

RILIEVO URBANO NUMERICO: UNO STUDIO SUL CENTRO ANTICO DI CERTALDO

Bruno Astori*, Franco Guzzetti**, Grazia Tucci*

(*) DINSE – Politecnico di Torino, Facoltà di Architettura, viale Mattioli, 39 – 10125 Torino,

(**) DIAR – Politecnico di Milano, Facoltà di Architettura Bovisa, Piazza Leonardo da Vinci 32 – 20133 Milano

INTRODUZIONE

Questa applicazione di cartografia numerica a grande scala si inquadra nel tema più generale di predisposizione di un sistema informativo territoriale finalizzato al progetto di conservazione dei Centri Storici¹.

Nel corso degli ultimi vent'anni si è assistito ad un approccio assai diversificato alla progettazione ed alla attuazione di Piani di Recupero e Piani Particolareggiati con metodologie analitiche e dati fra loro non confrontabili.

La ricerca ha conseguito l'obiettivo di individuare e analizzare i parametri e le procedure per rendere più agevole l'acquisizione e la raccolta dei dati conoscitivi.

Sul piano operativo e ricorrendo alla tecnologia GIS, si è costituita una banca dati dello stato di fatto e delle trasformazioni subite dal tessuto urbano di alcuni centri antichi, assunti come casi esemplificativi, per una gestione avanzata dei piani di conservazione e recupero. Sulla base di uno schema logico-concettuale, sviluppato in una fase di progettazione comune, ogni unità operativa del gruppo di ricerca ha approfondito alcune tematiche. L'applicazione a concreti casi di studio ne ha permesso poi la verifica della metodologia applicata. Lo studio della cartografia di base del sistema informativo e l'analisi della consistenza strutturale dei tessuti edilizi, con la conseguente mappatura delle modifiche per l'impostazione e la gestione dei programmi di recupero, è stato applicato, come caso campione, al nucleo storico di Certaldo Alto (Fig. 1,2), un antico borgo della Valdelsa ai confini tra la



Fig. 1 - La cortina insediativa da sud-est.

provincia di Firenze e di Siena.

La motivazione che ha indotto a privilegiare Certaldo Alto, oltre al fatto che fa parte di quei nuclei storici meno compromessi dalle massicce trasformazioni innescate dallo sviluppo insediativo del secondo dopoguerra, è da ascrivere principalmente all'esistenza di un piano particolareggiato di restauro conservativo redatto negli anni 1972-1974 e conseguentemente di una documentazione, relativa agli stessi anni, che è stata assunta come punto di partenza, configurando il sistema in modo da simularne l'esistenza nella fase di Progettazione del Piano².

DISEGNO E FORMA URBANA

Da qualche anno si stanno conducendo esperienze interessanti sul *disegno della città* che non dispone ancora di un sedimentato, efficace linguaggio, penalizzato peraltro da una rappresentazione prevalentemente bidimensionale. I più recenti sistemi di rilevamento, elaborazione e rappresentazione hanno fornito un nuovo impulso ad indagare sulle sue specificità e sui suoi requisiti sia tecnici sia figurativi. Più che in altri ambiti è in questo del rilievo urbano che il disegno utilizza, interrelandole fortemente, la semiotica iconografica e simbolica.

Il dispositivo cartografico mentre da un lato descrive il processo evolutivo che ha generato la realtà contingente, dall'altro costituisce la premessa per la formulazione di ipotesi sul suo divenire per cui la metodologia d'indagine si salda strettamente con quella di progetto³. Questo approccio rende



Fig. 2 - Il fronte di un isolato del centro antico

difficoltosa l'impostazione di una normativa, producendo invece elaborati le cui convenzioni di rappresentazione sono espressione di uno specifico metodo di indagine. La notazione grafico-numerica si presenta a tutti gli effetti come un database e non solo non risolve pienamente le problematiche sopra esposte, ma rivela tutti i nuovi interrogativi legati alla gestione dell'informazione, suggerendo percorsi di lettura incrociata, ancor più legata al processo generale di progetto.

D'altra parte gli attuali sistemi di rilevamento, supportati da una significativa e rapida evoluzione tecnologica, prospettano nuovi orizzonti in cui i dati metrici sono di più facile acquisizione. Ne consegue, per quanto possibile dinanzi a realtà sempre diversificate, la necessità di individuare procedure standard nell'acquisizione dei dati. In tal senso, e soprattutto per ciò che riguarda il rilievo a scala urbana, diviene necessario un progetto che preveda una sinergia tra tecniche topografiche, fotogrammetriche e longimetriche procedendo dal generale al particolare, al fine di poterne controllare i risultati, rendendoli omogenei e confrontabili.

Il prodotto numerico delle operazioni di rilevamento è un'opera aperta e flessibile, pronta ad essere interpretata, modificata, integrata. Il sistema di riferimento, opportunamente determinato, costituisce il legame orizzontale, tra analisi parziali, condotte da differenti operatori, e verticale, per le indagini diacroniche volte a documentare le trasformazioni.

UN GIS PER I CENTRI STORICI: SCALA NOMINALE E SCALA DI RAPPRESENTAZIONE

Nella progettazione dell'indagine conoscitiva diviene essenziale definire una rispondenza tra scala di rappresentazione e contenuti specifici ai diversi livelli di approfondimento. La ricerca si è svolta quindi su piani differenti: dapprima è stato definito il modello concettuale dei dati, analizzando entità e relazioni e organizzando alcune schede che avrebbero raccolto gli attributi alfanumerici di interesse al fine di consentire la redazione di carte tematiche quale risultato di opportune interrogazioni. Si è cercato quindi di relazionare i livelli di conoscenza e i metodi di rappresentazione, percorrendo l'iter, oramai consolidato, che prevede dapprima la costituzione di una cartografia di base, per passare in seguito alla costruzione di tematismi fino alla rappresentazione e normativa progettuale.

La cartografia è da considerare il livello base del sistema informativo e per quanto si siano aperte affascinanti prospettive sulla modellazione tridimensionale, di cui si stanno saggiando le implicazioni metodologiche, si è ritenuto conveniente costruire il sistema informativo su di una rappresentazione di base bidimensionale. Come noto, ogni cartografia nasce con una tolleranza correlata

alla scala nominale⁴; è opportuno pertanto, nel processo produttivo, per ragioni anche di carattere economico, valutare attentamente le scale di lavoro; i dati, in un unico contenitore, sono poi interrogabili a livello più o meno generale.

Si precisa, a tal proposito, che in un sistema informativo, il territorio è rappresentato in un unico file cartografico (data base topografico) con scale nominali differenti e che diviene necessariamente più denso di informazioni nei centri urbani, che nelle zone suburbane; se da un lato nell'assunzione del dato cartografico non è possibile prescindere dalla scala, nella gestione degli elementi si è meno vincolati ad essa. Diviene così possibile distinguere la *precisione* di conoscenza dalla scala di rappresentazione; ciò permette di gestire tutte le informazioni *fuori scala* tipiche di un SIT. Le moderne problematiche GIS inducono sempre più a tener conto di elementi, anche con valenza geometrica *fuori scala* cioè definiti con un livello di attendibilità metrica indipendente dalla scala nominale che caratterizza una cartografia numerica. Dal punto di vista metrico la scala nominale 1:1000 si rivela una base di lavoro ottimale nel rapporto tra costi di produzione e tolleranze, mentre consente, se si restituisce dignità grafica agli elementi rappresentati, di produrre output a scale maggiori, agendo dinamicamente sul linguaggio figurativo. Diviene possibile, a partire da questa scala, utilizzata come riferimento metrico per tutte le operazioni successive che su di essa si impostano, una analisi urbana più dettagliata in cui si riesce a leggere con efficacia anche il modello funzionale degli edifici.

Il problema può essere affrontato in parte con l'uso di librerie differenziate nei contenuti descrittivi per scale di rappresentazione e con l'indicazione degli elementi significativi da assumere come invarianti.

Nell'ambito della cartografia urbana solo la norma UNI 7310-74 sancisce attualmente le convenzioni di rappresentazione degli aggregati storici ad una scala compresa tra 1:250 ed 1:2500, ma non vi è alcun riferimento alle relative precisioni, il che conferisce alle informazioni un carattere prevalentemente tematico.

Normalmente, sia gli operatori di Enti pubblici sia i tecnici preposti al piano richiedono cartografia a grande scala secondo le proprie procedure analitiche e di progetto; ne consegue la difficoltà di confrontarne i risultati⁵.

Non sempre inoltre le necessità del mondo scientifico di rendere più accurata la rappresentazione concordano con quelle dell'utenza, la quale, semmai, chiede una ampia varietà di dati, separabili in carte diverse per usi diversi, in ognuna delle quali riscontrare i soli dati occorrenti alla specifica finalità⁶.

Le possibilità informatiche di disporre di immagini multiscala dello stesso elemento consentono di mantenere inalterato il database numerico a cui sono riferite le precisioni della scala nominale di

produzione della carta di origine con una conseguente, sostanziale libertà dell'utente nella selezione delle specifiche informazioni utili, per il tematismo richiesto. Ciò significa rendere disponibile una quantità elevata di dati che spesso già si posseggono ma che non si è in grado di relazionare graficamente e di cui a volte si ignora la complementarietà. In definitiva, più la cartografia numerica aderisce ai concetti topologici dei database topografici, più il dato gestito va concepito come multiscala e di conseguenza ha una precisione propria. Il concetto di scala nominale tipico della cartografia numerica diventa accessorio e riemergono le problematiche legate alla scala di rappresentazione.

IL RILIEVO URBANO NUMERICO PER IL CENTRO DI CERTALDO

In tal senso è stato redatto un progetto per l'uso sinergico di tecniche satellitari, topografiche, fotogrammetriche e di modellazione finalizzato al rilievo urbano numerico di Certaldo Alto.

A partire da due fotogrammi aerei (scala ~ 1:3000) che la Regione Toscana ha messo a disposizione, relativi ad un volo eseguito nel 1980, sono state predisposte le operazioni necessarie alla produzione della cartografia.

Dopo aver monografato sei punti ben individuabili sui fotogrammi e distribuiti in maniera omogenea per l'orientamento esterno, sono state effettuate le operazioni di misura con sistema GPS. La rototraslazione nel sistema Gauss Boaga è stata possibile grazie al collegamento con un vertice IGM95, di cui sono noti i 7 parametri necessari.

Avvalendosi dei dati relativi al volo e alla camera utilizzata e delle coordinate dei punti misurati, si è proceduto alle operazioni di orientamento del modello fotogrammetrico ed alla successiva restituzione (Fig. 3).

Tale restituzione era finalizzata ad ottenere i seguenti prodotti: la cartografia numerica alla scala nominale 1:1000, rappresentata poi in scala 1:500 (Fig. 4), l'ortofoto digitale con DTM e il modello tridimensionale del centro storico.

Il riferimento operativo per le varie fasi è stato un Capitolato⁷, appositamente redatto, contenente le norme tecniche relative sia alla *produzione* della base cartografica che alla *strutturazione* delle primitive grafiche, nonché alla direzione dei lavori ed al successivo collaudo.

Il grado di dettaglio del data base risulta definito attraverso il *Repertorio delle Entità* e la *risoluzione*: per ciascuna categoria di elementi sono indicati un codice, una primitiva geometrica che descrive la forma dell'elemento che essa rappresenta ed una tipologia; la risoluzione del data base, invece, definisce la dimensione minima di un oggetto perché possa essere rappresentato in dimensione reale, ridotto in scala.

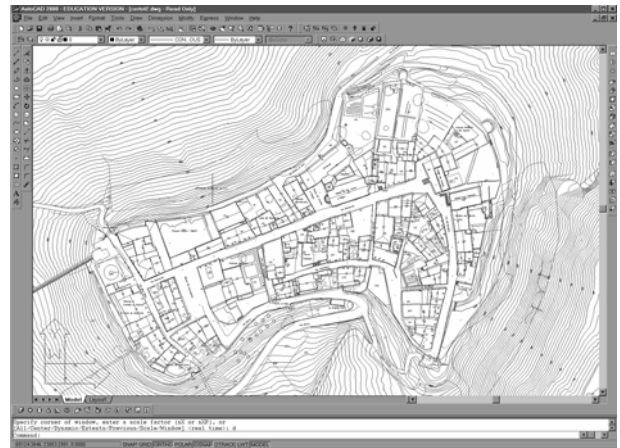


Fig. 3 - Restituzione fotogrammetrica del volo del 1980.

Stabilita in 0,4 mm tale risoluzione, ne deriva che sono rappresentati a misura tutti gli elementi che risultino, almeno in una dimensione, superiori o, al più, pari a 40 cm.

Di tutti gli elementi di dimensione inferiore al limite sopraindicato, sono riportati nel data base soltanto quelli per i quali sia prevista una rappresentazione simbolica.

Il data base è costituito dall'insieme di entità *puntuali, lineari, areali* (le cui primitive geometriche

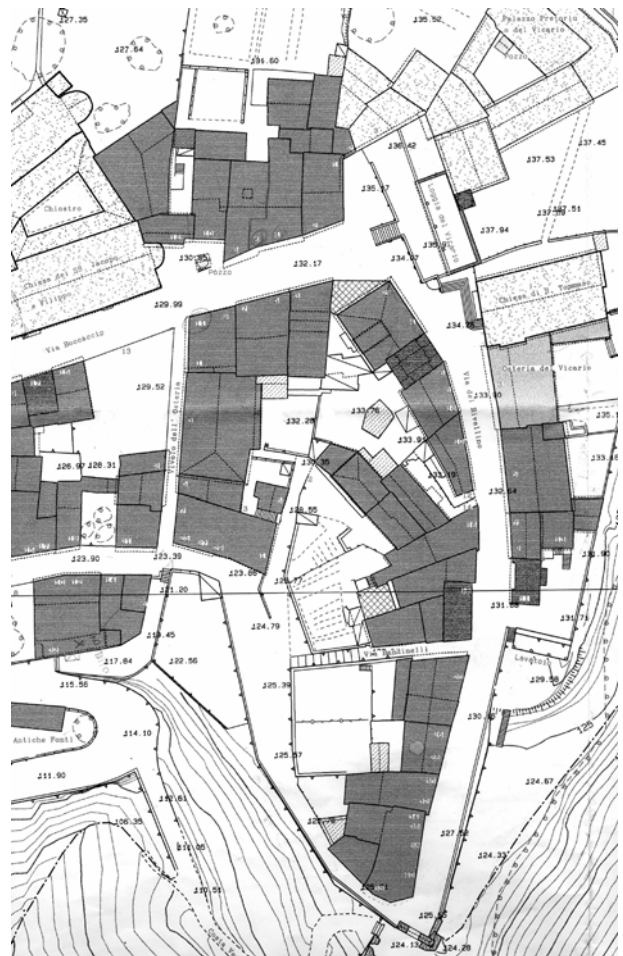


Fig. 4 - Particolare della nuova cartografia numerica di Certaldo.

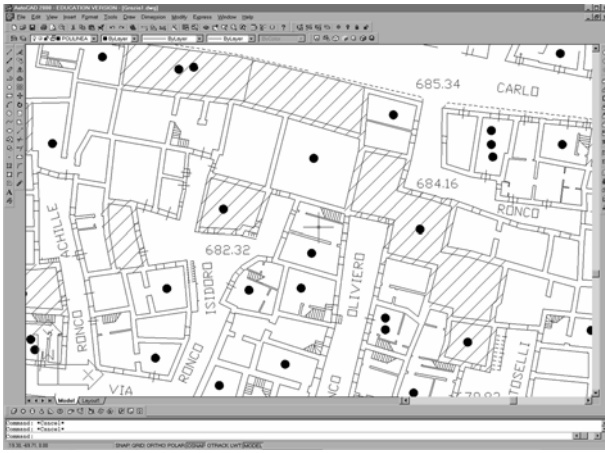


Fig. 5 - Particolare della planimetria al livello dei piani terra acquisita attraverso digitalizzazione.

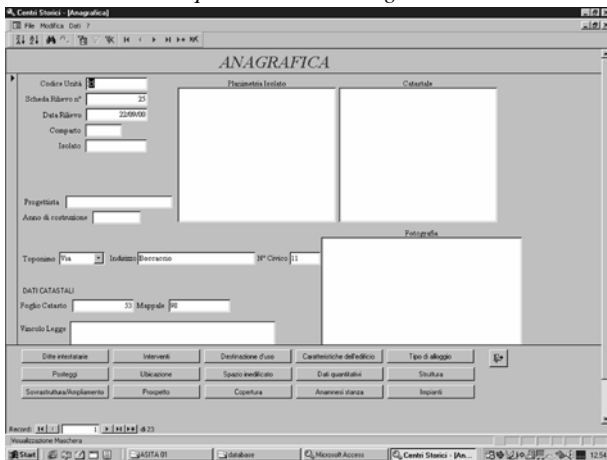


Fig. 6 - Scheda anagrafica: contiene i dati descrittivi delle unità immobiliari. (Lab. di Restauro Architettonico - Prof. M. Dezzi Bardeschi)

corrispondenti sono punti, spezzate aperte e spezzate chiuse), di *testi* per la toponomastica, e di entità *ausiliarie* per facilitare l'interpretazione dei contenuti del data base o per fornire informazioni aggiuntive.

Non sono inclusi invece gli elementi di vestizione che caratterizzano la rappresentazione della cartografia in forma grafica (campiture per gli edifici, barbature per le scarpate, ecc.); il loro inserimento infatti può avvenire associando un'apposita libreria costituita da simboli, linee speciali e campiture.

Particolare attenzione è stata posta nel soddisfare le condizioni di congruenza geometrica, cioè di coincidenza, chiusura, separazione, intersezione, parallelismo⁸

La descrizione geometrica delle entità è realizzata solo mediante punti e spezzate, senza far ricorso a funzioni che realizzino in tempo reale la visualizzazione di cerchi, spline o altro di tipo di linee curve; il numero di vertici della spezzata garantisce il rispetto della tolleranza planimetrica per tutti i punti della linea. Nelle spezzate attraverso le quali viene memorizzata la geometria delle entità, inoltre, il numero dei vertici è il minimo possibile escludendo situazioni in cui vi sono punti sovrapposti, entità intrecciate, lati consecutivi totalmente o parzialmente sovrapposti.

Tutta la banca dati possiede la congruenza geometrica; ogni elemento si imposta su quello adiacente in modo corrispondente a quanto accade nella realtà. La rappresentazione per poligoni chiusi è stata richiesta solo per gli edifici. Tutto il resto della banca dati ha una topologia tridimensionale a spaghetti.

Tra le prescrizioni integrative è stata prevista la realizzazione di poligonali celerimetriche per poter rilevare i *cassoni edilizi* che si affacciano direttamente su aree pubbliche.

Sono stati determinati gli spigoli principali dei cassoni edilizi (insieme di edifici anche con caratteristiche completamente diverse, ma contigui, senza soluzione di continuità) mediante rilevamento topografico diretto; per le singole unità volumetriche, memorizzate come entità areali, si è ricavata, in sede di restituzione, la quota in gronda, memorizzata a sua volta, come entità puntuale di tipo *testo*. Contestualmente sono stati rilevati tutti i numeri civici (riportati in prossimità dei rispettivi ingressi) e la toponomastica relativa al territorio da cartografare. L'operazione di sgrondatura è avvenuta in fase di ricognizione, integrata dal rilievo celerimetrico dei cassoni edilizi.

Questo deve ancora una volta far riflettere sulla precisione intrinseca di un tale metodo di rilievo che richiede operazioni di integrazione e terra, rispetto alla semplice restituzione fotogrammetrica, di entità tanto maggiore quanto più grande è la scala della carta.

La necessaria estensione del rilievo dagli edificati all'insieme dei componenti che costituiscono l'arredo urbano, il sistema di pavimentazione, gli impianti e le reti tecnologiche (fognature, illuminazione, acquedotto, gas, ecc.) ha comportato un ripensamento anche della struttura di questi dati in fase di acquisizione.

Affinché il data base possa essere utilizzato come efficace strumento anche per la gestione delle aree pubbliche destinate alla circolazione è stata prevista una classificazione degli elementi che la compongono, differenziandoli per tipologie (tronchi e nodi di carreggiate, marciapiedi, parcheggi, ecc.). Relativamente alle reti tecnologiche, oltre agli elementi di dimensione rilevante, inseriti in cartografia mediante rappresentazione a misura (es. cabine di trasformazione), è previsto il rilievo e la rappresentazione, in forma simbolica, mediante entità di tipo puntuale, di tutti i punti luce, tombini e pozzetti.

L'altimetria del territorio è rappresentata attraverso curve di livello e punti quotati. I punti quotati sul terreno sono localizzati in corrispondenza di elementi inequivocabilmente definiti sia in planimetria che in altimetria; la quota dei vertici che costituiscono la spezzata è sempre riferita al suolo: ai vertici della spezzata che descrivono l'andamento planimetrico di una struttura che si estende in altezza al di sopra del piano di calpestio, (ad es. il perimetro di un edificio,

un muro, ecc.) viene attribuita la quota al piede della struttura, cioè quella che corrisponde all'intersezione della struttura con il piano di calpestio ad essa adiacente. In corrispondenza però, della linea di gronda di ogni edificio è riportato un punto quotato. Qualora il piede della struttura non sia visibile in restituzione, la sua quota viene determinata in funzione del più vicino punto al suolo stereoscopicamente collimabile. Per tralicci e pali della luce è data la quota al piede, mentre all'entità che corrisponde alla linea elettrica da essi portata viene attribuita la quota propria della linea stessa. Per quanto riguarda la rappresentazione si sono realizzate la *carta al suolo* e la *carta delle coperture* con l'impiego di più colori e campiture in funzione della giacitura del tetto e della tipologia dell'elemento, eliminando la consueta rappresentazione con le frecce e rendendo più agevole la lettura.

IL RILIEVO TEMATICO

Congiuntamente alla produzione di una nuova cartografia, sono state predisposti gli elaborati grafici per redigere le carte tematiche di analisi e di sintesi: sono state recuperate le planimetrie, in formato cartaceo, prodotte per la stesura del Piano Particolareggiato, (scala 1:200), con la rappresentazione delle sezioni ai diversi piani (Fig.5).

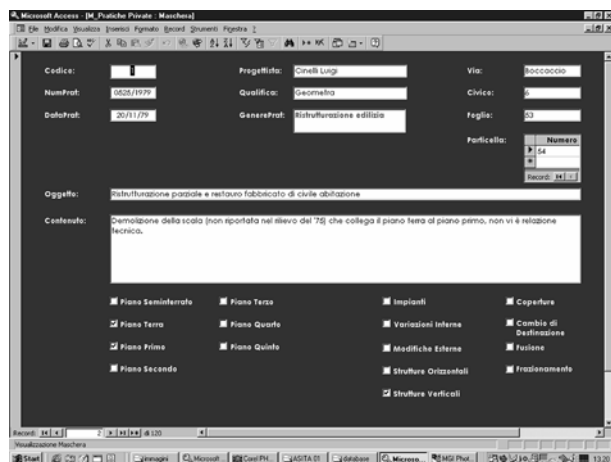


Fig. 7 - Scheda Pratiche Private: esempio di consultazione della raccolta dati sulle Pratiche di edilizia

Dopo opportuna scansione, la digitalizzazione è stata realizzata a video; il supporto deformabile e il disegno caratterizzato da tratti lineari a mano, con inchiostro di china, ha comportato un cospicuo lavoro di verifica e integrazione. Il passaggio ad una scala più piccola ha inoltre obbligato ad un ripensamento in termini di generalizzazione nella rappresentazione. Gli elementi vettorializzati sono stati memorizzati in una struttura di tipo puntuale, lineare e testuale, distribuiti su opportuni livelli, in vista di una gestione topologica dei dati; in tal modo si sono potute identificare, con singole polilinee, le unità immobiliari e le particelle.

Si è scelto pertanto di ricorrere all'*unità immobiliare* piuttosto che all'*unità edilizia* come unità minima in

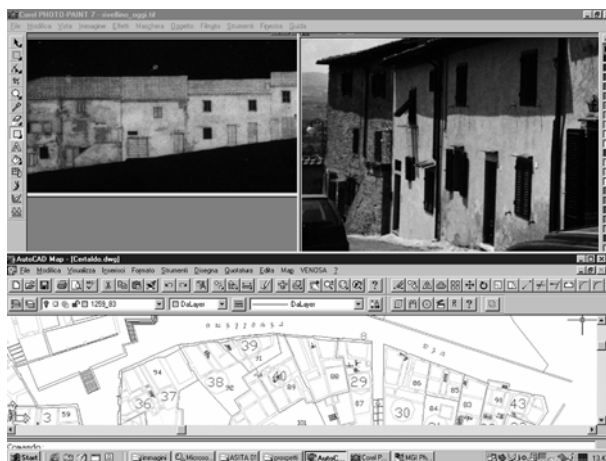


Fig.8 - Confronto tra un rilievo del 1972 ed un'immagine odierna: è evidenziata l'area che ha subito trasformazioni

cui scompare l'edificato essenzialmente per ottemperare a due esigenze: una di tipo gestionale (tutte le pratiche edilizie fanno riferimento all'unità immobiliare), l'altra di tipo concettuale (evitare il riferimento all'unità edilizia può costituire un auspicabile ostacolo a qualsiasi azione di

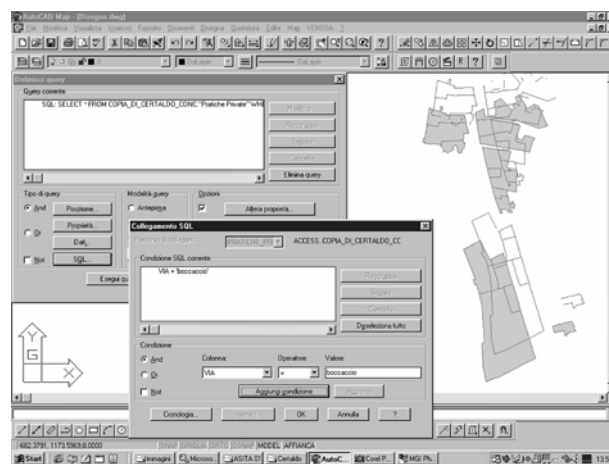


Fig.9 - Esempio di mappatura automatica. Sono evidenziate le unità immobiliari di via Boccaccio interessate da pratiche edilizie.

ricostruzione mimetica rispetto all'ambiente e alle tipologie storiche).

Attraverso codici univoci (in questo caso i numeri di particella e di unità immobiliare), è stato possibile collegare le schede di database, contenenti le informazioni generali sullo stato di fatto delle unità immobiliari e sulle pratiche edilizie attuate dopo l'approvazione del PPR, alla planimetria per consentire una doppia interrogazione, grafica e alfanumerica⁹. (Figg. 6-10). La redazione delle carte tematiche diviene di fatto il prodotto di una interrogazione su ciascuno dei campi che formano le tabelle (numero di pratica, data della pratica, progettista, qualifica del progettista, genere di intervento, numero di particella, via, numero civico,

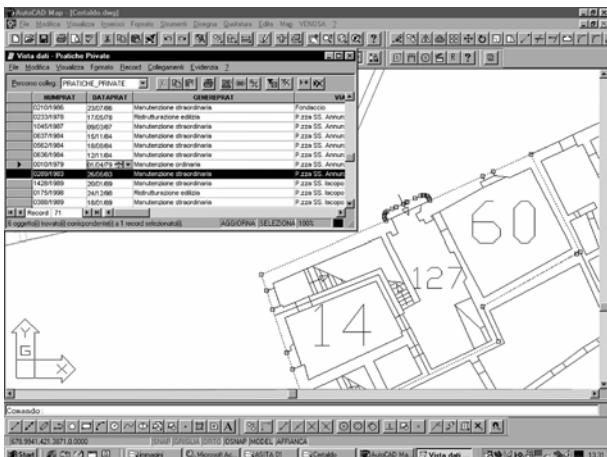


Fig.10 - Interrogazione del database; il record della tabella corrisponde ad una unità immobiliare.

foglio catastale, oggetto specifico dell'intervento, piani dell'edificio che hanno subito modifiche). Oltre al censimento delle trasformazioni dopo l'entrata in vigore del Piano Particolareggiato, il database ha anche la funzione di permettere un aggiornamento progressivo dei dati così da favorirne la gestione.

ORTOFOTO DIGITALE

L'ortofoto è una rappresentazione relativamente rapida ed economica per descrivere oggetti, con le potenzialità della fotografia correlate però ad un sistema di riferimento piano. La geometria corretta di questa particolare immagine si ottiene attraverso la proiezione ortogonale dell'oggetto su un piano; è possibile di conseguenza misurare l'oggetto rappresentato in una scala nota come su una carta. L'ortoproiezione, abbastanza semplice se la

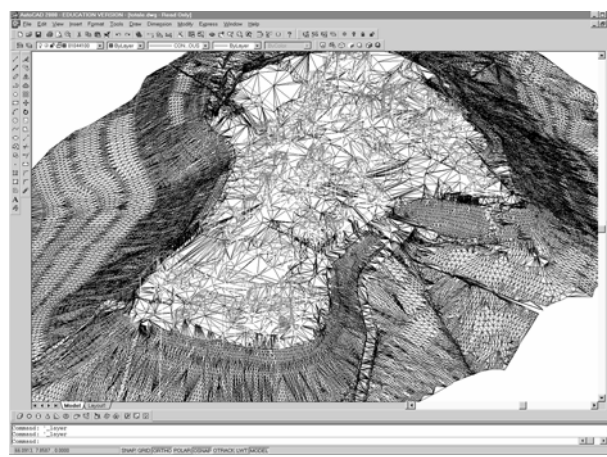


Fig. 11 - Il Tin necessario alla costruzione dell'ortofoto.

superficie dell'oggetto è continua, utilizza algoritmi più complessi e procedure più sofisticate nel caso di centri urbani, in cui si devono considerare le discontinuità (breakline) e le zone nascoste. Si può ottenere una completa descrizione delle aree nascoste mediante l'utilizzo di più immagini, ma la descrizione rigorosa della geometria dell'oggetto richiede la restituzione di una gran quantità di linee di discontinuità. Le soluzioni attualmente più diffuse sfruttano un grigliato regolare integrato con breakline o un modello digitale di superficie che fornisce una descrizione matematica completa della forma di ogni oggetto mediante un insieme di primitive geometriche (piani e quadriche). In aree urbane o in oggetti architettonici complessi è spesso equivalente, in termini di tempo e costo, alla completa restituzione fotogrammetrica. Oggi le nuove opportunità che derivano dalle tecniche di laser scanning facilitano l'acquisizione di DTM molto densi e vi sono già studi che dimostrano l'efficacia di queste procedure in grado di condurre ad una completa automazione delle



Fig. 12 - Ortofoto digitale di Certaldo Alto (fotogrammi: Regione Toscana 1980).

operazioni¹⁰.

Nel caso di Certaldo, se pure il volo non fosse stato espressamente progettato per la produzione di ortofoto, le sue caratteristiche ne hanno comunque permesso l'utilizzo (è opportuno infatti che vi sia un ricoprimento del 80% per poter utilizzare esclusivamente la parte centrale del fotogramma). È stata quindi eseguita una scansione a 1800 dpi con scanner fotogrammetrico ed è stato utilizzato un DTM di tipo a matrice con passo pari a 4 m fra punti successivi; in uscita il pixel al suolo risulta così pari a 5 cm.

Per la produzione del DTM a matrice si è preferito realizzare dapprima un DTM a triangoli. A tale scopo sono stati inseriti automaticamente, con appositi filtri, come breaklines, tutti gli elementi vettoriali della carta tecnica nel loro contenuto tridimensionale. In tal modo sono rare le interpolazioni tra punti lontani ed i triangoli sono fortemente vincolati a terra. Sulle aree non correttamente interpolate in automatico si può intervenire manualmente sulla base degli elementi presenti in cartografia (Fig. 11).

Il DTM a triangoli costituisce la base per determinare

fotogrammi, elemento non trascurabile per verificare la qualità metrica del risultato, soprattutto alle grandi scale, ove la collimazione monoscopica dei punti di appoggio risulta spesso molto diversa dalla percezione stereoscopica degli stessi, utilizzata per l'orientamento dei modelli nella fase di restituzione. Infine la carta numerica è stata sovrapposta all'ortofoto digitale per un controllo manuale della corrispondenza geometrica degli elementi al suolo¹¹.

IL MODELLO CARTOGRAFICO TRIDIMENSIONALE

Le esperienze più recenti tendono a recuperare, grazie al carattere digitale dei dati, la continuità propria della realtà; alcuni filoni di ricerca¹² mirano a sviluppare sistemi per la modellazione, manipolazione e analisi di dati spaziali entro un ambiente di realtà virtuale.

L'ipotesi per il futuro è quella di poter agire sui dati Gis attraverso una interfaccia virtuale in tempo reale: si potrà passeggiare attraverso ambienti 3D, vedere le

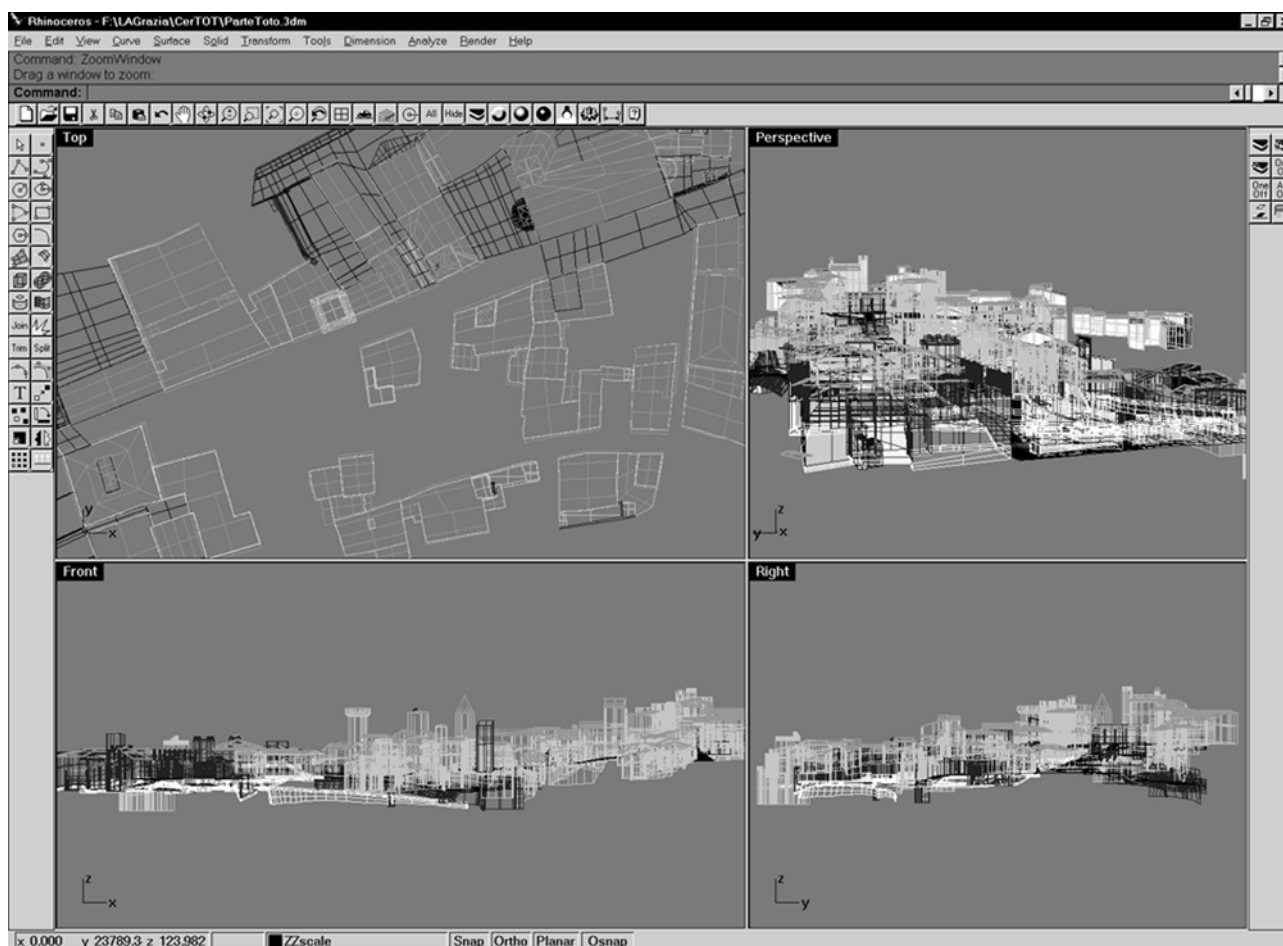


Fig. 13 - Il modello tridimensionale ottenuto dalla cartografia.

le quote dei nodi di griglia del DTM a matrice, di passo pari a 4 m come definito nel Capitolato. Per l'esecuzione dell'ortofoto (Fig. 12) si è ritenuto necessario verificare i parametri d'orientamento dei

costruzioni pianificate e apprezzare i cambiamenti del territorio. Operazioni di selezione, identificazione, misura e buffering diventano così possibili consentendo ad esempio simulazioni dei

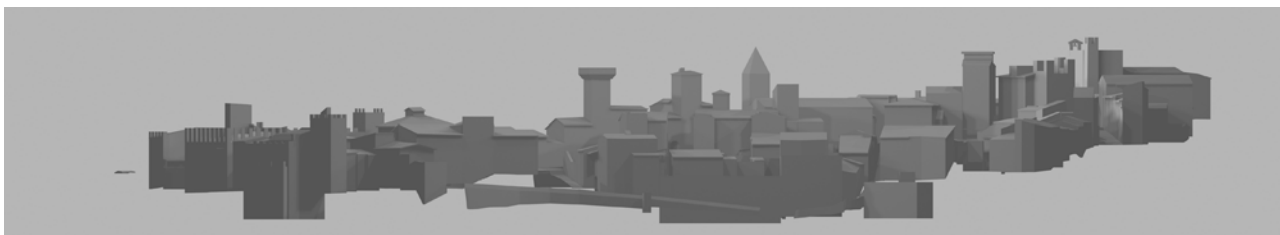
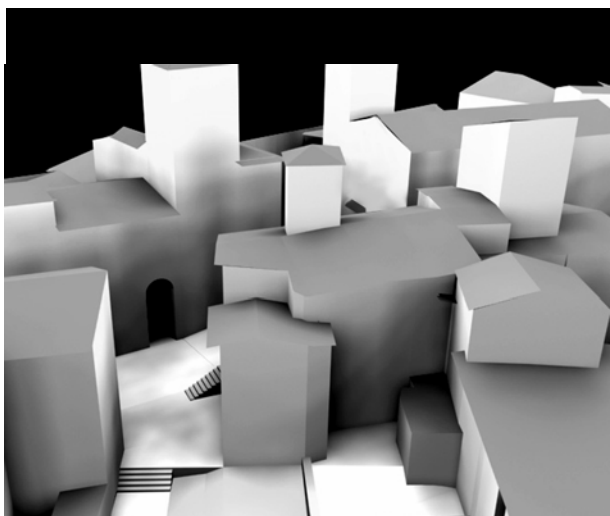


Fig. 14 – Vista complessiva del modello del solo edificato.

corpi illuminanti e una più consapevole e meglio finalizzata progettazione degli impianti tecnici rispetto alla reale configurazione del terreno.

I livelli di dettaglio sono variabili in rapporto alle finalità con ovvie ripercussioni sia sui costi di produzione sia sulle tecniche di acquisizione e modellazione. A partire dalla cartografia numerica i modelli solidi possono essere generati abbastanza velocemente per estrusione, una volta nota la quota di gronda di ogni edificio. Proiettando sul modello digitale del terreno la cartografia raster od una ortofoto, si aprono interessanti prospettive per la rappresentazione; ingrandendo i particolari, tuttavia, emerge la natura planimetrica delle informazioni contenute e le approssimazioni inevitabili nella sua produzione: è necessario infatti acquisire dati aggiuntivi (ad esempio le immagini delle facciate



Figg. 15, 16 - Due viste del modello 3D.

degli edifici) e modellare appositamente la vegetazione di parchi, viali e giardini.

La fotogrammetria è in grado di produrre tali modelli alla scala, al dettaglio e con l'accuratezza desiderata e per il momento è la tecnica che consente di ottenere i migliori risultati in questo settore applicativo: grazie all'uso esclusivamente delle immagini orientate per esplorare modelli digitali e alla possibilità di ottenere restituzioni con un maggior livello di automatismo si moltiplicano le prospettive ed i campi di applicazione.

Essa presenta tuttavia costi elevati, in particolare per i lunghi tempi di strutturazione dei dati, da eseguirsi prevalentemente in fase di restituzione. La presente ricerca costituisce proprio un tentativo di ridefinire le procedure di restituzione per individuare una struttura geometrica¹³ che conduca, nel modo più diretto, grazie all'impiego di tecniche di Computer Graphics, ad un modello cartografico che, per la natura stessa dei dati acquisiti, è già tridimensionale ma necessita di pesanti elaborazioni per una rappresentazione di solidi, superfici ed eventuali texture.



Figg. 17, 18 - Il modello, ancora in fase di completamento, con sovrapposizione di texture.



Per la creazione del modello si è proceduto separando i dati del terreno da quelli dell'edificato. I volumi

sono stati estrusi a partire dalla planimetria delle strutture riferite al suolo (dopo opportuna integrazione con i dati ottenuti dalle operazioni celerimetriche, per le parti non visibili nei fotogrammi, e di sgrondatura) e uniti con le coperture. (Figg. 13, 14, 15, 16)

In questa fase sono stati individuati così tutti i tipi di dati metrici per la ricostruzione tridimensionale, non necessariamente coincidenti con quelli abitualmente rilevati per la produzione di cartografia. Il modello può essere esplorato da punti di vista ravvicinati che richiedono una maggiore definizione dei dettagli: sporgenze, rientranze e variazioni di allineamento, a volte inferiori alle tolleranze, possono essere significativi per la comprensione delle strutture ma, l'elaborazione, in questo caso, non può prescindere da una attenta analisi critica delle componenti che costituiscono la scena urbana.

Il progressivo avvicinamento del punto di vista consente inoltre integrazioni a scale differenti. Ciò che è stato rilevato per la cartografia in scala 1:1000, può essere rappresentato anche in scale più grandi dove la ricchezza dei dettagli è necessaria alla lettura qualitativa delle informazioni: i fronti strada ad esempio, sono stati acquisiti con camera digitale e corretti dalle distorsioni prospettiche in modo da poter essere utilizzati come texture dei volumi (Figg. 17, 18).

La ricerca, ancora in itinere, prevede da un lato il proseguimento delle verifiche, con i dati acquisiti, dei metodi di strutturazione automatica, che sulla base di una procedura ordinata di restituzione dei vertici, ricostruiscono la topologia delle connessioni tra i punti, dall'altro il tentativo di esplorare le potenzialità di riconoscimento e modellazione automatica con l'impiego dei dati di altezza prodotti da sensori attivi come il laser a scansione da aereo¹⁴.

¹ Questa esperienza si è svolta all'interno dell'unità di ricerca diretta dal Prof. G. CRUCIANI FABOZZI (*Consistenza strutturale dei tessuti edilizi nei centri storici: analisi dello stato di fatto e gestione dei dati ai fini di programmi di recupero*) nell'ambito del progetto cofinanziato dal MURST *Predisposizione di un sistema informativo territoriale finalizzato al progetto di conservazione dei centri storici* (responsabile scientifico: Prof. M. DEZZI BARDESCHI).

² M. DEZZI BARDESCHI, G. CRUCIANI FABOZZI (a cura di) *Certaldo alto: studi e documenti per la salvaguardia dei beni culturali e per il piano di restauro conservativo del centro antico*, Arti Grafiche Federighi, Certaldo 1975.

³ "Il ritratto, la pianta della città, conterrebbe così, simultaneamente, la traccia di un passato che permane e la struttura di un futuro da realizzare." L. MARIN, *La mappa della città e il suo ritratto* in *Della rappresentazione*, Melteni Editore, Roma 2001, pp. 79-94.

Si vedano anche: S. COPPO, *Tessuti urbani storici minori: progetto di conoscenza, progetto di tutela*. In: *Borgo Po 1999: un'esperienza di rilievo della trasformazione*. Levrotto & Bella, Torino 1999

S. COPPO, *Cartografia e rilievo tematico di tessuti urbani*. In *Emergenza rilievo*, Edizioni Kappa, Roma 1999.

⁴ B. ASTORI, F. GUZZETTI, *Strumenti e metodi per la produzione della base dati geometrica*, in: M. PANZERI, G.

GASTALDO, *Sistemi informativi geografici e Beni Culturali*, Celid, Torino 2000, pp.31-37

⁵ Si veda lo studio *La rappresentazione del Territorio a grande scala* di PATRIZIA CANELLA, ALBERTO DE LUIGI E CORRADO RUMI, con la collaborazione del Centri Interregionale di coordinamento e documentazione per le informazioni territoriali, Supplemento 3-4/1986 della rivista *Documenti del Territorio*.

⁶ P. GIANDEBIAGGI, *L'edilizia nella cartografia: problematiche e norme di rappresentazione*. In *La normazione nella rappresentazione dell'edilizia*. Atti del convegno, svoltosi a Roma dal 22 al 24 settembre 1994, a cura di Maria Martone, Roma 2000.

⁷ Anche le *Specifiche tecniche di capitolato per il rilievo di centri storici e per il recupero delle informazioni cartografiche catastali* elaborate da F. Guzzetti e A. Trebeschi sono parte integrante dei risultati della suddetta ricerca MURST.

⁸ *Coincidenza*: che ogni punto appartenente fisicamente a più entità, sia memorizzato con le stesse coordinate in tutte le entità; *chiusura*: che siano coincidenti le coordinate del punto iniziale e finale di ogni spezzata che delimita una entità areale; *separazione*: che le coordinate dei punti della spezzata che separa due diverse entità risultino identiche in entrambe le entità; *intersezione*: in corrispondenza del punto di intersezione anche sulla spezzata intersecata dovrà essere presente un vertice; *parallelismo*: parallelismi esistenti tra elementi fisici del terreno dovranno mantenersi tra le entità mediante le quali tali elementi sono memorizzati negli archivi numerici.

⁹ V. EMANUELLI, G. TUCCI, *Un'applicazione Gis per la gestione di piani di conservazione urbana e recupero del patrimonio immobiliare*, Atti della 5° Conferenza Asita, Rimini 2001.

¹⁰ S. DEQUAL, A. LINGUA, F. RINAUDO, *Ortofoto digitale di precisione*, Supplemento speciale del Bollettino Sifet 2/2001

¹¹ F. GUZZETTI, A. MIGLIORINI, *La qualità, l'integrazione e la rappresentazione del dato cartografico: carta numerica, ortofoto e mappa catastale del Comune di Merano*, Documenti del territorio, n 44/2000

¹² G. VAN MAREN, R. GERMS *Karma VI: A Virtual Reality Interface for the Spatial Database Engine*,

A. GRÜN, X. WANG, *CC-Modeler: A topology generator for 3D city models*, ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, vol 53, 1998

C. BRENNER, N. HAALA, *Fast production of virtual reality city models*, IAPRS, vol.32, Part 4, Stuttgart, 1998.

W. FOERSTNER, *3D-city models: automatic and semiautomatic acquisition methods*, in: D. FRITSCH, R. SPILLER (eds), *Photogrammetric Week 99*, Wichmann Verlag, pp. 291-303.

¹³ L. MUSSIO, G. TUCCI, *Modelli ad oggetti: topologie 3d*, Atti della 3° Conferenza Asita, Napoli, 1999.

¹⁴ C. NARDINOCCHI, G. FORLANI, *Individuazione degli edifici e segmentazione dei tetti in dati LIDAR*, Supplemento speciale del Bollettino Sifet 2/2001.