



Estrazione di particolari di interesse cartografico da immagini aeree

I processi che non richiedono l'impiego della conoscenza da parte dell'operatore (*processi di tipo non semantico*; Heipke&Kornus, 1991), hanno oramai raggiunto un buon livello di automatizzazione: tecniche per l'orientamento interno e l'orientamento relativo delle immagini sono ampiamente utilizzate con ottimi risultati (Heipke, 1996); la ricerca di punti omologhi con tecniche di correlazione ai minimi quadrati ha raggiunto una precisione nella localizzazione di una coppia che, in relazione ai particolari selezionati, è comparabile o superiore a quella ottenuta manualmente (Hahn, 1993); la produzione di ortofoto digitali è un prodotto standard su un gran numero di DPWS (Leberl, 1991).

Nei processi in cui l'interazione umana è fondamentale e difficilmente sostituibile (*processi di tipo semantico*), si impiegano tecniche di alto livello della *computer vision* e di intelligenza artificiale, settori che già da tempo si occupano dei problemi di interpretazione. Fra questi processi vi sono l'orientamento assoluto, il riconoscimento di punti d'appoggio segnalizzati o naturali e l'interpretazione dell'immagine per l'estrazione degli oggetti contenuti nella scena.

L'interpretazione, la classificazione e l'estrazione automatica di oggetti da immagini aeree permettono l'integrazione tra sistemi fotogrammetrici digitali e sistemi informativi territoriali; in particolare l'estrazione delle reti stradali e dell'edificato rappresenterebbe un progresso significativo per il controllo e l'amministrazione del territorio. Ad esempio, il

L'avvento della fotogrammetria digitale, datato agli inizi degli anni '90 (Leberl, 1991), ha dato l'avvio ad una rivoluzione della strumentazione e delle tecniche fotogrammetriche. I due aspetti più interessanti che ne sono derivati sono stati da un lato la nascita delle nuove stazioni digitali, dall'altro la potenzialità di automazione dei processi fotogrammetrici (dall'acquisizione al prodotto finale, sotto forma di dati GIS o CAD), che rappresenta la prospettiva più ambiziosa della fotogrammetria digitale. Infatti le tecniche fotogrammetriche manuali per l'analisi dell'immagine permettono di raggiungere un'elevata precisione, ma richiedono strumenti costosi, lunghi tempi di elaborazione e personale altamente qualificato. La diffusione dei sistemi informativi territoriali ha poi fatto nascere l'esigenza di un aggiornamento dei dati più frequente di quello della cartografia e l'unico metodo per riuscire a soddisfare tale necessità a costi accettabili è quello di fare affidamento sulle tecniche automatiche.

controllo dell'edificato, effettuato con dati aggiornati e facilmente aggiornabili, permette di migliorare la qualità dei dati catastali; la creazione di modelli 3D degli edifici è utile come supporto alla progettazione ed alla pianificazione urbanistica a grande scala, nel settore della protezione civile, nelle valutazioni di impatto; nel campo delle telecomunicazioni sono necessari modelli aggiornati delle aree urbane per progettare una efficiente dislocazione dei ripetitori per la telefonia mobile; infine, per applicazioni militari è oramai sempre più importante la distinzione tra obiettivi "militari" e "culturali". Con questa prospettiva sono sorti vari progetti, fra cui quello della TU di Monaco di Baviera (Steger et al, 1995) per l'estrazione automatica di strade da immagini aeree con interfacciamento verso il Sistema Informativo Topografico Cartografico Tedesco ATKIS DLM25 (scala 1:25000). Anche l'Istituto Geografico Nazionale Francese (IGN) ha finanziato progetti per l'estrazione automatica di strade e di case (Jamet et al., 1995), con l'obiettivo di utilizzare tali tecniche per l'acquisizione e l'aggiornamento dei dati geografici nazionali.

Fra le principali ricerche attive a livello internazionale ricordiamo, ad esempio: il progetto BEX (Building Extraction) dell'Università di Bonn; il progetto APGD (Automatic Population of Geospatial DataBases) finanziato dalla DARPA (Defense Advanced Research Projects Agency) a cui partecipa la comunità informatica americana con carattere militare; il progetto Amobe (Automation of

DTM Generation and Extraction of Man-Made Object from Aerial Image) organizzato dall'ETH (Zurigo). La figura 1 mostra alcuni risultati dell'estrazione automatica di manufatti.

L'interpretazione dell'immagine

L'interpretazione automatica di immagini può essere suddivisa in diverse fasi, in relazione agli obiettivi ed alle informazioni disponibili. Nel contesto specifico, l'estrazione di un dato oggetto dalla scena richiede la sua identificazione (*Object Detection*) e la sua ricostruzione (*Object Reconstruction*). L'identificazione accerta la presenza dell'oggetto e lo localizza approssimativamente, la ricostruzione ne determina le caratteristiche fisico-geometriche e/o topologiche. Entrambe le fasi richiedono una descrizione esplicita o implicita (modello) dell'oggetto, inscritta nelle strategie impiegate. In funzione dell'oggetto da identificare (strade, case, campi, boschi, etc.) e del tipo di immagine con cui si lavora (a piccola, media o grande scala) variano i metodi di identificazione: non esiste a tutt'oggi un sistema automatico di interpretazione che lavori in modo ottimale per ogni tipo di oggetto e/o di immagine.

La fase di identificazione può essere svolta automaticamente o manualmente: nel secondo caso si parla di tecniche semiautomatiche. Esse rappresentano un buon compromesso fra tempo operatore e tempo macchina; infatti mentre la fase di identifi-

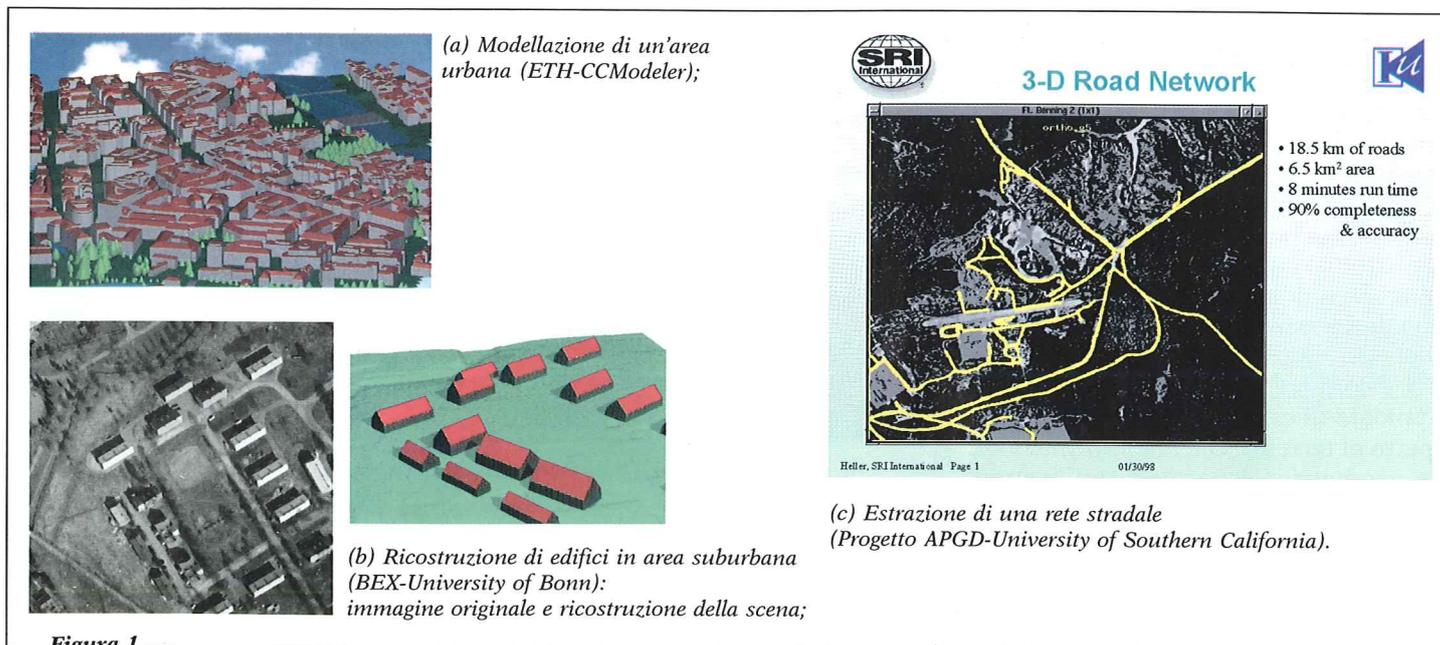


Figura 1

cazione è relativamente rapida per l'operatore e laboriosa per la macchina, a causa della natura semantica del problema, quella di estrazione al contrario richiede lunghi tempi all'operatore. Nonostante ciò gli indiscutibili vantaggi di un processamento completamente automatico spingono la ricerca verso tale direzione.

Modello dell'oggetto

Nel caso in cui l'estrazione è effettuata manualmente, si utilizza il sistema di conoscenza dell'uomo, costruito con un processo di apprendimento nel corso della sua esistenza. Per un sistema automatico è necessario anzitutto costruire la cosiddetta base della conoscenza da cui, implicitamente o esplicitamente, il metodo di riconoscimento attinge. Un problema tuttora irrisolto è la scarsa flessibilità della base, per cui piccole deviazioni della realtà dalle descrizioni assegnate, spesso provocano il fallimento della procedura di riconoscimento.

La descrizione dell'oggetto, intesa come elenco delle sue caratteristiche, prende il nome di *modello*. Il livello di specializzazione della descrizione distingue i modelli in *specifici* e *generici*. Nel primo caso viene descritto in dettaglio un oggetto, nell'altro una classe di oggetti simili (Sester, 1993).

Nel riconoscimento automatico di oggetti di carattere cartografico si

impiegano in prevalenza modelli generici, i quali permettono ai parametri ed alle relazioni fra primitive geometriche di variare in accordo a determinate regole.

Ad esempio, per l'oggetto strada è possibile utilizzare le seguenti caratteristiche:

- è un oggetto allungato (caratteristica geometrica);
- costituito da coppie di elementi lineari a tratti, poste ad una distanza nota (caratteristica geometrica);
- i tratti rettilinei sono collegati da sezioni con curvature predefinite (caratteristica geometrica);
- la superficie della strada generalmente è omogenea (caratteristica radiometrica);
- la superficie stradale ha un buon contrasto con le aree adiacenti (caratteristica radiometrica);
- le strade non si interrompono senza un motivo (caratteristica topologica);
- si intrecciano fra loro costruendo una rete (caratteristica topologica);
- possono contenere alcuni oggetti (auto) e non altri (case) (caratteristica topologica);
- l'adiacenza è accettabile con ogni altro tipo di oggetto (caratteristica topologica);

- connettono città (caratteristica funzionale);
- lungo esse passano automobili (caratteristica funzionale);
- possono essere occluse da altri oggetti (case, o alberi) (caratteristica contestuale);
- una serie di case o alberi allineati possono definire una strada (caratteristica contestuale);
- strade sopraelevate (viadotti) generano un'ombra (caratteristica contestuale).

Le caratteristiche elencate per l'oggetto strada rappresentano un modello generico, valido per tutte le tipologie stradali (urbane, extraurbane, autostrade, o strade sterrate). In base al contesto in cui si opera può essere ulteriormente specificato il modello: ad esempio Huertas et al., 1990, interpretano una scena aeroportuale distinguendo le piste degli aerei, le strade di accesso e gli edifici, inserendo nel modello l'informazione che il manto stradale delle piste presenta caratteristiche radiometriche diverse da quello delle strade.

Le case hanno una più varia tipologia rispetto alle strade. Nelle immagini aeree, il tetto è l'unica parte visibile per cui l'analisi è principalmente concentrata sullo studio delle varie forme di tetto. Dal punto di vista geometrico, i modelli generici si

possono distinguere in tre gruppi: i modelli parametrici, che sono adatti a costruzioni semplici, isolate, a base rettangolare (figura 2a); i modelli prismatici, la cui base è costituita da un insieme di poligoni chiusi di forma qualsiasi (figura 2b); infine i modelli poliedrici, che risultano da una combinazione dei modelli precedenti e vengono selezionati quando i primi due non sono sufficienti a descrivere l'oggetto (figura 2c).

La caratteristica comune ad ogni tipologia di casa è l'essere elevata rispetto al terreno. Questa informazione geometrica è pertanto utilizzata dalla maggior parte delle ricerche finalizzate all'estrazione di edifici, sia direttamente (con la fusione dei dati d'altezza ai dati immagine) sia indirettamente (caratteristica contestuale: le case creano un'ombra).

L'identificazione degli oggetti

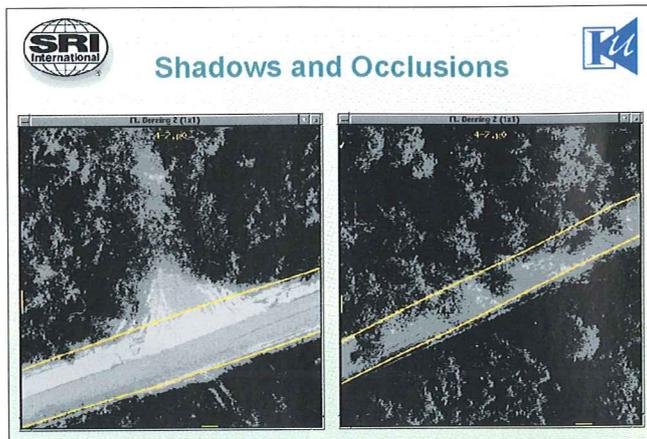
Nel riconoscimento di strade, la maggior parte delle strategie sono di tipo semiautomatico. L'operatore assegna un punto appartenente alla strada e la direzione di avanzamento (Heipke et al., 1994), oppure un segmento di strada da cui il sistema estrae i parametri di riferimento (ampiezza, caratteristiche radiometriche, etc.) per le successive ricerche, oppure una serie di punti appartenenti ai due bordi della strada (Trinder, 1995).

L'interazione con l'operatore è prevista anche per superare ostacoli, per validare le scelte effettuate dall'algoritmo e per risolvere ambiguità (v. figura 3).

Figura 3. Ostacoli da superare con l'intervento dell'operatore nel riconoscimento automatico di strade: (a-b) Progetto APGD University of Southern California; (c) Tesi di Dottorato di Carla Nardinocchi



c)



a)

b)

Nell'estrazione di edifici, in particolare quelli isolati e di forme regolari, esistono numerosi metodi automatici con elevate percentuali di successo; l'intervento dell'operatore è comunque necessario per la verifica finale dei risultati e la loro eventuale rettifica.

La figura 4 riporta le percentuali di successo dell'estrazione con metodi monoculari di edifici rappresentabili da parallelepipedi.

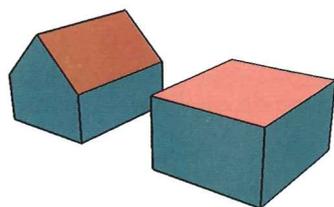
Il controllo dei risultati è fondamentale per eliminare errori di omissione e di commissione: i primi derivano dal mancato riconoscimento, i secondi da un riconoscimento errato. Per irrobustire la ricerca conviene integrare nel procedimento informazioni provenienti da più sorgenti, che derivano da più operatori agenti sulla stessa immagine, oppure da più immagini o semplicemente analizzando la stessa immagine a differenti risoluzioni geometriche (piramide d'immagine) (Steger et al., 1994) o radiometriche (immagini multispettrali).

In particolare la combinazione di diverse sorgenti di dati (immagini radiometriche e modelli digitali della superficie), ha dato ottimi risultati nel caso dell'estrazione di edifici.

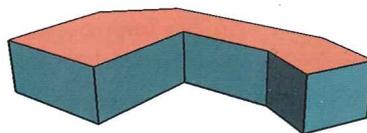
Da tecniche di correlazione di immagini stereo su sistemi digitali o, in alternativa, da acquisizioni dirette con tecniche laser, si hanno a disposizione modelli digitali della superficie (DSM) che rappresenta il terreno con gli oggetti che vi appartengono (figura 5). In corrispondenza di oggetti ben distinti dalla superficie (case, alberi o altro), il DSM presenta dei blobs, fornendo un indizio ed un'indicazione approssimata della loro posizione. Il problema è quello di discriminare gli edifici da altri oggetti alti presenti nell'immagine, ad esempio la vegetazione; risulta utile per la convalida delle ipotesi l'integrazione dei dati d'altezza con le informazioni radiometriche contenute nell'immagine originale (figura 1b).

Le immagini multispettrali permettono di effettuare una classificazione dei materiali in base al loro gra-

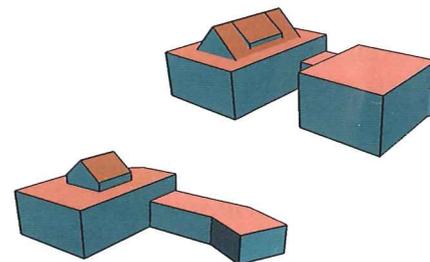
Figura 2



a) Modello parametrico;



b) Modello prismatico;



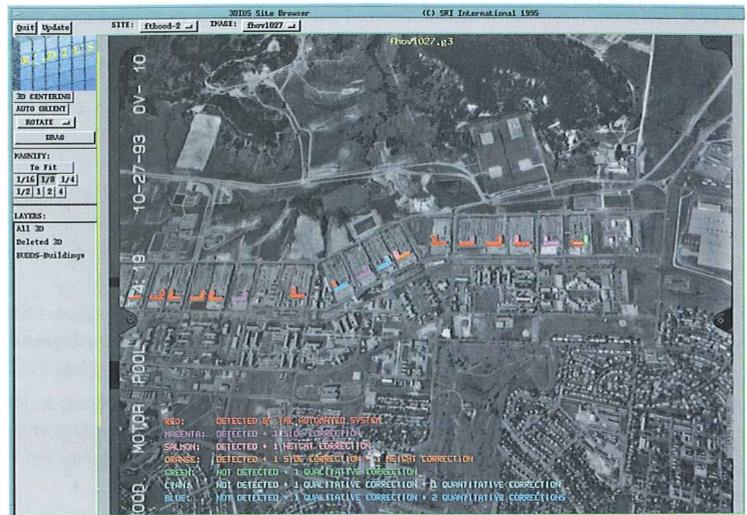
c) Modello poliedrico.

Statistics of Buildings Detection



| Required Interaction | Color | Number of Buildings | Cumulated Percentage |
|--|---------|---------------------|----------------------|
| Correctly Detected (No Interaction) | Red | 19 | 55.88 % |
| Detected + 1 Side Correction | Magenta | 7 | 76.47 % |
| Detected + 1 Height Correction | Yellow | 2 | 82.35 % |
| Detected + 1 Side Correction + 1 Height Correction | Orange | 1 | 85.29 % |
| Not Detected + 1 Qualitative Correction | Green | 1 | 88.24 % |
| Not Detected + 1 Qualitative + 1 Quantitative | Cyan | 2 | 94.12 % |
| Not Detected + 1 Qualitative + 2 Quantitative | Blue | 2 | 100.0 % |
| TOTAL | | 34 | |

Figura 4. Estrazione automatica di edifici isolati: percentuale di intervento dell'operatore per numero di case



do di riflessione; si sfrutta il fatto che gli oggetti artificiali sono separati da quelli naturali nel dominio delle frequenze da cui si possono distinguere tetti, oppure asfalti, dalla vegetazione (figura 6).

Un ulteriore metodo di identificazione si basa sui principi della percezione. Gli elementi di antropizzazione del territorio, in particolare quelli urbani e viabilistici, presentano delle strutture di tipo regolare con specifiche proprietà geometriche. Molti sistemi di visione utilizzano linee rette e/o segmenti collineari (Gupta et al. 1993; Huan&Lean, 1994; Ascona 1997; Ascona 1998) per descrivere l'informazione rilevante contenuta in un'immagine; molte discontinuità fisiche del mondo reale, ben identificabili e localizzabili nelle immagini, hanno queste caratteristiche di regolarità.

Il criterio di raggruppamento più usato è il parallelismo; oltre a questo si cercano forme geometricamente semplici, ad esempio rettangoli, cerchi, oppure regioni o figure chiuse o simmetriche che formano le basi per la costruzione di ipotesi sulla presenza di oggetti nella scena.

Per quanto riguarda le case, generalmente i contorni vengono estratti dall'intersezione dei piani che descrivono la superficie. La superficie dei piani si stima a partire dai punti che ad essa appartengono. La figura 7 mostra i risultati nell'estrazione di una casa, basata su un modello parametrico.

Conclusioni

L'estrazione automatica di manufatti da immagini aeree o da satellite è sicuramente un problema aperto che richiede ancora un investimento di energia per definire delle tecniche robuste atte alla sua soluzione.

Dei punti fermi sono stati comunque raggiunti: innanzitutto la strategia dipende dall'elemento da estrarre e dal tipo di immagine (da aereo, da satellite oppure a piccola o grande scala); inoltre, essendo il problema alquanto complesso, i dati immagine da soli non sono sufficienti per risolvere le numerose ambiguità che si vengono a creare.

E' indubbio inoltre l'interesse della comunità scientifica verso tale problema per le prospettive che aprirebbe, non ultima quella di una più stretta integrazione della fotogrammetria digitale con i sistemi informativi territoriali.

Bibliografia

AGOURIS P., T. SCHENK, 1996. Automated Aerial triangulation Using Multiple Image Multipoint Matching. In: Photogrammetric Engineering & Remote Sensing (PERS), Vol. 62, No. 6, pp. 703 - 710.

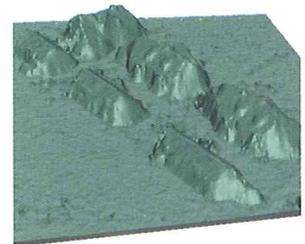
ASCONA WORKSHOP, 1995. Automatic Extraction of Man-Made Objects from Aerial and Space Images. Edited by A.Gruen, O.Kuebler, P.Agouris, Birkhaeuser Verlag, Basel.

ASCONA WORKSHOP, 1997. Automatic Extraction of Man-Made Objects from Aerial and Space Images (Volume II). Edited by A.Gruen, Birkhaeuser Verlag, Basel.

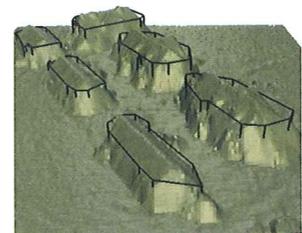
BAEHR H. P., J. WIESEL, 1991. Cost-Benefit Analysis of Digital Orthophoto Technology. In: Digital Photogrammetric Systems, H. Ebner, D. Fritsch, C. Heipke (Eds.), Wichmann Verlag Karlsruhe, pp. 59 - 73

Figura 5.

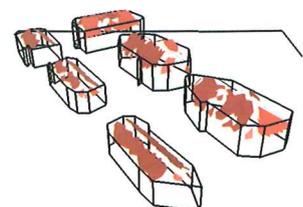
Da progetto BEX Università di Bonn:



(a) DSM prodotto da una coppia di immagini stereo;



(b) Proiezione del modello sui dati d'altezza per l'identificazione dell'edificio;



(c) Integrazione dei dati d'altezza con l'analisi radiometrica dell'immagine.

BITELLI G., A. CARRARA, L. VITTUARI, 1996. *Comparison of DTMs from Countour Lines and Digital Photogrammetry*. In: *Reports on Surveying and Geodesy* (ed. M. Unguendoli), Nautilus ed. Bologna, pp. 159 - 180.

DANG T., O. JAMET, H. MAITRE, 1994. *Applying Perceptual Grouping and Surface Models to the detection and stereo reconstruction of Building in aerial Imagery*. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing (IAPRS)*, Vol.30/3, pp.165-172.

DEQUAL S., A. LINGUA, F. RINAUDO, 1996. *Matching Techniques and Algorithms for some Basic Photogrammetric Procedures in the Low Cost Digital Photogrammetric Systems*. In: *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing (IAPRS)*, Vol.31/B1, pp.48 - 53.

DOWMAN I. J., 1991. *Design of Digital Photogrammetric Workstations*. In: *Digital Photogrammetric Systems*, H. Ebner, D. Fritsch, C. Heipke (Eds.), Wichmann Verlag Karlsruhe, pp. 28 - 38.

DOWMAN I. J., H. EBNER, C. HEIPKE, 1992. *Overview of European Developments in Digital Photogrammetric Workstation*. In: *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing (PERS)*, Vol. 58, No. 1, pp. 51 - 56.

FRI TSCH D., M. SESTER, 1994. *Test on Image Understanding*. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing (IAPRS)*, Vol.30/3, pp.243-248.

FUA P., Y. G. LECLERC, 1996. *Taking Advantage of Image-Based and Geometry-Based Constraints to Recover 3-D Surfaces*. In: *Computer Vision and Image Understanding*, Vol. 64, No. 1, pp. 111-127.

GRUEN A., H. LI, 1994. *Semi -Automatic Road Extraction by Dynamic Programming*. In: *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing (IAPRS)*, Vol.30/3, pp.324-332.

GUELCH E., 1991. *Automatic Extraction of Geometric Features from Digital Imagery*. In: *Digital Photogrammetric Systems*, H. Ebner, D. Fritsch, C. Heipke (Eds.), Wichmann Verlag Karlsruhe, pp. 74 - 86.

GUPTA A. K., S. CHAUDHURY, G. PARTHASARATHY, 1993. *A new Approach for aggregating edge points into line segments*. In: *Pattern Recognition*, vol. 26, No. 7, pp. 1069-1086.

HAHN M., 1993. *Measurement by Image Matching - State-of-the-art in Digital Photogrammetry*. In: *Photogrammetric Week '93*, D. Fritsch, D. Hobbie (Eds.), Wichmann Verlag Karlsruhe, pp.33-42.

HARTLEY R., J. MUNDY, 1993. *The Relationship between Photogrammetry and Computer Vision*. In: *Integrating Photogrammetric Techniques with Scene Analysis and Machine Vision*, E. M. Barrett, D.M. McKeown (Eds.), SPIE Proceedings (1994), pp. 92 - 105.

HEIPKE C., W. KORNU S, 1991. *Nonsemantic Photogrammetric Processing of Digital Imagery - The Example of SPOT Stereo Scenes*. In: *Digital Photogrammetric Systems*, H. Ebner, D. Fritsch, C. Heipke (Eds.), Wichmann Verlag Karlsruhe, pp. 86-102.

HEIPKE C., A. ENGLISH, T. SPEER, S. STIER, R. KUTKA, 1994. *Semi-Automatic Extraction of Roads from Aerial Images*. In: *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing (IAPRS)*, Vol.30/3, pp.353-360.

HEIPKE C., 1995A. *State-of-the Art of Digital Photogrammetric Workstation for Topographic Applications*. In: *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing (PERS)*, Vol. 61, No. 1, pp. 49 - 56.

HEIPKE C., 1995B. *Digitale Photogrammetrische Arbeitsstationen*. *Deutsche Geodetische Kommission (DGK)*, Reihe C, Heft Nr. 450.

HEIPKE C., 1996. *Automation og Interior, Relative and Absolute Orientation*. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing (IAPRS)*, Vol.31/B3, pp.297-311.

HUAN L. S., J. J. LEAN, 1994. *A Dinamic Programming Approach to Line Segment Matching in Stereo Vision*. *Pattern Recognition*, Vol.27 - N.8, pp 961-986.

HUERTAS A., W. COLL, R. NEVATIA, 1990. *Detecting Runways in Complex Airport Scenes*. In: *Computer Vision, Graphics and Image Processing*, Vol. 51, pp. 107 - 145.

LEBERL F., 1991. *The Promise of Softcopy Photogrammetry*. In: *Digital Photogrammetric Systems*, H. Ebner, D. Fritsch, C. Heipke (Eds.), Wichmann Verlag Karlsruhe, pp. 3 - 15.

MCKEOWN D. M. JR., C. MCGLONE, S. D. COCHRAN, Y. C. HSIEH, M. ROUX, AND J. A. SHUFELT. *Automatic cartographic feature extraction using photogrammetric principles*. In *Digital Photogrammetry, An Addendum to the Manual of Photogrammetry*, pages 195-211. American Society for Photogrammetry and Remote Sensing, Edited by Cliff Greve, December 1996. ISBN-1-57083-037-1.

ROUX M., H. MAITRE, AND S. GIRARD. *A Step towards Stereo Reconstruction of Urban Aerial Images*. In *IAPRS (Int. Ass. Photogrammetry and Remote Sensing)*, volume 32 Tome 3-4W2, Stuttgart (Germany), 1997.

SARKAR S., BAYER KIM L., 1993. *Perceptual Organization in Computer Vision: A Review and a Proposal for a Classificatory Structure*. In: *IEEE Transaction on System, Man and Cybernetics*, Vol.23,N.2, pp.382-399.

SESTER M., 1993. *Modelling Strategies in Photogrammetry*. In: *Photogrammetric Week '93*, D. Fritsch, D. Hobbie (Eds.), Wichmann Verlag Karlsruhe, pp.21-32.

SHETTIGARA V.K., 1991. *Image Enhancement using Background Discriminant Transformation*. In: *International Journal of Remote Sensing*, N. 12, pp. 2153 - 2167.

SHI Z.C., R. SHIBASAKI, *3d City Model Reconstruction For Visualization From Stereo Urban Scenes*, *Proc. of ISPRS Commission V on Real-Time Imaging and Dynamic Analysis*, Jun. 2-5, 1998, Hakodate, Japan, pp.377-181.

SHI Z.C., R. SHIBASAKI, *A study of GIS database revision using high resolution satellite images*, *Proc. Of International Conference on Modeling Geographical and Environmental Systems with GIS*, Jun. 23-25, 1998, Hong Kong, Vol.2, pp.487-492.

TOTH C., A. KRUPNIK, 1996. *Concept, Implementation and Result of an Automatic Aereotriangulation System*. In: *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing (PERS)*, Vol. 62, No. 6, pp. 711 - 717.

ZLOTNICK A., P. D. CARNINE, 1993. *Finding Road Seeds in Aerial Images*. In: *Computer Vision Graphics and Image Image Processing (CVGIP)*, Vol 57, N.2, pp. 243-260

Carla Nardinocchi, Gianfranco Forlani
UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PARMA

Gianfranco Forlani, laureato in ingegneria civile al Politecnico di Milano nel 1984, è professore di Topografia e Fotogrammetria presso l'Università di Parma. Dai primi anni '90 si interessa di fotogrammetria digitale, in particolare di matching con metodi area-based o feature-based, ricostruzione automatica di superfici e triangolazione aerea digitale.

Carla Nardinocchi, laureata in ingegneria civile all'Università di Ancona nel 1992, ha conseguito il Dottorato di Ricerca in Scienze Geodetiche e Topografiche nel 1996 con una tesi sulle Strategie di matching relazionale in fotogrammetria digitale. Si interessa attualmente di fotogrammetria digitale e di estrazione di edifici da riprese laser a scansione.

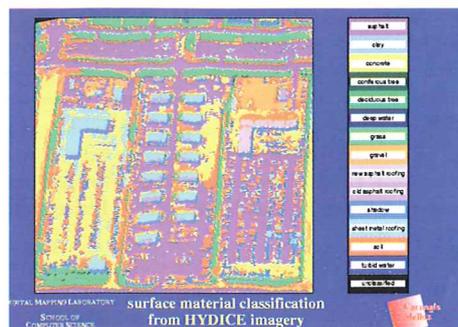


Figura 6. Classificazione del terreno da immagine multispettrale (Terrein Week 1998, Carnegie Mellon University)

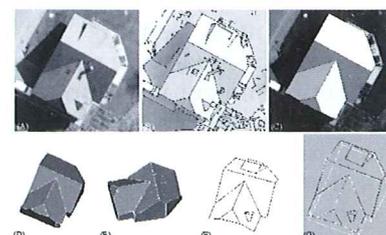


Figura 7. Estrazione di un edificio (progetto Amobe - ETH-Zurigo)