sua totalità è vera conoscenza. Infatti "conosce" solo colui che possiede l'oggetto, e possiede veramente l'oggetto solo colui che può trasformarlo.

La misura è lo strumento insostituibile di questo possesso o conoscenza. La misura è quindi strumento di conoscenza. Anche la carta è uno strumento di conoscenza del territorio. Attraverso l'analisi qualitativa identifica le caratteristiche essenziali che individuano il territorio, attraverso le misure, cioè il rilievo vero e proprio, quantifica queste qualità, attraverso il disegno crea la sintesi, cioè il modello mentale del terreno, con lo studio

L'agrimensore Jean Surhon con compasso e canna, XVII secolo (particolare). L'attività degli agrimensori per il rilevamento topografico del territorio si sviluppa sotto l'impero Romano; ad essi era affidata la pianificazione di intere regioni. Con la fine dell'espansione romana i compiti degli agrimensori perdono importanza; questa figura professionale rifiorisce a partire dal Cinquecento, quando la definizione del rapporto fra potere centrale e territorio diventa un fattore importante nella formazione dello Stato moderno. È curioso notare, a tale riguardo, l'alto rango sociale che l'autore del disegno qui riprodotto attribuisce all'agrimensore; esso è infatti rappresentato con la spada al fianco.





Un processo lungo ed articolato separa la "groma", adoperata dai primi agrimensori romani, dai sofisticati strumenti che oggi i progettisti hanno a disposizione per "leggere", rappresentare e pianificare il territorio. In particolare il calcolatore ha contribuito in maniera rilevante ad un nuovo processo di conoscenza e gestione del territorio attraverso la realizzazione dei cosiddetti Sistemi Informativi Geografici: tali applicazioni consentono di integrare il mondo tradizionale della cartografia (cioè le informazioni "geometriche") con l'ampia gamma di dati e informazioni di cui si servono gli operatori pubblici.

progettuale crea le nuove direzioni di intervento tecnico e di azione diretta sul terreno.

La carta è perciò essa stessa una misura, ma insieme è il modello. È il risultato di una analisi che si è conclusa in una sintesi. Analisi delle caratteristiche essenziali che nel loro insieme esprimono e rappresentano il territorio; quantificazione di queste caratteristiche qualitative sulla base specifica di questi elementi: direzione, posizione relativa (rispetto agli oggetti vicini), posizione assoluta (rispetto ad un sistema di riferimento assunto convenzionalmente); sintesi che si riassume nella operazione di disegno nella quale il contenuto qualitativo si rappresenta simbolicamente, mentre il contenuto quantitativo viene riportato integralmente sia pure con riduzione di scala.

La carta è un prodotto dell'intelletto perché è una sintesi astratta, come ogni disegno, di elementi risultanti da un'operazione di analisi. Ma la carta diviene strumento di conoscenza quando, come supporto della elaborazione progettuale, prepara e studia gli interventi sul territorio. Cioè quegli interventi che modificando il territorio fanno dell'elaboratore del progetto colui che veramente "conosce". Come nella tecnica la produzione dell'oggetto nuovo uccide la misura, così, nella realizzazione del progetto, l'elaborato cartografico muore (anche se rimane archiviato) per dar posto all'intervento operativo diretto sulla realtà. L'unico oggettivamente (al di fuori dall'uomo) valido.

L'elaborato cartografico è un disegno. Il disegno è la sintesi dello studio analitico del terreno operato dal rilevatore. È la sintesi del qualitativo e del quantitativo. Ogni elemento di questa sintesi, cioè ogni caratteristica del terreno, rappresentata cartograficamente, ha un contenuto, una informazione qualitativa ed un contenuto ovvero una informazione quantitativa. Far prevalere l'uno sull'altro, in parti-

colare far prevalere il contenuto quantitativo (dimensione, posizione relativa, posizione assoluta) sul qualitativo è un errore. La carta nasce dalla sintesi di questi contenuti o informazioni.

Come nella misurazione, l'operazione stessa del rilevamento (che fa parte dell'analisi indispensabile per ogni conoscenza) opera la discretizzazione del qualitativo. Questa operazione è fra le più importanti di ogni rilievo. Misurare è importante ma non così come operare, nell'ambito del continuo qualitativo, la classificazione delle qualità dopo della quale, e solo come sua conseguenza, si può operare la quantificazione, ovvero la misura. Entrambe le due fasi dell'analisi, quella che seleziona e discretizza le qualità, e quella che le quantifica, pongono dei problemi.

Dal punto di vista di colui che esegue l'analisi qualitativa il problema è: cosa va eliminato dal continuo qualitativo dell'oggetto e cosa va tenuto e selezionato come elemento essenziale di conoscenza del territorio o dell'oggetto. Questa operazione non va lasciata all'arbitrio di chi esegue operativamente il rilievo ma deve essere studiata prima di ogni rilievo e deve portare ad indicazioni precise che guidano il rilevatore nella sua operazione sul terreno. Tanto più importante è questo studio preliminare quanto più è grande la scala della rappresentazione cartografica e si esce dagli schemi tradizionali. Nell'ambito di quelle scale che interessano il risanamento urbanistico, la conservazione, il restauro dei monumenti e dei centri antichi, il catalogo dei beni culturali, questa operazione di setacciamento razionale delle qualità dell'oggetto è tutta da fare. Come risulta dal processo logico che sta alla base di ogni misura e quindi anche del rilievo cartografico, questa fase è prioritaria ed importantissima. La successiva fase di quantificazione

Le elaborazioni presentate in queste pagine e nelle successive sono state realizzate su Sistema RISC/6000 IBM.



numerica risulta assolutamente priva di significato, vanificata di fatto, se la fase di analisi che la precede non ha individuato e discretizzato le qualità essenziali dell'oggetto. Quando si misura non si sa cosa si misura né cosa voglia significare il numero che viene sempre fuori dallo strumento.

L'operazione di sintesi che segue e che ha il compito di generare la trasformata mentale dell'oggetto, il risultato cioè della conoscenza, il disegno sul quale programmare, progettare, elaborare quantitativamente gli interventi, cessa di essere strumento valido di conoscenza se l'analisi qualitativa non è stata compiuta con il discernimento conoscitivo necessario. Il disegno non ricrea l'oggetto nella sua integrità, ma ne dà una caricatura maligna, quindi inutile anche se, a prima vista, gradevole da vedersi! La fase successiva alla discretizzazione delle qualità, la misura cioè della dimensione, posizione assoluta e relativa degli elementi che descrivono il territorio pone un problema ben preciso: quello della precisione delle misure. Anche questa domanda non si può eludere. Come ogni misura richiede si fissi il minimo di cifre significative che compongono il numero risultante dall'operazione, così anche nell'ambito della rappresentazione cartografica dobbiamo convenzionalmente fissare un limite alla quantificazione.

Sulla base di quali elementi fissare questo limite? Nella misura in generale questo limite è formato dal dettaglio con cui vogliamo costruire il modello, cioè la sintesi.

Identicamente nel caso della cartografia occorre tener conto del disegno che si dovrà ottenere tramite le misure. Il disegno stesso, o meglio la sua scala, fissa il grado di dettaglio che si vuole raggiungere e sulla base di questo si stabilisce la precisione

delle misure. Ma nell'ambito delle cartografie che interessano lo studio delle città antiche, della loro catalogazione e restauro, non si può fare a meno di tener conto, sempre in relazione alla scala di rappresentazione, anche di questo fatto; la misura non può superare la barriera della definizione qualitativa dell'elemento del territorio che si vuole rappresentare. Questo studio della precisione di misura in relazione alla definizione degli elementi costituisce una novità nel campo cartografico; essa è tutta da fare e richiede esperienze e ricerche abbastanza approfondite e va condotta in stretto collegamento con l'operazione di discretizzazione delle qualità degli oggetti rappresentabili, cioè con la fase logica dell'analisi.

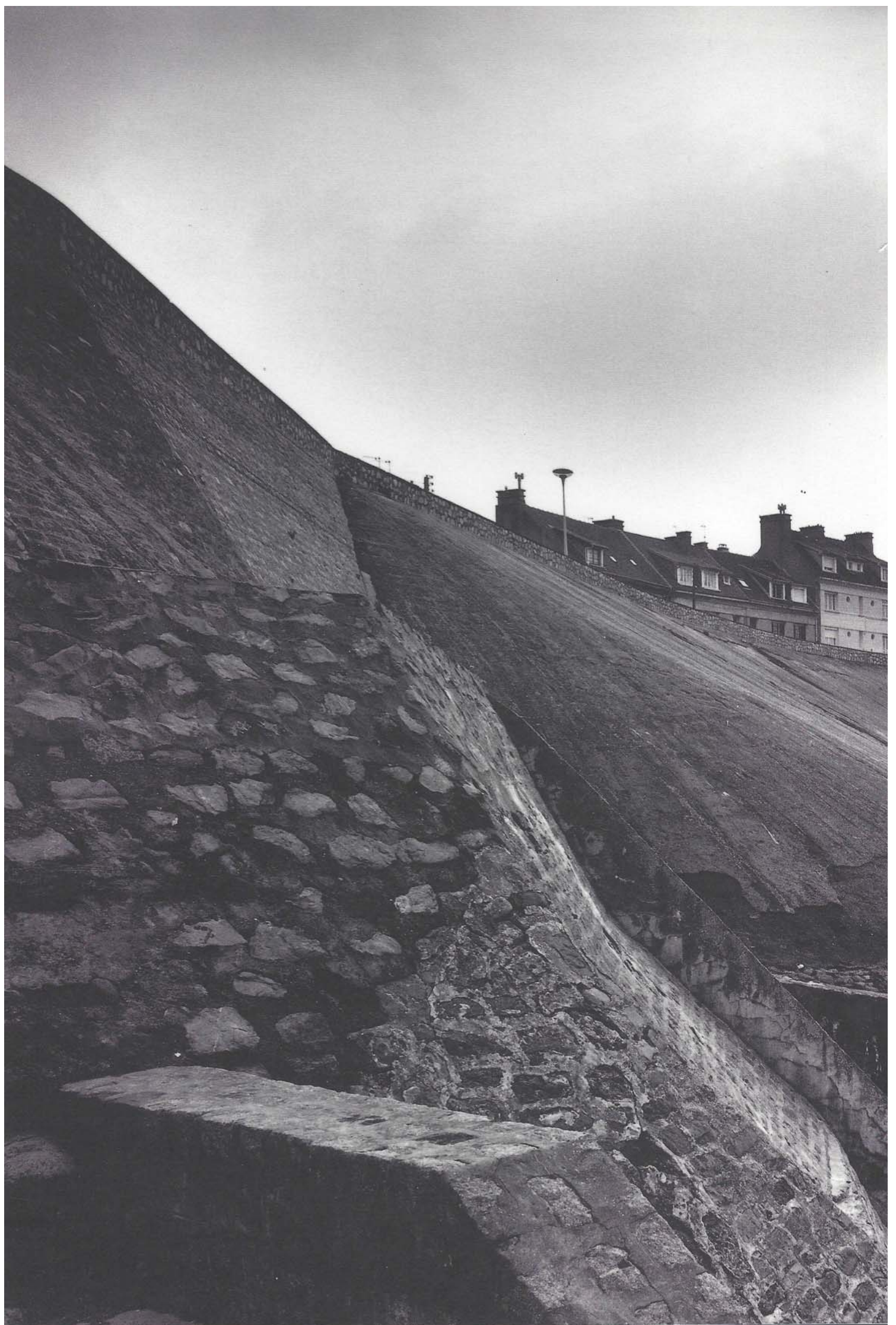
Questa analisi logica, che partendo dalla struttura stessa della misurazione ha portato a riconoscere nel rilievo cartografico tutti gli elementi propri dell'operazione del misurare, ha una importante conseguenza pratica.

Innanzitutto pone in primo piano il problema della analisi qualitativa dell'oggetto da rappresentare; questa analisi va condotta in vista della conoscenza effettiva dell'oggetto cioè di quella conoscenza che è reale solo se permette di intervenire sull'oggetto. In altre parole l'analisi va vista in funzione dell'intenzione conoscitiva e dello scopo operativo di questa intenzione.

La quantificazione o misura delle qualità selezionate dall'analisi è condizionata dalla scelta del dettaglio con cui costruire la sintesi; ovvero la decisione delle misure è conseguenza sia della sintesi successiva, sia dell'analisi che la precede.

Infine la sintesi non va mai vista come fine a se stessa ma come un modello che l'intelletto si costruisce per conoscere ed intervenire sul territorio e quindi per modificarlo.

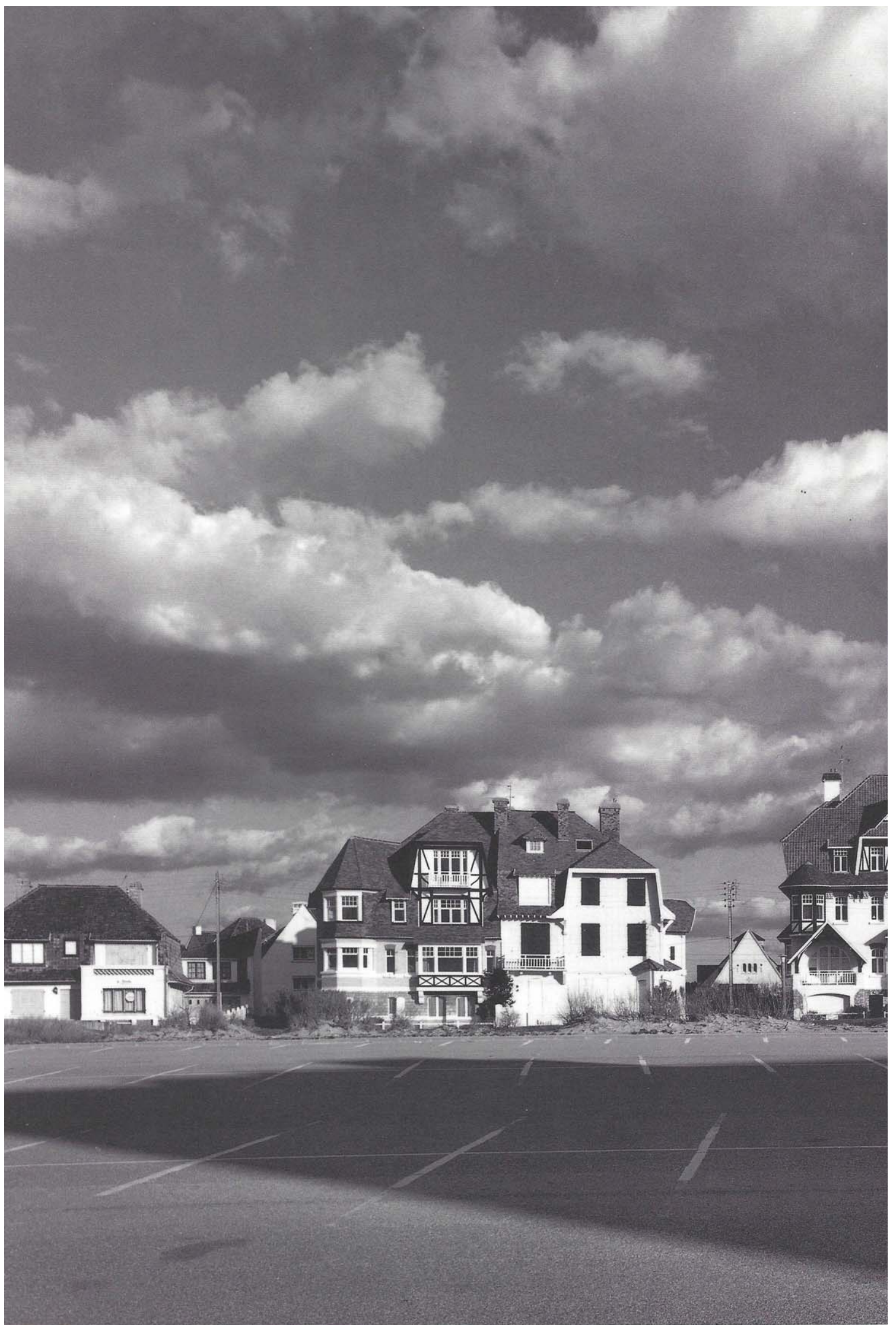
In queste pagine, esempi di cartografia digitale. Le due immagini si riferiscono alla stessa area del comune di Bergamo, ma la seconda (qui sopra) è un ingrandimento della prima. Il calcolatore, attraverso successivi "zoom", permette di ottenere informazioni sempre più dettagliate (foto Gianni Aureggi).

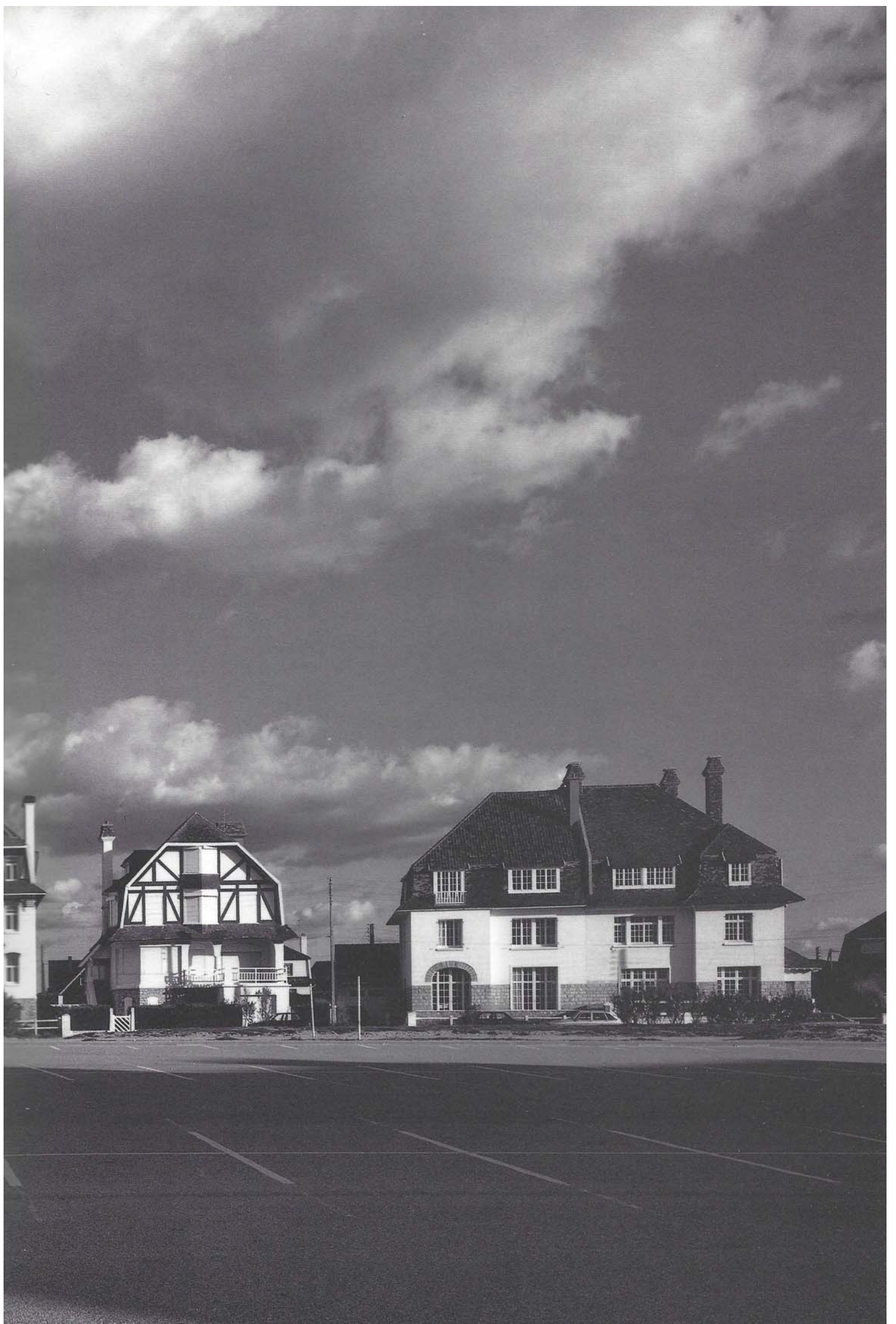


Il territorio
e la sua immagine
nella fotografia.
Gabriele Basilico
Luigi Ghirri
Francesco Radino



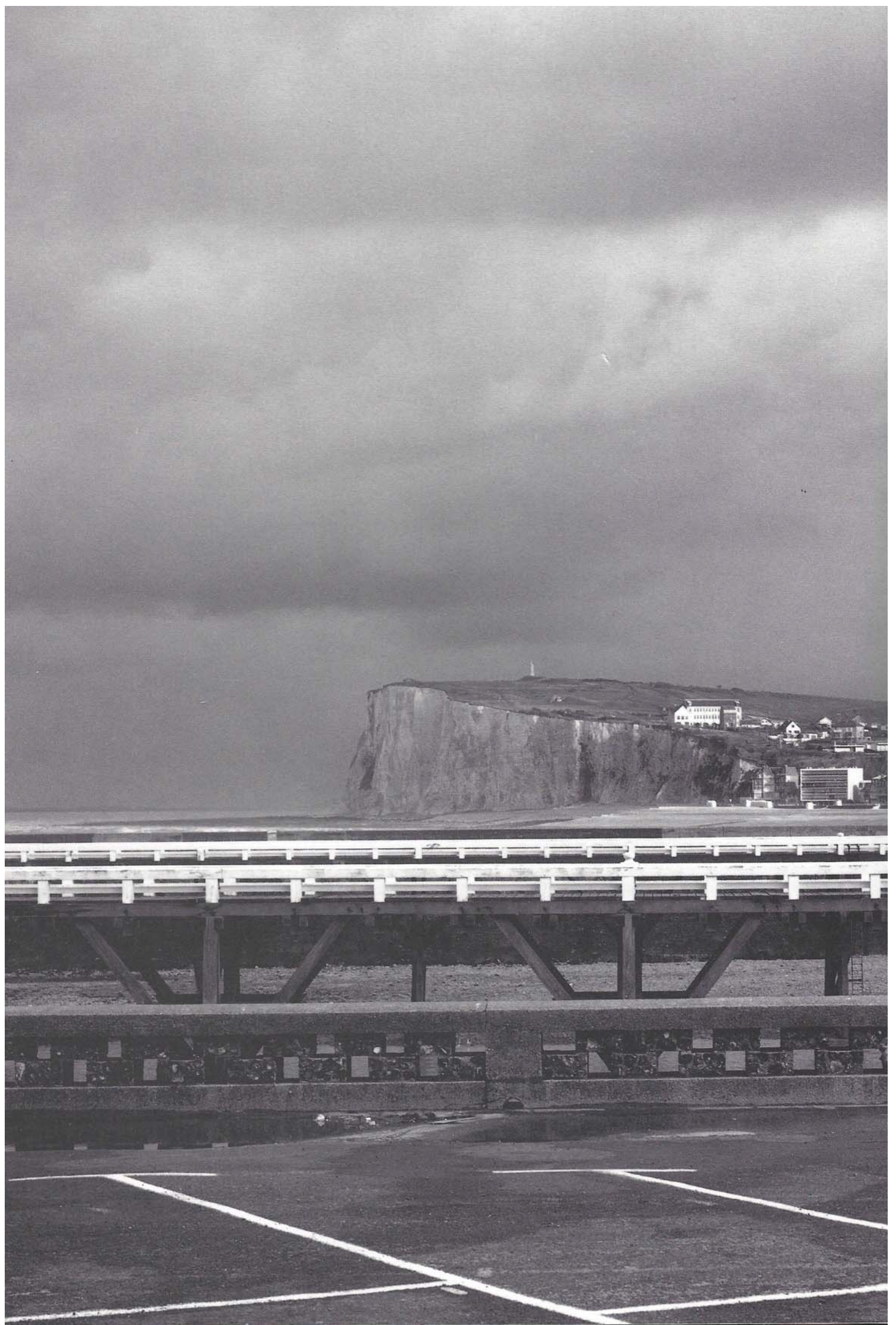
Da pagina 8
a pagina 15
fotografie
di Gabriele Basilico

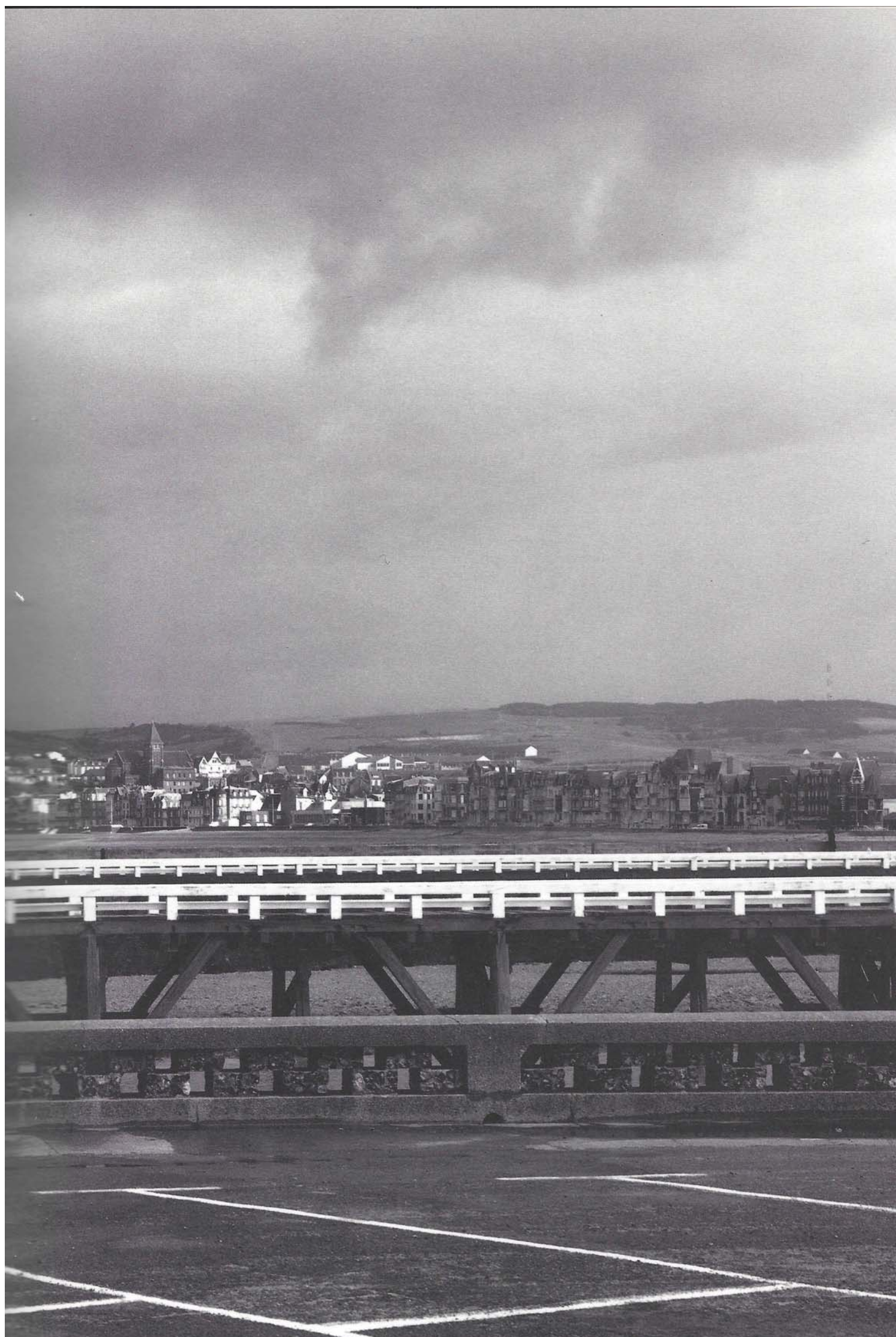












Grandi iniziative che riguardano la cartografia numerica sono già state intraprese e concluse, altre sono in corso d'attuazione, altre si prospettano imminenti. E quindi se l'utenza ordina, se l'industria produce, se hardware e software si vendono, sembrerebbe logico trarre la conclusione che sulla cartografia numerica non ci sia più nulla da dire, ma ci sia solo da continuare a farla¹.

In realtà non è così. Per la cartografia numerica siamo ancora ben lontani dal poter dire che esistono degli standard dei suoi aspetti formali e dei suoi contenuti.

Non vi è una tipologia codificata e si definisce il prodotto in funzione del metodo di produzione anziché in base alle sue caratteristiche; per cui si parla di cartografia digitalizzata e di cartografia fotogrammetrica diretta, dimenticando che esiste anche il rilievo topografico o che i diversi metodi possono tra loro integrarsi, e si assume una scala di valori del tutto arbitraria, frutto di assunzioni semplicistiche in parte dovute al fatto di associare il concetto di cartografia numerica allo strumento restitutore analitico, che a sua volta richiama il concetto di fotogrammetria di precisione, in parte al fatto di considerare la cartografia numerica diretta come una evoluzione della cartografia digitalizzata e di conseguenza un prodotto *superiore* ad essa e non un prodotto *diverso*. Per cui, in definitiva, il criterio di giudizio non ha riscontri oggettivi, ma è più che altro dovuto a quell'atteggiamento di cultura frantesa che porta a snobbare il discorso semplice e chiaro rispetto a quello complesso e in parte non compreso.

Ma la mancanza di una formulazione teorica delle caratteristiche qualitative e metriche della cartografia numerica basata su *principi generali* sta creando una progressiva perdita di contenuto semantico della terminologia corrente e rende possibile il crearsi e il perdurare di alcuni equivoci che, oltre a rallentare la fase di decantazione delle idee ed il processo di sistematizzazione della materia, sconcertano l'utenza e mettono in difficoltà l'industria poiché hanno, come immediato riflesso, quello di confondere le idee sui costi di produzione.

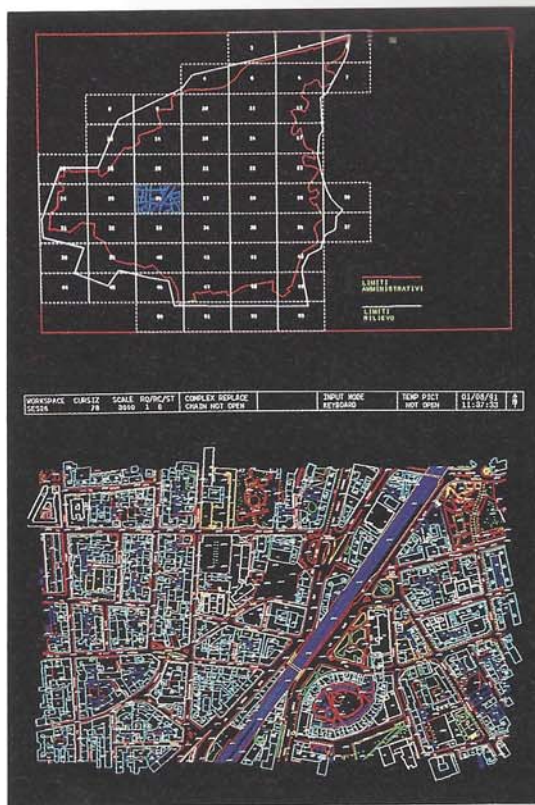
Lo scopo di questa nota è quindi quello di tentare di sistematizzare l'argomento *cartografia numerica* definendone le caratteristiche fondamentali ed esaminando le implicazioni che da esse derivano.

DEFINIZIONE DI CARTOGRAFIA NUMERICA

La cartografia numerica è un prodotto cartografico i cui elementi distintivi fondamentali sono i seguenti.

1. 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 videografico 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.
2. 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.
3. 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.
4. 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.
5. Consente di estendere la tipologia della cartografia, affiancando alla cartografia solo planime-

PER UNA CORRETTA INTERPRETAZIONE DELLA CARTOGRAFIA NUMERICA



trica 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 quelle altimetriche.

6. Consente di utilizzare la geometria e la posizione topografica degli oggetti cartografici e la codifica ad essi associata come attributi in base ai quali effettuare operazioni computerizzate di classificazione, di selezione, di calcoli statistici, ecc.

7. 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.

Questi *elementi distintivi fondamentali* devono essere integrati dai requisiti generali propri di ogni cartografia e che 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, conferendole, nei riguardi della conoscenza del territorio, quel carattere di *universalità* che nel campo del linguaggio si è a lungo e invano cercato di conseguire con l'uso dell'esperanto.

LA RIVALUTAZIONE DEL CONTENUTO METRICO

Uno degli aspetti più interessanti della cartografia numerica è che essa ha innescato un processo di

metrico della cartografia, poiché in modo univoco e in maniera univoca le coordinate dei suoi punti, le quali, nella cartografia tradizionale, dovevano essere ricavate con un'operazione di misura che avvolgeva nuovamente con un alone di incertezza la posizione reale dei suoi punti dopo che il topografo, con la sapiente arte del misurare, l'aveva già una volta dissolto per rappresentarli sulla carta.

Questa recuperata univocità del contenuto metrico trasferisce anche nei settori della progettazione e della gestione del territorio quella predisposizione ad essere utilizzata che ha sempre reso la cartografia tradizionale strumento base della pianificazione. Non ci si pone più la domanda *a cosa serve la precisione?*, ma anzi in molti casi le consuete tolleranze metriche vengono dall'utente giudicate non sufficientemente severe e si ricorre spesso ad integrazioni con rilievo topografico per restringerne i limiti. Senza dover ricorrere all'intermediazione del supporto cartaceo, l'utente è in grado di confrontare direttamente la realtà con il numero che la rappresenta; ciò risveglia la sua curiosità e il suo interesse e non solo lo spinge a utilizzare in maniera nuova e più pertinente la cartografia, ma ad assumere nei suoi confronti una posizione di valutazione critica. Superato il collaudo ufficiale, in realtà l'utente prolunga, anche involontariamente, nell'uso quotidiano il momento della verifica ed il suo giudizio, basato su una maggior consapevolezza della validità del prodotto, sarà forse l'elemento determinante che premierà finalmente la qualità del lavoro e l'efficienza della struttura produttiva che lo realizza.

UN PRODOTTO FINITO

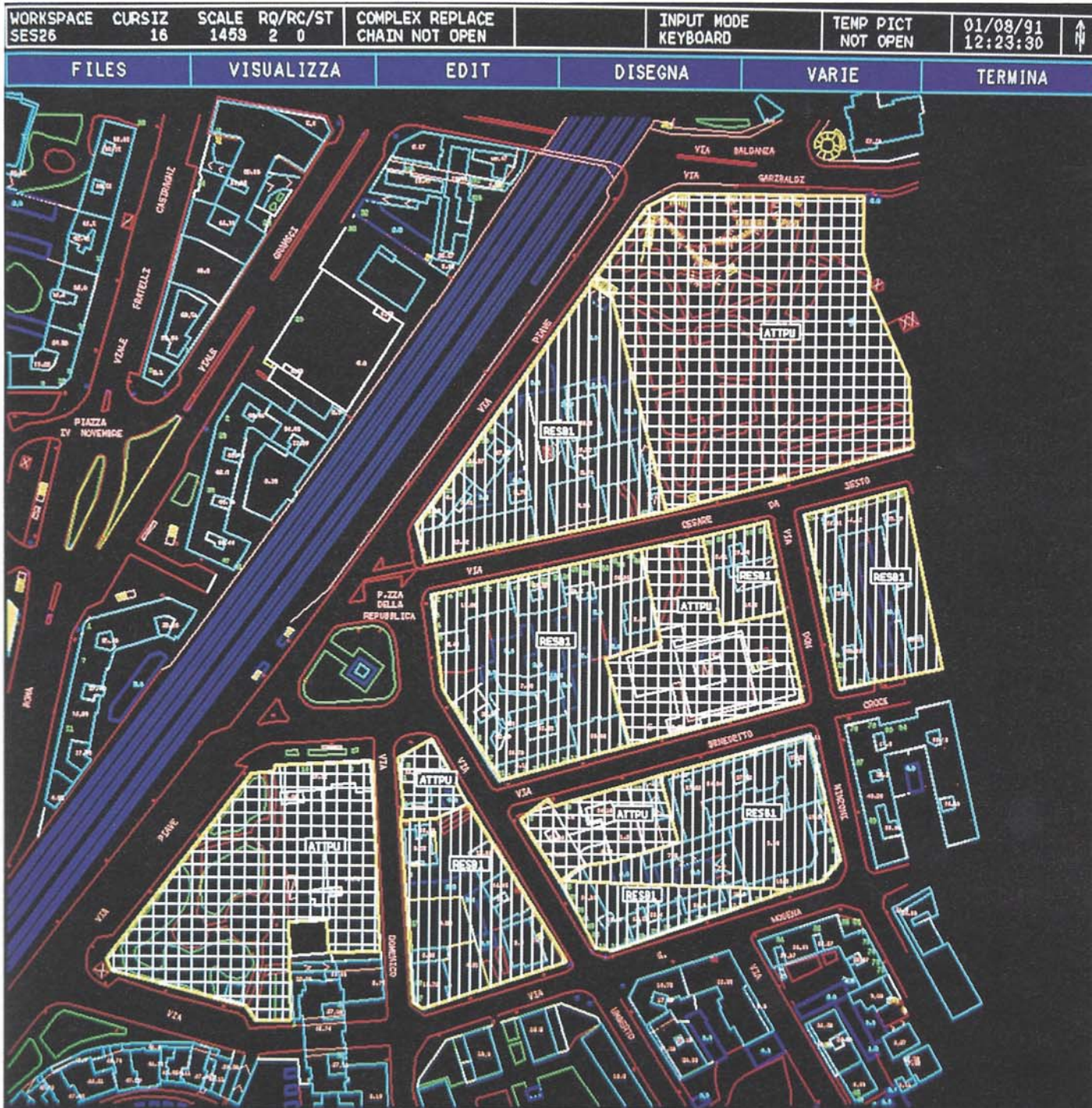
La cartografia numerica considerata come *prodotto finito* deve essere paragonabile a quello che, nella cartografia tradizionale, rappresenta la fotoincisione sul disegno finale su un supporto indeformabile.

L'utente potrà poi, se vorrà, manipolare, modificare o ristrutturare la cartografia numerica che gli viene consegnata, ma tali eventuali interventi devono essere considerati estranei al processo produttivo; essi inoltre sono possibili solo per un limitatissimo settore d'utenza, e sulla loro riuscita si possono avanzare molto spesso delle riserve, poiché difficilmente si può acquistare una professionalità cartografica solo perché si è cambiato il modo di *fare cartografia*, come evidenziano molti goffi tentativi che tradiscono inequivocabilmente i tratti distintivi del *fai da te*.

Nessuno del resto ha mai preteso di trasferire sull'utente della cartografia tradizionale fasi di lavoro quali il disegno, la retinatura o la realizzazione di stampe a tipi separati o a colori. Ed è una fortuna che ciò non sia avvenuto, perché l'industria cartografica ha potuto creare degli standard nella produzione che, come abbiamo detto, costituiscono uno dei fattori principali che conferiscono alla cartografia il suo carattere di polivalenza e universalità.

Non si vede quindi il motivo per cui quando si realizza una cartografia numerica non si debba portare fino in fondo il processo produttivo, che include anche la vestizione delle sue visualizzazioni, e si debba lasciarne all'utenza fasi più o meno ampie di completamento. Anche se attualmente questo in molti casi si verifica, nulla ci esime dal dovere di

Comune di Sesto San Giovanni: quadro di unione dei fogli del territorio comunale in scala 1:1000, (prima foto, in alto). La seconda immagine rappresenta un'area del comune. Speciali funzioni software consentono di accedere alla banca dati e ottenere mappe tematiche: per esempio evidenziare sul video del computer quanti sono gli edifici destinati a residenza.



In molte amministrazioni comunali il Sistema Informativo Territoriale ha trovato la sua prima applicazione nella definizione e gestione del Piano Regolatore. Sopra, esempio di mappa di Piano Regolatore per il comune di Sesto San Giovanni. Attraverso l'ausilio dell'elaboratore è possibile definire i confini delle zone e i relativi dati tecnico-urbanistici, e ottenere poi, con opportune procedure, tutti i parametri planivolumetrici regolati dalle diverse destinazioni d'uso definite dal Piano (foto Gianni Aureggi).
A pagina 17, Piano Regolatore di Bergamo in una riproduzione del 1890 (Stampe Bertarelli, Milano - Foto Saporetto).

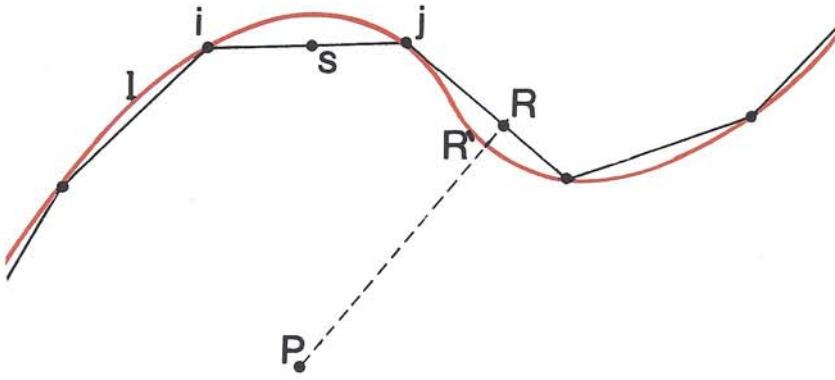


Figura 1

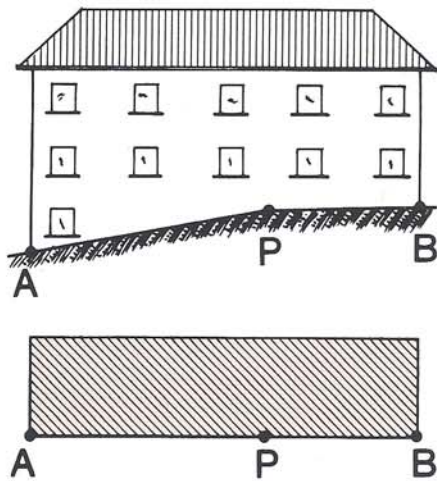
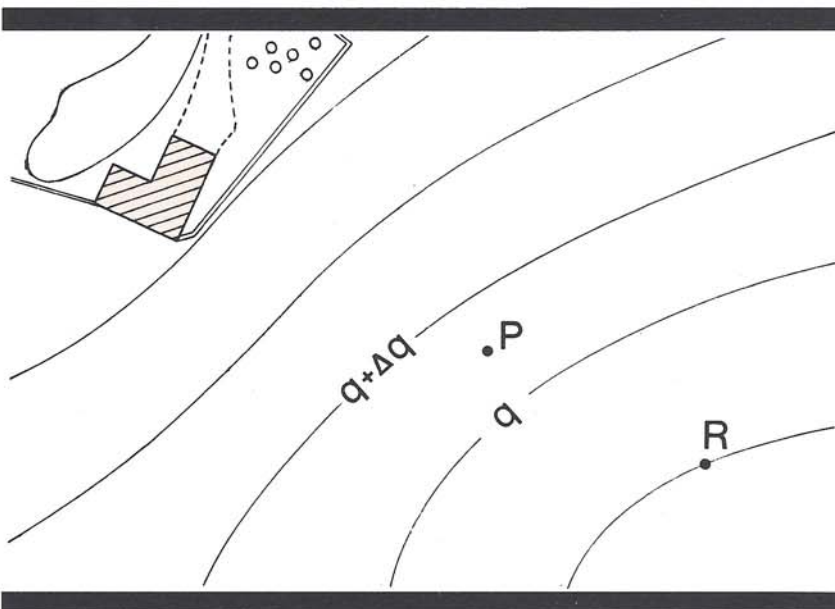


Figura 2 e figura 3 (sotto)



cercare di correggere questa situazione; se lasceremo che sia l'utenza a scegliere di volta in volta criteri e simbologia di visualizzazione, magari in funzione di software predisposti per tutt'altro scopo, favorirò il proliferare di una babele di linee speciali, di simboli e di campiture a discapito della chiarezza di interpretazione che è sempre stata la caratteristica della cartografia tradizionale, e si arriverà inevitabilmente a situazioni paradossali, per cui una stessa cartografia numerica produrrà visualizzazioni ed elaborati grafici diversi a seconda dei vari sistemi utilizzati per gestirla. D'altra parte questo aspetto della visualizzazione, ed in particolare quella effettuata su supporto cartaceo mediante plotter, è tuttora di importanza fondamentale poiché solo un'esigua minoranza d'utenti ha voluto o potuto sostituire il pennarello e la matita e la carta tradizionale con la grafica computerizzata e i sistemi di progettazione assistiti da calcolatore; inoltre occorrerebbe che fossero emanate apposite leggi per poter sostituire gli elaborati cartografici tradizionali, richiesti a documentazione di molteplici adempimenti burocratici, con dati numerici memorizzati su supporto magnetico. Quando ci riferiamo alla cartografia numerica come prodotto, non si deve quindi intendere 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 si devono considerare come parte integrante del prodotto anche tutti i dati, anch'essi formanti un archivio numerico, necessari a realizzare la visualizzazione della cartografia numerica completa di linee speciali, campiture, simboli, toponomastica, ecc. sia su videografico che su supporto cartaceo mediante plottaggio.

IL RAPPORTO DI SCALA

Uno degli aspetti più clamorosi, 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.

Questo fatto, che in realtà ha solo un valore formale, induce alcuni nella tentazione di considerare superato il concetto di scala per la cartografia numerica.

Non ritengo opportuno riportare in questa sede tutti gli argomenti avversi a questa tesi già formulati dal gruppo di lavoro sulla cartografia numerica del Comitato scientifico della Società Italiana di Topografia e Fotogrammetria nel corso dei suoi lavori, ma ne riporterò unicamente la conclusione che da essi si trae e che può essere così riassunta: anche se nella mutata dizione di *scala nominale*, il rapporto di scala continua a rappresentare anche per la cartografia numerica il parametro caratterizzante, poiché resta per il momento l'unico indicatore significativo e sintetico del grado di dettaglio e della precisione della carta.

Converrà aggiungere a quanto detto in quella sede che nella fase di predisposizione dei dati di visualizzazione, in particolare per i problemi della vestizione, non si può prescindere dal prefissare una scala. La ditta esecutrice sarà tenuta a predisporre la visualizzazione per la scala nominale; visualizzazioni a scale inferiori o superiori potranno portare ad inconvenienti di cui essa non sarà tenuta a rispondere, poiché saranno appunto conseguenza del fatto che tali visualizzazioni non corrispondono alla scala nominale della carta.

LA DISCRETIZZAZIONE DELLE LINEE CURVE

Nella cartografia numerica il concetto di linea curva non esiste più, e viene sostituito da quello di spezzata. Questo fatto implica che la spezzata che rappresenta una linea che nella realtà è curva deve avere un sufficiente numero di vertici, opportunamente scelti, in modo che la distanza tra un generico punto R' di un qualsiasi lato della spezzata e il corrispondente punto R della linea curva l (v. figura 1) sia sempre inferiore alla tolleranza planimetrica. In termini generali diremo che il reale andamento di una linea curva viene descritto con dei segmenti i cui punti si ottengono per interpolazione lineare dei vertici di una spezzata. Il sostituire una linea curva con una spezzata significa che, di fatto, la linea curva non esiste più nella cartografia numerica e che, a tutti gli effetti, essa è sostituita dalla spezzata. Ad esempio: la figura 1 rappresenta una spezzata con cui, in una cartografia numerica, è stato rappresentato un muro ad andamento curvilineo, la cui planimetria nella realtà è rappresentata dalla linea rossa; la distanza del punto P dal muro che si ricaverà dalla cartografia sarà data dal segmento $P-R$ ed esso dovrà differire dal segmento $P-R'$ di meno della tolleranza planimetrica relativa alle distanze. La fittezza dei punti della spezzata con cui vengono memorizzate nella cartografia numerica le linee curve, in particolare le curve di livello, deve essere fissata in funzione della scala nominale della carta.

IL SISTEMA DI CODIFICA

Un altro elemento innovativo della cartografia numerica è costituito dal fatto che la lettura della carta deve poter avvenire in doppio modo: mediante osservazione diretta di una delle sue visualizzazioni, oppure tramite logiche programmate nell'ambito di elaborazioni computerizzate. Questo secondo modo di lettura implica che sia associato un elemento di identificazione ad ogni oggetto che deve esistere come entità autonoma in funzione della scala nominale e della tipologia della carta. Esso potrebbe anche essere costituito dalla descrizione *in chiaro* dell'oggetto (ad esempio: fabbricato industriale, ponte in ferro, ecc. ecc.). In genere però, poiché un tale criterio di identificazione risulta poco idoneo alle elaborazioni computerizzate, si adotta un sistema basato sull'uso di codici, numerici o alfanumerici. Il sistema di codifica deve essere sufficientemente articolato affinché sulla natura o tipologia degli oggetti possa dedursi dal codice ad essi associato ciò che in una carta tradizionale viene rivelato dalla forma, o dalla legenda, o da processi logici basati sull'osservazione diretta. Questo principio fa sì che, ad esempio, il sistema di codifica per una carta numerica alla scala nominale 1:2000 si articoli in parecchie centinaia di codici. L'esistenza di una codifica completa è uno degli elementi che differenziano nelle caratteristiche tecniche, e nei costi, la cartografia numerica dai prodotti numerici intermedi della cartografia automatica, dove la codifica è molto ridotta, in quanto funzionale unicamente alla corretta trasposizione dell'elaborato numerico in forma grafica. Attualmente non esiste un sistema di codifica standard e questo costituisce ovviamente una mancanza grave se considerata in una visione strategica di polivalenza e trasportabilità della cartografia numerica.

LE OPERAZIONI DI EDITING

Particolarmente onerosa nella cartografia numerica risulta la realizzazione di tutte le operazioni di *geometrizzazione* del rilievo che, nella cartografia tradizionale, sono in massima parte realizzate nella fase di disegno finale.

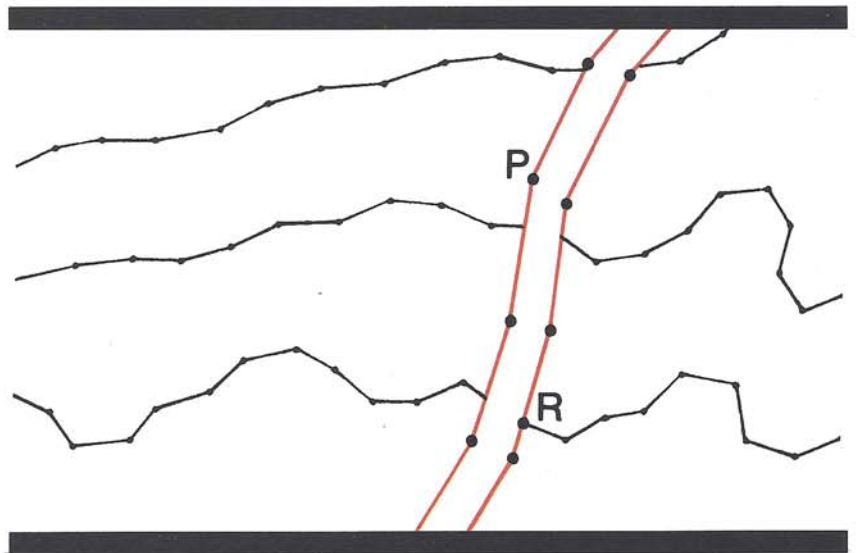


Figura 4

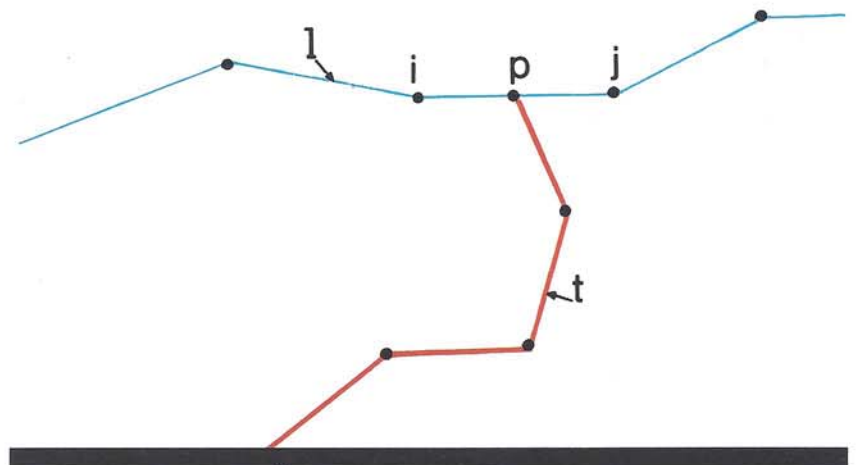


Figura 5

Le figure pubblicate in queste pagine esemplificano alcune caratteristiche fondamentali della cartografia numerica, quale base per l'elaborazione dei Sistemi Informativi Territoriali.

A lungo si è già discusso su questa fase di lavoro, che comprende anche la vestizione e l'introduzione della toponomastica, che viene indicata col termine di *editing* e che consiste nell'effettuare squadrature di angoli, allineamento di punti, eliminazione di compenetrazioni o creazione di ricongiungimenti ecc. ecc., poiché la loro realizzazione non è indolore sul piano dei costi.

Tale operazione è però ampiamente giustificata sotto diversi punti di vista.

Innanzitutto è inutile trasformare la cartografia in un prodotto idoneo ad essere trattato con strumenti tecnologicamente avanzati, se poi non si *confeziona* questo prodotto in modo che esso abbia tutti i requisiti per *rispondere* alle possibilità di elaborazione che tali nuove strumentazioni offrono. Inoltre nella visione strategica di favorire la richiesta, l'uso e la diffusione della cartografia numerica, occorre valorizzarne gli aspetti che possono essere accattivanti e non penalizzarli; è quindi opportuno sfruttare il più possibile le enormi possibilità che offre la grafica computerizzata per esaltare la leggibilità, la facilità di interpretazione e l'aspetto estetico della cartografia numerica, in modo da far emergere anche dalle sue visualizzazioni quella stessa sensazione di progresso che ci suggerisce la possibilità di utilizzarla per elaborazioni di tipo numerico.

Al riguardo possiamo poi fare ancora due considerazioni.

In primo luogo bisogna prendere atto che la visualizzazione su videografico consente, o per meglio dire invoglia, a rappresentare la cartografia numerica a scala superiore a quella nominale, per cui certi inestetismi e certe incongruenze geometriche vengono facilmente evidenziati, disturbano e in alcuni casi traggono in errore. Sono perfettamente d'accordo sul fatto che ogni ingrandimento superiore alla scala nominale della carta dovrebbe essere considerato *a rischio* dell'utente, tant'è vero che riterrei consigliabile la presenza, nei software di utilizzazione, di un segnale che indichi quando viene effettuata una visualizzazione a scala superiore a quella nominale, ma sarebbe anche sbagliato considerare la visualizzazione su videografico a una scala superiore a quella nominale alla stregua dell'esecrato ingrandimento fotografico della carta tradizionale; la facilità di *zoomare* su ridotte porzioni di cartografia va vista cioè come una ulteriore possibilità offerta dalla cartografia numerica per leggere non *di più* di quella che essa in effetti contiene, ma di leggerlo *meglio*.

In secondo luogo: se accettiamo che una delle due motivazioni principali per passare alla cartografia numerica sia la possibilità di elaborarla col calcolatore elettronico, dobbiamo accettare di fornire un prodotto che gli si adegui; ciò significa che, anche non considerando gli inconvenienti estetici che può provocare una mancanza di geometrizzazione, dobbiamo tener presente che, quando la cartografia numerica viene elaborata con logiche programmate, condizioni del tipo *appartenenza di un punto ad un segmento* oppure *intersezione di due segmenti* hanno una corrispondenza ben precisa in termini geometrici.

È necessario quindi che certe condizioni di congruenza debbano essere soddisfatte in termini geometrici stretti, col solo limite imposto dalla risoluzione con cui vengono fornite le coordinate dei punti.

TIPOLOGIA DELLA CARTOGRAFIA NUMERICA

Tra i vari equivoci che tuttora permangono al riguardo della cartografia numerica, quello senz'altro più diffuso e concettualmente più pericoloso riguarda la sua tipologia, che viene confusa col

metodo di produzione e che porta a classificarla in *digitalizzata* e *numerica diretta*, dimenticando tra l'altro il rilievo topografico e le varie combinazioni e integrazioni di tre metodi.

Questo è dovuto al fatto che viene data una importanza eccessiva alla possibilità di associare la quota alle coordinate planimetriche di ogni punto; molti infatti considerano questa condizione come requisito essenziale della cartografia numerica e ritengono inoltre che essa possa essere realizzata solo con la restituzione fotogrammetrica numerica.

Un'impostazione corretta del problema deve invece prevedere una casistica così articolata:

a) cartografia numerica solo planimetrica; in essa esistono solo gli elementi che sono caratteristici del contenuto planimetrico di una carta, che vengono dati attraverso le sole coordinate planimetriche;

b) 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;

c) 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 descrivono particolari artificiali deve essere attribuita la quota *al piede*, cioè al livello del suolo, del particolare cui appartengono;

d) cartografia numerica super-tridimensionale (denominazione di tentativo); è quella che oltre ad avere le stesse caratteristiche di quella tridimensionale, contiene tutti gli elementi per la descrizione tridimensionale di ogni elemento artificiale; ciò significa che alle coordinate planimetriche di ogni punto che descrive un particolare planimetrico che ha estensione in altezza deve essere associata la quota a livello del suolo e la quota alla sommità. Ad esempio alle coordinate planimetriche dello spigolo di una casa devono essere associate sia la quota al piede, che la quota in gronda; ad un punto che rappresenta lo spigolo di un muro, deve essere associata la quota al piede del muro e la quota alla sommità; e così via.

LA CONGRUENZA DELL'ALTIMETRIA

In qualunque modo venga prodotta, realizzare una carta di tipo c) significa dover confezionare un prodotto che deve soddisfare vincoli molto più rigorosi di quello che comunemente si pensi, e che tuttavia devono essere rispettati per congruenza ai requisiti principali che ogni cartografia deve possedere.

Vi è innanzitutto una condizione molto importante da rispettare e cioè: così come dal punto di vista planimetrico i punti interpolati linearmente tra due vertici consecutivi di una spezzata non si discostano dalla linea reale più della tolleranza planimetrica, lo stesso deve avvenire anche dal punto di vista altimetrico; in altre parole il tratto di linea che congiunge due vertici successivi di una spezzata viene sostituito *spazialmente* con un segmento; la quota di ogni punto di tale segmento non deve discostarsi dalla quota del corrispondente punto della linea di più della tolleranza altimetrica.

In termini più generali: se la carta è tridimensionale

il principio di validità di interpolazione lineare planimetrica tra vertici consecutivi di una spezzata deve essere esteso anche all'altimetria.

Il rispetto di questa condizione, che ritengo non si possa mettere in discussione, implica tra l'altro che si debba inserire un vertice in corrispondenza di una variazione di pendenza di una linea, anche se non vi è cambiamento di andamento in planimetria (v. figura 2); si possono quindi avere anche tre o più vertici consecutivi su uno stesso allineamento, situazione che, ad esempio, alcuni software di gestione della cartografia numerica non ammettono come possibile.

Consideriamo ora l'aspetto della congruenza dell'informazione altimetrica; in una carta con altimetria non si deve mai verificare che l'informazione data da un punto quotato sia in contraddizione con quella fornita dalle curve di livello (e viceversa); e cioè (v. figura 3) la quota Q di un punto quotato P planimetricamente situato tra due curve di livello di quota q e $q+\Delta q$, essendo Δq l'equidistanza, deve soddisfare la relazione:

$$(q-\Delta q) < Q < (q+\Delta q)$$

Benché sembri estremamente improbabile che si possa commettere un errore di questo genere, in realtà se ne riscontra l'occorrenza con una frequenza, ovviamente molto bassa, ma non tale da far escludere questo tipo di controllo in fase di collaudo.

Viene inoltre giudicato inammissibile posizionare su una curva di livello un punto quotato con una quota diversa da quella della curva di livello stessa, anche se la quota di detto punto fosse affetta da un errore inferiore alla tolleranza altimetrica.

Ciò significa che, in una carta di tipo b) rispettare la congruenza tra punti quotati e curve di livello non solo ha un costo di produzione, ma presenta anche un margine di rischio, seppur minimo, in fase di accettazione del lavoro.

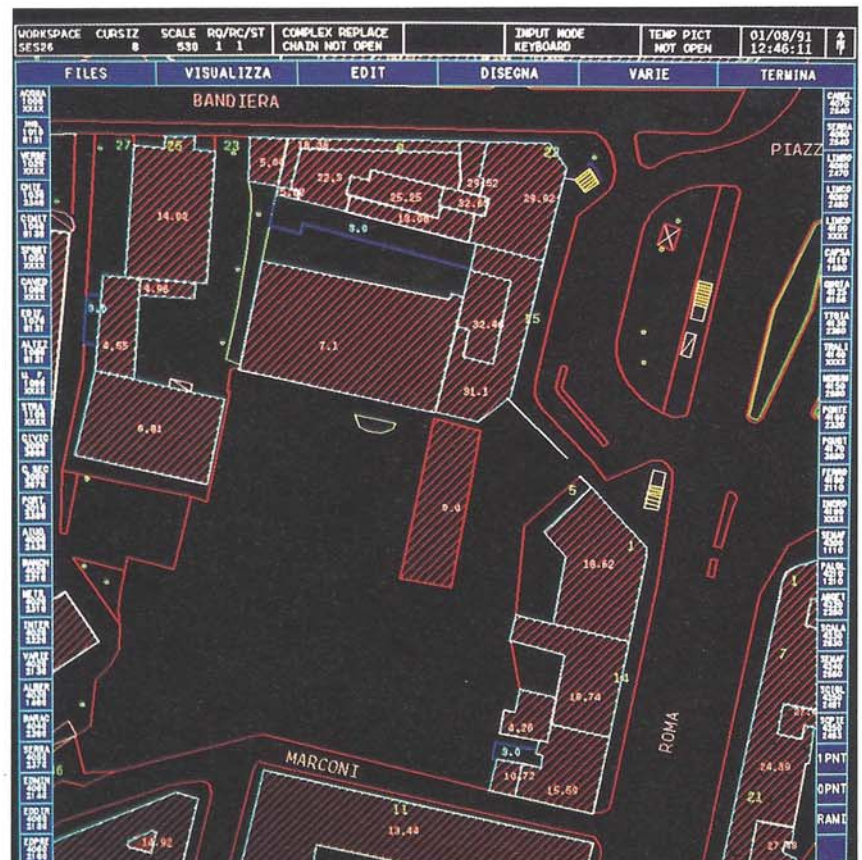
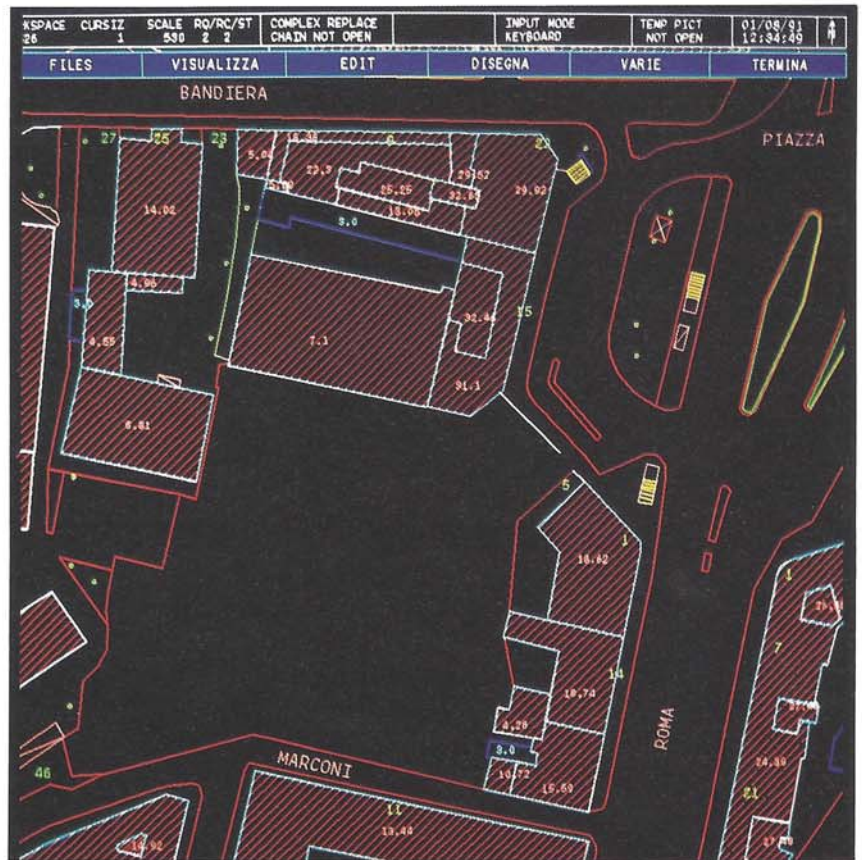
Ma prendiamo ora in considerazione una carta tridimensionale; nella figura 4 è rappresentato un tratto di strada che si sviluppa su un terreno in cui sono presenti delle curve di livello.

Il principio della congruenza impone che le quote di tutti i punti che definiscono il tracciato della strada non siano mai in contraddizione con l'informazione altimetrica fornita dalle curve di livello; in altre parole ciò significa che il processo produttivo della carta tridimensionale deve garantire, per tutti i punti che costituiscono il rilievo, quella condizione di congruenza che nella carta di tipo b) è richiesta solo tra punti quotati e curve di livello.

Inoltre, sempre per rispettare la congruenza e il principio dell'interpolazione lineare esteso all'altimetria, la quota di ogni punto R di intersezione tra un segmento che rappresenta la strada e un segmento che rappresenta la curva di livello, ricavata per interpolazione dalla quota dei vertici del segmento cui appartiene, deve essere uguale a quella della curva di livello.

Consideriamo poi tutti gli innumerevoli casi in cui una spezzata l ha un estremo su un lato di un'altra spezzata t (v. figura 5); se il punto P , estremo della spezzata l costituisce realmente sul terreno l'intersezione, anche altimetrica, delle due linee, indipendentemente dal fatto che esiste o no anche come punto della spezzata t , dovrà avere un valore di quota uguale a quello che si può ricavare per interpolazione dalle quote dei punti i e j , estremi del segmento sul quale termina, o si diparte, la spezzata l . E viceversa, se il punto esiste sia sulla spezzata l che sulla spezzata t , ma sulle due spezzate ha quota diversa, tale informazione deve essere data.

Questi sono alcuni dei tanti problemi riguardanti il contenuto altimetrico, che sorgono quando si vuole realizzare una carta tridimensionale; ma



Il calcolatore consente di aggiornare in qualunque momento la cartografia di base attraverso una specifica funzione di "disegno". Con semplici comandi, per esempio, si può inserire un edificio in costruzione (vedi l'immagine qui sopra: al centro è riconoscibile il nuovo fabbricato). Non solo; all'atto dell'attribuzione di un nuovo numero civico la cartografia di base si collega con l'anagrafe dei cittadini residenti, che viene anch'essa aggiornata automaticamente.

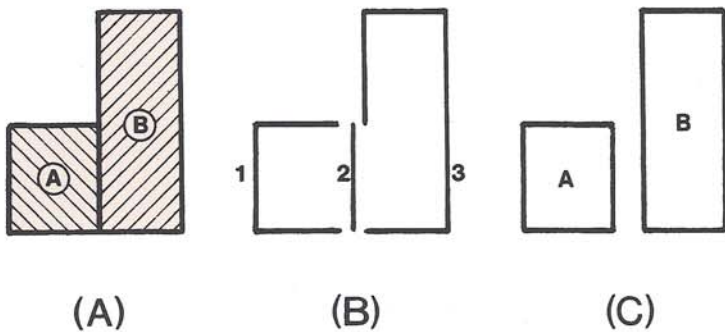


Figura 6

sono sufficienti per trarre le seguenti considerazioni:

- il semilavorato intermedio prodotto dalla numerizzazione della restituzione dei processi produttivi della cartografia automatica non garantisce, né lo dovrebbe, alcuno dei requisiti di congruenza esposti; quindi ancora una volta esso non deve essere confuso con la cartografia numerica;
- la congruenza altimetrica richiesta dalla cartografia tridimensionale implica un maggior lavoro rispetto a quella richiesta dalla cartografia di tipo b) (e naturalmente rispetto a quella di tipo tradizionale) e richiede inoltre la messa a punto di nuove procedure operative;
- il lavoro di ricognizione aumenta, poiché i casi dubbi da risolvere con indagini a terra riguardanti l'aspetto altimetrico aumentano considerevolmente;
- i controlli sul prodotto che la ditta esecutrice deve effettuare prima della consegna sono più onerosi;
- il margine di rischio nel presentare il lavoro al collaudo è più elevato;
- in linea generale il processo produttivo della cartografia numerica richiede strumentazioni più costose, metodi di lavoro più complessi, competenze tecniche più diversificate e personale più qualificato di quelli richiesti per la realizzazione della cartografia tradizionale.

In conclusione credo che al momento attuale sarebbe meglio, se proprio l'utente non richiede esplicitamente una carta numerica tridimensionale per motivi specifici e ha la reale possibilità di gestirla, limitarsi a produrre cartografia di tipo a) o b), perché, anche se per alcuni realizzare una cartografia numerica tridimensionale significa semplicemente, come ho già detto, dare una quota a tutti i punti, la cosa non è così e credo che su molti aspetti del problema si dovrà studiare ancora a lungo, sia per risolvere problemi di produzione, che per dare una normativa esauriente.

IL FILE DI TRASFERIMENTO

Sarà intanto opportuno precisare subito che, come non esiste uno standard per le caratteristiche qualitative e metriche della cartografia numerica, così non esiste un file di trasferimento standard; in genere le ditte esecutrici devono sottostare alle richieste di volta in volta variabili e qualche volta anche un po' troppo personalizzate dell'utenza, il che non è corretto in linea di principio, ma è anche

controproducente ai fini della polivalenza e della diffusione della cartografia.

Attualmente, da parte degli enti cartografici dello Stato e del centro interregionale, il problema è stato preso in seria considerazione e probabilmente si arriverà presto alla formulazione di un formato di trasferimento standard italiano.

Le due tipologie di strutturazione dei dati, che possono venir tradotte in varie forme di organizzazione materiale dei medesimi, sono quella *topologica* e quella *geometrica*; in realtà la qualifica di *geometrica* non è altrettanto semanticamente corretta quanto quella di *topologica* e sarebbe più corretto sostituirla con quella di *non topologica*; sia chiaro quindi che nel seguito con questo significato verrà usata.

Nel trattare l'argomento useremo la seguente terminologia:

- *oggetto*: è un elemento naturale o artificiale del terreno che non è ulteriormente divisibile in elementi del suo stesso genere. Ad esempio: un lago, una casa, un muro, ecc.;
- *entità*: è la rappresentazione nella cartografia numerica di un oggetto o di parte di esso; gli elementi descrittivi di un'entità sono: la codifica e una primitiva geometrica;
- *primitive geometriche*: sono i punti e le spezzate. Una strutturazione geometrica ha, in linea generale, le seguenti caratteristiche:
 - ogni oggetto è rappresentato da una sola entità;
 - ogni entità è in genere descritta da una sola primitiva geometrica; si fa ricorso a più primitive geometriche solo quando l'entità è costituita da un poligono complesso (ad es. casa con cortile interno);
 - le primitive geometriche che servono alla descrizione di un'entità non sono condivise con nessuna altra entità; ne consegue che la cancellazione della o delle primitive geometriche che servono alla descrizione di un'entità non pregiudica la descrivibilità di nessun'altra entità.

La strutturazione topologica ha, in generale, le seguenti caratteristiche:

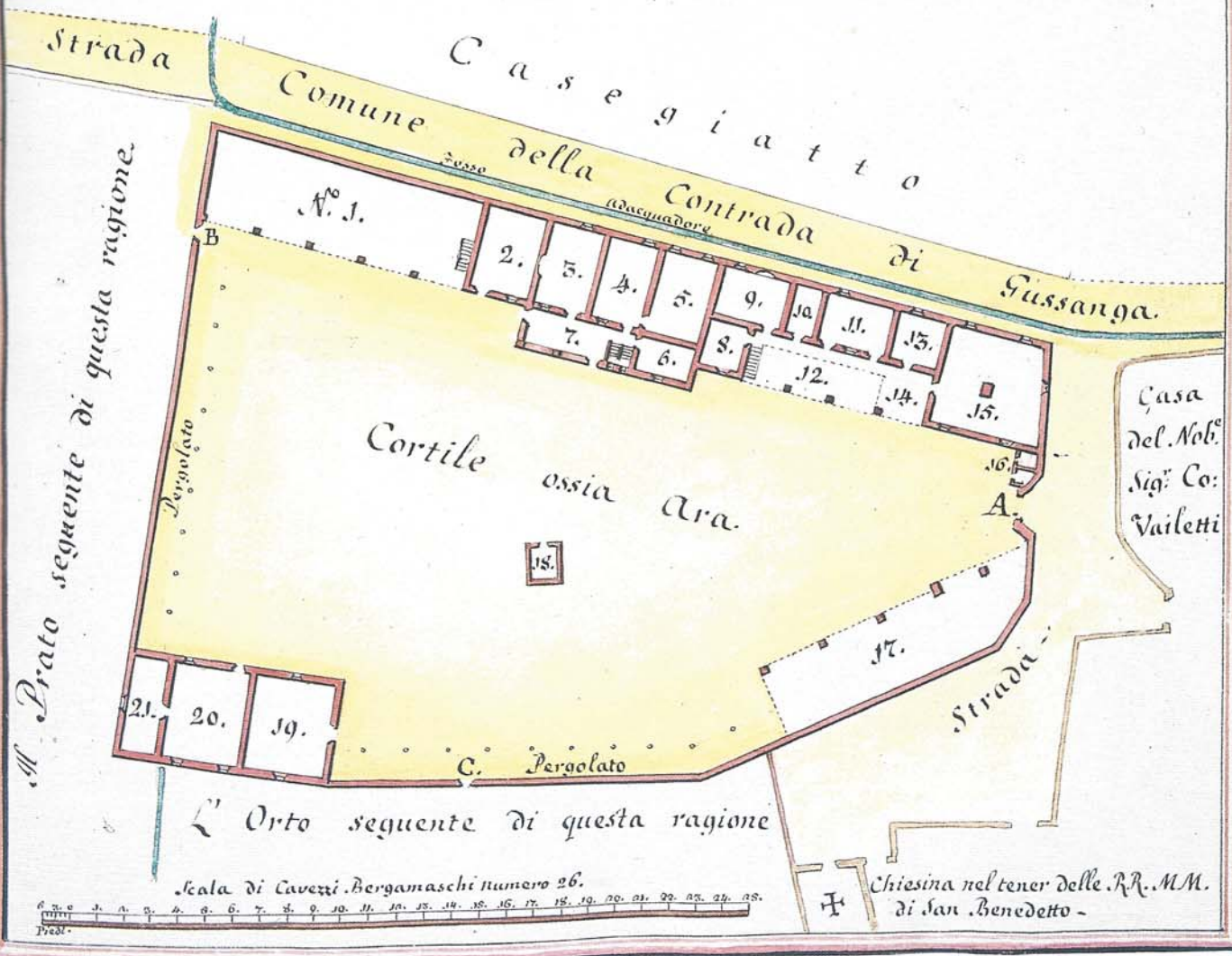
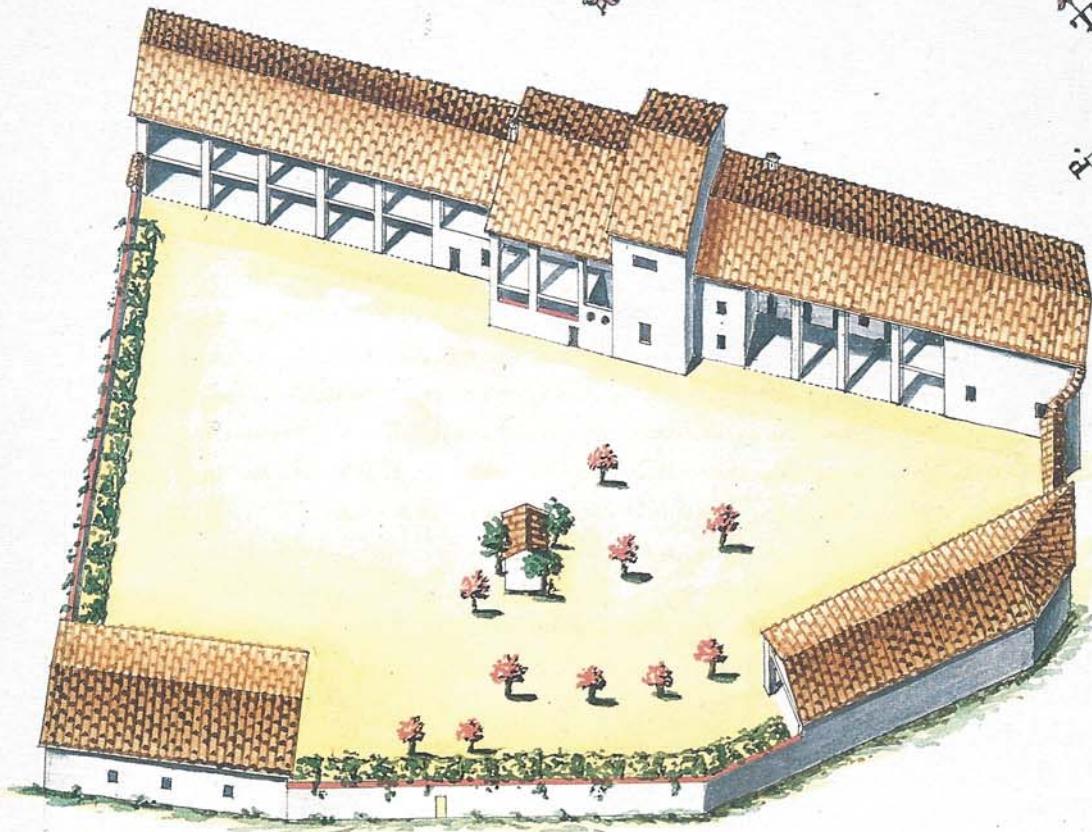
- non esistono primitive geometriche dello stesso tipo, parzialmente o totalmente sovrapposte;
- una stessa primitiva geometrica può essere utilizzata come elemento descrittivo di più entità;
- dalle due caratteristiche precedenti ne deriva che in genere gli oggetti sono rappresentati da più entità.

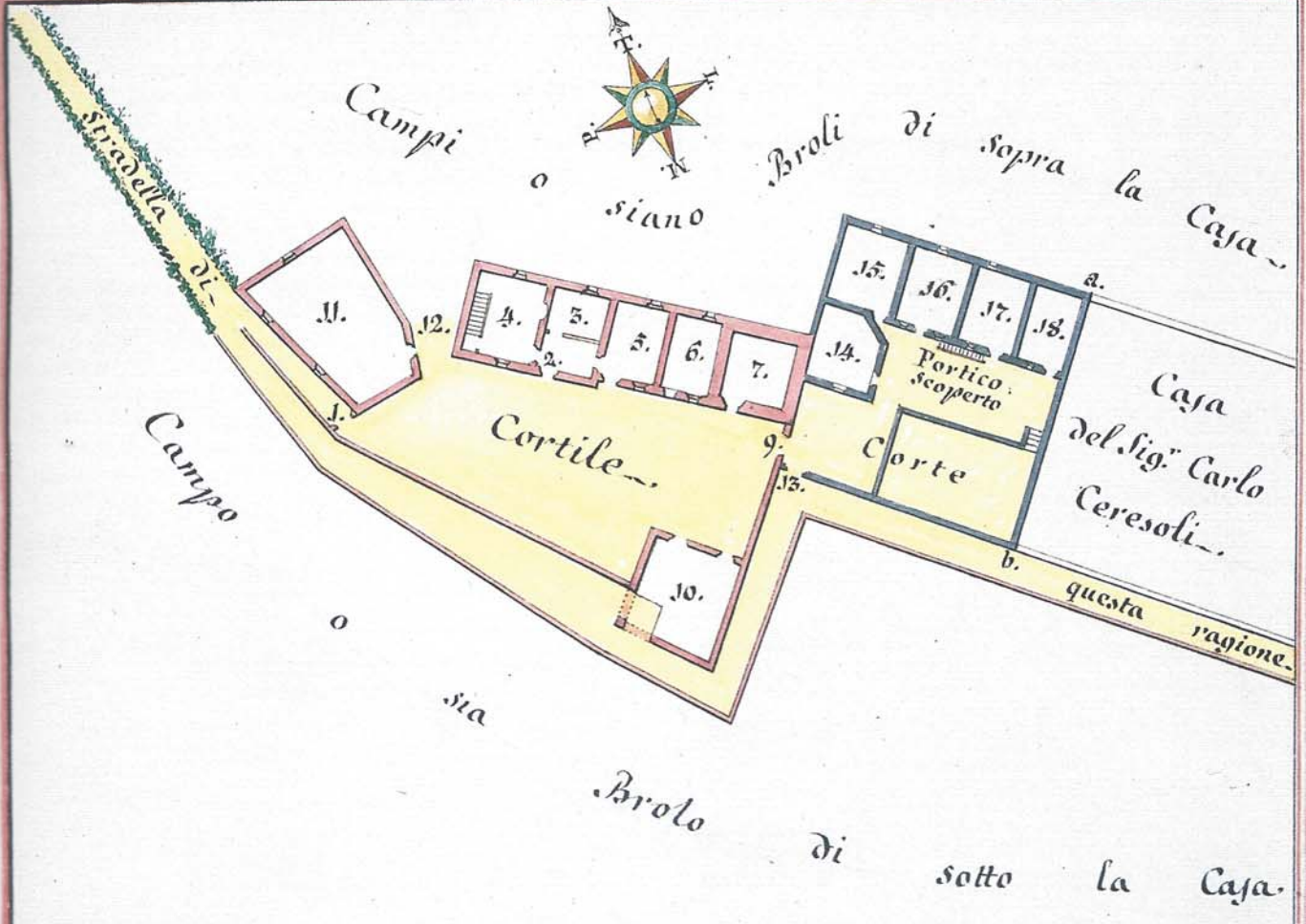
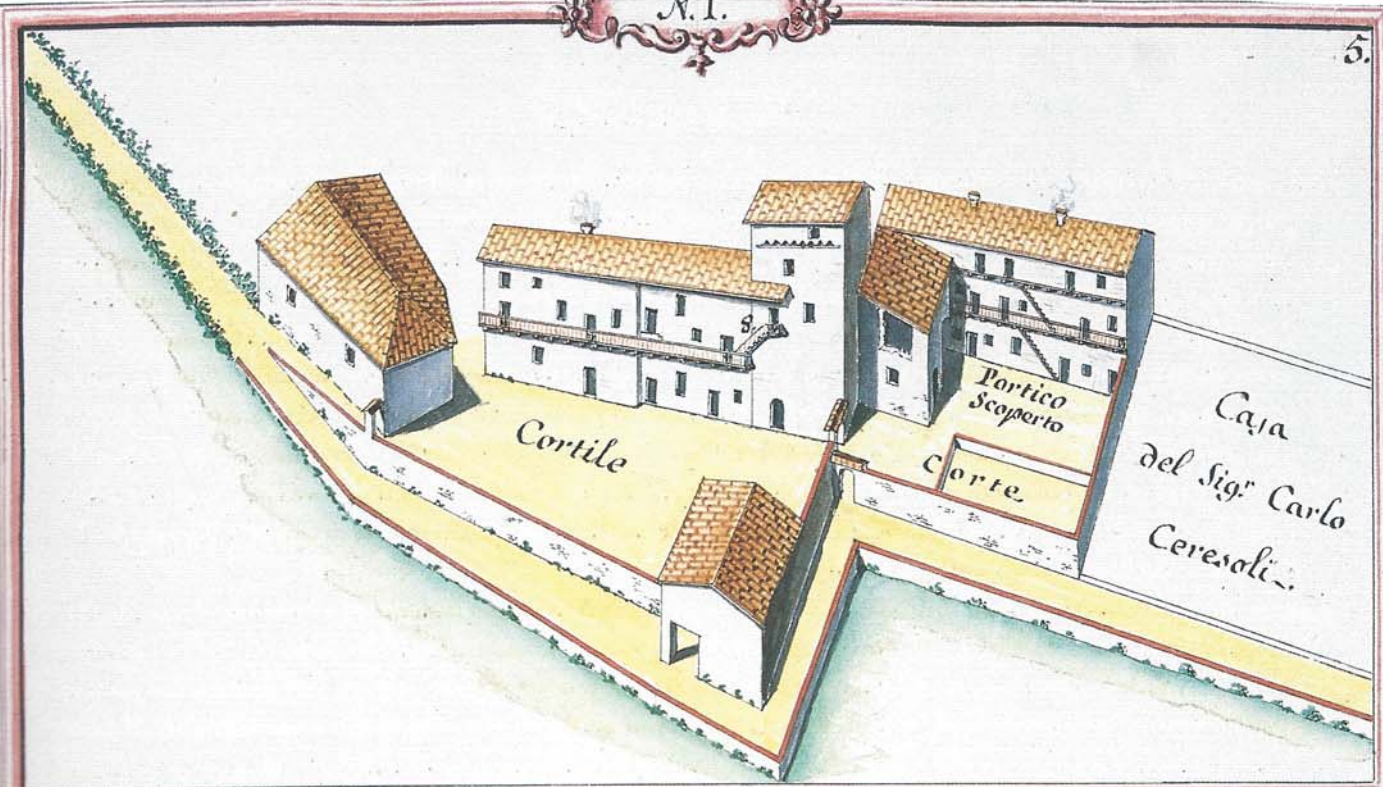
Consideriamo l'esempio di figura 6 che rappresenta due case A e B; la casa A ha un lato che costituisce parte di un lato della casa B. Nella realtà abbiamo due case, quindi due oggetti.

In una strutturazione topologica nella cartografia numerica esisteranno tre primitive geometriche, corrispondenti ai tre pezzi di perimetro in cui è scomponibile l'insieme delle due case; la spezzata 1 e la spezzata 3 serviranno alla descrizione delle due entità *tratto di perimetro della casa A* e *tratto di perimetro della casa B*, rispettivamente; la spezzata 2 servirà alla descrizione di due entità: *tratto di perimetro della casa A* e *tratto di perimetro della casa B*. La *geometria* della spezzata 2 è condivisa da due entità. Nella cartografia numerica devono esistere gli elementi di informazione sufficienti a indicare l'esistenza dei due oggetti A e B, quali sono le entità attraverso le quali vengono rappresentati nella cartografia numerica e quali sono le primitive geometriche che descrivono le entità.

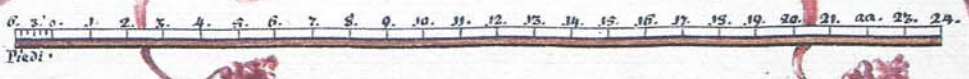
In una strutturazione geometrica nella cartografia numerica esisteranno due entità, una che corrisponde alla casa A e una che corrisponde alla casa B; le due entità saranno descritte da due primitive

Nella pagina a fianco, cabreo di una tenuta bergamasca, 1756, (Biblioteca Civica Angelo Mai, Bergamo). I cabrei costituivano la cosiddetta cartografia privata: descrivevano, cioè, il patrimonio fondiario – terreno, edifici o manufatti – di privati che desideravano documentare la dimensione, la composizione e il valore delle loro proprietà. Tali descrizioni cominciarono a diffondersi nel Duecento in forma solo scritta; dalla fine del Cinquecento si aggiungeranno anche delle vere e proprie mappe, come quelle pubblicate in queste pagine.





Scala di Cavezzi Bergamaschi N. 25.



INTRODUZIONE

La necessità di un più attento ed efficace governo del territorio, in particolare nelle aree urbane, sta creando una domanda crescente di modelli conoscitivi del reale da utilizzare per analisi diversificate dei singoli parametri e delle loro interrelazioni. Sulla spinta di queste accresciute esigenze, i maggiori produttori di hardware e le società costruttrici di strumentazione fotogrammetrica hanno messo a punto sistemi informativi per la gestione urbana. Molti addetti ai lavori legati al mondo dell'informatica sono impegnati oggi assieme a funzionari delle pubbliche amministrazioni e delle municipalizzate di servizi in progetti pilota o esecutivi. In questo ambito, si parla dell'informazione cartografica numerica di supporto al sistema informativo in termini di *cartografia di base*; questa definizione generica sta producendo nell'utenza incertezze sul corretto ruolo che il database geometrico deve svolgere nell'economia di un efficiente sistema territoriale per aree urbane.

Non sono infatti rare le prese di posizione di enti locali sulla presunta incidenza dell'acquisizione delle informazioni geometriche, soprattutto quando è richiesto dettaglio elevato.

Questa cosa ha indotto gli autori, appartenenti al mondo topografico, a qualche riflessione sui requisiti essenziali e sulle effettive funzioni del prodotto cartografico in un contesto come quello urbano ove maggiore e più articolata appare la richiesta di conoscenza.

Tutto ciò nell'ottica di un uso generalizzato dello strumento informatico e quindi della prevalenza che il dato alfanumerico assume rispetto a quello puramente grafico, sia per la flessibilità che per la possibilità di una descrizione *continua e tridimensionale* del reale.

DETTAGLIO, SCALA E PRECISIONE

Le tre parole chiave che compaiono nel titolo di questo scritto sono accostate fra loro con intendimento preciso; l'ultima, la *precisione*, è senza dubbio un termine ambiguo, scelto come strumento linguistico per definire con una sola parola un concetto la cui spiegazione richiederebbe una lunga perifrasi.

È noto poi che il contenuto della carta contempla informazioni di tipo qualitativo e quantitativo; proprio a queste fanno riferimento i termini *dettaglio* e

scala. Il *dettaglio* si riferisce al contenuto qualitativo, giacché la rappresentazione deve produrre simbolicamente il territorio con le caratteristiche importanti per la lettura e l'uso.

La scala è il parametro numerico in base al quale gli oggetti vengono riprodotti secondo le loro caratteristiche geometriche.

Questa prima analisi sul significato dei termini tecnici consente di introdurre gli argomenti e derivare considerazioni sulle modalità di costruzione, sulla funzione e l'uso della base cartografica.

In fase di crescente involuzione la tradizionale cartografia disegnata (*al tratto*) e quella su base fotografica (*ortofotocarta e fotopiano*), almeno alle grandi scale, oggi l'informazione geometrica è acquisita sempre più in forma numerica diretta (fotogrammetria e topografia digitali).

Il database cartografico rappresenta il cuore del sistema conoscitivo urbano e la struttura essenziale per la collocazione spaziale in un comune riferimento degli oggetti territoriali (vedi lo schema qui sotto pubblicato).

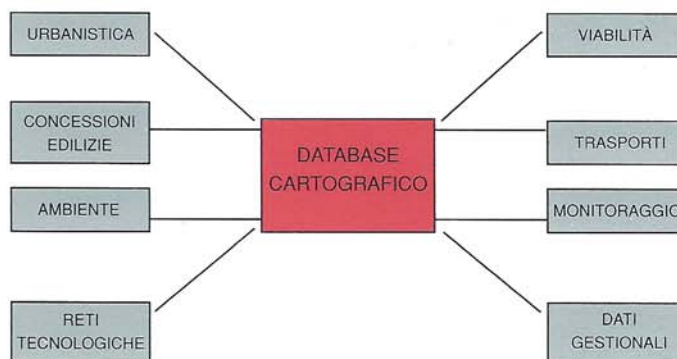
L'informazione è costituita da codifiche e coordinate spaziali, che discretizzano le entità naturali e artificiali del reale e ne consentono l'archiviazione su memoria di massa.

Chi necessita di *vedere* il territorio, perché su esso deve intervenire, non può tuttavia operare direttamente sui *numeri* (con cui magari gestisce comunque computi derivati) ma deve tradurre tutto in segno grafico per ottenere *sintesi* efficaci del reale (vedi pagina a fianco).

È questa una delle ragioni per cui anche nella cartografia numerica si parla di scala della rappresentazione; l'altra è quella che la scala (di impianto) limita il contenuto metrico e qualitativo delle informazioni archiviabili.

A questo proposito, un termine più semplice come *completezza* sarebbe forse lessicalmente più adeguato per identificare il contenuto qualitativo di una carta, così come la definizione dell'aspetto quantitativo potrebbe essere affidata al vocabolo *incertezza*, che tra altri pregi ha quello che un aumento della incertezza, cioè del numero che la rappresenta, coincide con un peggioramento del prodotto; corrispondenza che viene invece a mancare quando si parla di precisione. Da queste premesse generali si evincono alcune considerazioni di tipo tecnico-operativo, articolate in forma di domanda, alle quali si cercherà di tro-

DETTAGLIO, SCALA E PRECISIONE NELLA CARTOGRAFIA



Luigi Colombo
Mariano Cunietti

Luigi Colombo, ingegnere civile, insegna Topografia presso il Politecnico di Milano. Svolge attività di ricerca e di consulenza nei settori della topografia e fotogrammetria numeriche e digitali, finalizzate alla costruzione di modelli geometrici per l'analisi territoriale e architettonica.

Mariano Cunietti, fisico, dal 1964 è professore ordinario di Teoria e Pratica delle Misure presso l'Istituto di Topografia, Fotogrammetria e Geofisica del Politecnico di Milano dove svolge attività di ricerca e di insegnamento sin dal 1948. Nel 1966 è stato eletto Presidente della SIFET (Società Italiana di Fotogrammetria e Topografia). Delegato italiano presso la OEEPE (Organizzazione Europea di Studi di Fotogrammetria Strumentale), nel 1982 ha iniziato ad organizzare annualmente le "Giornate della Misurazione" delle quali nel 1991 si terrà la X riunione. Dal 1966 è membro d'onore della SIFET.



vare una risposta nei paragrafi successivi:
— quali sono la funzione e l'uso dell'informazione cartografica;
— quale precisione deve possedere il dato geometrico;
— quale ruolo gioca la scala nella cartografia numerica.

FUNZIONE E USO DELLA CARTOGRAFIA

Anche se l'incidenza economica della costruzione di cartografia a grande scala (dal 500 al 2000) non risulta proprio fra le voci più rilevanti nel contesto degli interventi sulla città, è importante che le amministrazioni locali ne abbiano ben chiare le funzioni e l'uso.

Se la classica carta disegnata ha assolto storicamente soprattutto il ruolo di strumento di conoscenza per scopi militari e fiscali (censo), da tempo ormai la tutela del territorio e il suo corretto utilizzo sono le motivazioni primarie per la realizzazione di cartografia diversificata per l'ambiente urbano mediante strutture informatiche (database cartografici) di potenzialità ben maggiore di quella fornita dalla tradizionale *carta tecnica*, affiancata dal set di *carte tematiche*.

Queste carte tematiche avevano come supporto geometrico la stessa carta tecnica, intesa nei capitoli come prodotto di uso generalizzato e quindi con caratteristiche di precisione e completezza del dettaglio tali da consentire la più vasta gamma di applicazioni, compatibili con la scala della rappresentazione. La conseguenza di questa scelta è stata per anni un maggior costo del prodotto cartografico e tempi più lunghi di esecuzione, rapportabili esponenzialmente alla scala del rilievo.

È pur vero che oggi la cartografia urbana nasce come supporto al sistema informativo (collocazione degli oggetti) e sempre con uno scopo nettamente prevalente, che può essere la gestione urbanistica, quella delle reti tecnologiche, l'aspetto viabilità e traffico, l'edificato e le concessioni ecc. È dunque pensabile che su questa *finalità primaria* debba essere orientata l'attenzione degli operatori del settore, sia per la scelta delle tecniche acquisitive da applicare in sinergia, secondo la prassi più moderna della cartografia a elevato dettaglio, sia per la definizione del contenuto qualitativo e metrico. Sembra insomma che si avvicini il momento in cui ogni carta costruita sarà definita

con il termine di *carta dedicata*, per sottolineare i settori di impiego prevalente e distinguerla dal tradizionale concetto di carta tematica.

Inoltre la base cartografica urbana a grande dettaglio dovrà essere considerata strumento applicativo proprio delle amministrazioni e non un prodotto da distribuire anche al pubblico; cosa che potrà valere invece per le rappresentazioni di insieme, a minor dettaglio.

Questo modo di vedere la cartografia numerica a livello urbano nell'ambito dei sistemi informativi è un tentativo, una proposta nuova per orientare la sua produzione e l'utilizzazione, avviando nel contempo concrete ipotesi di *standardizzazione*.

Si potrebbe qui porre la domanda se dal punto di vista economico è meglio e più logico realizzare una base cartografica destinata a scopi abbastanza prossimi fra loro, e che quindi può costare meno perché alcune informazioni risultano più limitate, oppure produrre la solita carta generale, che dovendo soddisfare la totalità delle applicazioni ha costi più alti e tempi di realizzazione più lunghi. La carta generale, proprio perché non privilegia settori di utilizzo, deve possedere infatti contenuti qualitativi e metrici, rapportati alla sua scala, omogenei per tutti gli oggetti rappresentati e su tutta la sua estensione.

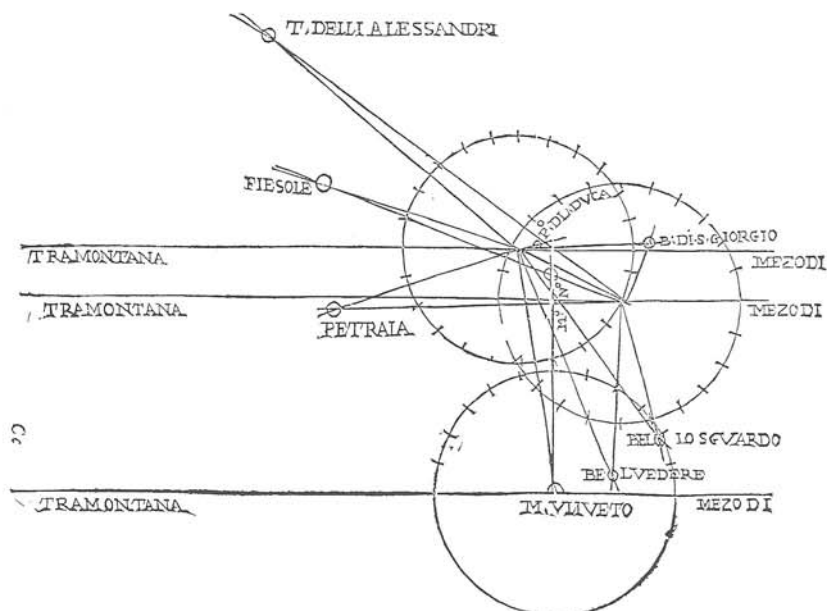
Ciò vuol dire che su alcuni livelli tematici, il dato acquisito con precisione e fedeltà elevate potrà anche restare quasi inutilizzato: si pensi per esempio alle modeste implicazioni di una accurata descrizione delle tipologie edilizie in una carta costruita prevalentemente per la gestione delle reti urbane e che quindi sarà utilizzata per estrarre informazioni assai dettagliate sui perimetri lungo strada e sulla geometria della viabilità.

Una discussione di questi aspetti, sia dal punto di vista della produzione sia da quello dell'utilizzo, appare oggi necessaria e urgente, viste le iniziative importanti che si stanno attuando per la realizzazione di banche dati territoriali a livello comunale o di consorzio. Questo potrà affermare anche in cartografia il momento essenziale del *progetto* e privilegiare forme più rispondenti nell'assegnazione dei lavori (appalto concorso).

Inoltre, il problema cartografico abbraccia sia lo spazio che il tempo: il tempo rende l'informazione inadeguata, in un periodo che dipende dalla natura propria del territorio e dalle finalità della sua descrizione. L'*aggiornamento* della carta, storico problema del processo produttivo, va oggi risolto mediante un intervento *straordinario* (con sovrimposizione periodica di una nuova copertura fotogrammetrica) integrato da una *manutenzione ordinaria* (continua, attuata con metodologia topografica), da programmare già in appalto. È evidente che l'aggiornamento ordinario risulta tanto più agevole quanto più è limitato il settore di impiego della carta, cioè quanto meno la rappresentazione si configura come *generale*.

Siccome poi la carta è numerica e strutturata su livelli tematici, l'operazione assume costi, tempi e contorni indubbiamente vantaggiosi sia per la possibilità di operare in modo differenziato sui singoli livelli, sia perché diverso è correggere un database dall'apportare modifiche a un disegno al tratto o addirittura a una cartografia fotografica. La garanzia di aggiornamento costante è ancora più essenziale nel caso del sistema informativo, per la necessità dell'incrocio di dati diversi; in ogni caso tutte le modifiche territoriali sono soggette a procedure amministrative e risultano perciò rilevabili proprio da collegamento logico con l'archivio gestionale.

Nella pagina precedente, cartografia numerica (scala 1:1000) per l'archivio territoriale urbano del comune di Sesto San Giovanni (stampa da plotter). A pagina 28, architettura di un sistema informativo urbano.



Queste considerazioni non giungono all'affermazione finale che non si debbano più realizzare carte generali (come contenuto metrico e qualitativo), bensì pongono quesiti e cercano nuove risposte per una più adeguata collocazione dell'informazione cartografica nell'ambito dell'architettura del sistema urbano.

PRECISIONE DEL DATO GEOMETRICO

La precisione del contenuto metrico della carta è legata alla natura delle operazioni di inquadramento del rilievo e alle metodologie di acquisizione del dettaglio, cioè alla fotogrammetria con digitalizzazione in restituzione e alla topografia a supporto informatico.

Questi step di costruzione del dato geometrico inducono due diversi tipi di precisione nella collocazione spaziale degli oggetti: una *assoluta*, cioè nel contesto nazionale, e una *relativa*. In partico-

lare, quest'ultima prende in esame la posizione dei punti degli oggetti rappresentati in rapporto a punti dello stesso oggetto (*dimensione/forma*) e a quelli di oggetti vicini (*adiacenza*).

Quando dal database geometrico si vuole estrarre una informazione quantitativa, la finalità è in genere proprio quella di collocare l'una rispetto all'altra entità urbane vicine oppure di inserire fra esse una nuova entità. Da questo si può dedurre che gli *oggetti vicini* sono praticamente tutti quelli compresi in un *intorno planimetrico* che non supera mai alcune centinaia di metri.

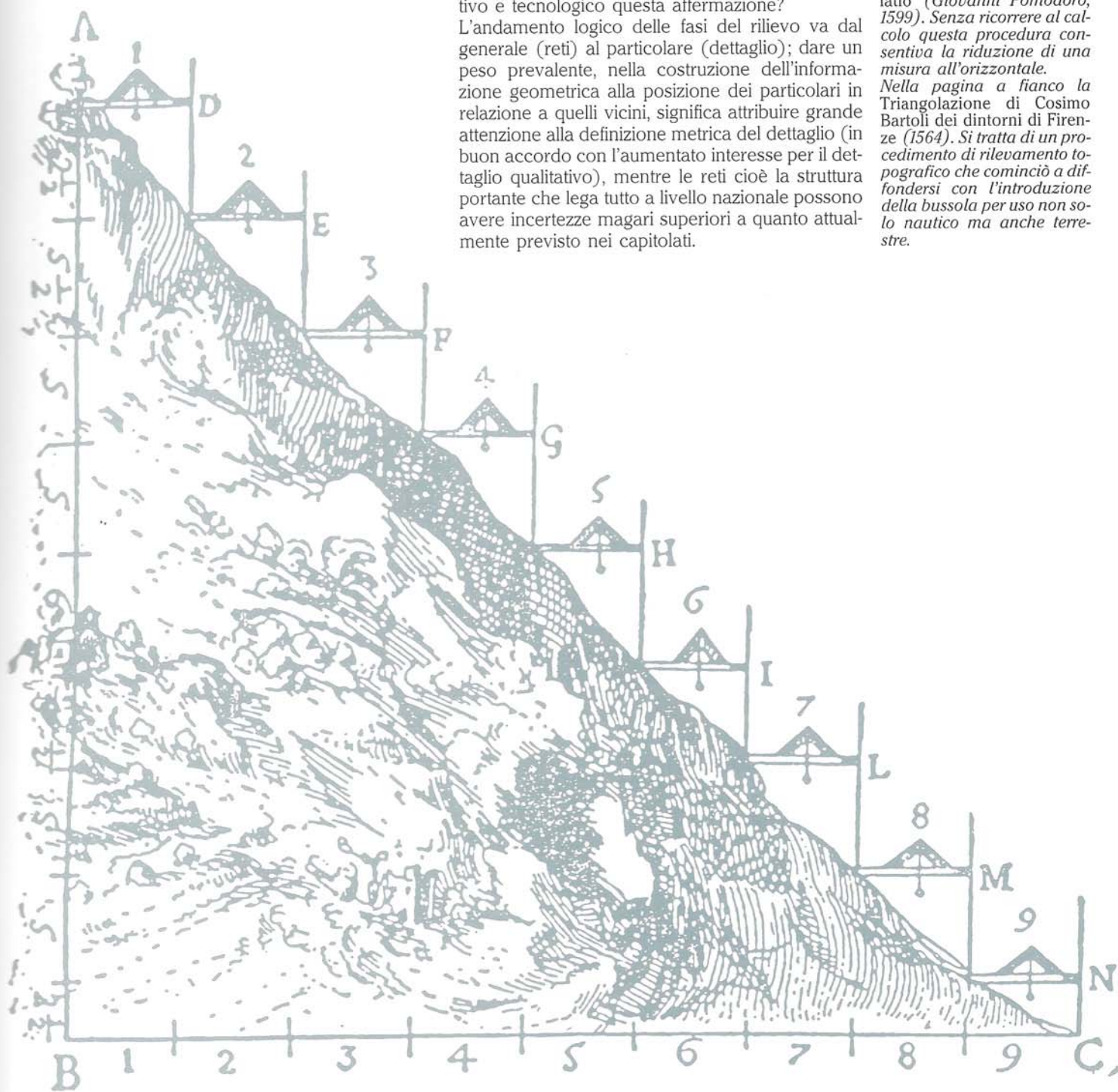
Questo vale anche quando si deve analizzare la posizione *altimetrica* degli oggetti. In tale caso si dovrà fare riferimento ancora a punti *vicini planimetricamente*, indipendentemente dal valore del dislivello fra essi; dislivello che peraltro in zona urbana non sarà in genere molto grande per motivi orografici e costruttivi.

La precisione dell'informazione quantitativa dell'archivio dovrà dunque essere soprattutto di tipo *relativo*. Quali conseguenze comporta a livello operativo e tecnologico questa affermazione?

L'andamento logico delle fasi del rilievo va dal generale (reti) al particolare (dettaglio); dare un peso prevalente, nella costruzione dell'informazione geometrica alla posizione dei particolari in relazione a quelli vicini, significa attribuire grande attenzione alla definizione metrica del dettaglio (in buon accordo con l'aumentato interesse per il dettaglio qualitativo), mentre le reti cioè la struttura portante che lega tutto a livello nazionale possono avere incertezze magari superiori a quanto attualmente previsto nei capitolati.

Il procedimento della cultellatio (Giovanni Pomodoro, 1599). Senza ricorrere al calcolo questa procedura consentiva la riduzione di una misura all'orizzontale.

Nella pagina a fianco la Triangolazione di Cosimo Bartoli dei dintorni di Firenze (1564). Si tratta di un procedimento di rilevamento topografico che cominciò a diffondersi con l'introduzione della bussola per uso non solo nautico ma anche terrestre.



Quanto si debba fare aumentare o diminuire le due precisioni, quali integrazioni siano da prevedere fra le tecniche di misura, quale sia il limite e il significato metrologico di *punti vicini*, non è possibile definirli con una generalizzazione poiché, come già detto, ogni base cartografica urbana deve essere commisurata allo scopo prevalente sia per l'aspetto qualitativo che quantitativo.

Tutto ciò non è di poca importanza, in quanto sposta il problema cartografico nei sistemi informativi dalla richiesta di una generica base geometrica (di scala assegnata) alla definizione dell'archivio attraverso un'attenta fase progettuale. Il progetto prenderà in esame i livelli tematici e gli oggetti da rappresentare, la tolleranza nella posizione *assoluta e relativa* con riferimento ad essi, l'ampiezza dell'intorno entro il quale deve risultare valida la tolleranza per le posizioni relative.

In merito alla precisione assoluta e quindi alle operazioni di inquadramento e appoggio, che hanno incidenza economica nell'ordine del 20% nella costruzione di cartografia urbana a grande scala, si dovranno prendere decisioni su questi problemi:

– le reti nazionali (IGMI e Catasto) vanno accettate come sono con tutti i ben noti difetti o controllate localmente e in parte rifatte;

– la rete di raffittimento deve porsi lo scopo di migliorare la precisione delle suddette reti nazionali oppure è sufficiente che conservi la stessa precisione;

– per la rete di appoggio si dovrà generalizzare al massimo l'uso della triangolazione fotogrammetrica, che più garantisce la bontà della posizione relativa dei punti restituiti rispetto a quella assoluta, diffondendo procedimenti di compensazione con stima degli s.q.m.

Queste scelte non sono certo semplici, soprattutto in fase di progetto; si pensi che ancora si valuta piuttosto empiricamente l'influenza degli errori della rete di inquadramento e appoggio sulla precisione della posizione relativa degli oggetti e così la sua correlazione con gli errori prodotti dalla costruzione del dettaglio. Il tutto andrebbe esaminato poi con riferimento alla quota relativa della copertura fotografica (scala media dell'immagine), alla morfologia del tessuto urbano, alla risoluzione nel posizionamento della tecnica fotogrammetrica ($10 \div 15$ cm; oltre alle incertezze della sgrondatura) e di quella topografica (qualche cm).

IL RUOLO DELLA SCALA NELLA CARTOGRAFIA

Nelle pagine precedenti questo scritto si è parlato della scala della cartografia come di un parametro di rilevante importanza.

Tuttavia se la carta (come accade per i sistemi informativi) è di tipo numerico, le posizioni dei vari punti oggetto sono espresse con *coordinate* nel sistema nazionale e archiviate alla scala 1:1.

Nella proposta di capitolato per la formazione di cartografia numerica elaborata dal gruppo di lavoro della SIFET, si introduce la scala come parametro primario rispetto al quale si fissano tutti gli altri, in particolare le tolleranze e le modalità esecutive; inoltre la scala nella cartografia numerica e nei sistemi informativi è poi definita come il valore che corrisponde alla massima scala della rappresentazione grafica congruente con la precisione dei dati archiviati.

Questa pur corretta impostazione del problema rimanda però ancora alla tradizione, mentre la carta numerica è qualcosa di nuovo e di diverso dalla cartografia grafica. Si cercherà qui pertanto di

ipotizzare una modifica a questa impostazione convenzionale.

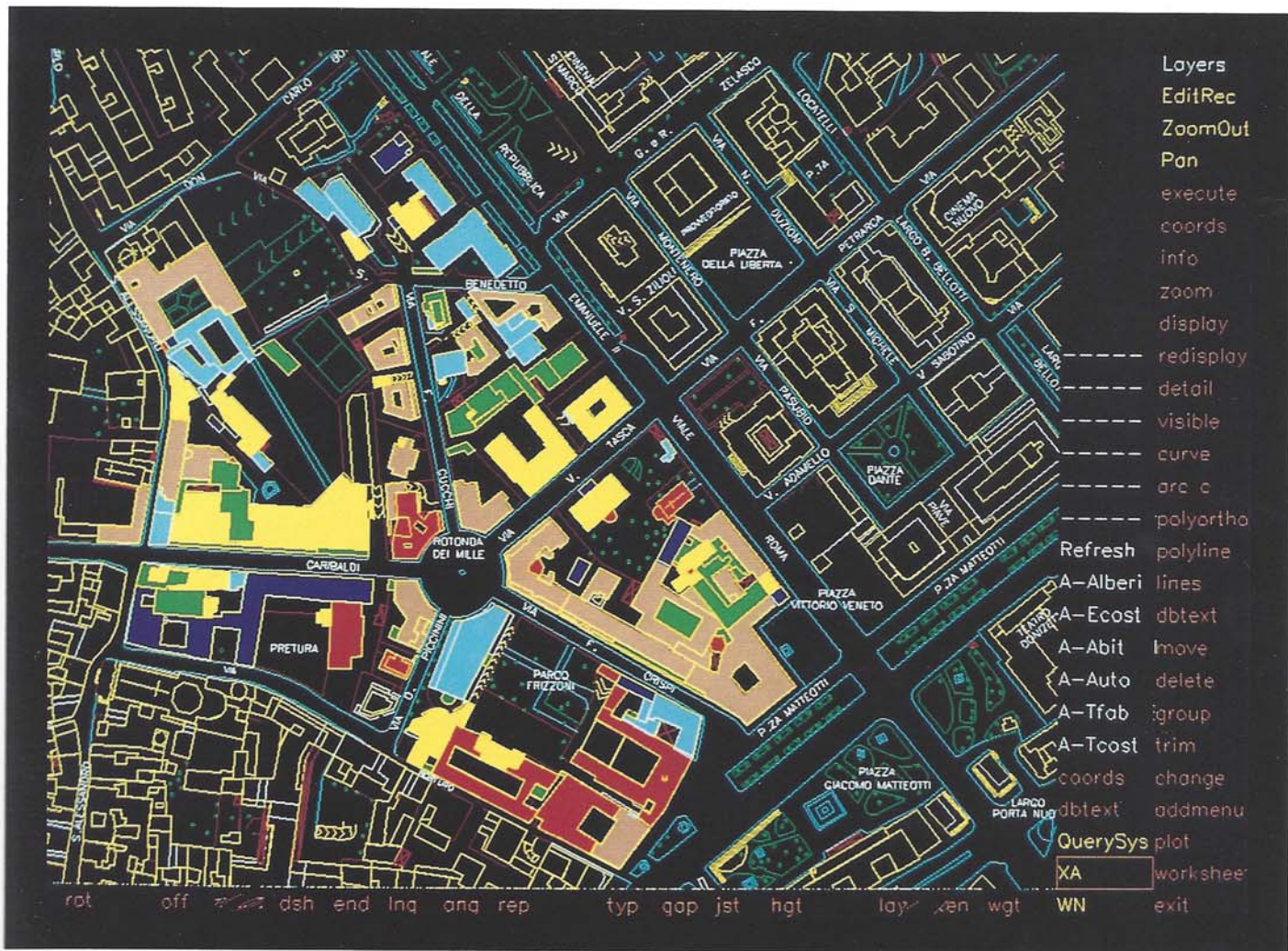
Come è stato in precedenza analizzato, la base cartografica per i sistemi informativi non deve essere costruita in forma di carta tecnica generale, ma di *carta dedicata*; carte veramente generali potranno essere invece quelle a scala inferiore, per esempio fino alla soglia del 5000 e 10000. Il committente dovrà dunque precisare in progetto le *applicazioni prevalenti* del sistema informativo: da queste si origineranno i contenuti della base cartografica e le precisioni ammissibili dei dati geometrici.

I riporti grafici (*plot*) che si potranno ottenere con i dati di archivio assumono quindi diverso significato nel contesto generale: l'utilizzatore potrà infatti eseguire agevolmente rappresentazioni metriche a scala minore o anche maggiore di quella correlata correttamente alla precisione del database. È evidente che il dato quantitativo conserverà sempre l'incertezza di impianto, purché desunto direttamente dall'archivio numerico e non estratto dai grafici. Per esempio, se la precisione intrinseca è



quella della scala 1:2000, si potranno produrre *plot* al 1000 o al 500 da utilizzare per la gestione di informazioni descrittive come le indicazioni sulla viabilità (segnalica orizzontale, verticale) e quelle relative a servizi (cavi elettrici e telefonici, rete idrica, fognature, ecc.).

Una carta numerica destinata prevalentemente alla gestione di reti tecnologiche dovrà essere qualitativamente ben dettagliata nella parte relativa a strade, marciapiedi, fronti dell'edificato; in questa fascia il dato metrico relativo (planimetria) sarà di buona precisione poiché le reti necessitano di una corretta collocazione rispetto agli edifici e alle strutture urbane immediatamente adiacenti. Nel caso si voglia gestire la progettazione interattiva di fognature e canalizzazioni, le fasce indicate dovranno presentare anche un'ottima definizione altimetrica. Il posizionamento fine dei cassoni edilizi e l'informazione altimetrica della viabilità comporteranno una maggiore incidenza del rilievo topografico a terra; per le restanti aree dell'urbanizzato sarà sufficiente invece un dettaglio meno completo e preciso, deducibile con acquisizione fotogrammetrica. Pertanto, in questa nuova prospettiva, la cartografia numerica di aree urbane non si dovrà più articolare come oggi nella generica costruzione di una base cartografica di *scala* assegnata, ma verrà prodotta come *database dedicato*, attraverso un dettagliato progetto. Esso prenderà in esame il *contenuto qualitativo* e la *simbologia grafica*, selezionando gli oggetti planimetrici ed altimetrici da rappresentare in funzione degli usi prevalenti; definirà inoltre i parametri di *precisione assoluta e relativa* dei vari livelli tematici, da inserire anche nel codice identificativo degli oggetti.



Il Sistema Informativo Territoriale permette di collegare gli archivi anagrafici di un comune con la base cartografica, consentendo così la conoscenza delle caratteristiche non solo territoriali, ma anche socio-economiche della città. Utilizzando la banca dati dell'anagrafe, per

esempio, è possibile ottenere mappe tematiche per settori urbani, per isolati o per quartieri. Sopra, un'analisi statistica degli edifici destinati a residenza in funzione del numero di abitanti. L'indagine si riferisce ad un'area del comune di Bergamo (foto Gianni Aureggi).

Per l'aspetto metrico, per esempio, potranno essere utilizzate le indicazioni di seguito riportate.

a - Tolleranza della *posizione*

planimetrica relativa
(metri)

0.10	0.20	0.50	1.00
0.10	0.20	0.50	0.80

altimetrica relativa
(metri)

i valori andranno discussi e definiti attentamente a priori

b - Ampiezza (*raggio*) dell'intorno entro il quale la *precisione relativa* deve soddisfare i limiti di tolleranza, indicati al punto a, tra i valori (metri)

100	200	500
-----	-----	-----

 sia per la *posizione planimetrica* che per quella *altimetrica*.

La prescrizione della tolleranza nelle posizioni dei vertici delle reti di inquadramento e di appoggio sarà pure fissata in progetto, scegliendo i valori sulla base degli stessi riportati in a.

Questa condizione sembra necessaria per collocare l'informazione geometrica entro limiti accettabili di *precisione assoluta*.

CONCLUSIONI

Le considerazioni riportate in questo scritto hanno analizzato concetti essenziali come dettaglio, scala e precisione della base cartografica, cercando nuove risposte pur se non complete e definitive. Ne è emerso che la cartografia numerica per il sistema informativo dovrebbe essere approntata in forma di *carta dedicata* alle applicazioni prevalenti, in quanto non si ritiene possibile pensare ancora ad un prodotto di tipo generale utile per tutte le esigenze del territorio urbano.

Questa proposta responsabilizza maggiormente gli amministratori incaricati dell'intervento poiché li impegna in un progetto preventivo per la definizione dei settori di impiego e dei parametri dell'ar-

chivio, nella consapevolezza che ogni dato caricato comporta un costo di impianto e uno di manutenzione periodica. Il progetto della base cartografica risulterà forse meno dettagliato e preciso nella struttura del tradizionale capitolato speciale d'appalto, ma sarà sicuramente molto più orientato e finalizzato alle specifiche necessità dell'amministrazione. Necessità che sono diventate più composite per l'introduzione della VIA (Valutazione di Impatto Ambientale) anche in Italia (DPCM 377/88 e successive integrazioni); con essa, la realizzazione di grandi opere (industrie chimiche e siderurgiche, centrali elettriche, impianti di smaltimento dei rifiuti, autostrade, ferrovie, aeroporti, porti, dighe) viene ora sempre preceduta da un'attenta simulazione delle trasformazioni indotte sul territorio. Occorre infine considerare che gli interventi sulla città sono sempre legati all'informazione censuaria e quindi al tematismo catastale grafico, di cui è ben nota la delicata situazione italiana, aggravata localmente dal permanere di vecchie rappresentazioni antecedenti l'impianto. Dunque il livello *catasto* in genere da prevedere nel progetto costituisce un problema in più nella costruzione di un sistema informativo per la città. Il dato corrispondente va acquisito con digitalizzazione manuale o con scansione automatica dei fogli di mappa.

L'aggregazione dell'informazione catastale agli altri livelli dell'archivio comporta elaborazioni preventive per ricostruire almeno la congruenza grafica (se non quella geometrica) del database cartografico. L'adattamento è eseguito con best-fitting a minimi quadrati, di singole aree urbane (*isole edilizie*); i punti di controllo della trasformazione sono scelti su particolari planimetrici di separazione al contorno delle particelle (elementi di recinzione, muretti, ecc.).

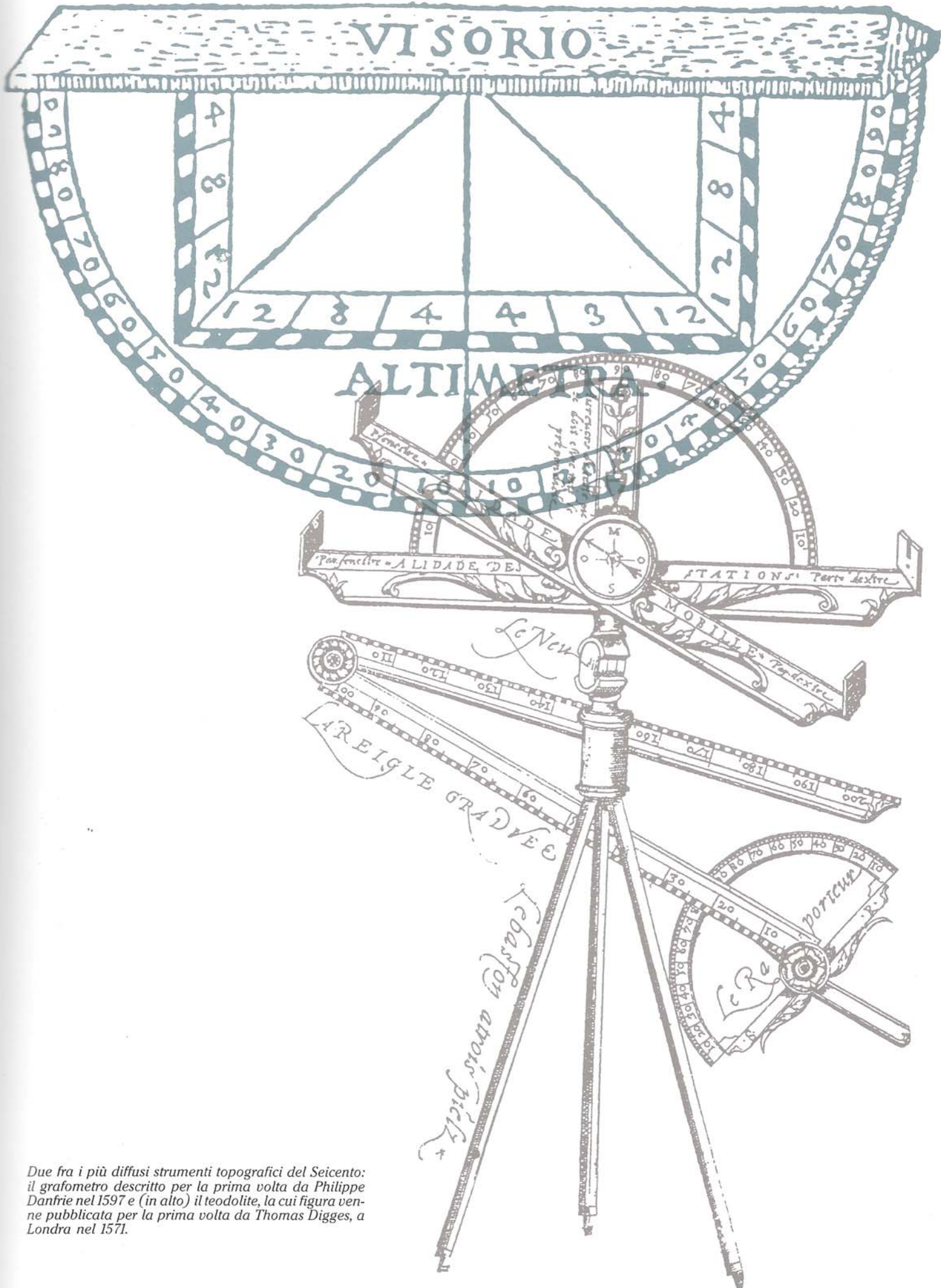
NOTE

1. La *precisione relativa* è funzione della *precisione assoluta* dei punti e dell'intensità della loro correlazione; la *precisione nel posizionamento* di un generico punto *j* rispetto ad un punto *i* è data per le 3 coordinate *X, Y, Z*, dalla nota relazione:

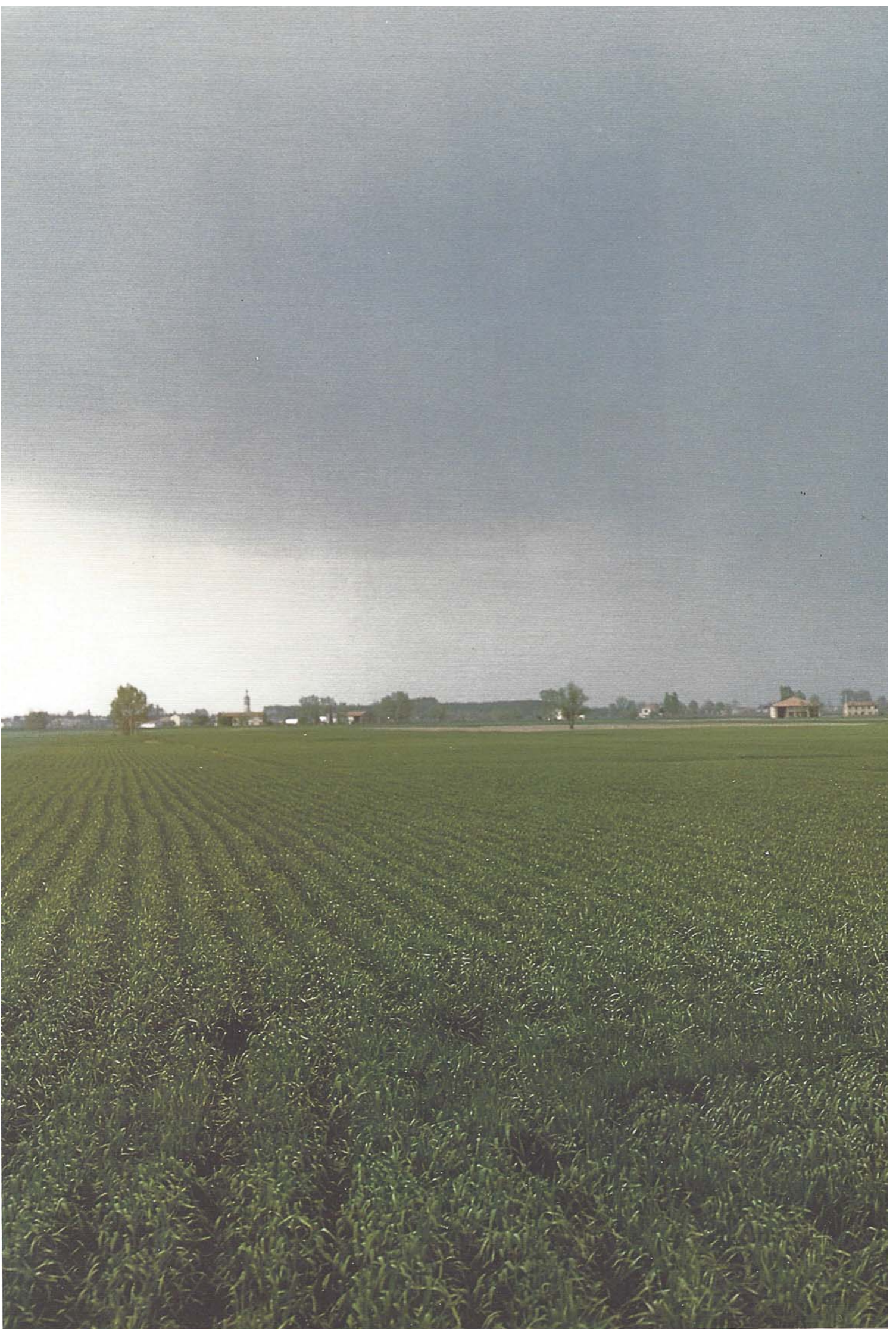
$$\sigma_{i,j} = [\sigma_i^2 + \sigma_j^2 - 2\sigma_{ij}]^{0.5}$$

con σ_i^2, σ_j^2 = varianze e σ_{ij} = covarianza, inerenti alle due posizioni *i* e *j*.

Se il modello risolvete è alle differenze di coordinate (per esempio, livellazione per rete altimetrica), i termini rettangolari (covarianze) sono sempre positivi e quindi l'incertezza della posizione relativa di punti vicini risulta alquanto inferiore a quella della loro posizione assoluta.

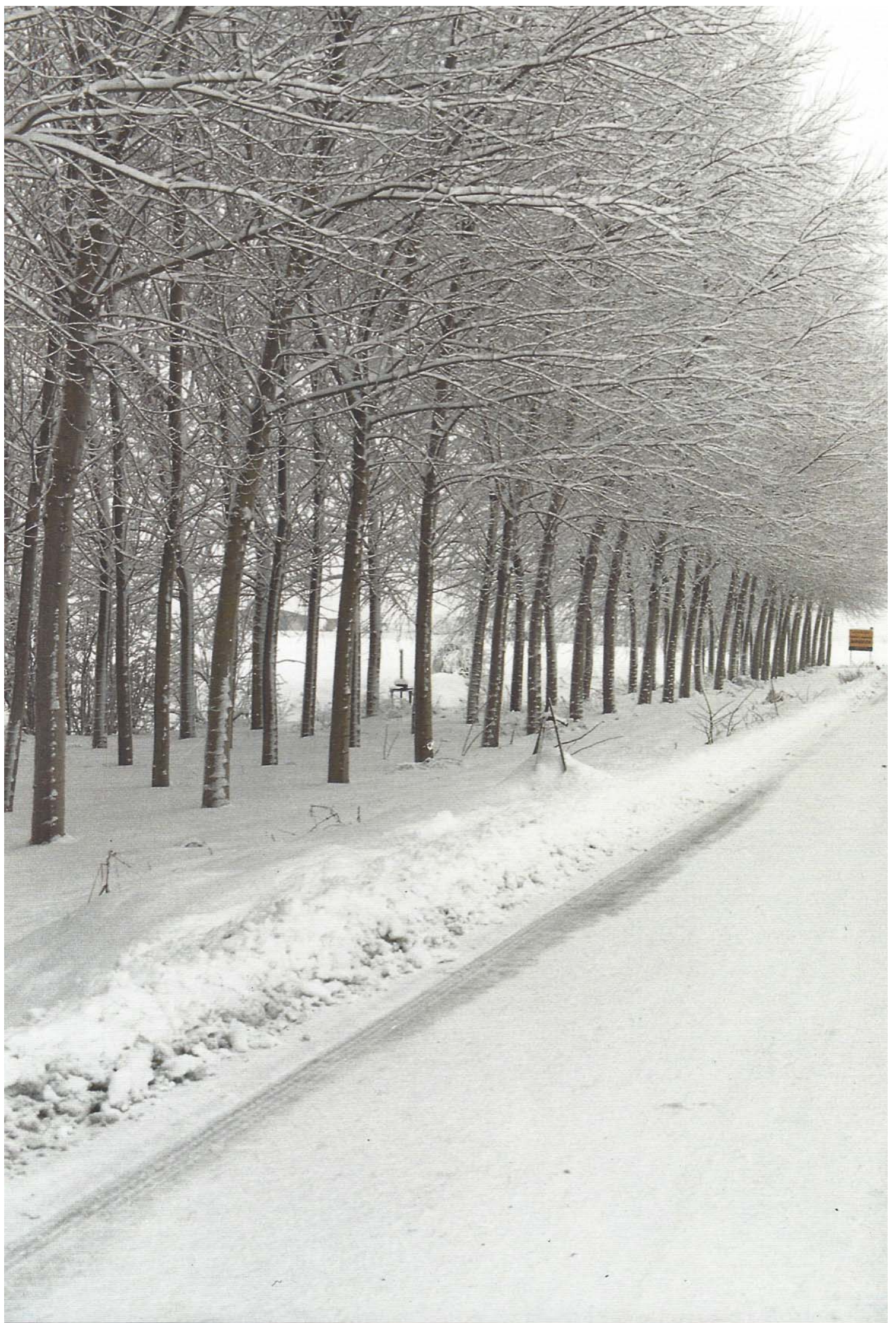


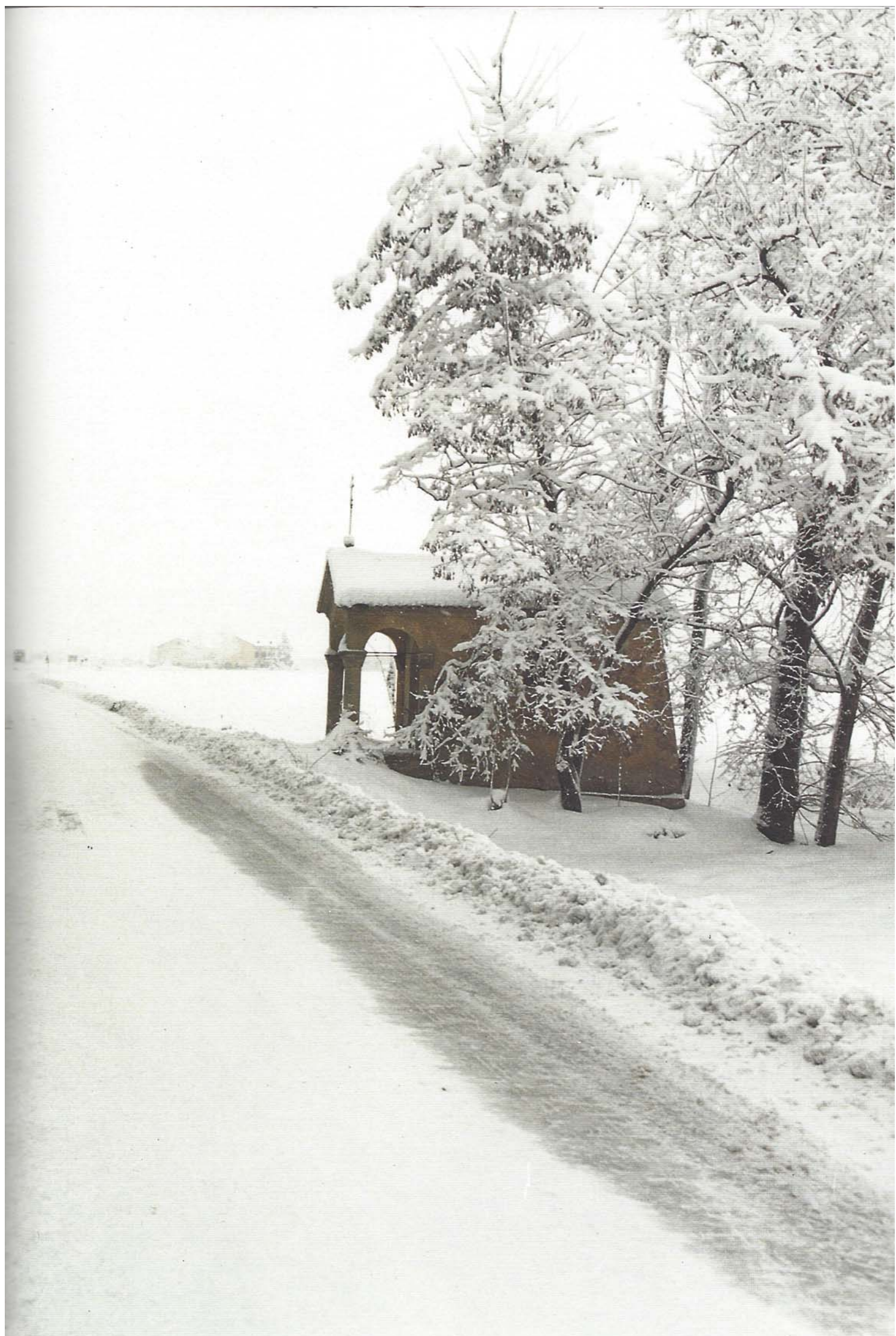
Due fra i più diffusi strumenti topografici del Seicento: il grafometro descritto per la prima volta da Philippe Danfrie nel 1597 e (in alto) il teodolite, la cui figura venne pubblicata per la prima volta da Thomas Digges, a Londra nel 1571.





Da pagina 36
a pagina 41
fotografie
di Luigi Ghirri









POTENZIALITÀ E FUNZIONI DEI SISTEMI INFORMATIVI GEOGRAFICI



Luca Marescotti

INFORMATICA E PUBBLICHE AMMINISTRAZIONI
L'innovazione informatica, oltre all'aumento di potenza nelle elaborazioni e alla diminuzione di costo, offre programmi sempre più amichevoli e, facili da usare. Ad un simile carattere, che favorisce la divulgazione dell'informatica in tutti i settori, si accompagnano altri due elementi specifici di notevole interesse per l'organizzazione del lavoro, come le reti di calcolatori e il trattamento grafico e geografico delle informazioni.

Per mezzo di queste innovazioni — veramente recenti, veramente innovative — si ha la possibilità di collegare informazioni geografiche ad informazioni numeriche e di rappresentare graficamente gli elementi più significativi di un fenomeno o di una pratica territoriale, giungendo così non solo a trattare *economicamente ed ergonomicamente* un modello architettonico ed urbanistico, ma nello stesso tempo si può diffondere l'accesso a queste informazioni in più ambienti e a diversi utenti.

Se da una parte le procedure delle pubbliche amministrazioni richiedono affidabilità del sistema, velocità e facilità di accesso alle informazioni, possibilità di colloquio tra i vari utenti, diversità di accesso alle pratiche, sicurezza e garanzie contro manomissioni volute o casuali, d'altra parte le innovazioni riescono a dare risposte significative.

In effetti, questi sono i requisiti richiesti anche ai sistemi informativi aziendali, e ad essi si sono date valide risposte dopo oltre un decennio sperimentale su grandi macchine constatando grandi pro-

blemi e con almeno un altro decennio di applicazioni collaudate e riuscite.

Emerge, inoltre, una considerazione di fondamentale e generale importanza per la pubblica amministrazione: si tratta della necessità di rianalizzare l'organizzazione del lavoro e l'intelligenza dei progetti e di sviluppare la fiducia che in essi viene posta non come adeguamento a tendenze in atto (tutti usano l'informatica), ma come strumento per affrontare la produttività e l'efficienza del lavoro, attraverso innovazioni adatte ad un concreto supporto alle decisioni, superando di conseguenza lo stato perenne di emergenza in cui spesso operano gli uffici pubblici.

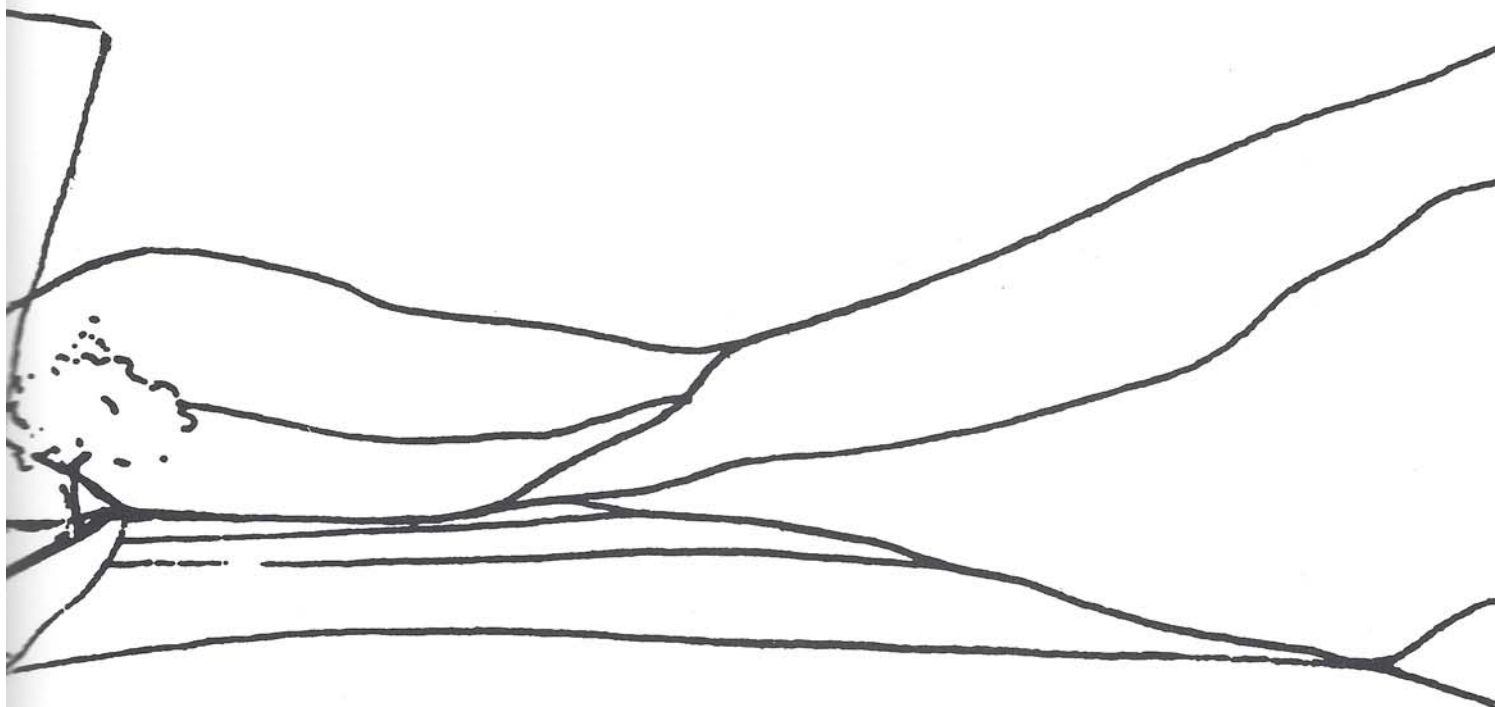
I SISTEMI INFORMATIVI GEOGRAFICI

È senz'altro di grande interesse la possibilità di ubicare geograficamente gli interventi non solo per tutti gli organismi territoriali, ma anche per altri enti, quando diventa significativo analizzare la distribuzione geografica di determinati fenomeni e ampliare il campo delle osservazioni ed azioni.

Per esempio sarebbe senz'altro interessante la connessione tra le informazioni delle unità socio-sanitarie locali con una base di dati geografica per ricostruire la distribuzione territoriale delle tipologie di morbilità e mortalità con la finalità di giungere ad ipotesi interpretative ed operative, laddove si potessero individuare malattie sociali connesse ad inquinamento ambientale, domestico o produttivo.

Lo sviluppo specifico delle basi di dati con la geo-

Luca Marescotti, architetto, svolge attività di ricerca ed insegna Teoria dell'Urbanistica presso la Facoltà di Architettura del Politecnico di Milano. In particolare si occupa di Sistemi Informativi Geografici, beni culturali e trasporti, per quanto riguarda sia gli aspetti territoriali, sia la loro formalizzazione per sviluppare e implementare elaborazioni informatiche.



L'architetto Adalberto Libera in un disegno di Alvaro Siza.

grafia del territorio assieme a quelle descrittive e alla raccolta di immagini si è dimostrato senz'altro conveniente sia economicamente (rapporto tra prezzo e prestazione), sia per l'efficienza (tempo di ricerca e di elaborazione di nuove interrogazioni rispetto ai metodi convenzionali). Questo permette già in alcuni enti locali l'applicazione di sistemi informativi geografici progettati in funzione di molti utenti, che non sono solo i diversi uffici interni, ma riguardano anche le municipalizzate e le aziende esterne che operano sul territorio.

In termini specifici per gli enti territoriali, il Sistema Informativo Geografico, o Territoriale, non dovrà essere l'operazione dell'ufficio dell'urbanistica, ma dovrà integrarsi con l'automazione di tutta l'amministrazione, perseguendo l'obiettivo di utilizzare i Sistemi Informativi Geografici e l'automazione delle pratiche come supporti al processo decisionale, allentando l'eccessivo coinvolgimento nell'ordinaria amministrazione. Questo rappresenta una grandissima innovazione in quanto permette di integrare il passaggio tra le elaborazioni dei tecnici della pubblica amministrazione, quelle degli operatori esterni e quelle dei decisori politici.

La redazione di un Piano Regolatore e di un piano dei trasporti, la gestione delle concessioni edilizie e di quelle stradali, l'archivio dei progetti, l'aggiornamento del catasto o la certificazione per i cittadini pongono sempre più spesso una domanda sulla possibilità di usare strumenti informatici per agevolare il lavoro. Da tempo si parla di Sistemi Informativi Geografici o Territoriali, e spesso si pensa al

disegno automatico o alle elaborazioni statistiche di dati e alla loro rappresentazione grafica. Ma senz'altro questo non è corretto.

Una prima definizione del Sistema Informativo Geografico — per il quale useremo d'ora in poi la sigla anglosassone GIS — si basa sulla constatazione che è composto in prima approssimazione da due mondi principali: un archivio — o un insieme di archivi — di dati alfanumerici e iconografici (immagini raster) e un archivio — o un insieme di archivi — di dati geografici (immagini vettoriali). Questi due mondi sono fortemente interrelati per garantire il funzionamento del sistema, come se fosse un insieme perfettamente unitario con continuo e reciproco scambio di informazioni, tanto che in alcuni casi si è giunti all'integrazione topologica dei due insiemi.

Inoltre, essi sono, comunque, racchiusi all'interno di un guscio che facilita l'uso dell'intero sistema: controllo e amministrazione dei livelli di accesso (lettura o scrittura, accesso totale o parziale), linguaggi di definizione dei dati, linguaggi di interrogazione, macroistruzioni costruibili in tempo reale permettono a molti utenti di manipolare i dati e formare di continuo nuove conoscenze.

Alla connessione delle informazioni si legano poi gli strumenti per il loro reperimento intelligente, algoritmi prestazionali per simulare nuove situazioni e progetti per l'uso di sistemi esperti.

È possibile memorizzare immagini di progetti, disegni, fotografie e fotogrammetrie, telerileva-

mento e richiamarle o addirittura sovrapporle alle immagini della cartografia numerica.

Il discorso si dilata su molti altri versanti. Presso il Politecnico di Milano, attraverso il Centro di Documentazione di Architettura il Centro di Calcolo e i laboratori di alcuni dipartimenti, tra cui soprattutto quello del Dipartimento di progettazione, programmazione e produzione edilizia, quello del Dipartimento di scienze del territorio, presso il Dipartimento di elettronica e presso l'Istituto di topografia, fotogrammetria e geodesia sono state avviate da tempo prospezioni sull'interazione tra diversi campi del sapere sviluppando rapporti reciproci. La sperimentazione in campi diversi, dalla cartografia alla pianificazione territoriale, dalla ricerca operativa alle applicazioni in campo medico ci hanno spinto verso visioni sempre più di ampio respiro.

In questo campo vi sono diversi aspetti tecnologici di notevole interesse, che vanno oltre a quanto già indicato. Da un punto di vista delle macchine l'indagine sulle soluzioni vincenti tra le architetture dei calcolatori mette in luce come prospettiva vincente per i prossimi anni l'integrazione tra personal computer, stazioni di lavoro, mini calcolatori ed elaboratori centrali. L'ambiente misto tende a far tramontare sia l'ipotesi di automazione di un singolo ufficio, sia la costruzione di un grande sistema dotato di terminali senza capacità di elaborazione locale. Questa soluzione, se ben progettata, presenta un sicuro vantaggio, non solo perché ammette una costruzione graduale spingendo contemporaneamente la modernizzazione delle attrezzature con la diffusione della cultura informatica negli utenti, ma anche perché permette di far affermare l'automazione come diffusione di una rete di calcolatori e la possibilità di elaborazioni personalizzate, capaci di orientare le pratiche e di fornire allarmi in casi di anomalie, o di essere utilizzati anche dai politici per controllare o rafforzare i criteri decisionali.

In secondo luogo lo sviluppo dei programmi permette di gestire attraverso i sistemi operativi di livello alto la memorizzazione della storia della manipolazione delle informazioni e il rigore degli accessi, sempre garantendo il salvataggio continuo dei dati e delle elaborazioni in qualsiasi situazione, mentre per sistemi più aperti come Unix e MsDos lo sviluppo di elementi di sicurezza è solo agli inizi. In terzo luogo, lo sviluppo specifico delle basi di dati, geografiche e alfanumeriche, potrebbe permettere già negli enti locali l'applicazione di Sistemi Informativi Geografici progettati in funzione di molti utenti, che non sono solo i diversi uffici interni, ma riguardano anche le municipalizzate e le aziende esterne che operano sul territorio.

I MODELLI DEL REALE

Quando si afferma che la cartografia è un modello della realtà, è opportuno aggiungere che tuttavia essa non è l'unico modello: vi sono altri strumenti per costruire modelli della realtà, tra questi le basi di dati e in particolare i sistemi informativi aziendali costituiscono altre importanti rappresentazioni del mondo, sulla cui base si organizzano attività di gestione e di direzione di un'azienda, i suoi rapporti di produzione, magazzini, e clienti, la definizione delle strategie, il controllo dei tempi di produzione. Le più recenti soluzioni informatiche hanno ampiamente recepito le innovazioni e hanno aperto prospettive molto più ampie di quanto si sia soliti pensare: i GIS, gestiti da macchine con un basso prezzo e predisposte per la grafica e per le immagini, costi-

tuiscono in effetti uno strumento del tutto innovativo.

Grafica, mapping e modelli geografici intrecciati a immagini e a solide basi di dati e di conoscenza diventano parti di un progetto omogeneo per la costituzione di quelle che possono essere chiamate *carte intelligenti*.

Due ordini di considerazioni sono necessarie quando si parla di GIS:

1. le potenzialità di un Sistema Informativo Territoriale sono ancora tutte da esplorare, nonostante numerose applicazioni siano già operative tanto da farlo presentare come un mondo apparentemente consolidato da un punto di vista commerciale; sistemi di trasmissione dei dati, stazioni di lavoro grafiche, architetture articolate e programmi capaci di gestire basi di dati distribuite e residenti in macchine diverse fanno pensare a soluzioni nuove e globali nell'informatizzazione della pubblica amministrazione.

Le applicazioni e la loro descrizione inizia a costituire un materiale ampio di analisi, da cui dedurre le logiche di sviluppo in corso;

2. il rapporto prezzo/prestazioni delle macchine e il potenziamento della grafica e della gestione di basi di dati distribuite offrono sul mercato possibilità di rappresentazioni in tempo reale di grande importanza. Oggi è, dunque, possibile un discorso fortemente innovativo, in grado di realizzare, anche nella pratica, indicazioni che da tempo erano state date, ma che valevano quasi unicamente a livello teorico e di ricerca.

Nel costruire dei modelli di rappresentazione del territorio si possono per ora individuare tre versanti di indagine.

Controllare i processi di trasformazione del territorio, prendere decisioni sulle trasformazioni del territorio, costruire opere sul territorio, valutarne l'impatto: questo è un *primo punto di vista* al cui interno si possono cogliere diverse sfumature se non divergenze tra approcci di ricerca operativa e approcci più conoscitivi e modellistici.

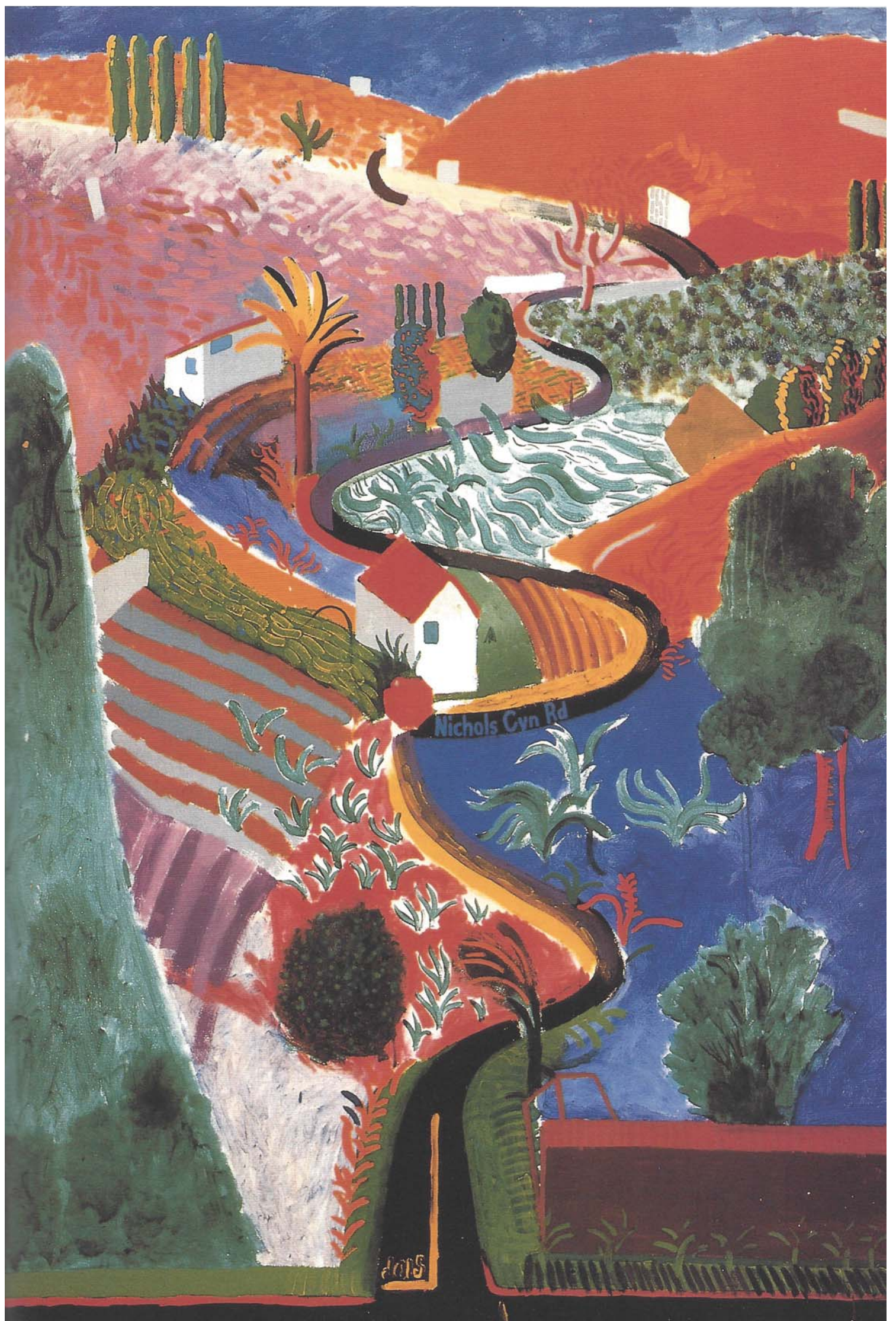
Un *secondo punto di vista* può essere caratterizzato dagli strumenti di elaborazione delle informazioni offerte dalle innovazioni tecnologiche e questo riguarda sia il versante macchine, sia quello logico e di programmazione in senso lato.

Tuttavia esiste un *terzo punto di vista* che può essere delineato e che riguarda la costruzione di modelli conoscitivi e il ricorso a teorie della conoscenza per rendere comunicabile e operativo il nostro lavoro.

In questo modo sono passato a coinvolgere numerose discipline e a offrire un quadro apparentemente troppo complesso, ma che in realtà potrebbe tracciare un approccio con grandissimi risvolti pratici.

Alcune parole chiave allora delineano un paesaggio culturale molto interessante: tre dimensioni, reperimento intelligente di informazioni, Sistemi Informativi Geografici. Probabilmente, però, il vero punto cruciale è la parola modello. In essa si condensa il significato della costruzione del modello stesso, cioè dell'uso che se ne fa e dei criteri di selezione dei dati e della scala di rappresentazione. Si innescano anche approfondimenti sui criteri di diffusione della conoscenza insita nel modello, come strumento di comunicazione, ma soprattutto come definizione delle finalità di supporto delle decisioni e di risolutore di problemi, di appoggio alla gestione delle procedure amministrative.

Attraverso questo approccio si devono superare le visioni fini a se stesse: la mappa non è il mondo, ma



attraverso la mappa si rappresenta il mondo. L'utilità della rappresentazione è insita nel rapporto e nella interazione continua tra teoria e prassi, tra modello e realtà, tra conoscenza e progetto.

L'approccio corretto deve nascere da una visione interdisciplinare, in cui l'informatica è strumento per lo sviluppo delle discipline coinvolte da una visione unitaria di progettazione culturale e sistemica per la gestione di realtà descrivibili attraverso informazioni eterogenee reciprocamente connesse e memorizzate in basi di dati geometriche, basi di dati alfanumeriche e banche di immagini.

Si scopre, per esempio, che i beni culturali non rappresentano soltanto una parte eccezionale del territorio italiano, ma che proprio operando su di essi si possono sviluppare e capire le potenzialità dei Sistemi Informativi Geografici integrati con le immagini e la multimedialità.

GLI ELEMENTI DELLA PROGETTAZIONE

Impostare il problema significa cogliere contemporaneamente due aspetti riguardanti da una parte le basi dell'informatica, l'impatto che l'informatica può avere sulla conoscenza e sui processi decisionali e sulle prospettive di sviluppo dell'intelligenza artificiale e sulle sue applicazioni per il reperimento intelligente di informazioni, e dall'altra parte il bisogno di informazione elaborata da parte dell'amministrazione pubblica e di coloro che operano sul territorio.

La cartografia è investita da un profondo processo di rinnovamento tecnologico, che riguarda tutti gli aspetti dall'acquisizione dei dati, alla loro elaborazione, archiviazione e restituzione.

La cartografia numerica non è più soltanto un modo nuovo di pensare la rappresentazione degli oggetti vicini e lontani dall'architettura al territorio, dalle scale edilizie a quelle urbanistiche e geografiche, ma diviene il nucleo portante delle informazioni descrittive, quantitative ed iconografiche.

Nello sviluppo della cartografia cambia il significato che veniva dato tradizionalmente alla classificazione di cartografia di base e cartografia tematica: la possibilità di elaborare le informazioni secondo la necessità in tempo reale nei calcolatori tende a mettere in luce la tematicità di tutte le carte. Il punto cruciale è la certificazione dei dati e la loro coe-

renza in modo da permettere incroci e analisi secondo le necessità che via via emergono.

La struttura e l'organizzazione dei dati geometrici e dei dati alfanumerici, oltre alle iconografie, costituiscono un argomento apparentemente tecnico e lontano dalle conoscenze necessarie per la gestione informatica del territorio.

In realtà vi sono molte considerazioni che fanno ritenere fondamentale tale approccio. Solo un buon progetto che consideri le finalità del sistema informativo, quali dati sono necessari agli utenti finali, quale organizzazione devono avere i dati per la funzionalità del sistema può farci capire come articolare il progetto e come scegliere macchine e programmi.

In questo senso è fondamentale partire dall'analisi dei sistemi informativi aziendali e dalle loro esperienze per impostare soluzioni corrette e innovative nella pubblica amministrazione, ricordando che il Sistema Informativo Geografico non è né cartografia, né mappatura statistica, né modellistica, né banca dati: è qualcosa che comprende tutto questo, ma lo supera e lo può incrociare con l'automazione d'ufficio della pubblica amministrazione. Il suo uso può e deve modificare l'organizzazione del lavoro e il processo decisionale politico.

Come accennato attraverso il termine di iconografia, la fotografia stessa è un elemento basilare della scheda, in quanto ormai con evidenza sono state dimostrate le molteplicità di uso e di finalità dell'immagine.

La questione non è solo passare dalla fotografia generica alla fotografia di paesaggio o di architettura (una questione di generi simile alla specializzazione dei pittori, ritrattisti, paesaggisti).

Non solo si riconosce anche il fatto che alla fotografia convenzionale (bianco e nero, colore, falsi colori) si è affiancata la fotogrammetria che associa all'immagine la misura, ma anche si fissa l'attenzione sul che cosa far vedere, il che implica a sua volta l'idea di progettare il rilievo e chiarisce uno degli usi strumentali del sopralluogo. Tutto questo significa legare al modello del Sistema Informativo Geografico anche banche di immagini con diversi valori informativi.

L'analisi delle applicazioni dei Sistemi Informativi Geografici mostra la versatilità dello strumento e inizia ad illuminarne le potenzialità, ma se abbiamo l'accortezza di inquadrare il discorso sulle applica-



zioni dei GIS nel contesto dell'automazione e modernizzazione del lavoro, possiamo illuminare meglio di quali prospettive si può ragionevolmente parlare. In primo luogo vediamo alcuni aspetti generali. È evidente che nella pubblica amministrazione esiste un interesse, per ora solo agli inizi, verso l'integrazione tra automazione d'ufficio, informatizzazione delle procedure e degli aspetti gestionali del lavoro, Sistemi Informativi Geografici e progettazione. Nei lavori di progettazione e di pianificazione trovano particolare interesse le applicazioni di archivi e rappresentazioni grafiche e strumenti di progettazione assistita da calcolatore e, d'altra parte, negli ambienti industriali si sottolinea che nelle applicazioni della grafica questi strumenti generano particolari attenzioni nei lavori di progettazione e di pianificazione. I risultati dimostrano miglioramenti sostanziali nella qualità, nella tempestività di produzione, nella capacità di ricorrere all'innovazione e nella flessibilità rispetto alle esigenze di mercato.

Nello stesso tempo si aprono prospettive di miglioramento del reperimento di informazioni, della loro elaborazione, dal passaggio verso la conoscenza tramite l'intelligenza artificiale, i sistemi esperti, il reperimento intelligente.

In secondo luogo si possono vedere alcuni aspetti specifici relativi ai settori di impiego dei GIS.

A livello di Comunità europea e a livello nazionale si inizia a vedere l'emergere di interessi consistenti verso la standardizzazione o meglio la comunicabilità dei dati: le applicazioni non sono più eventi isolati, ma presentano interessi di cooperazione. I campi sono quelli di intervento sul territorio da parte degli enti locali e degli organi dello Stato, da parte delle municipalizzate e dei gestori di servizi tecnologici e di comunicazione (trasporti e telecomunicazioni), da parte ancora di servizi di emergenza. Citiamo allora le necessità del catasto e le potenzialità che questi strumenti possono offrire, come dimostra la strada intrapresa dalla Svizzera con la Riforma della Misurazione Ufficiale, avviata già nel 1977, oppure ricordiamo le esperienze italiane di applicazioni ai beni architettonici, ambientali, archeologici, artistici e storici che nel corso degli ultimi tre anni hanno portato a grandi risultati, visibili nell'Atlante delle piazze italiane, piuttosto che nel Catalogo delle ville venete, o nel progetto Neapolis, in mostra a New York lo scorso anno, o in

altri lavori apparentemente più lontani, come gli archivi storici e le applicazioni al campo del restauro. L'integrazione tra schedatura, distribuzione territoriale e pianificazione delle attività e operatività mostra potenzialità di grande portata. In città come Bergamo, Genova, Padova, Sesto San Giovanni, Torino e Verona, per citarne solo alcune, le pubbliche amministrazioni stanno coinvolgendo in un unico progetto diversi uffici interni, municipalizzate, catasto e servizi al cittadino.

A New York un vasto raggruppamento di società ha affrontato il problema dell'informatizzazione come problema globale di riorganizzazione della pubblica amministrazione per uscire dalla crisi dell'ente locale.

PER UN CORRETTO APPROCCIO ALL'AUTOMAZIONE

Un GIS non può essere rappresentato soltanto da un calcolatore personale isolato che gestisce dati e grafica: di fatto, una simile semplificazione o non risponde ai requisiti fondamentali del GIS o è sopra-dimensionata alle necessità reali. Il concetto reale di GIS si può sviluppare dove vi sono grandi quantità di dati e di informazioni da trattare e analizzare e la loro integrità è essenziale, dove vi sono molti utenti che li devono usare in tempi diversi o in accesso simultaneo, e la comunicazione tra i diversi utenti condotta in termini convenzionali richiederebbe tempi non sopportabili con il processo decisionale.

La scelta di ricorrere al GIS richiede la formazione di una visione strategica e il ricorso a strumenti facili da usare, cioè il più possibile vicini alla cultura degli utenti. Le esperienze in atto mostrano che il progetto di un GIS deve misurarsi concretamente sulla definizione di obiettivi ben chiari, raggiungibili, dimostrabili attraverso opportune misure dei benefici e un corretto impegno nella comunicazione dei risultati. Tutti gli utenti devono risultare coinvolti. In termini molto precisi vanno affrontate le analisi delle prestazioni, delle integrazioni tra ambienti, delle personalizzazioni per la manipolazione dei dati, della organizzazione del lavoro e della manutenzione del sistema.

La dimensione dell'ente (in termini economici e demografici, non fa differenza) e la dimensione dei dati definiscono la dimensione del progetto: su questa si baserà la scelta di formare per esempio dei consorzi per raggiungere dimensioni oppor-



tune e per favorire efficienze di attuazione del servizio, piuttosto che la decisione di scegliere soluzioni basate su specifiche architetture composte da un calcolatore centrale o da una rete di stazioni di lavoro o da una soluzione mista con una base di dati distribuita e gestita in modo unitario.

Dove, però, si deve fare più attenzione è nella programmazione degli investimenti e nel bilancio tra costi, benefici ed efficienza del sistema.

Questi aspetti sono tutt'altro che secondari, perché prima che una soluzione tecnica o politica, la informatizzazione e l'applicazione di un GIS è una scelta culturale con riflessi nell'economia e nell'efficienza dell'erogazione di un servizio, del processo decisionale e della pianificazione dell'assetto territoriale. I benefici sono riferiti a diversi settori, ma come valutare la significatività degli investimenti e i risparmi rispetto ai criteri convenzionali? Alcuni aspetti, come la qualità del servizio offerto agli addetti e ai cittadini, sono senz'altro quantificabili sia nel campo delle attività correnti, sia in settori che risultano praticabili proprio grazie ai nuovi strumenti, sia negli interventi in caso di emergenze o catastrofi. Altri benefici sono indiretti come nel caso di decisioni più accurate o la gratificazione del lavoro.

Un'altra voce però potrebbe essere a buon diritto introdotta nell'elenco: la fornitura e la vendita di informazioni.

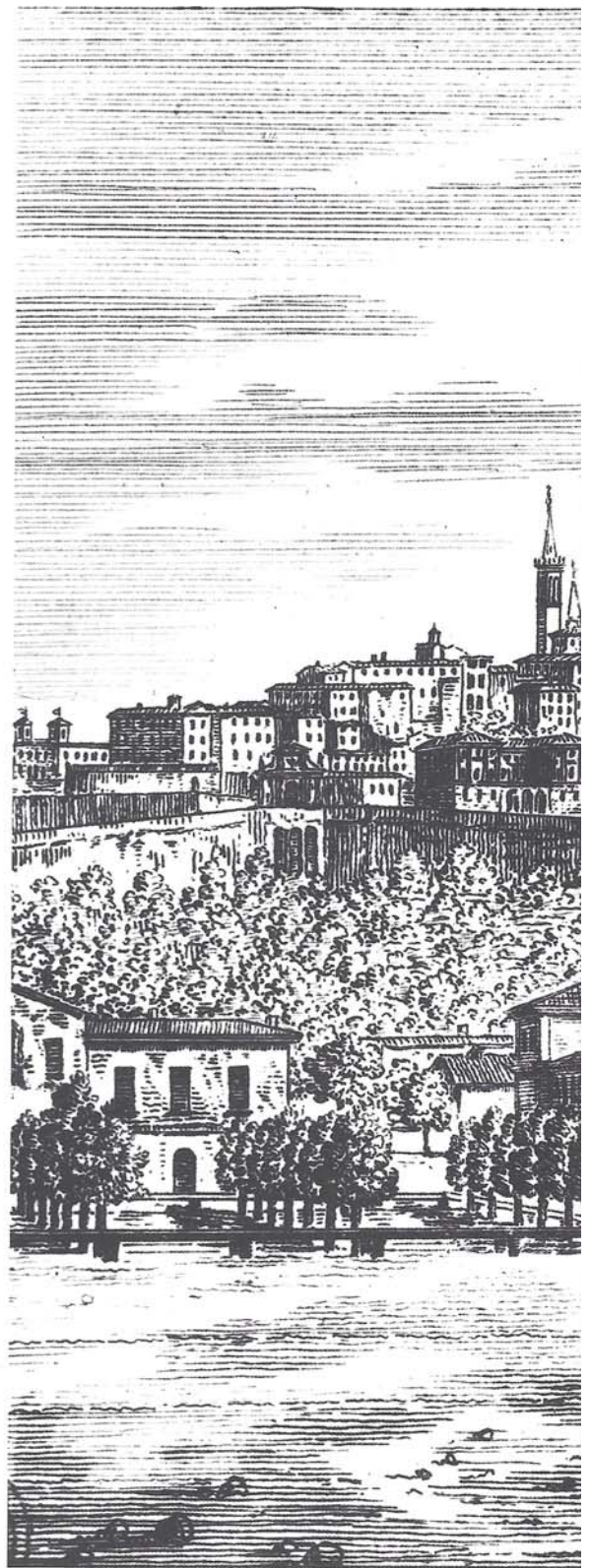
I costi di studio, avvio e di messa a regime di un GIS sono alti e richiedono molti investimenti. Solo un attento progetto e la definizione di traguardi con risultati immediati permettono di avviare operativamente il GIS, superando eventuali rischi di fallimento. Come ogni progetto complesso e costoso, anche qui è necessario partire con visioni strategiche e capacità operative ben salde, giocando un ruolo di cooperazione tra attori abituati a lavorare in campi nettamente separati.

Di fronte a questi sviluppi devono porsi anche le università e i politecnici per affrontare i GIS nel quadro dei loro compiti istituzionali di formazione e nella complessità che va dall'organizzazione del lavoro all'organizzazione dei dati, dall'architettura dei sistemi di macchine agli standard di comunicazione e alla modellazione dei problemi.

Oltre alle aspettative e gli investimenti delle grandi industrie e l'espansione di società di servizio e di consulenza, dobbiamo considerare gli ambienti quali gli enti territoriali che necessitano di profonde riorganizzazioni e innovazioni nel lavoro. In mezzo potrebbero stare le università per fornire formazione e sperimentazione in modo da costituire una struttura tripolare capace di affrontare questi nuovi progetti con la massima probabilità di riuscita.

Per i progetti di modernizzazione degli uffici della pubblica amministrazione è necessaria l'individuazione di persone che credano nel progetto e nella costruzione di progetti che coinvolgano direttamente gli utenti finali. Questo è il punto di maggior delicatezza e di maggior importanza: l'informatica avrà successo se e solo se sarà stata importata all'interno della pubblica amministrazione per risolvere problemi concreti e per aiutare gli utenti finali. Il progetto deve cogliere consenso, ma anche deve essere realizzato consci che la sua attuazione comporterà una diversa organizzazione interna del lavoro.

È essenziale che la pubblica amministrazione segua la strada del coinvolgimento, della coopera-



Le "vedute" o i panorami delle incisioni ottocentesche per quanto espressione di una grande sensibilità pittorica muovevano dall'esigenza di una conoscenza precisa della città. In queste pagine, una incisione di Bergamo (Stampe Bertarelli, Milano - Foto Saporetto).

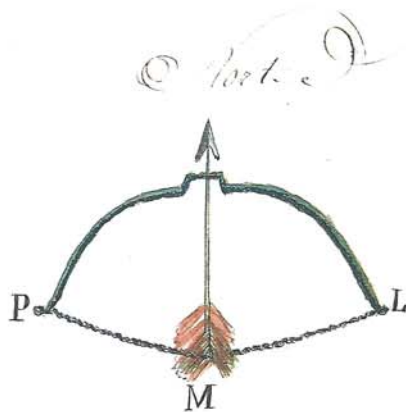
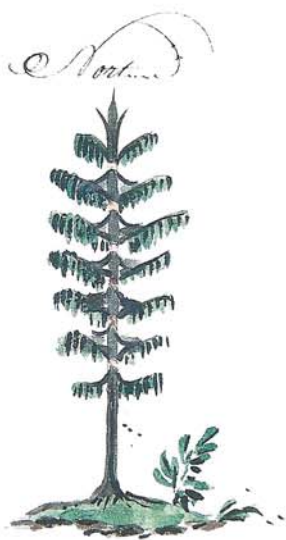


zione e del riordinamento del personale, perché solo così eviterà il rischio di inutili spese; è essenziale che affronti un progetto complessivo, che riguardi anche la comunicazione tra macchine e programmi affinché i collegamenti interni ed esterni siano garantiti con la massima semplicità e nello stesso tempo sapendo che esistono anche livelli di complessità per la gestione delle reti, dei programmi e delle macchine che richiedono, nonostante tutto, livelli adeguati di professionalità.

Rispetto a quanto detto allora risulta fondamentale la definizione del progetto di Sistema Informativo Territoriale come parte del processo più vasto di

modernizzazione del lavoro nelle pubbliche amministrazioni. L'obiettivo non è la memorizzazione delle informazioni, ma la definizione delle elaborazioni necessarie. Il punto di vista dell'utente finale, i criteri del suo lavoro o le tipologie di servizio che si intende erogare diventano i principi informatori del progetto: non esiste in altre parole un'automazione d'ufficio astratta, né un sistema informativo di base che vadano bene per tutti.

Bisogna iniziare da qui con la volontà di migliorare l'ambiente di lavoro e rendere più efficiente l'erogazione dei servizi secondo le finalità della pubblica amministrazione: tra questi ha primaria importanza l'innalzamento di qualità delle decisioni.



L'INFORMATICA NELLA PIANIFICAZIONE COMUNALE

Il problema della conoscenza degli oggetti fisici e delle attività socio-economiche da pianificare è sempre stato una questione centrale per la teoria e per la pratica urbanistica; a livello teorico infatti sono stati elaborati manuali di analisi urbanistica e testi di valutazione e di organizzazione dei dati territoriali, mentre a livello di prassi urbanistica esistono casistiche di grande interesse scientifico. Ma l'aspetto centrale, sempre irrisolto, della conoscenza urbanistica è rappresentato dalla possibilità di aggiornare le analisi in tempo reale, in modo cioè da stabilire un processo di circolarità continua tra conoscenza-decisione-azione-effetto dell'azione che è l'unico modo per verificare se un intervento preventivato è stato realizzato, se ha conseguito i risultati attesi, come ha modificato l'assetto complessivo dell'area e quindi quali nuove decisioni dovrà assumere l'operatore.

La possibilità di utilizzare un sistema di conoscenze completo e aggiornato è uno degli elementi sui quali può essere rifondato il ruolo di indirizzo e di orientamento di tutti gli operatori territoriali, ruolo che deve essere, in prima istanza, della pubblica amministrazione.

Certamente un sistema di conoscenze completo e aggiornato (e vedremo come tale sistema può essere rappresentato dai sistemi informativi geografici) non risolve tutta la complessità decisionale e gestionale della pianificazione territoriale in cui interagiscono un elevato numero di variabili e di componenti che operano secondo logiche non facilmente scomponibili e correlabili, tuttavia attrezzare gli operatori pubblici della pianificazione territoriale di strumenti conoscitivi agili, completi e coordinabili, è un passo importante per garantire l'efficacia del processo di gestione territoriale.

Lo sviluppo e la diffusione della tecnologia informatica ha consentito di organizzare più efficacemente la complessità delle informazioni, giungendo a organizzare anche dati ricche, facilmente consultabili e tra loro relazionabili, lasciando però irrisolto il tema della definizione fisica degli oggetti geografici e delle loro relazioni spaziali, tema affrontato con i metodi tradizionali delle cartografie tematiche (carte storiche, militari, catastali, urbanistiche).

Il passo successivo operato in ambito informatico è stato dunque quello di arrivare a costruire un Sistema Informativo Geografico, capace di acqui-

sire i dati geometrici e di descriverne gli attributi e di associare ai dati geografici, dati di altra origine (attività, caratteri dell'oggetto, normative vigenti), con la possibilità di offrire letture interrelate e di formulare interpretazioni, valutazioni e previsioni.

Queste innovazioni in campo informatico rappresentano l'occasione per affrontare più efficacemente il tema della conoscenza e quindi per valorizzare il ruolo di governo degli enti territoriali, solo se il Sistema Informativo Geografico viene concepito come uno strumento della pratica amministrativa della pianificazione urbanistica: gli enti locali e la pubblica amministrazione preposta al governo del territorio, infatti, esercitano un'azione di piano che è già dotata di procedure conoscitive, operative e gestionali e ad essa va raccordata l'importante occasione delle tecnologie e delle procedure informatiche.

La nuova legge sulle autonomie locali approvata in Parlamento nel giugno 1990 ridefinisce competenze e ruoli degli enti locali e i rapporti tra questi e le Regioni, ribadendo principi quali:

- la Regione determina gli obiettivi generali della programmazione economica, sociale e territoriale e su questa base ripartisce risorse destinate al finanziamento del programma di investimenti degli enti locali;

- la Provincia predispone e adotta il piano territoriale di coordinamento che, ferme restando le competenze dei Comuni, determina indirizzi generali di assetto del territorio, in particolare indica le diverse destinazioni per prevalente vocazione del territorio, la localizzazione delle maggiori infrastrutture e delle principali linee di comunicazione, le linee di intervento per la sistemazione idrica, idrogeologica e forestale, le aree dove istituire parchi;
- il Comune esercita tutte le funzioni amministrative che riguardano la popolazione e il territorio comunale nei settori dei servizi sociali, dell'assetto del territorio e dello sviluppo economico;

- sono istituite le Aree metropolitane di Torino, Milano, Venezia, Genova, Bologna, Firenze, Roma, Bari, Napoli con funzioni di tipo provinciale o di carattere sovracomunale, tali funzioni devono essere svolte in modo coordinato.

Sulla base di questo nuovo, organico disegno di competenze e di funzioni, ogni istanza amministrativa proposta al controllo e all'indirizzo dello sviluppo territoriale dovrà riorganizzare le proprie

Valeria Erba

Valeria Erba, architetto, è docente ordinario presso la Facoltà di Architettura di Milano, dove svolge attività didattica e di ricerca nel campo della legislazione urbanistica e dei settori che caratterizzano la pianificazione territoriale. Redattrice di Urbanistica Informazioni e membro effettivo dell'Istituto nazionale di urbanistica, ha diretto il Dipartimento di Scienze del Territorio dal 1981 al 1986, è Prorettore dal 1987; ha pubblicato numerosi saggi e scritti sui temi di pianificazione comunale, dei sistemi informativi per la pianificazione, con particolare riferimento alla situazione della Lombardia e dell'area metropolitana milanese.



procedure informative finalizzandole agli obiettivi gestionali dell'ente, utilizzando cioè proprio il momento gestionale come campo di verifica della funzionalità del sistema informativo progettato, questo per evitare sprechi e errori di progettazione del sistema e valorizzare il momento retroattivo della gestione che è anche la verifica dell'efficacia di un'azione decisionale.

Regioni, Province, Aree metropolitane e Comuni dovranno cioè valutare, in modo coordinato, quali atti di gestione e di pianificazione sono chiamati a compiere per avere chiaro quale è il sistema di conoscenze che supporta il piano e la sua gestione. In una fase, come quella che sta aprendo, di puntualizzazione dei confini delle competenze tra i diversi livelli di governo (vengono praticamente istituiti due nuovi livelli di governo territoriale, la Provincia e l'Area metropolitana), si dovrà prestare molta attenzione alla progettazione del Sistema Informativo Geografico prima di avviare concrete forme di sperimentazione: questa esigenza è particolarmente sentita a scala sovracomunale, dove l'esperienza di pianificazione è ancora giovane e contraddittoria (vedi l'esempio dei piani paesistici, inseritisi nell'incerto quadro della pianificazione di coordinamento regionale).

Maggiormente consolidata, invece, è l'esperienza di pianificazione comunale dove si può registrare una maggior chiarezza di competenze e di obiettivi d'azione e dove è già avviata un'azione di informatizzazione di alcuni settori (l'anagrafe, la bollettazione dei consumi energetici, telefonici, di raccolta di rifiuti urbani, i ruoli delle tasse) che hanno portato alla sostituzione di archivi cartacei con archivi elettronici con grande vantaggio operativo e gestionale.

Il Sistema Informativo Territoriale comunale si presenta dunque come un'occasione praticabile di definire un quadro conoscitivo e interpretativo dei fenomeni territoriali e di gestire in modo aggiornato e credibile l'attuazione del piano, prevedendo forme di integrazione o di revisione dello stesso, là dove si verificano incongruenze tra la realtà e il suo sviluppo e la normativa vigente.

Il Sistema Informativo Territoriale (per il quale useremo la sigla SIT) comunale consente infatti, nella sua configurazione già sperimentata, di visualizzare in tempo reale lo stato di fatto, di analizzarlo, incrociando opportunamente le informazioni in archi-

vio, di leggerne la funzionalità rispetto a problematiche emergenti come i servizi pubblici, il traffico, il degrado edilizio, di introdurre nuovi progetti e di simularne gli effetti indotti.

Anche una superficiale conoscenza delle esperienze già avviate, comunque, non può non mettere in luce le difficoltà operative, tecniche e finanziarie che ancora gravano su questo settore e che si possono sintetizzare in tre punti:

1. la scelta delle procedure di trattamento automatico dei dati (quale software acquistare)
2. le fonti di informazione (quali dati, come ottenerli)
3. la gestione del Sistema Informativo Territoriale (come legarlo alla generalità della gestione territoriale).

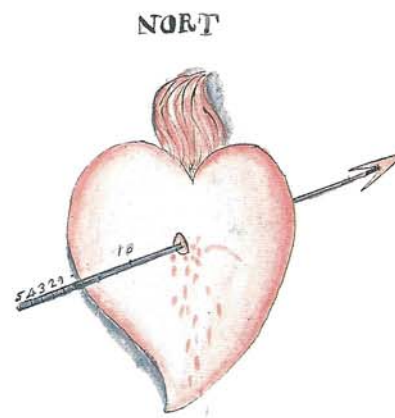
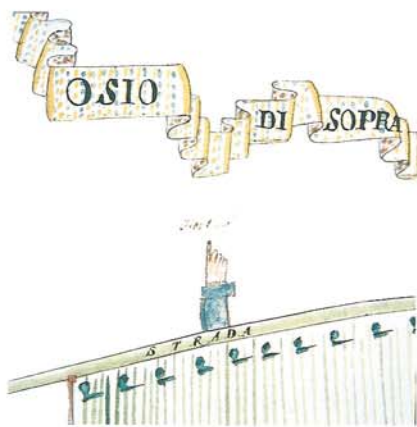
Per quanto riguarda la scelta del software da acquistare, è necessario che l'amministrazione comunale valuti preventivamente le finalità che si pone, le risorse di cui dispone, eventuali condizionamenti che possono venire da macchine già acquistate e operanti, avendo chiaro che non è possibile un approccio totalizzante al problema dell'informazione, cioè l'acquisto del più potente hardware e software esistente sperando che risolva ogni problema, ma che è preferibile progettare il sistema in modo finalizzato, basandosi su un concetto di sistema modulare evolutivo, con possibilità di continua crescita, un sistema, cioè, flessibile e integrabile.

Ovviamente è necessario conoscere i settori più significativi della gestione comunale, interessati all'integrazione informatica territoriale, cercando di coinvolgere anche settori non comunali come le aziende municipalizzate, il catasto, i servizi che hanno rilevanza territoriale. La verifica della disponibilità di tali enti consentirà di capire anche quali dati sono disponibili, come possono essere raccolti, come possono essere coordinati.

La progettazione del Sistema Informativo Territoriale si basa su procedure di acquisizione di dati alfanumerici e di dati geometrici che devono essere direttamente correlabili: ciò significa che la digitalizzazione della cartografia (o meglio l'utilizzo di una cartografia numerica) deve prevedere una strutturazione su più livelli, a partire dal livello tradizionale aerofotogrammetrico, per attivare più livelli contenenti dati omogenei o opportuni incroci di dati. Il livello cartografico di riferimento dovrà

Le planimetrie dei beni fondari erano spesso accompagnate da suggestive decorazioni.

In queste pagine le diverse rappresentazioni dell'orientamento Nord che appaiono nei cabrei disegnati per l'inventario dei beni dei fratelli Camozzi, metà Ottocento (Civica Biblioteca Angelo Mai - foto Gianni Aureggi).



Anche se con l'avvento dei catasti i cabrei persero il loro valore legale, essi, tuttavia, conservarono un valore simbolico molto importante: riaffermavano l'esistenza di un potere (quello signorile) sul territorio che raffiguravano.

In queste pagine, cabrei di varie proprietà fondiaria del territorio bergamasco (Biblioteca Civica Angelo Mai, Bergamo - foto Gianni Au-reggi).

essere strutturato almeno come una cartografia catastale, cioè con identificazione dell'unità elementare costituita dal singolo edificio, che potrà poi essere aggregato, per le cartografie tematiche, a scala di isolato, di sezione censuaria o circoscrizionale.

L'unità elementare del singolo edificio dovrà essere identificata anche da uno o più numeri e, al proprio interno, si dovrà poter riferire ad una serie di altre sub unità che sono i dati in archivio (ad esempio gli alloggi, le utenze, la popolazione residente).

Accanto agli edifici, la cartografia numerica deve anche contenere tutti gli altri elementi che compaiono nella descrizione di un territorio urbanizzato o non urbanizzato (le reti, gli elementi viari, la vegetazione, le curve altimetriche, la toponomastica).

La qualità del sistema operativo scelto deve rispondere a requisiti di flessibilità e di semplicità d'uso, deve cioè consentire la modifica e l'aggiornamento della base dati e garantire un uso interattivo con l'utente in modo da ottenere i risultati voluti con l'incrocio di tutti i dati disponibili e di modificare il sistema informativo aggiungendo nuovi dati o modificandoli.

L'interfaccia sistema-utente deve quindi permettere di conversare con l'elaboratore in modo semplice e diretto, senza dover ricorrere a procedure specialistiche informatiche.

Per quanto riguarda la questione di quali dati introdurre nel sistema, il problema non è tanto nella capacità del sistema di accogliere dati, quanto nella possibilità di reperirli in modo sufficientemente rapido o di utilizzare altri archivi informatizzati esistenti. Per i dati geometrici, si ricorre in genere all'appalto di un nuovo volo per aggiornare la cartografia aerofotogrammetrica, o si digitalizza la cartografia esistente, aggiornandola opportunamente. Dovendo procedere con una indagine diretta per l'aggiornamento della cartografia, è opportuno già definire la scheda di indagine relativa all'edificio, qualora non si potessero usare i dati del censimento o si volessero integrare tali dati con altre informazioni.

Da un censimento edilizio dovrebbero derivare tutti quei dati che servono a definire la tipologia dell'edificio, la data di costruzione, lo stato di manutenzione, il numero di alloggi, il titolo di godi-

mento, le destinazioni d'uso presenti, mentre per il calcolo di indici urbanistici significativi (superficie utile, densità territoriale e fondiaria, rapporto di copertura) le informazioni devono derivare dai dati ufficiali dell'ufficio tecnico urbanistico e dalla capacità di calcolo delle procedure informatiche. Tutta un'altra serie di informazioni sull'edificio deriva da altri archivi: l'anagrafe, il piano regolatore, le utenze luce, gas, acqua, il censimento dovrebbero fornire i propri archivi al Sistema Informativo, oppure una opportuna selezione dei dati che consentono di effettuare incroci significativi (ad esempio controllare la destinazione d'uso di un alloggio dal tipo di allacciamento, oppure verificare se è libero controllando i consumi energetici).

La definizione di questa parte del Sistema Informativo Territoriale comunale deve essere condotta avendo chiaro quali sono le finalità previsionali e operative del sistema stesso, ma anche valutando attentamente la possibilità di correlare archivi già esistenti: sarebbe infatti oneroso e inutile caricare il SIT di tutte le aspettative di conoscenza e gestione comunale che non possono essere realizzate se non dagli uffici competenti.

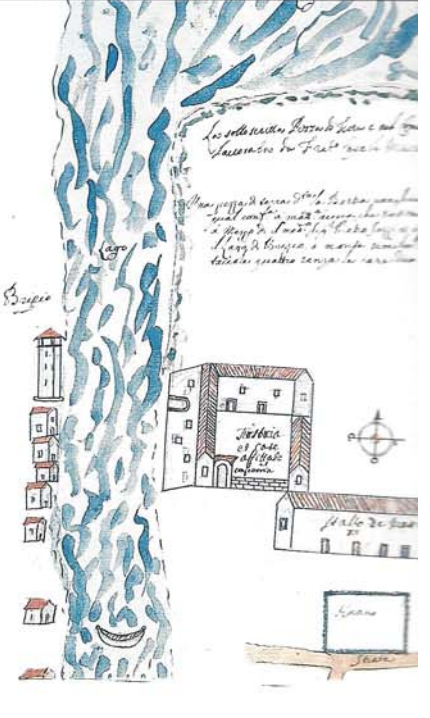
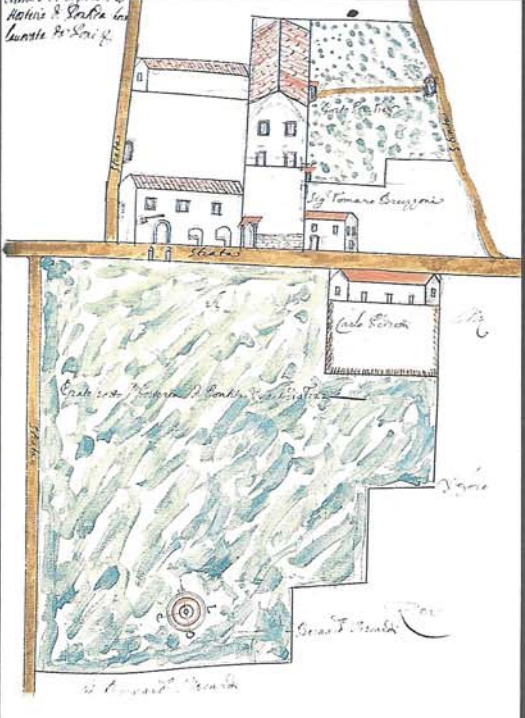
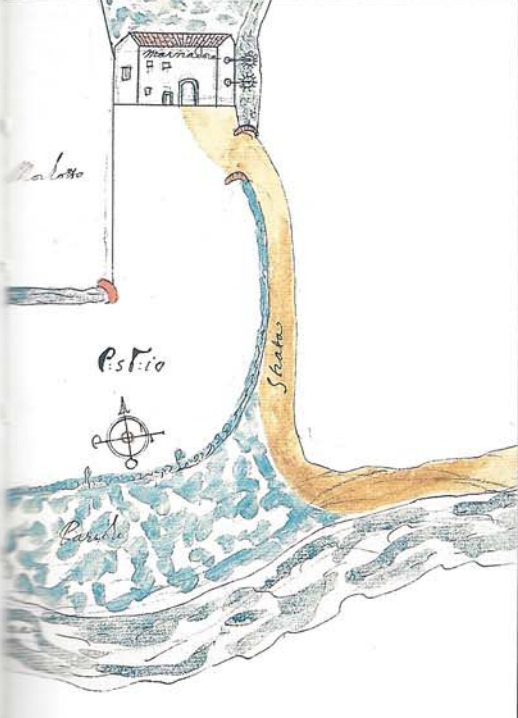
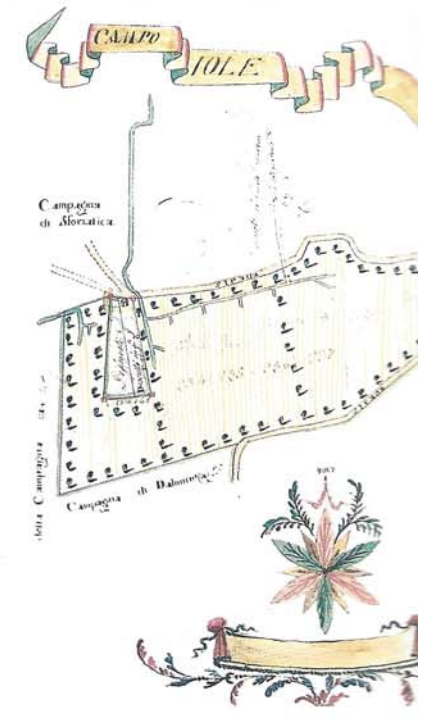
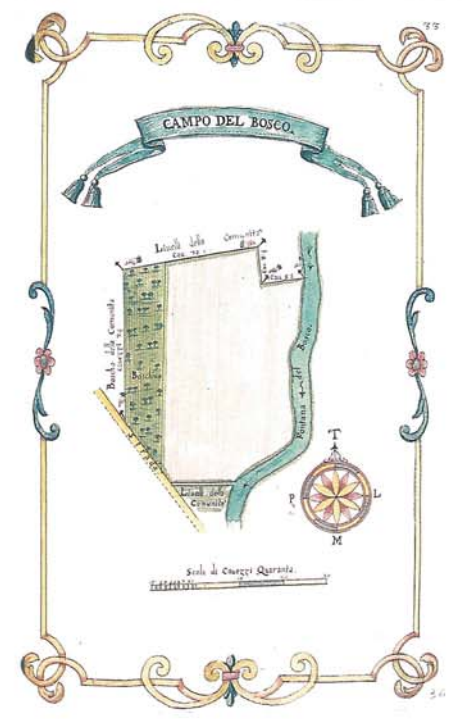
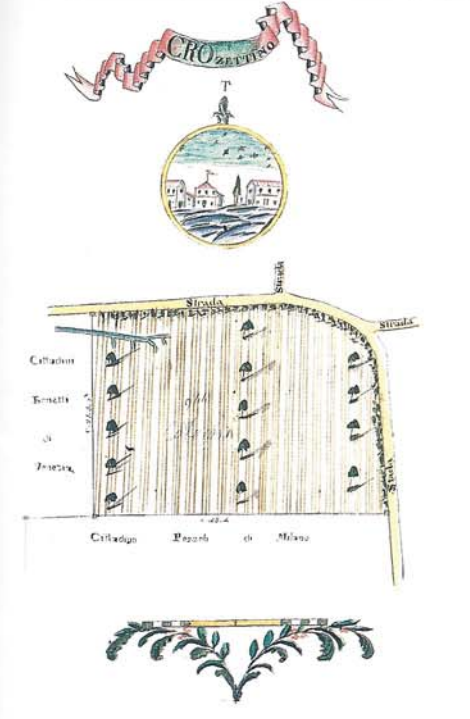
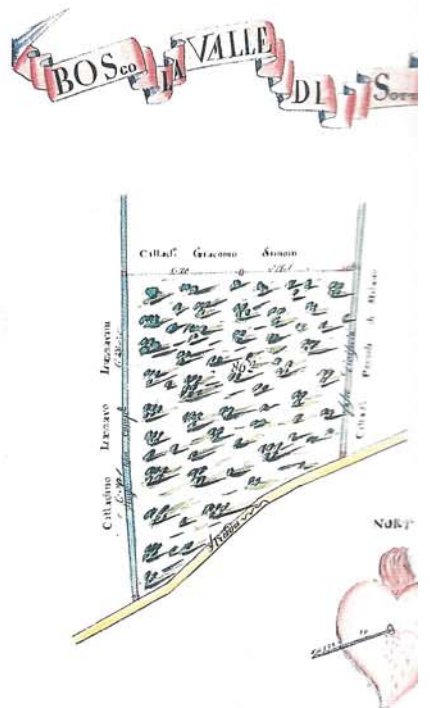
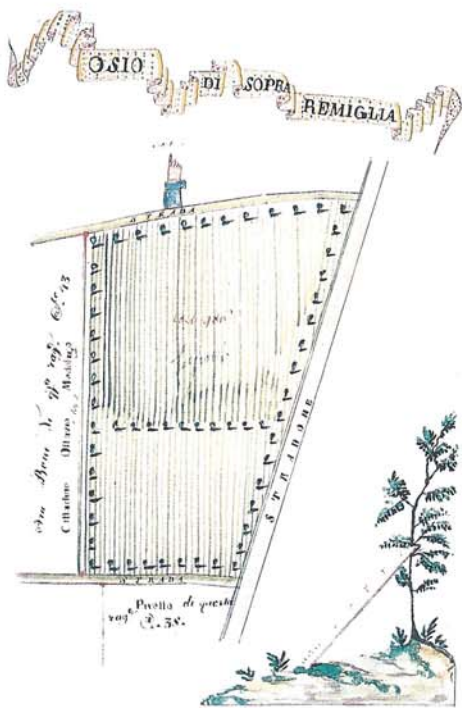
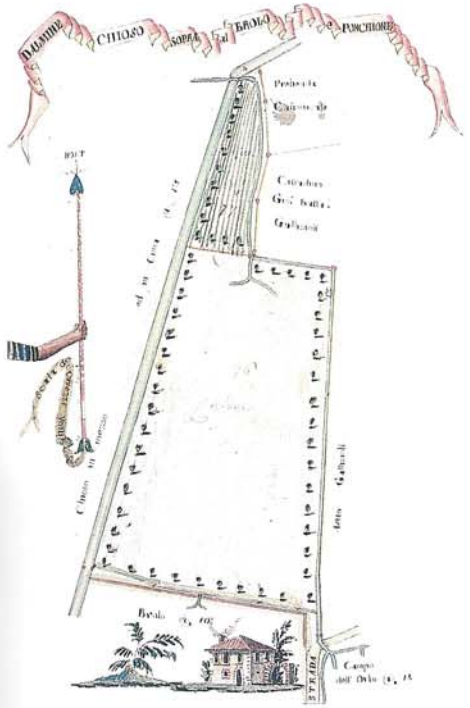
Per poter realizzare l'interfacciamento tra i dati geometrici e i dati alfanumerici è necessario che entrambi gli archivi siano riferibili ad un unico codice che può agevolmente essere rappresentato dall'unità immobiliare ricollegabile all'edificio attraverso la via, il numero civico e la numerazione interna all'edificio.

Anche la raccolta dei dati suggerisce quindi un approccio modulare e in progressione che valorizzi il ruolo dei gestori intermedi e coordini ogni fase della gestione in un sistema integrato di conoscenze.

Il ragionamento appena fatto ci porta immediatamente all'ultima questione rilevante nella definizione di un Sistema Informativo Territoriale: chi gestisce tale sistema?

La concezione di un SIT completo e integrato come quello descritto porta infatti a configurare una sorta di super ufficio con funzioni di programmazione e di supervisione, che potrebbe essere il modo per sancire la non utilizzabilità del sistema stesso.

Il riordinamento e la correlazione degli archivi comunali alla geometria del territorio devono essere invece più direttamente riferiti alle compe-



tenze del Piano Regolatore e degli uffici tecnici, affidando a ogni ufficio la competenza specifica per quanto riguarda la gestione delle singole parti del sistema (l'ufficio concessioni edilizie forma e aggiorna il proprio archivio traducendolo anche in dato geometrico, l'ufficio toponomastico verifica la propria numerazione, l'ufficio cartografico gestisce l'aggiornamento delle carte). La competenza propria dell'ufficio Piano Regolatore è quella di raccogliere e coordinare le singole informazioni ed elaborazioni parziali dei diversi archivi e di costruire incroci significativi e cartografie tematiche utili per valutare lo stato di attuazione del piano e gli effetti indotti sull'insieme delle componenti reali del territorio.

All'interno dell'ufficio Piano Regolatore potrà cioè essere verificata l'efficacia complessiva del Sistema Informativo Territoriale anche attraverso l'introduzione di modelli di simulazione e di valutazione della qualità urbana degli insediamenti, ad esempio valutando l'area di gravitazione effettiva di scuole e di servizi pubblici, oppure i flussi di traffico essendo nota la matrice origine-destinazione del censimento della popolazione.

Un continuo confronto tra i dati dell'attuazione del piano e i dati della normativa vigente consente anche di interpretare l'efficacia delle norme urbanistiche e di valutare l'opportunità di una revisione del Piano Regolatore.

Ho cercato di descrivere le potenzialità di un Sistema Informativo Territoriale per la gestione del territorio, soprattutto alla scala comunale, potenzialità certamente elevate e confermate da alcune esperienze in atto, ma anche legate ad alcune variabili complesse e di difficile controllo come quelle descritte (quale sistema procedurale acquisire, come ottenere e raccogliere i dati, come gestire il sistema). L'approfondito studio e la verifica di questa variabile è la garanzia per poter disporre di un SIT realmente utile e funzionante.

In questa pagina, acquisizione automatica delle mappe catastali per mezzo di un sistema informatico realizzato dal Centro Ricerca IBM di Roma in collaborazione con la Direzione Generale del Catasto. La cartografia catastale esistente ha notevoli dimensioni (trecentomila e più disegni). L'esigenza di aggiornare un archivio siffatto non può essere affrontata se non trasformando l'archivio cartaceo in un archivio elettronico, utilizzando tecniche di visione artificiale: un opportuno software consente di identificare e leggere correttamente disegni e simboli della mappa.

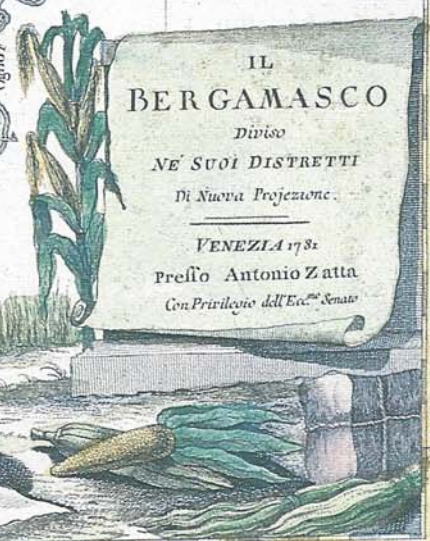


Nella pagina a fianco, territorio di Bergamo, acquaforte di Antonio Zatta, 1781 (Galleria Kefri, Bergamo). È curioso notare che nella decorazione disegnata in basso, a destra, l'autore riproduce i prodotti agricoli tipici della campagna bergamasca.

V A L T E L L I N A

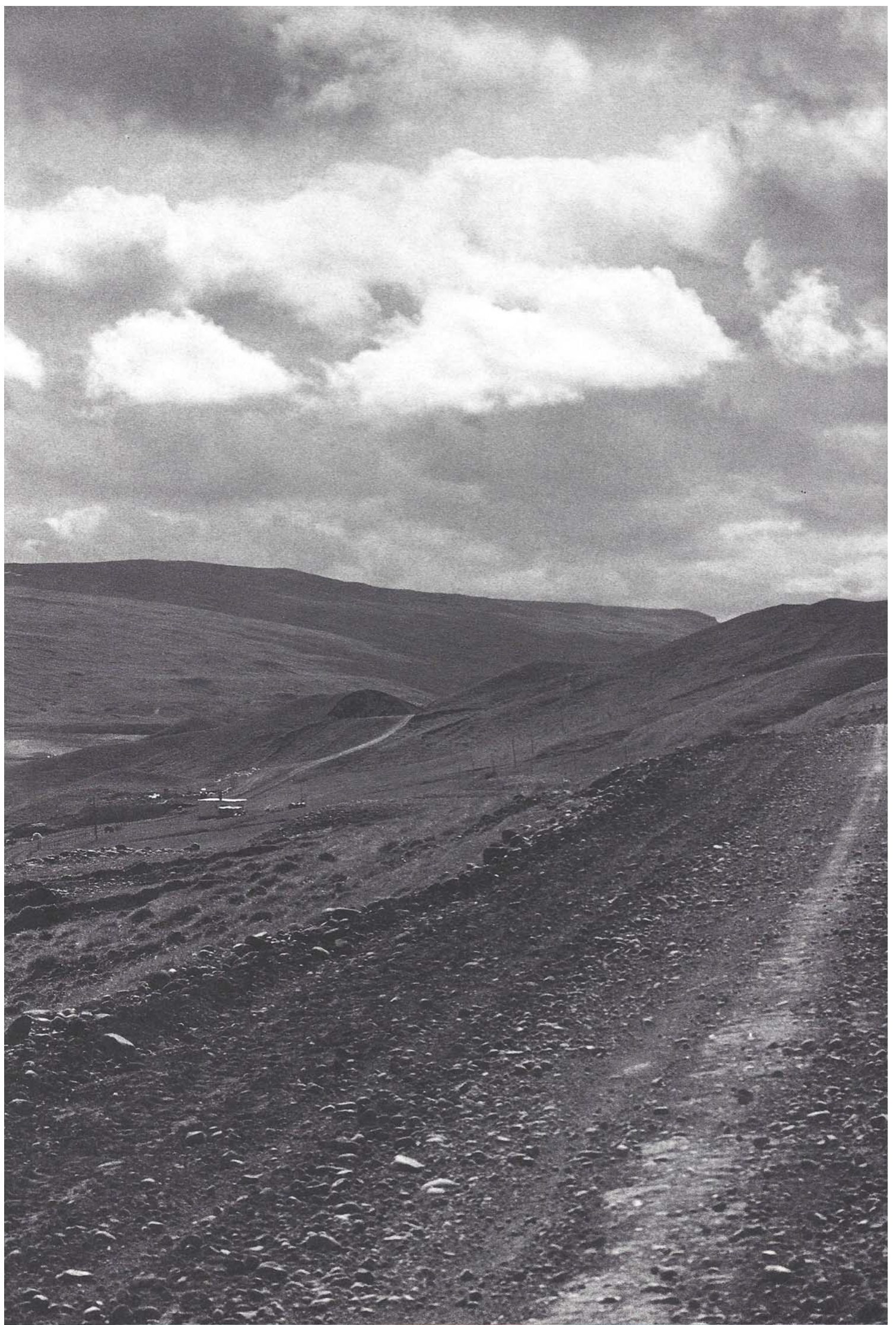


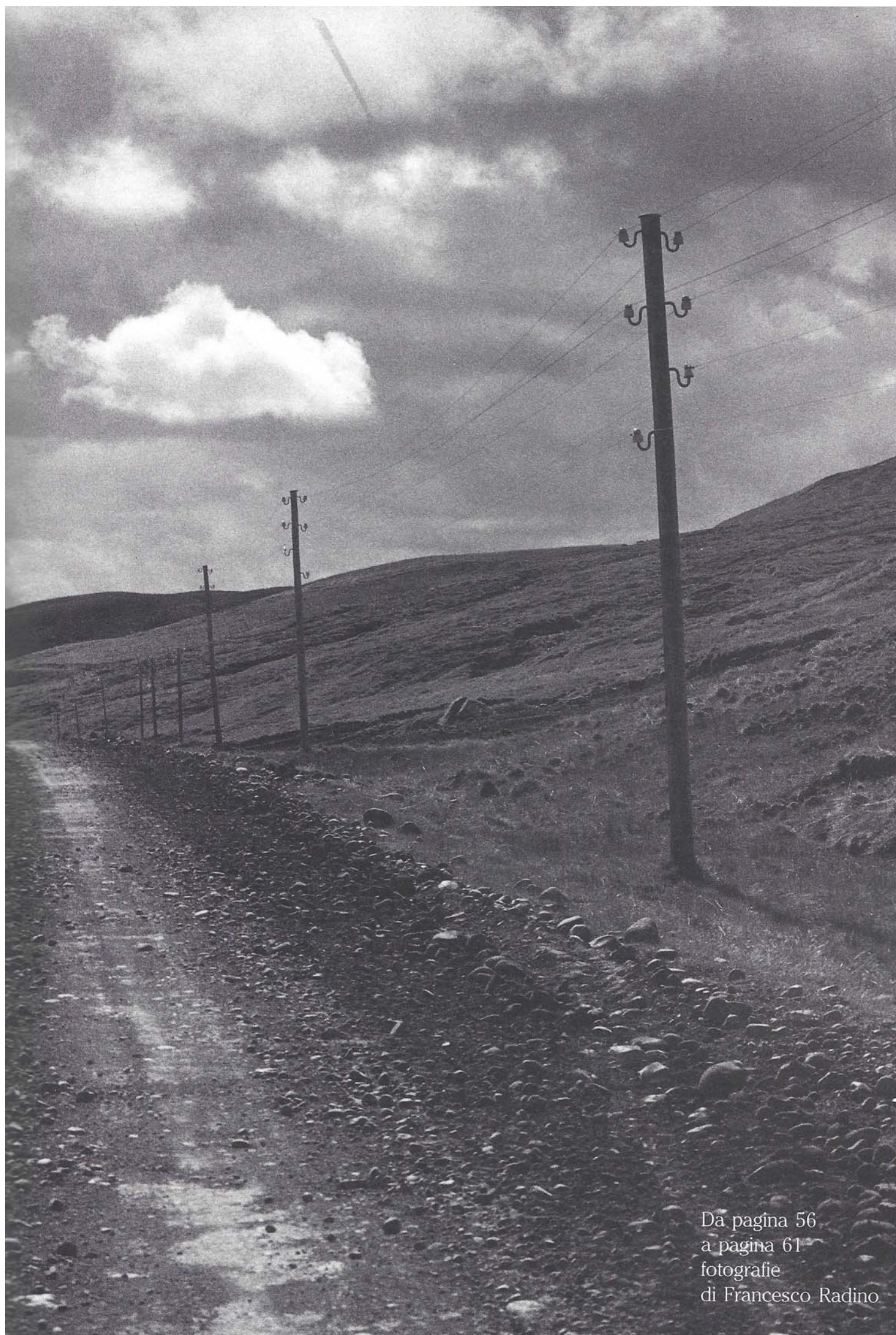
IL
BERGAMASCO
Diviso
NE' SUOI DISTRETTI
Di Nuova Proiezione.
VENEZIA 1782
Presso Antonio Zatta
Con Privilegio dell'Exc.^{ta} Senato



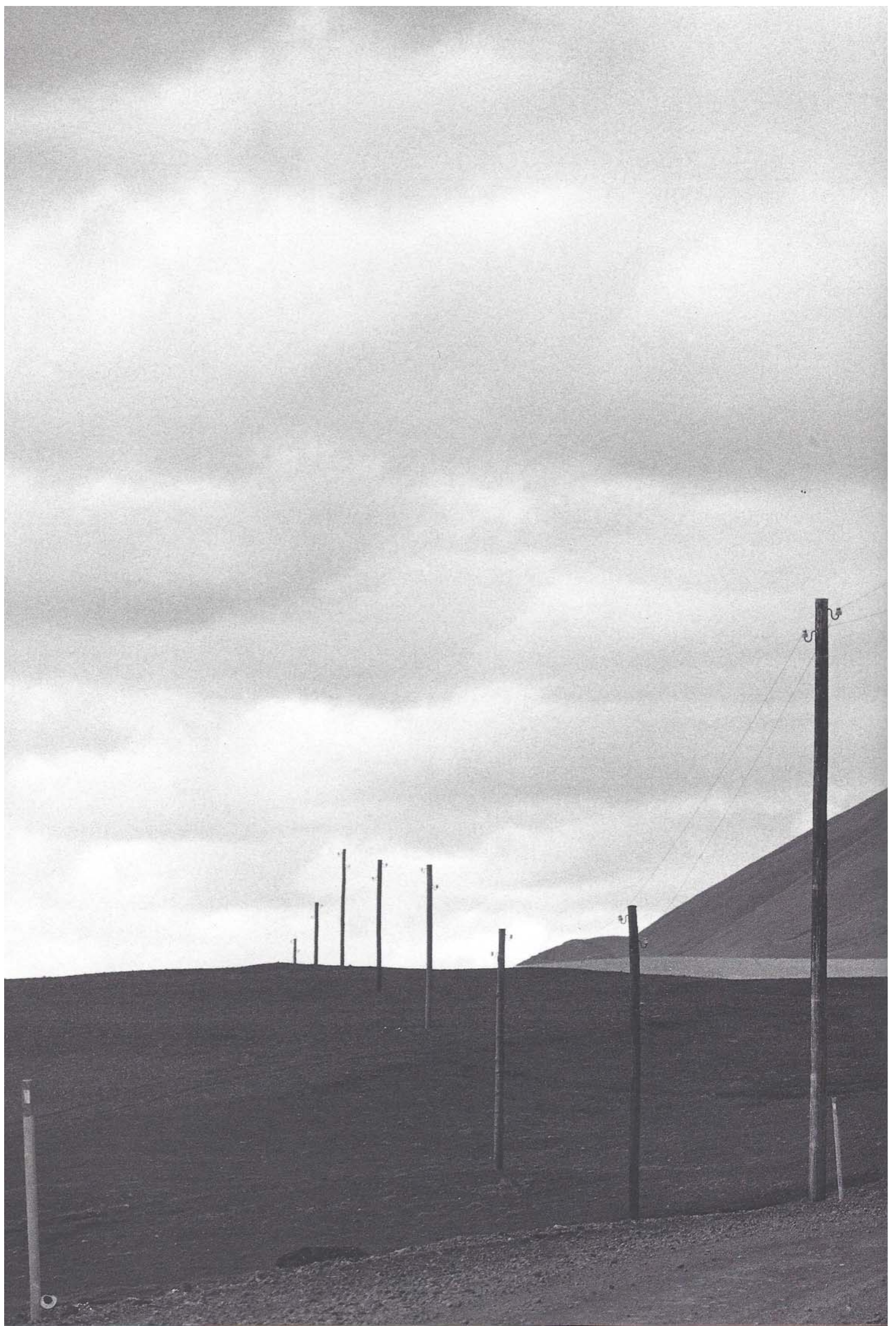
Scala di Miglia 5 Geografiche

ESPRESSO P. DEL CREMASCO

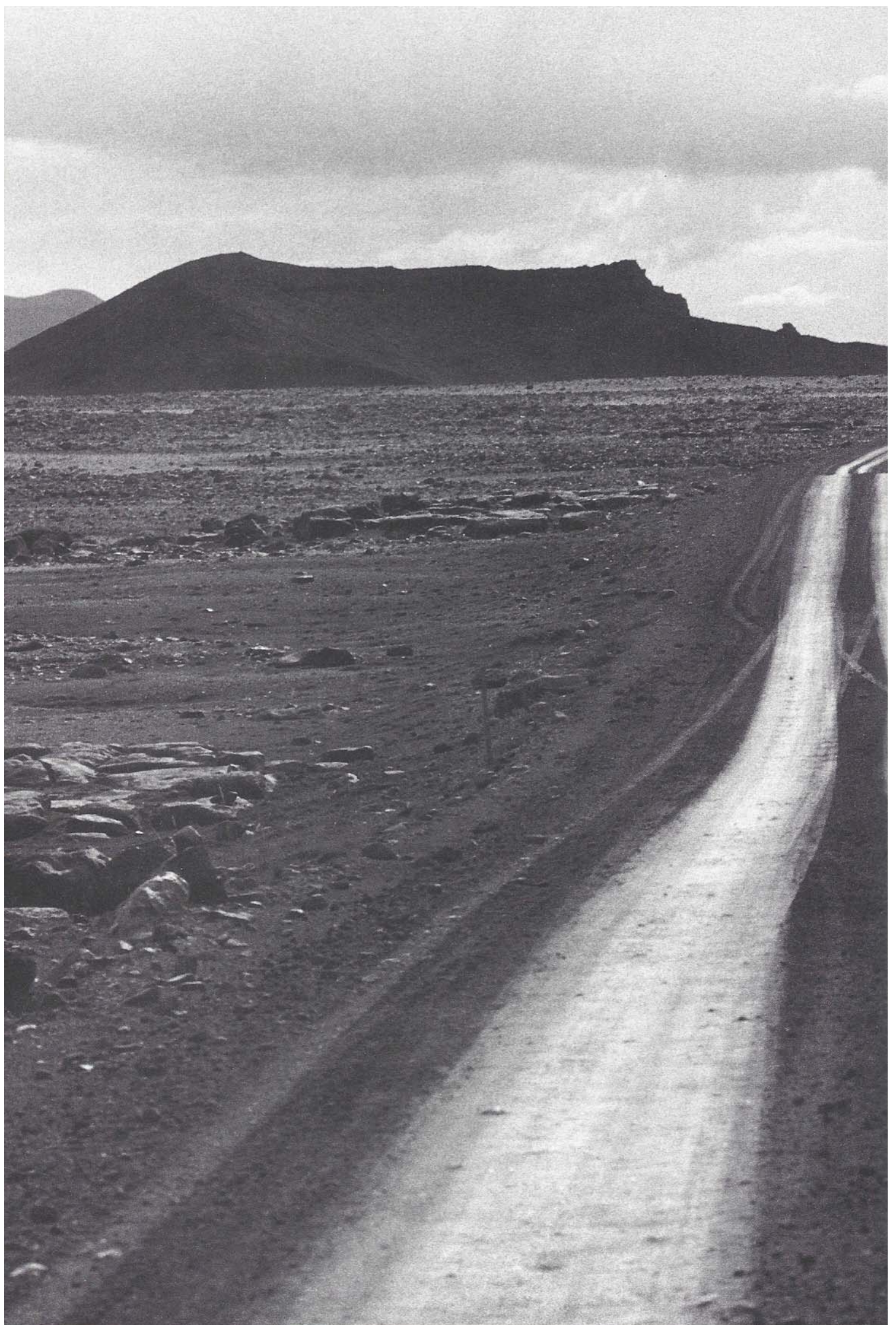


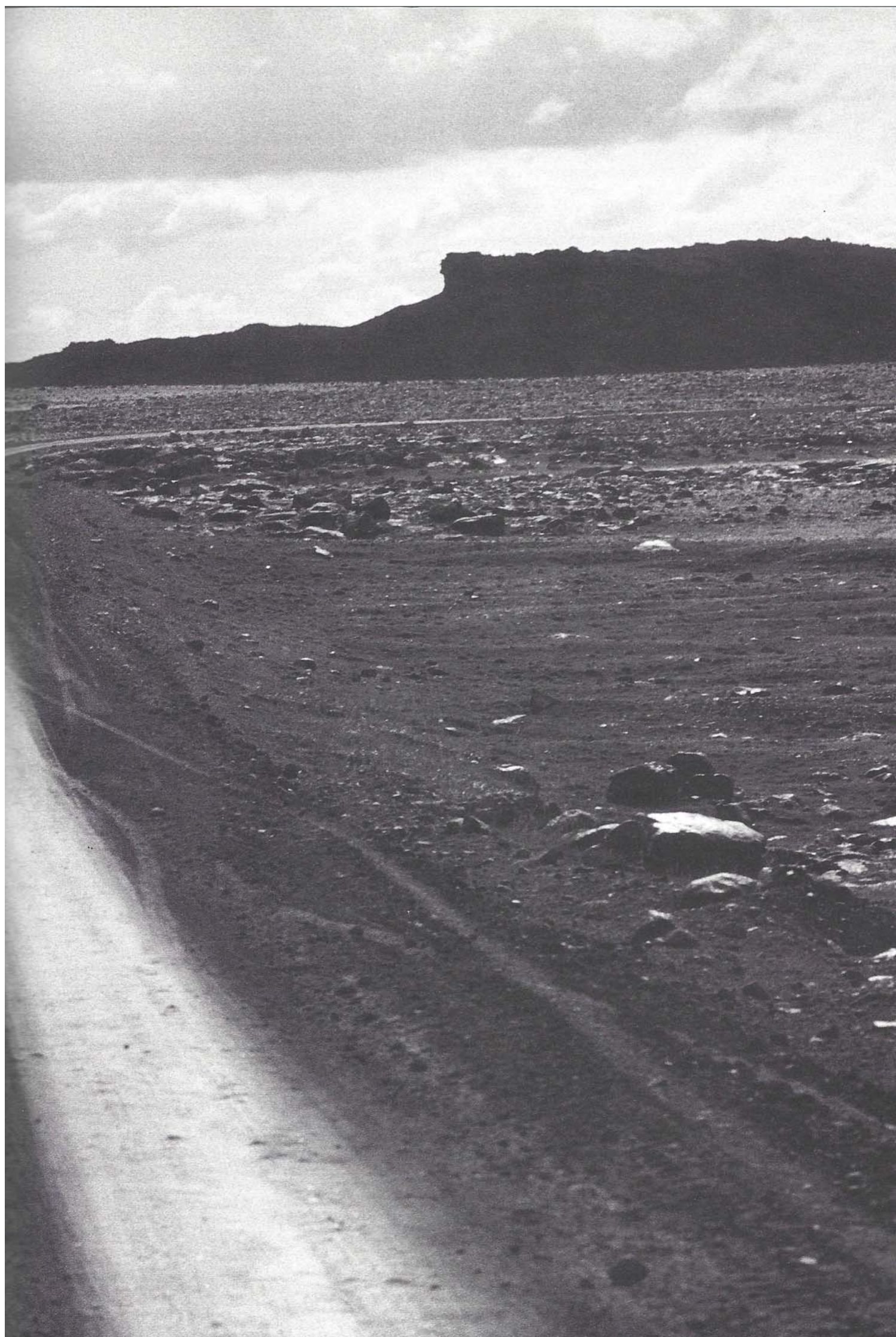


Da pagina 56
a pagina 61
fotografie
di Francesco Radino









TELERILEVAMENTO E QUALITÀ DELLE INFORMAZIONI

Giovanmaria Lechi

Giovanmaria Lechi, ingegnere, si occupa di telerilevamento dal 1970 dedicandosi alla ricerca scientifica ed applicata presso l'Istituto per la Geofisica della Litosfera del CNR, di cui diventerà direttore nel 1981. Nel 1987 ha lasciato il CNR per continuare la propria attività quale professore di Telerilevamento presso il Politecnico di Milano, Istituto di Fotogrammetria, Topografia e Geofisica. È membro fondatore dell'AIT (Associazione Italiana del Territorio).

INTRODUZIONE

L'ambiente ove l'uomo svolge le sue attività, sia esso naturale o artificiale, è continuamente sottoposto a vaglio e critica per l'individuazione di migliori condizioni di vita, di lavoro o di svago; il progetto di un qualsiasi spazio d'uso tiene conto quasi sempre di parametri estetici, funzionali, economici, volumetrici e cromatici che impongono in ogni caso delle rappresentazioni di tipo universale per poter essere trasmesse e comunicate fra persona e persona, fra comunità e comunità: queste rappresentazioni normalmente si concretizzano in disegni, mappe, fotografie, plastici e simulazioni. Anche il territorio — ovviamente — fa parte degli elementi dell'habitat e fino a non molto tempo fa la descrizione prevalente era affidata a carte geografiche o topografiche disegnate con simboli convenzionali, tramite una opportuna scala.

Il controllo dall'alto o da lontano è sempre stato una delle ambizioni dell'uomo, per evidenti motivi di supremazia sia nei confronti degli altri uomini che rispetto all'ambiente circostante.

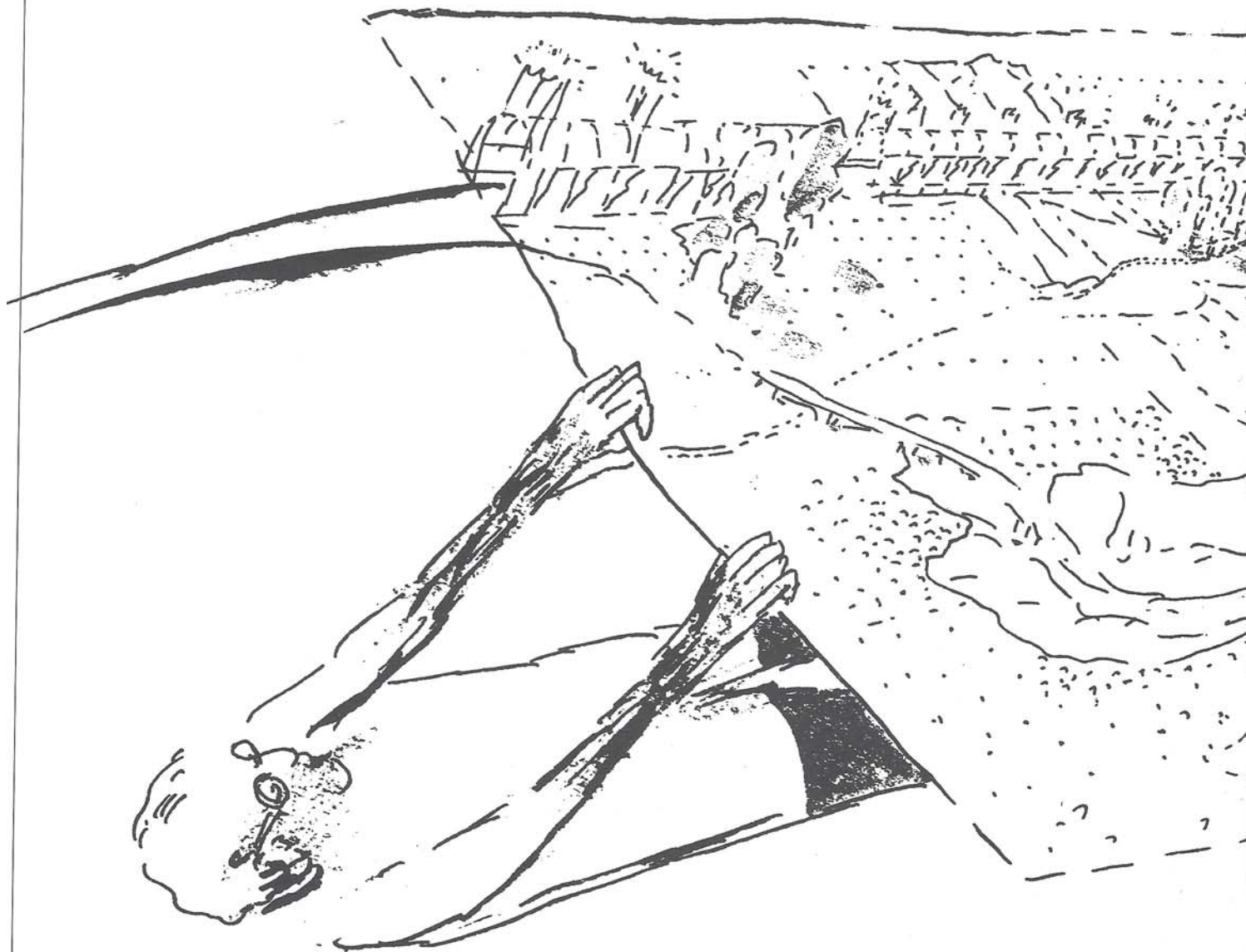
Fra queste forme di controllo bisogna collocare anche le tecniche di telerilevamento, che peraltro si inquadrano molto bene nei tempi presenti, al pari

dell'informatica, delle telecomunicazioni, della telematica.

La distanza dal soggetto da esaminare, e quindi la panoramicità delle osservazioni è solo una delle caratteristiche del telerilevamento, mentre altre, forse meno evidenti, sono altrettanto importanti; l'estensione del nostro apparato sensoriale — che fa capo ai classici cinque sensi — è sempre stata infatti un'altra delle grandi ambizioni, ad oggi soddisfatta solo in parte.

I meccanismi di visione, legati prevalentemente alle caratteristiche dell'insieme occhio-cervello, pur nella complessità e perfezione biologica del sistema naturale, presentano molti limiti rispetto alle esigenze sempre crescenti e sorte, non dimentichiamolo, anche per motivi strategici: la visione notturna, la percezione delle temperature senza termometri, l'osservazione in lunghezze d'onda sconosciute alla sensibilità della retina, la "risposta" delle superfici agli stimoli radar sono alcune delle estensioni tecnologiche di quel senso che noi chiamiamo vista.

Anche la capacità di distinguere dettagli molto piccoli a distanza (risoluzione geometrica) fa parte, se vogliamo, di questa serie di caratteristiche esten-



sive degli strumenti rispetto al sistema percettivo umano, al pari della memoria stabile delle osservazioni: nel campo del telerilevamento infatti ogni misura viene registrata in modo permanente permettendo così il confronto nel tempo là dove vengano ripetute le osservazioni sullo stesso soggetto nelle medesime condizioni. La memoria umana, come è noto, non ha caratteristiche quantitative né di stabilità.

Obiettivo primario delle tecniche di telerilevamento è la produzione di mappe tematiche, mappe cioè dove venga descritto uno specifico tema (es. le superfici urbanizzate), con eventualmente all'interno del tema alcune specifiche qualitative (es. tipi di urbanizzato, tipi di copertura, etc.).

CENNI STORICI

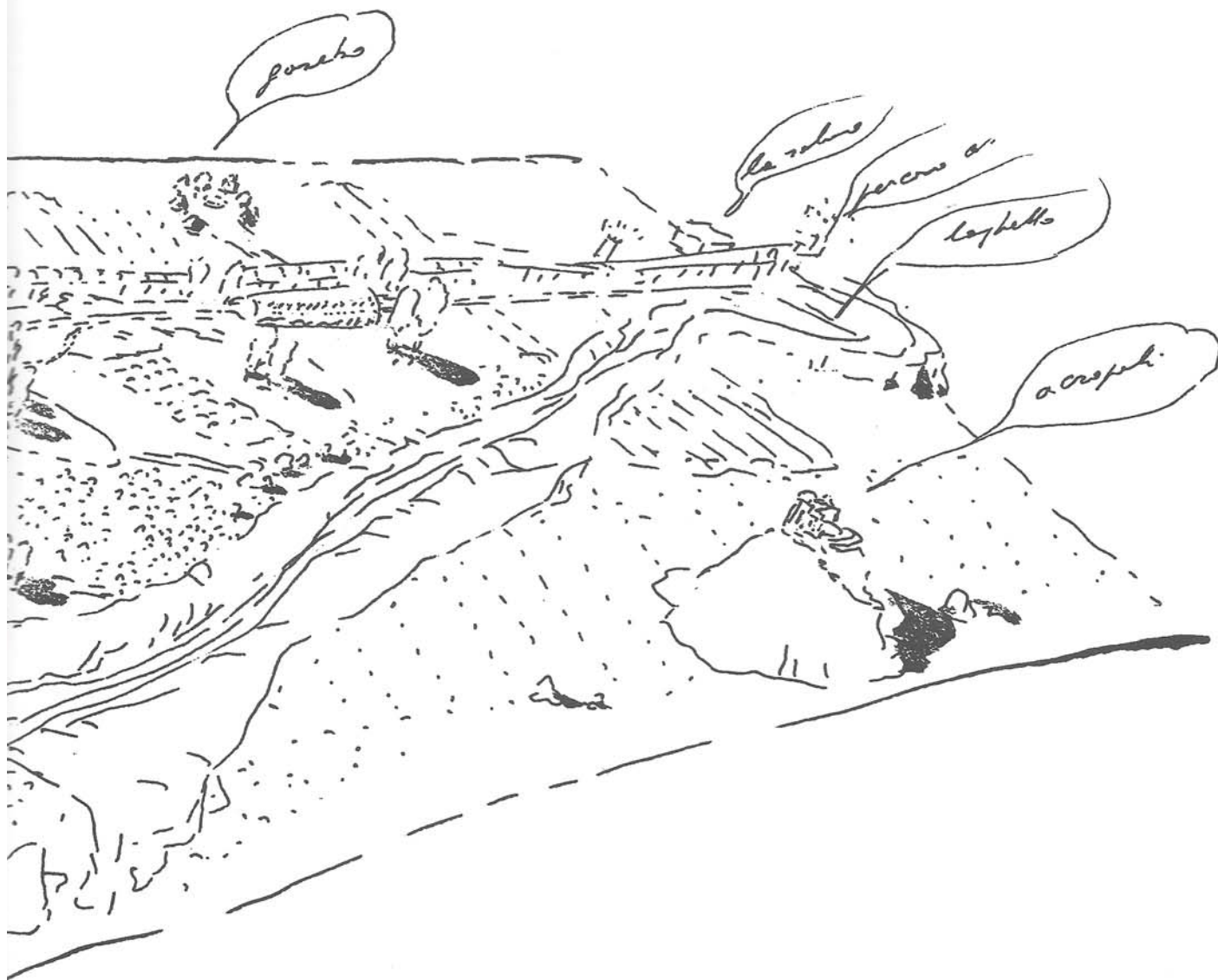
Storicamente parlando, se definiamo telerilevamento l'osservazione a distanza di superfici per mezzo di energia elettromagnetica con registrazione permanente delle informazioni, possiamo datarne la nascita in coincidenza con quella della fotografia (1839), ma dovrà passare molto tempo — praticamente un secolo — prima di trovare delle applicazioni importanti in senso attuale.

È infatti la seconda guerra mondiale che determina la spinta definitiva a questa tecnologia, con l'uso della pellicola infrarosso falso colore e l'applicazione delle tecniche radar.

Occorre però ancora una ventina d'anni di maturazione per arrivare al momento in cui le tecniche di telerilevamento prendono un impulso definitivo ed evolvono in maniera accelerata, quasi in coincidenza con le prime missioni spaziali degli anni Sessanta.

Ricordiamo ancora con emozione le prime immagini della faccia nascosta della luna!

Verso la fine degli anni '60 quando l'interesse per l'ambiente in cui viviamo diventò di importanza e dimensioni mondiali, una parte della ricerca spaziale venne dedicata alla osservazione sistematica della Terra e dei fenomeni che si verificano alla sua superficie: fu così che, il 23 luglio 1972, dalla base americana di Vandenberg (California) venne lanciato il satellite ERTS-1 (Earth Resources Technology Satellite), parente molto stretto dello sperimentato ed affidabile Nimbus che era da anni impiegato per osservazioni meteorologiche. Di questi satelliti ne furono poi lanciati altri quattro, ribattezzati con il nome di Landsat, di cui due con



Il "tessuto" urbano in un disegno di Ugo La Pietra.

caratteristiche molto simili al primo, mentre gli altri due fanno parte della così detta seconda generazione, in quanto molto più sofisticati dei precedenti. Al giorno d'oggi, passati cioè altri vent'anni, possiamo ritenere di disporre di strumenti di osservazione e tecnologia consolidata, di cui si conoscono abbastanza bene caratteristiche e limiti, e che possiamo utilizzare con cognizione di causa a seconda delle necessità che si presentano.

REALTÀ ATTUALE

Le possibilità offerte dalle immagini riprese da aereo o satellite artificiale hanno esteso enormemente le conoscenze in materia andando — come spesso è accaduto nella storia della tecnologia — ben al di là delle aspettative di progetto.

La lettura e susseguente rappresentazione del territorio con tecniche di telerilevamento avviene quasi sempre in modo "discreto" e cioè per elementi finiti di superficie chiamati pixel (crasi da picture-element); questi pixel compongono la scena, da un punto di vista geometrico, come le tessere di un mosaico, mentre da un punto di vista detto radiometrico essi descrivono il "colore" o la "temperatura" delle superfici.

Per realizzare questa descrizione le radiazioni luminose o termiche che provengono dalla superficie della Terra vengono separate, suddivise e trasformate in segnali elettrici, a bordo dei satelliti o di aeroplani, da particolari strumenti che — nel caso più diffuso — prendono il nome di dispositivi a scansione multispettrale.

Per ogni scena inquadrata sulla Terra (di solito di 185 km x 185 km per i satelliti della serie Landsat) sono disponibili svariate immagini riprese nello stesso istante ma con contenuti informativi molto diversi fra loro; per esempio si può disporre contemporaneamente della immagine che rappresenta il contenuto di verde delle superfici, quella che rappresenta il contenuto di rosso delle superfici, quella che rappresenta le "temperature" del suolo.

Il satellite Landsat-5 per esempio dispone di uno strumento da ripresa chiamato Thematic Mapper che esplora la superficie terrestre in sette bande dello spettro elettromagnetico ed in particolare tre nella luce visibile, tre nell'infrarosso vicino ed una nell'infrarosso termico; sta poi all'intelligenza dell'utente umano elaborare queste informazioni

combinandole anche insieme in vario modo per estrarre le informazioni volute. È chiaro che questo complicato processo avviene con l'aiuto di potenti calcolatori e mezzi di rappresentazione, opportunamente progettati, costruiti e programmati.

Siamo in presenza quindi di estensioni strumentali delle capacità percettive dell'occhio umano che forniscono informazioni e visioni dell'ambiente spesso nuove e inconsuete; per la corretta interpretazione di questi dati l'impegno dei ricercatori è stato ed è notevole e ha prodotto ormai una estesa cultura del "non visibile" se così si può dire, diffusa ormai in tutto il mondo tecnologicamente evoluto. L'informazione non-visibile viene poi tradotta in immagine visibile con alcuni artifici in modo da essere adattata alle nostre capacità percettive e comunicative e quindi interpretata: così una ripresa all'infrarosso termico può essere rappresentata in una immagine in bianco e nero, così come due o più riprese nel non visibile possono essere rappresentate con l'uso dei tre colori fondamentali additivi, blu, verde, rosso ottenendo una composizione così detta in falso colore.

Un altro aspetto che va sottolineato con particolare enfasi è la capacità di ripresa multitemporale, legata cioè al fatto che un satellite per telerilevamento in genere è progettato per ripresentarsi sulla stessa zona dopo un numero prefissato di giorni alla stessa ora locale, fornendo così immagini confrontabili fra loro al fine di osservare i fenomeni variabili nel tempo quali la crescita delle messi, lo scioglimento delle nevi, l'espansione urbanistica, l'andamento dei fenomeni di inquinamento, l'espansione della desertificazione, le variazioni dei parametri ambientali.

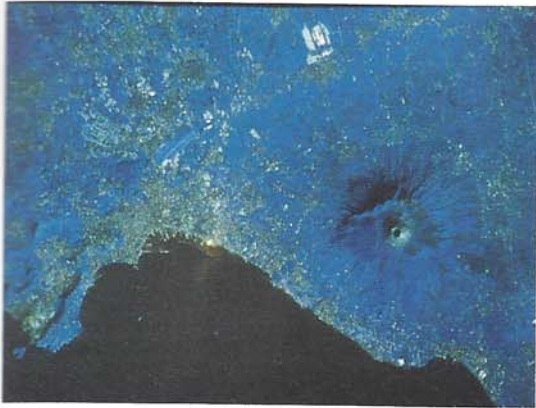
Per esempio il Landsat-5 di cui si è già parlato esplora tutta la superficie terrestre ogni 16 giorni, fornendo 23 descrizioni complete del globo terracqueo ogni anno, nuvole permettendo; la capacità di leggere i dettagli è di 30 m x 30 m al suolo e, in presenza di un buon contrasto cromatico, anche oggetti ben più piccoli: una precisione del genere a prima vista può sembrare un po' scarsa, ma se si tiene conto che tutto il mondo viene descritto in questo modo e per di più in maniera ripetitiva ogni 16 giorni, ci si rende conto ben presto delle enormi capacità di questo tipo di strumenti di osservazione.

Altri satelliti, come ad esempio quelli francesi della serie SPOT, hanno una risoluzione geometrica di 10 m x 10 m al suolo (a scapito di altre caratteristiche) permettendo la realizzazione di ingrandimenti fino alla scala 1:50.000 con la stessa precisione con cui sono realizzate le carte topografiche di pari scala. Un certo tipo di rivoluzione culturale circa la rappresentazione del territorio è in atto da qualche anno, dal momento che il generico utente di dati territoriali dispone sia di carte topografiche a rappresentazione simbolica sia di immagini che descrivono la realtà come appare di fatto, mediata soltanto dalla differenza fra strumento di ripresa e occhio umano.

Elemento importante di considerazione è l'attualità della immagine rispetto alla cartografia: è a tutti noto che l'aggiornamento è uno dei problemi più gravi che affliggono i produttori di carte e a volte passano anche molti anni fra il rilievo e la produzione di una mappa territoriale.

I mezzi attuali di telerilevamento consentono una velocità realizzativa valutabile attorno alle decine di giorni, dalla ripresa al risultato finale.

Al solito quando ci si trova di fronte a strumenti potenti esiste il reale pericolo che il loro impiego non corretto porti a rischi difficilmente prevedibili:



nel nostro caso l'interpretazione delle immagini riprese dall'alto — soprattutto nella regione non visibile dello spettro elettromagnetico — deve essere condotta da persone molto preparate, anche se l'immediatezza apparente dell'immagine potrebbe indurre alla lusinga di una facile lettura.

MAPPE TEMATICHE

Il processo che porta alla realizzazione di mappe tematiche del territorio passa attraverso tre fasi molto distinte fra loro, e sono:

- 1) la ripresa dei dati
- 2) l'elaborazione dei dati
- 3) l'interpretazione dei dati

Prima fase: la ripresa dei dati. La scala finale di rappresentazione condiziona fortemente il tipo di ripresa da adottare; infatti se si desidera un rapporto paragonabile in un certo senso con le carte geografiche o topografiche bisognerà che l'elemento di risoluzione al suolo (pixel) sia non più grande del tratto grafico minimo (0,2 mm).

Così, mentre per le riprese da aereo non ci sono problemi di questo tipo, per le riprese da satellite bisogna che — per i satelliti più usati — le scale di rappresentazione siano:

< 1 : 300.000 per i Landsat 1,2,3,4,5 sensore MSS

< 1 : 150.000 per i Landsat 4,5 sensore Thematic Mapper

< 1 : 100.000 per lo SPOT sensore multispettrale

< 1 : 50.000 per lo SPOT sensore pancromatico.

Se però ai fini della cartografia tematica non interessa molto che la dimensione del pixel sia rigorosamente entro i 0,2 mm, la scala finale può essere anche maggiore, fino a quando l'effetto-mosaico non crea problemi all'uso dei dati.

Esistono delle tecniche per migliorare artificialmente la risoluzione al suolo, chiamate tecniche di ricampionamento che permettono di "frazionare" ciascun pixel originale per esempio in 9 sottopixel (3 x 3); i valori dei nuovi pixel sono calcolati secondo una funzione che di solito è del terzo ordine per rendere l'immagine elaborata più verosimile possibile all'originale, da un punto di vista radiometrico.

I dati ripresi si presentano sotto forma analogica (immagini di tipo fotografico) oppure sotto forma digitale (nastri magnetici CCT); la forma analogica — più economica — consente ben poche elaborazioni, mentre la forma digitale — più costosa — consente amplissime possibilità di calcolo e quindi di predisposizione dei dati alla interpretazione.

Seconda fase: l'elaborazione dei dati. Questa fase è normalmente dedicata alla preparazione delle immagini per l'interpretazione finale che porta alla produzione della carta tematica. Di solito conviene avere a che fare con più riprese multispettrali contemporanee della stessa zona poiché l'elaborazione consente di raffrontare i contributi informatici provenienti da diverse regioni dello spettro elettromagnetico.

Per esempio, per realizzare la mappa tematica delle zone vegetate rispetto a tutto il resto, sapendo che la vegetazione riflette un po' di luce in banda verde (15% - 20%) e molto nella regione dell'infrarosso vicino (60% - 70%), assorbendo simultaneamente in banda blu e rossa, basterà imporre al calcolatore di esaminare i dati forniti dalle 4 immagini riprese nelle bande citate e — pixel per pixel — verificare la simultanea esistenza delle 4 condizioni.

Analogamente per altri temi, conoscendo il così detto comportamento spettrale (o firma spettrale),

Tre immagini telerilevate con il satellite Landsat - 5. Dall'alto verso il basso, baia di Napoli e penisola sorrentina; baia di Napoli e monte Somma; baia di Napoli e penisola sorrentina. Le prime due immagini sono visualizzate in falsi colori, la terza in una banda di livelli di grigio.

si può determinare l'algoritmo matematico più utile per la discriminazione del soggetto: una mappa tematica ricavata da satellite Landsat-5 (TM) può essere realizzata, in un contesto geografico come quello italiano, anche su una ventina di temi diversi. Fondamentalmente vi sono due tipi di elaborazione dei dati, e cioè quelle che servono ai fini di una classificazione delle superfici e quelle che servono per la correzione geometrica delle immagini; per correzione geometrica delle immagini si intende quella serie di operazioni che permettono di eliminare le distorsioni presenti nella ripresa. Fra le elaborazioni importanti troviamo il confronto multitemporale delle immagini: sta a dire che se si dispone di due rilievi effettuati sulla stessa zona in tempi diversi è possibile ricavare "per differenza" fra una immagine e l'altra la mappa delle variazioni territoriali intercorse.

È evidente l'importanza di questo tipo di approccio, che ha risvolti nell'urbanistica per esempio a livello di mappa dell'accrescimento dell'urbanizzato, ha risvolti nelle discipline agro-forestali per la valutazione delle modifiche stagionali e annuali, e sempre in presenza di fenomeni dinamici del territorio.

Terza fase: l'interpretazione dei dati. Si tratta della fase più importante e delicata in assoluto anche perché coinvolge interamente l'interprete umano, a differenza delle altre due che possono anche essere rese automatiche.

Va sottolineato, come considerazione generale, che come nel campo della fotointerpretazione classica è ben difficile trovare il fotointerprete generico, anche nel campo del telerilevamento troveremo fotointerpreti specializzati (geologo, idrologo, vegetazionale, forestale, etc.): sotto questo profilo il telerilevamento ben si colloca come potente strumento di analisi territoriale e non come disciplina a sé stante.

APPLICAZIONI

È estremamente vasto il campo delle applicazioni del telerilevamento per le scienze del territorio: si citerà solo qualche esempio significativo per dare un'idea di quanto realisticamente si può fare e tralasciando volutamente quanto si potrebbe fare per non dare adito a fantasie che in questo campo possono essere pericolose.

Geologia. È stato forse il primo campo di applicazione esteso a scala mondiale, sia per le intrinseche capacità prospettiche, sia per la proprietà delle riprese multispettrali; grande vantaggio ne ha tratto la geologia strutturale, potendo disporre di descrizioni estremamente vaste del territorio, localizzando con facilità la continuità o meno di certi fenomeni di portata regionale o nazionale. L'analisi cromatica e termica dei suoli permette inoltre un utilissimo ausilio alla stesura di quella che è la carta base in questa disciplina: la carta geologica. Di importanza fondamentale è il telerilevamento in questo caso nei paesi in via di sviluppo ove spesso manca anche la cartografia di base.

Agricoltura e foreste. In questo campo il telerilevamento fornisce il suo contributo nella mappatura (e quindi volendo anche il censimento) delle coltivazioni principali presenti in un certo territorio ad un dato istante: frumento, mais, orzo, barbabietole, soia tanto per citare i casi più importanti. Recente-

mente anche la stima di produzione è entrata a far parte dei risultati utili del telerilevamento e si basa sulla valutazione di certi indici tipici di una coltura, ormai noti nella loro correlazione con il raccolto finale: non può sfuggire l'importanza — su scala nazionale o supernazionale — di poter disporre di dati quantitativi prima del raccolto. In campo forestale di notevole interesse mondiale è il monitoraggio della deforestazione, oltre naturalmente alle solite mappe tematiche del caso. Va citata anche la concreta possibilità di localizzare piante malate prima che la malattia si manifesti in maniera visibile, permettendo un intervento tempestivo.

Idrologia-Oceanografia. In questi campi di applicazione si sfruttano tre caratteristiche spettrali dell'acqua, e cioè il colore, l'assorbimento nell'infrarosso vicino e la temperatura superficiale. Dall'analisi cromatica si possono produrre mappe dello stato di inquinamento di corpi d'acqua così come mappe di concentrazione di clorofilla; nella banda dell'infrarosso vicino si possono tracciare molto bene mappe di costa e, in generale, distinzione di corpi idrici dal resto; le mappe di temperatura superficiale sono estremamente utili nelle valutazioni dell'andamento delle correnti marine e oceanografiche.

Urbanistica e habitat. Si tratta di applicazioni relativamente recenti in quanto rese possibili dai satelliti della seconda generazione (più precisi dei precedenti, per intenderci). È sicuramente possibile realizzare mappe delle differenti coperture dei tetti (es. industriale e civile), mappe di presenza di verde pubblico e privato, mappe di variazioni temporali del costruito (es. abusivismo), mappe di tessitura del costruito, mappe termiche di dispersione di calore dai tetti, mappe dell'inquinamento dell'aria in grandi concentrazioni urbane.

CONCLUSIONI

Si tracciano ora alcune considerazioni che possono essere utili a chi pensa di usare lo strumento telerilevamento per indagini territoriali.

Anzitutto i costi: per le riprese da satellite l'ordine di grandezza del costo delle immagini multispettrali digitali è di circa L. 2 (due) per ettaro (1990), mentre per le riprese da aereo il costo è circa mille volte maggiore (con una capacità di dettaglio però molto superiore); a questi vanno aggiunti i costi di elaborazione e di interpretazione, difficilmente quantizzabili in generale.

Circa la risoluzione geometrica al suolo bisogna considerare che essa — in situazioni di buon contrasto — è sempre migliore delle dimensioni nominali del pixel, in quanto anche un oggetto più piccolo può essere rilevato come presenza, anche se rappresentato poi con le dimensioni del pixel; tale è il caso di piccoli corsi d'acqua, di ferrovie, di case isolate.

Nonostante l'apparente imprecisione descrittiva dovuta alle dimensioni della risoluzione minima al suolo nelle immagini da satellite, è da rimarcare che spesso — per interventi sul territorio — può essere più importante disporre di una mappa aggiornata piuttosto che di una, precisissima, ma vecchia (in Italia il caso è molto frequente).

Da ultimo è da citare il caso della possibilità di osservazioni non esclusivamente superficiali, da ricavare per via indiretta soprattutto a partire da immagini riprese nella banda dell'infrarosso termico.



BIBLIOGRAFIA

Le fonti bibliografiche dei singoli articoli sono riportate in un unico repertorio, ripartito in articoli, convegni e libri. Per la voce libri si è provveduto a fornire una visione per temi per facilitare la ricerca. Il risultato non è certo una bibliografia esaustiva sull'argomento, ma si ritiene che comunque possa essere un utile strumento di lavoro. Si ringraziano tutti gli autori che hanno gentilmente collaborato a fornire le indicazioni per la redazione. (LM)

ARTICOLI SU GIORNALI E RIVISTE

- +++ La grafica 3D e l'azienda, *Minisistemi*, n. 14, febbraio 1990, p. 39/62;
- A. Annoni, E. Zini, Remote Sensing Machine, *Computer Grafica e applicazioni*, anno 2, n. 6, ottobre 1988;
- G. Bezoari, P. Canella, Dalla base catastale alla cartografia per l'ente locale, *Documenti del territorio*, n. 8, ottobre dicembre 1987 p. 16/19;
- D.F. Brown, D.A. Schoen, Using Microcomputer CAD Packages in Planning, *Japa-Journal of the American Planning Association*, vol. 53, n. 2, inverno 1987, p. 249/258;
- C. Cannafoglia, Numerizzazione della nuova cartografia catastale con i corrispettivi archivi amministrativi-censuari e comunali di Modena; *Documenti del territorio*, n. 8, ottobre-dicembre 1987, p. 20/22;
- L. Colombo, Una cartografia per la città, *Documenti del territorio*, n. 14, settembre 1989;
- L. Colombo, Territorio fa rima con computer, *Costruire*, n. 76, settembre 1989;
- L. Colombo, A. Selvini, Analisi sperimentale dei parametri di dipendenza fra scala della carta e scala media dell'immagine, *Rivista del Catasto*, n. 1, 1988;
- Commissione Geodetica Italiana, La formazione di cartografie generali a grande scala (1:2000, 1:1000), *Le strade*, 1976;
- G. Conia, R. Galetto, A. Spalla, Il sistema NTF per il trasferimento della cartografia catastale, *Bollettino della Società Italiana di Topografia e Fotogrammetria (SIFET)*, n. 1, 1990;
- K. J. Dueker, Geographic Information System and Computer-Aided Mapping *Japa-Journal of the American Planning Association*, vol. 53, n. 3, estate 1987, p. 383/390;
- Esri, The ArcInfo Rev. 5.1 Releases: Major Enhancements to the World's Leading GIS Software, *Mapping Awareness*, vol. IV, n. 10, p. 57/63;
- J. Ferreira, Jr., Database Management Tools for Planning, *Japa-Journal of the American Planning Association*, vol. 56, n. 1, inverno 1990, p. 78/84;
- R. Galetto, Le caratteristiche qualitative e metriche della cartografia numerica, *Bollettino della Società Italiana di Topografia e Fotogrammetria (SIFET)*, n. 1, 1990; Gruppo di studio della Sifet, Proposta di normativa per la stesura dei capitoli per la produzione di cartografia numerica, *Bollettino della Società Italiana di Topografia e Fotogrammetria (SIFET)*, n. 1, 1988;
- S.-Y. Han, T. J. Kim, Can Expert Systems Help with Planning, *Japa-Journal of the American Planning Association*, vol. 55, n. 3, estate 1989, p. 296/308;
- B. Harris, Beyond Geographical Information Systems: Computers and the Planning Professional, *Japa-Journal of the American Planning Association*, vol. 55, n. 1, inverno 1989, p. 85/90;
- D.A. Limone (a cura di), I sistemi informativi per le aree metropolitane, *Informatica ed Enti Locali*, numero monografico, anno VIII, n. 2, aprile/giugno 1990, pp. 195/290;
- J. Levine, J.D. Landis, Geographical Information Systems for Local Planning, *Japa-Journal of the American Planning Association*, vol. 55, n. 2, primavera 1989, p. 209/220;
- L. Marescotti, La rappresentazione della Terra, *Rivista Ibm*, anno XXVII, n. 3, 1987, p. 24/33
- L. Marescotti, Dal sistema informativo alla gestione informatica del territorio, *Informatica ambiente e territorio. Nuove tecnologie per la tutela, la gestione, la progettazione*, n. 2, s.d., p. 23/32 (Maggioli editore 1989)
- L. Marescotti, Sistemi informativi geografici: una nuova strada per modellare la conoscenza, *Ti Con Uno. Collana di materiali e riflessioni bibliografiche*, n. 7, luglio 1990, p. 4/7;
- L. Ortolano, Catherine D. Perman, A Planner's Introduction to Expert System, *Japa-Journal of the American Planning Association*, vol. 53, n. 1, inverno 1987, p. 98/101;
- L. Rodwin, La formazione degli specialisti urbani e regionali. Un'analisi comparativa, *Archivio di studi urbani e regionali*, anno XVIII, n. 29, 1987, p. 156/169;
- M.J. Shiffer, L.L. Winnings, Planning with Hipermedia: Combining Text, Graphics, Sound and Video, *Japa-*

Journal of the American Planning Association, vol. 56, n. 2, primavera 1990, p. 226/235;

A. Spalla, Proposta di un sistema di codifica per cartografia numerica, *Bollettino della Società Italiana di Topografia e Fotogrammetria (SIFET)*, n. 3/4, 1990;

M. Stancari, La cartografia a scala comunale, *Documenti del territorio*, n. 8, ottobre-dicembre 1987 p. 23/24.

ATTI DI CONVEGNI

- A. Annoni, R. Arcozzi, E. Zini, Processing and Interpretation of Thematic Mapper Images in the Province of Piacenza, *Atti convegno Earthnet Pilot Project on Landsat Thematic Mapper Application*, Frascati, dicembre 1987;
- Am/Fm-Automated Mapping/Facilities Management (a cura di), Il punto di vista dell'utenza, *Am/Fm*, Roma, novembre 1989;
- L. Calzi, Il fabbisogno informativo per la pianificazione e gestione della Provincia di Milano, *Pianificare e amministrare il territorio: potenzialità dei sistemi informativi geografici*, Politecnico, Milano, 30 maggio 1990;
- L. Calzi, L'esperienza della Provincia di Milano nel settore della cartografia e dei Sit, *Cartografia-Sit*, Provincia di Vercelli, Vercelli, 6 dicembre 1990;
- L. Colombo, M. Cunietti, Dettaglio scala e precisione nella cartografia per i sistemi informativi urbani, *Trentaquattresimo convegno nazionale Sifet*, Merano, settembre 1989;
- Egis' 90-European Geographic Information System (a cura di), Proceedings of the First European Conference on Gis, Amsterdam, 1990;
- Erim-Environmental Research Institute of Michigan (a cura di), Proceedings of the Eighteenth International Symposium on Remote Sensing of Environment, Paris, 1/5 ottobre 1984 *Etas Libri*, Milano, 1986 (1977);
- P. Lupieri, P. Marabelli, A. Morselli, A. Polistina, Un sistema di CAD basato su videodisco per progetti di riqualificazione urbana, *Informatica come pubblico servizio*, Padova, 5/7 maggio 1987;
- E. Righi, M. Stancari, Geographical Information System for Urban Planning in Modena: Eight Year Experiment in a Middle Town, *UDMS 89*, Lisbona, 2 giugno 1989;
- M. Sasso, S. Volpe (a cura di), Tecnologie e sistemi come risorse per uno sviluppo "informato" del territorio, *Tecnopolis*, s.l. (Bari), s.a. (16-17 ottobre 1990: Mostra di software per l'ambiente e il territorio).

LIBRI

Cartografia e rappresentazione

- G. Abbate, B. Astori, A. Bianchin, R. Bonetta, R. Chiarbrando, G. Morpurgo, I. Zanner, Rappresentazioni (Enciclopedia di urbanistica e pianificazione territoriale, vol. VIII), *Angeli*, Milano, 1984;
- M.B. Baldacci, Rappresentazione e ricerca delle informazioni, *NIS*, Roma, 1988;
- G. Bezoari, C. Monti, A. Selvini, Fondamenti di rilevamento generale. Vol. I: Topografia, cartografia. Vol. II: Fotogrammetria, agrimensura, strade. Vol. III: Esercizi, *Hoepli*, Milano, 1984;
- A.P. Canevari, L. Marescotti (a cura di), La cartografia per l'architettura e per l'urbanistica, *Clup*, Milano, 1985
- M. Cunietti (a cura di), Rilievo topografico e rappresentazione del territorio, *Clup*, Milano, 1987;
- S. Giannini, A. Villa Santa, Il fotopiano a colori e la nuova cartografia comunale, *Milano Forma Urbis*, Marsilio, Venezia, 1990, p. 26/32;
- A. Selvini, Principi di fotogrammetria, *Clup*, Milano, 1988
- Sifet, Capitolato speciale d'appalto per le carte generali alla scala 1:500 di zone urbane, *Maggioli*, Rimini, 1984
- B.P. Torsello (a cura di), Misura e conservazione: tecniche di rilevamento, *Cluva*, Venezia, 1979.

Telerilevamento e fotointerpretazione

- R. Barion, Manuel de Teledetection, *Ed. Sodipe S.A.*, Paris, 1978;
- M. Castelli, Classificazione degli ambienti naturali (corpi idrici e vegetazione) nell'area di Milano mediante riprese da satellite, *Politecnico di Milano*, Milano, Tesi di laurea 1985/1986;
- R. N. Colwell, Manual de Remote Sensing, *American Society of Photogrammetry*, vol. 1 e vol. 2, 1983
- M. Duetsch, D.R. Wiesnet, Satellite Hidrology, *American Water Resource Association*, 1979;
- T.J.M. Kennie, M.C. Matthews, Remote Sensing in Civil Engineering, *Survey University Press*, 1985
- F. Shahorohi, Remote Sensing of Earth Resources, 2 voll., *The University of Tennessee, Space Institute*, 1973 p. 226/235;
- N.M. Short, The Landsat Tutorial Workbook, Basics of Satellite Remote Sensing, *Nasa Scientific and Technical*

Branch, 1982 (Nasa Reference Book 1078), The University of Tennessee, Space Institute, 1973 p. 226/235
U.S. Geological Survey National Oceanic and Atmospheric Administration (a cura di), Landsat 4 Users Book, USGSNOAA, 1984;
N.L. Wolf, G.J. Zissis, The Infrared Handbook, Environmental Research Institute of Michigan, 1978;
G.M. Woodwell, The Role of Terrestrial Vegetation in the Global Carbon Cycle: measurement by Remote Sensing, John Wiley and Sons, New York, 1984.

Informatica, conoscenza, modellistica e ricerca operativa

A. Bruschi, La teoria dei modelli nelle scienze sociali, Il Mulino, Bologna, 1971;
S. Cammarata, Informatica e conoscenza, Etas Libri, Milano, 1985;
S. Cammarata, Sistemi esperti: teoria, metodi, strumenti tecnici, Etas Libri, Milano, 1987;
M.J. Coombs, J. Lalty, I sistemi esperti, Concetti ed esempi, Franco Angeli, Milano, 1987;
A. Colorni (a cura di), Modelli di localizzazione e distribuzione nella gestione dell'ambiente e del territorio, Clup, Milano, 1979;
A. Colorni, Ricerca operativa, Clup, Milano, 1984;
A. Colorni (a cura di), Modelli urbanistici, materiali del corso di Modelli urbanistici, Politecnico di Milano, DST, a.a. 1987/88;
A. Colorni, Elementi di ricerca operativa, Zanichelli, Bologna, 1988;
G. De Marco, L. Martini, Metodi matematici, economia e pianificazione ambientale, Clup, Milano, 1983;
Umberto Eco, Augusto Graziani, Renzo Piano, Federico Zerri, Le isole del tesoro, IBM Italia, Milano, 1988;
Enaip (a cura di), Risoluzione di problemi, Pitagora Editrice, Bologna, 1989;
Enaip (a cura di), Elementi di logica, Pitagora Editrice, Bologna, 1988;
Enaip (a cura di), Introduzione della programmazione, Pitagora Editrice, Bologna, 1988;
Enaip (a cura di), Rappresentazione e Strutture, Pitagora Editrice, Bologna, 1988;
F. Filippazzi, G. Occhini, Le frontiere dell'informatica (I volume), Edizioni del Sole 24 ore;
R. Hunt, J. Shelley, Computer e senso comune, Hoepli, Milano, 1988;
Ifctr-Cnr/Cee (a cura di), DOCMIX. State of the Art and Market Requirements in Europe. Electronic Image Banks. Final Report, Cnr/Cee, Bruxelles, marzo 1988;
G. Israel, Modelli matematici, Editori Riuniti, Roma 1986
A. Minc, S. Nora, Convivere con il calcolatore, Bompiani, Milano, 1979 (1978);
Ministero per i beni culturali e ambientali/Gruppo Iri-Italstat, Memorabilia: il futuro della memoria. Beni ambientali architettonici archeologici artistici e storici in Italia, vol. 1: Tutela e valorizzazione oggi. vol. 2: Il patrimonio vulnerato vol. 3: Laboratori per il progetto, Laterza, Bari, 1987;
H.C. Mishkoff, Capire l'Intelligenza Artificiale, Tecniche Nuove, Milano, 1988;
P. Moscati, Archeologia e calcolatori, Giunti, Firenze, 1987;
N.J. Nilsson, Metodi di risoluzione dei problemi nell'Intelligenza Artificiale, Franco Angeli, Milano, 1988;
Open University, Pensare per modelli, Mondadori, Milano, 1981;
G. Zanarini, L'emozione di pensare (Psicologia dell'informatica), Clup-Clued, Milano, 1987.

Basi di dati

A. Albano, R. Orsini, Basi di dati, Boringhieri, Torino, 1985;
P. Atzeni, C. Batini, La teoria relazionale dei dati, Boringhieri, Torino, 1986;
G. Bracchi, P. Paolini, G. Pelegatti, Sistemi per la gestione di basi di dati, Isedi, Milano, 1979;
R. Sprugnoli, Le basi di dati: Gli strumenti e le tecniche per la gestione automatica delle informazioni, Editori Riuniti, Milano, 1987;
J.D. Ullman, Principles of Database and Knowledge-Base Systems, Computer Science Press, Rockville, 1988;
G. Wiederhold, Manuale delle basi di dati, Etas Libri, Milano, 1986 (1977).

Sistemi Informativi Geografici

S. Ansaldo, B. Falcidieno, Software Grafico, Franco Angeli, 1986;
R. Baskerville, Designing Information System Security, J. Wiley, Chichester, 1988;
F. Bonfatti (a cura di), Elaborazione automatica dei dati geografici. Strumenti per la realizzazione di sistemi informativi territoriali, Masson, Milano 1989;
P.A. Borrough, Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Survey, Oxford University Press, Oxford, 1986;

P. Camussone, Il sistema informativo. Finalità, ruolo e metodologia di realizzazione, Etas Libri, Milano, 1987;
J. Dangermond, A Classification of Software Components Commonly Used in Geographic Information Systems, in: Peuquet D., O'Callaghan J. (a cura di), Design and Implementation of Computer-based Geographical Information Systems, IGU Commission on Geographical Data Sensing and Processing, Amherst, N.J., 1983;
G. De Carolis, Sistemi informativi territoriali: teorie ed esperienze. Guida bibliografica, Alinea, Firenze, 1987;
G. De Marco et al., Sistemi informativi ed elaboratori elettronici, Il Mulino, Bologna, 1987;
G. Dematteis, V. Vagaggini, I metodi analitici della geografia, La Nuova Italia, Firenze, 1976;
Department of Environment, Handling Geographic Information. Report to the Secretary of State for the Environment of the Committee of Enquire into the Handling of Geographic Information, HMSO, London, 1987;
Department of Environment, Government Response to the Report of the Committee of Enquire into the Handling of Geographic Information, HMSO, London, 1988;
Department of Environment, This Common Inheritance, Britain's Environmental Strategy, HMSO, London, 1990;
Esrc-Economic and Social Research Council/RRL-Regional Research Laboratories (a cura di), GIS and the Regional Research Laboratories, Miles Arnold, Oxford, 1990;
P. Gagliardo (a cura di), Informatica e spazio geografico, Franco Angeli, Milano, 1990;
S. Grimaldi (a cura di), La cartografia e i sistemi informativi per il governo del territorio, Angeli, Milano, 1985;
G. Grazioli, A. Incerti, S.M. Incerti, C. Manna, S. Stucchi, L. Violetti, L'informatica nella gestione del territorio, Angeli, Milano, 1979;
G.B. Hutchinson, M. Batty (a cura di), System Analysis in Urban Policy Making and Planning, Plenum, New York, 1983;
C. Luini, D. Marini (a cura di), Sistemi grafici. Geometria della natura e Cad industriale, Gruppo editoriale Jackson, Milano, 1984;
J. Lowell, Computer Graphics (Tecniche e Applicazioni), Istituto Geografico De Agostini, Novara, 1985;
D. J. Maguire, Il computer nello studio del territorio, Franco Angeli, Milano, 1990;
D. J. Maguire, M. F. Goodchild, D. W. Rhind (a cura di), Geographical Information System, Longman, London, 1991;
J. Matthews, Metodologia statistica per la ricerca geografica, Franco Angeli, Milano, 1985;
S. Morehouse, The architecture of ARC/INFO, Arc News, vol. 12, n. 2, 1990;
P.C. Palermo, Politiche territoriali e modelli, Franco Angeli, Milano, 1981;
P.C. Palermo, Modelli di analisi territoriali, Franco Angeli, Milano, 1983;
A. Polistina, Computer graphics e simulazione visiva: un nuovo linguaggio per la conoscenza, Scienza e Tecnica. Annuario della EST, 1985, p. 212/231;
A. Polistina (a cura di), Computer graphics e cad per l'architettura e il territorio. Nuove tecnologie per il disegno e la progettazione, Gruppo editoriale Jackson, Milano, 1984;
G. Praderio, R. Mingucci, D. Toschi, Progettazione architettonica con il calcolatore, BE-MA Editrice, Milano, 1987;
A. Radfor, G. Stevens, Introduzione al CAD architettonico (Postfazione di Sergio Los), Franco Muzzio Editore, Milano, 1987;
M. Salvemini, Urbanistica e informatica, Jackson, 1985;
P. Secondini (a cura di), La conoscenza del territorio e dell'ambiente. Il ruolo delle tecnologie dell'informazione, Enidata, Bologna, 1988;
P.S. Slater, Optics and Optical Systems, Addison Wesley Publishing Co., 1980.

RIVISTE

• Archivio di studi urbani e regionali • Bollettino della Società Italiana di Topografia e Fotogrammetria (SIFET) • Costruire • Documenti del territorio • Gis Forum • Gis World • Informatica ambiente e territorio. Nuove tecnologie per la tutela, la gestione, la progettazione • Informatica ed Enti locali • International Journal of Geographic Information System • Japa-Journal of the American Planning Association • Le strade • Mapping Awareness • Rivista del Catasto • Rivista IBM • Ti Con Uno. Collana di materiali e riflessioni bibliografiche

RINGRAZIAMENTI

Per la gentile collaborazione ringraziamo:
il Comune di Sesto San Giovanni; il Comune di Bergamo; Ifm di Genova; la Biblioteca Civica Angelo Mai di Bergamo; la Raccolta Stampe Achille Bertarelli di Milano; la Galleria Kefri di Bergamo; l'Istituto Geografico Militare di Firenze; Efim Data di Roma.

