

UN CONTRIBUTO ALLA RICOSTRUZIONE GEOMETRICA DI MODELLI DI EDIFICI DA IMMAGINI DIGITALI

Maria Grazia D'URSO (*), Tiziana TORTI (**)

(*) Università degli Studi di Cassino, DiMSAT, Via G. Di Biasio, 43 Cassino (Fr) 03043, e-mail: durso@unicas.it

(**) Ingegnere libero professionista, Via Tofaro 18, Sora (Fr) 03039, e-mail: tiziana.torti@alice.it

Sommario

Nell'ambito delle metodologie impiegate nel riconoscimento degli oggetti indipendentemente dalla loro posizione, dimensione ed orientazione, si illustra l'applicazione di un approccio originale (D'Urso, 2003) che consente di calcolare i momenti geometrici di qualsiasi ordine di domini poligonali di forma arbitraria in funzione delle sole coordinate dei vertici. Tali momenti sono infatti largamente impiegati come proprietà globali invarianti di immagini nel riconoscimento di forme nonché nell'analisi e rappresentazione di oggetti. In particolare, l'applicazione proposta riguarda la ricostruzione geometrica in ambiente Matlab di alcuni edifici industriali rappresentati in immagini digitali ad alta risoluzione rilevate da satellite Quickbird in un'area della Campania. I risultati relativi ad alcuni esempi rappresentativi sono illustrati e confrontati con quelli ottenuti con un software commerciale.

Abstract

Within the framework of the methodologies adopted for object recognition independently from their position, dimension and orientation, we illustrate the application of an original approach (D'Urso, 2003) which allows one to compute the geometric moments of arbitrary order for polygonal domains of arbitrary shape solely as function of the coordinates of the vertices. Actually, such moments are largely used as invariant global properties of images both for form recognition and for the analysis and representation of objects. Specifically, the proposed application is concerned with the geometric reconstruction in a Matlab environment of some industrial buildings reported in high-resolution digital images surveyed by a Quickbird satellite in the region Campania. The results referred to some representative examples are illustrated and compared with those obtained by a commercial software.

1. Introduzione

Negli ultimi anni la ricostruzione geometrica 2D e 3D da immagini digitali ha assunto rilevanza sempre più ampia in molti campi di applicazione; in particolare, la ricostruzione 3D degli edifici attraverso l'acquisizione di immagini aeree e satellitari ad alta risoluzione ha rappresentato uno stimolante filone di ricerca nella Fotogrammetria Digitale così come nella Computer Vision.

Molti degli approcci proposti dai diversi studiosi, per la ricostruzione geometrica di modelli di edifici sono basati sull'estrazione di proprietà da immagini (come segmenti di linea, curve, ecc.) e consecutivo raggruppamento delle caratteristiche estratte. La novità nella ricostruzione 3D consiste nel combinare immagini aeree con altre risorse di dati, quali DSM, oppure mappe digitali delle quali si ha un'ampia disponibilità (Haala *et al.*, 1996; Jibrini *et al.*, 2000; Kim *et al.*, 2001).

Tra gli studiosi che hanno orientato le loro ricerche sulla ricostruzione di modelli 3D di edifici figurano Vosselman. e Maas (1999) che hanno presentato una nuova tecnica per la determinazione

automatica di modelli di edificio a partire dai dati acquisiti con laser scanner aereo. L'approccio è basato sull'analisi dei *momenti invarianti* delle nuvole di punti (Gerke *et al.* 2001, Mukundan, Ramakrishnan, 1998, Vosselman e Suveg, 2004).

Dallo studio di *Vosselman* e *Maas* si evince che l'analisi del rapporto dei momenti di secondo ordine fornisce un veloce ed efficiente strumento per la ricostruzione di forme di edifici semplici per i quali si possono determinare le coordinate del centro, l'orientazione, la lunghezza, la larghezza, l'altezza e la pendenza del tetto a falde; analizzando le differenze tra il modello e le nuvole di punti è possibile individuare le irregolarità.

L'idea principale dell'approccio di *Vosselman* e *Maas* consiste nel racchiudere la forma di un edificio all'interno di un rettangolo e minimizzare la differenza tra l'area della nuvola di punti derivata dall'intersezione tra l'area dell'edificio (*building area*) con il DSM normalizzato (nDSM) coperto nel piano xy, e l'area del modello rettangolare.

In Figura 1 sono riportati i passi delle singole iterazioni. In Figura 1-a, ove è riportato il rettangolo risultante dopo l'analisi dei momenti invarianti sull'intera regione, la linea tratteggiata rappresenta la regione derivata dalla segmentazione locale, e la linea continua rappresenta il rettangolo derivato dall'analisi della regione. Il passo successivo consiste nello studio delle parti contenute nella regione stessa ottenute dalla segmentazione e non appartenenti al rettangolo (Fig. 1-b) e, poi, infine, nello studio delle regioni non-edificio appartenenti al modello rettangolare (Fig. 1c).

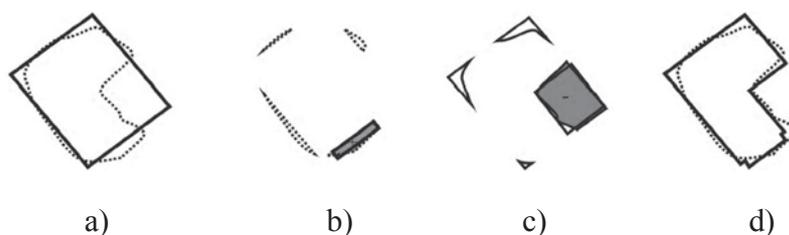


Figura 1- a) Prima descrizione rettangolare dell'intera regione segmentata;
 b) Aree non coperte da modello rettangolare; c) Aree che non appartengono all'edificio, ma che appartengono al modello rettangolare;
 d) Modello rettangolare dopo il primo step di iterazione

La figura 1-d rappresenta le regioni accettate e successivamente descritte dai rettangoli che vengono aggiunti o rimossi rispetto al rettangolo originario. Il processo riparte dalla nuova forma fino a quando le aree rimanenti soddisfino i criteri della minima dimensione.

In questo ambito l'approccio proposto nel presente lavoro è quello di analizzare le forme oggetto/entità cartografiche attraverso l'acquisizione di immagini digitali, interpretate come distribuzione casuale di valori numerici a 2 dimensioni, e di studiarne le forme attraverso il calcolo dei momenti geometrici di ordine zero, primo e secondo, calcolati in funzione delle sole coordinate dei vertici delle forme geometriche acquisite nelle immagini digitali.

Nel paragrafo seguente sono riportate le formule, dimostrate in (D'Urso, 2003), dell'algoritmo numerico utilizzato nell'applicazione illustrata.

2. Algoritmo: formula generale dei momenti geometrici

Il momento m_{pq} di ordine $(p+q)$, con p e q valori interi positivi, è definito come l'integrale esteso alla regione occupata dall'oggetto, supposta piana, del prodotto di x^p e y^q , dove x e y rappresentano le coordinate cartesiane del generico punto dell'oggetto:

$$m_{pq} = \int x^p y^q f(x, y) dA \quad (1)$$

e nel dominio discreto $m_{pq} = \sum \sum x^p y^q \times f(x, y)$ con $f(x, y)$ funzione densità di intensità luminosa.

Quando si usano le immagini binarie, $f(x,y)=1$ se i pixel fanno parte della forma e $f(x,y)=0$ se sono esterni ad essa. L'ordine dei momenti è ottenuto dalla somma di p e q e per l'analisi delle forme il calcolo dei momenti di secondo e terzo ordine risulta sufficiente. Infatti il momento di ordine zero, m_{00} rappresenta l'area della forma; il momento di primo ordine, di componenti m_{10} e m_{01} , può essere usato per calcolare le coordinate (x_G, y_G) del baricentro (o centroide) delle forma, come segue:

$$x_G = \frac{m_{10}}{m_{00}}, \quad y_G = \frac{m_{01}}{m_{00}} \quad (2)$$

ed, infine, i momenti di secondo ordine, analoghi ai momenti di inerzia nella meccanica del continuo, possono essere usati per determinare gli assi principali della forma lungo i quali si hanno il massimo e il minimo momento di inerzia.

Per caratterizzare la forma di un oggetto si fa riferimento ai momenti centrali di ordine $(p+q)$ invarianti rispetto alla posizione e all'orientazione dell'oggetto i quali si ottengono fissando l'origine del riferimento nel baricentro della forma. Tali momenti si esprimono attraverso la seguente formula generale:

$$m_{pq} = \int_x \int_y (x - x_G)^p (y - y_G)^q \times f(x, y) \quad (3a)$$

che, per immagini binarie, diventa:

$$m_{pq} = \int_x \int_y (x - x_G)^p (y - y_G)^q \quad (3b)$$

I momenti centrali invarianti di secondo ordine descrivono un'approssimazione dell'oggetto, definita *image ellipse*, che altro non è che un'ellisse centrata nel baricentro ed avente la stessa orientazione ed eccentricità dell'oggetto (cfr. Figura 2).

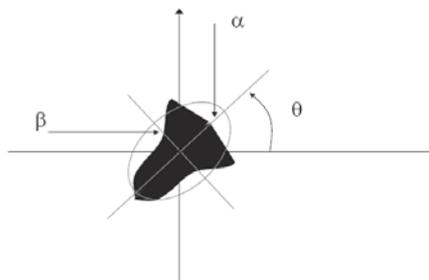


Figura 2- Image Ellipse

I parametri "dell' image ellipse" sono definiti dalle relazioni:

$$\alpha = \left(\frac{2 \left[\mu_{20} + \mu_{02} + \sqrt{(\mu_{20} - \mu_{02})^2 + 4\mu_{11}^2} \right]}{\mu_{00}} \right)^2; \quad \theta = \tan^{-1} \left(\frac{2\mu_{11}}{\mu_{20} - \mu_{02}} \right); \quad \beta = \left(\frac{2 \left[\mu_{20} + \mu_{02} - \sqrt{(\mu_{20} - \mu_{02})^2 + 4\mu_{11}^2} \right]}{\mu_{00}} \right)^2$$

dove α è la dimensione del semiasse maggiore, β è la dimensione del semiasse minore e θ è l'angolo di inclinazione dell'asse maggiore rispetto all'asse x .

Si riporta nel seguito la formula generale dimostrata in (D'Urso, 2003) che consente di calcolare il generico momento m_{pq} di un dominio poligonale di n lati.

$$m_{pq} = \frac{1}{(p+q+2)!} \sum_{i=1}^n (\mathbf{r}_i \# \mathbf{r}_{i+1})^{p+q} \sum_{j=0}^{p+q} (p+q+j)! j! \sum_{a=r}^s \binom{s}{a} x_i^{p+1-a} x_{i+1}^{a-1} y_i^{q+1-b} y_{i+1}^{b-1}$$

3. Applicazione/Risultati test

Il caso studio riguarda la ricostruzione geometrica di oggetti/edificio derivanti da dati spaziali di immagini digitali satellitari relative al Comune di Eboli (SA). Le immagini sono state acquisite in data 2 Agosto 2003 dal satellite QuickBird, le cui caratteristiche sono riportate in figura 3; esse hanno una risoluzione al suolo di 2,88 x 2,88 metri e si riferiscono a quattro bande B1=blu, B2=verde, B3=rosso, B4=IR, di cui le prime tre nel visibile e la quarta nell'infrarosso prossimo (Fig. 4). Tali immagini sono relative alla zona industriale; su esse sono stati scelti come edifici campione alcuni capannoni industriali sui quali è stato testato l'algoritmo implementato in Matlab (vedi Fig. 5). In figura 6 si riporta, altresì, uno stralcio con le coordinate U.T.M. dei punti, acquisiti dalle immagini satellitari, con le corrispondenti bande.



Data di lancio	18-ott-01	Tempo percorrenza orbita	93.5 minutes
Veicolo di lancio	Boeing Delta II	Revisit Time	1-3.5 days, (30° off-nadir)
Luogo di lancio	Vandenberg Air Force Base, California, USA	Larghezza Banda	16.5 Km x 16.5 Km at nadir
Altitudine orbita	450 Km	Esattezza metrica	23 meter horizontal (CE90%)
Inclinazione orbita	97.2°, sun-synchronous	Digitalizzazione	11 bits
Velocità	7.1 Km/sec (25,560 Km/hour)	Risoluzione	Pan: 61 cm (nadir) to 72 cm (25° off-nadir) MS: 2.44 m (nadir) to 2.88 m (25° off-nadir)
Equator Crossing Time	10:30 AM (descending node)	Bande	Pan: 450-900 nm, Blue: 450-520 nm, Green: 520-600 nm, Red: 630-690 nm, Near IR: 760-900 nm

Figura 3- Caratteristiche del satellite QuickBird



a) B1=blu b) B2=verde c) B3=rosso d) B4=IR e) B1,B2,B3 f) B1,B2,B4

Figura 4- a),b),c),d) Immagini satellitari, in scala di grigio a diverse bande, relative al Comune di Eboli (SA; e), f) combinazione a falsi colori.



Figura 5 - Edifici campione

X [m]	Y [m]	B1	B2	B3	B4
498852,200	4494376,600	535	811	527	456
498855,000	4494376,600	476	704	475	399
498857,800	4494376,600	502	734	511	433
498860,600	4494376,600	528	802	545	466
498863,400	4494376,600	550	819	561	485
498866,200	4494376,600	556	861	596	513
498869,000	4494376,600	555	865	653	650
498871,800	4494376,600	588	944	718	728
498874,600	4494376,600	617	989	779	792
498877,400	4494376,600	623	1031	809	833
498883,000	4494376,600	597	995	774	817

Figura 6- Coordinate U.T.M. e relative bande

Relativamente ad ognuno degli edifici scelti sono state estratte le coordinate dei vertici; l'algoritmo del calcolo dei momenti geometrici è stato implementato in Matlab 7.4 e i valori ottenuti sono stati confrontati con i valori ottenuti con il software ArcGis-ESRI versione 9.2. Noto il passo di campionamento dell'immagine (risoluzione dei pixel di 2,88m x 2,88 m) e le coordinate reali U.T.M. relative al sistema di riferimento (datum) europeo del 1950 ED50, si procede all'elaborazione automatica del dato attraverso l'algoritmo originale.

In output si ottengono alcune delle proprietà che caratterizzano una forma geometrica, essenziali per il suo riconoscimento che in particolare sono: area, baricentro, asse maggiore dell'ellisse, asse minore dell'ellisse, angolo di inclinazione dell'asse maggiore rispetto all'asse x e perimetro.

Si riportano di seguito i dati di input (Fig.7-c e Fig.8-f) e di output, grafici (fig.7-a,7-b e fig. 9-d,9-e) e risultati numerici (fig.8 e fig.10) ottenuti con il programma Matlab per due dei sette edifici testati. Si mostrano in una tabella riassuntiva (fig. 11-a) i risultati numerici ottenuti per tutti gli altri edifici testati e il confronto con i risultati ottenuti con il programma commerciale ArcGis 9.2 (fig. 11-b).

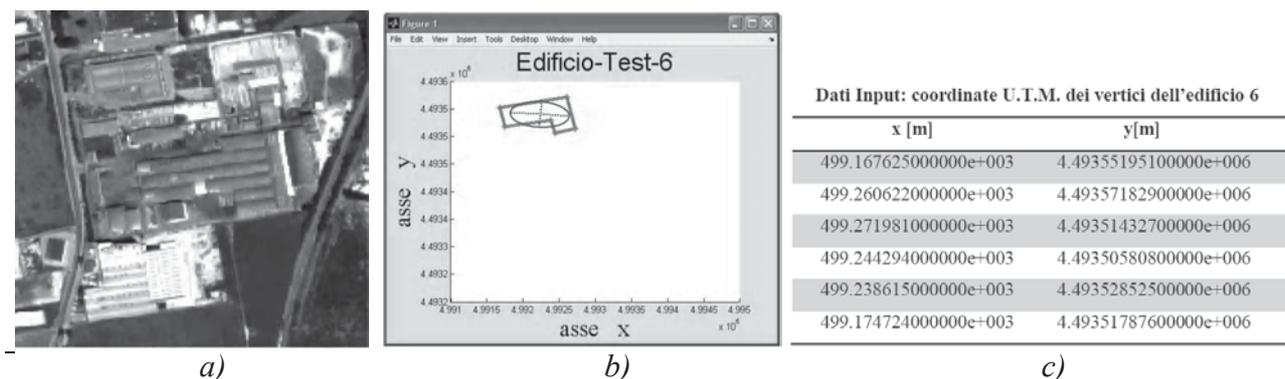


Figura 7- Confronto immagine digitale(a)-elaborazione Matlab(d), dati input(c) per edificio 6

Edificio_Test	Area (mq)	Coordinate del baricentro		Parametri dell'ellisse				Perimetro (m)
		xG(m)	yG(m)	Asse massimo (m)	Asse minimo (m)	Angolo d'orientazione (°)	Area Ellisse (mq)	
Edificio_Test_6	4138,53	499224,2693	4493540,276	81,2735	48,9424	175,432	3124,0951	305,67

Figura 8 - Risultati numerici ottenuti con il programma Matlab per edificio 6

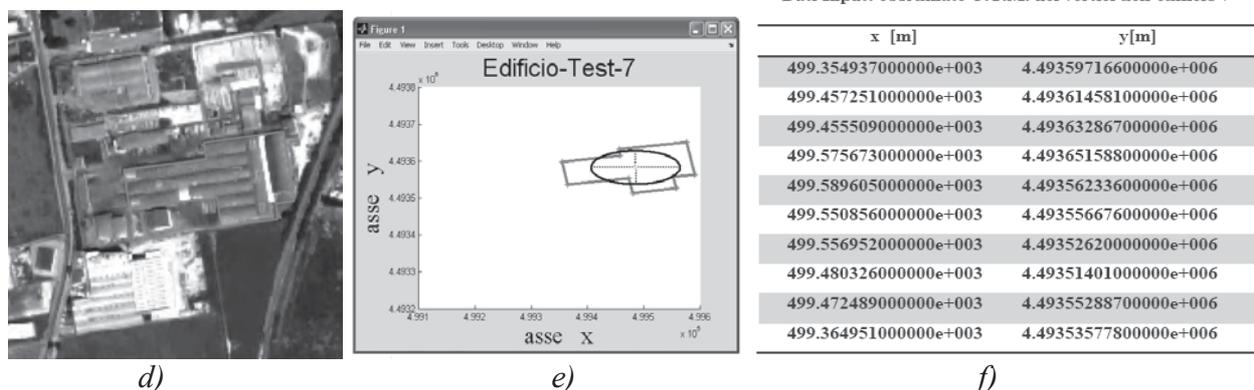


Figura 9- Confronto immagine digitale(d)-elaborazione Matlab(e), dati input(f) per edificio 7

Edificio_Test	Area (mq)	Coordinate del baricentro		Parametri dell'ellisse				Perimetro (m)
		xG(m)	yG(m)	Asse massimo (m)	Asse minimo (m)	Angolo d'orientazione (°)	Area Ellisse (mq)	
Edificio_Test_7	19908,71	499485,2046	4493582,804	157,2586	90,7605	0,6039	11209,8876	692,67

Figura 10- Risultati numerici ottenuti con il programma Matlab per edificio7

Edificio_test	Area (mq)	Coordinate baricentro		Parametri dell'ellisse				Perimetro (m)
		xG(m)	yG(m)	Asse massimo (m)	Asse minimo (m)	Angolo d'orientazione (°)	Area Ellisse(mq)	
Edificio_Test_1	1039,01	498989,7507	4494210,247	37,0723	28,0428	24,8192	816,4571	130,2289
Edificio_Test_2	3439,31	498904,1021	4494142,178	93,0909	37,005	123,499	2705,5591	280,2092
Edificio_Test_3	691,832	498904,1021	4494142,178	45,0885	15,3636	21,6318	544,0625	120,8839
Edificio_Test_4	5084,68	499186,3231	4494099,509	87,7263	579,922	7,3929	3995,668	291,4254
Edificio_Test_5	2692,12	499088,5288	4494037,848	51,4483	38,7897	19,8785	1567,3916	226,8434
Edificio_Test_6	4138,53	499224,2693	4493540,276	81,2735	48,9424	175,432	3124,0951	305,674
Edificio_Test_7	19908,7	499485,2046	44.935.828.038	157,2586	90,7605	0,6039	11209,8876	692,6791

a)

Area (mq)	Edificio Test 1	Edificio Test 2	Edificio Test 3	Edificio Test 4	Edificio Test 5	Edificio Test 6	Edificio Test 7
Matlab 7.4	1039,01	3439,31	691,83	5084,68	2692,12	4138,53	19908,71
ArcGis 9	1033,44	3439,30	692,228	5075,12	2689,91	4144,08	19977,37

Perimetro (m)	Edificio Test 1	Edificio Test 2	Edificio Test 3	Edificio Test 4	Edificio Test 5	Edificio Test 6	Edificio Test 7
Matlab 7.4	130,22	3280,20	120,88	291,42	226,843	305,67	692,87
ArcGis 9	130,66	3436,88	123,622	290,99	226,65	304,26	692,01

b)

Figura 11- Risultati ottenuti con il programma Matlab relativi ai sette edifici testati(a), confronto con i dati ottenuti dal programma commerciale ArcGis (b)

4. Conclusioni

L'approccio basato sull'utilizzo dei momenti invarianti rappresenta una originale applicazione sia per le immagini digitali che per i dati laser terrestri nell'ambito degli algoritmi di classificazione dei dati spaziali. L'algoritmo si basa sull'applicazione di una formulazione unitaria che consente l'implementazione automatica in un codice di calcolo per il computo dei momenti geometrici di ogni ordine. I test numerici eseguiti su immagini digitali ad alta risoluzione, di alcuni edifici campione, hanno fornito risultati soddisfacenti nella ricostruzione geometrica di forme poligonali generiche e nei risultati confrontati con quelli elaborati con software commerciali.

Tale approccio si presta per essere impiegato nel campo 3D per la ricostruzione di qualsiasi entità/oggetto e trova molteplici applicazioni nel campo della cartografia tematica automatica, nei GIS e nelle ricostruzioni di realtà virtuali.

Bibliografia

- Crosilla F., Dequal S. (2006), "Laser scanning terrestre", CISM, 123-134.
 D'Urso M.G. (2003), "Sul calcolo dei momenti geometrici di figure poligonali", *Atti della VII Conferenza Nazionale ASITA*, Verona.
 Gerke M., Heipke C., Straub B.M. (2001), "Building Extraction from aerial imagery using a generic scene model and invariant geometric moments", *Proceeding of the IEEE/ISPRS joint Workshop on Remote Sensing and data Fusion over Urban Areas*, ISBN, 85-89.
 Haala N., Brenner C., Anders K. H. (1996), "3D urban GIS from laser altimeter and 2D map data", *ISPRS*, 32: 339-346.

- Jibrini H., Paparoditis N., Deseilligny M.P., Maitre H. (2000), "Building reconstruction from very high resolution aerial stereopairs using cadastral ground plans", *Int. Arch. of Photog. And Rem. Sensing, ISPRS, Geo-Information for all, Amsterdam*.
- Kim Z. W., Huertas A., Nevatia R., (2001), "Automatic description of building reconstruction from multiple image", *Proceedings of the International Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 2: 272-279.
- Liu J., Li D., Tao W., Yan L. (2007), "An automatic method for generating affine moment invariants", *Pattern Recognition Letters*, 28: 2295-2304.
- Vosselman G., Maas H.G. (1999). "Two algorithms for extracting building models from raw laser altimetry data", *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 54: 153-163.
- Mukundan R., Ramakrishnan K.R. (1998), *Moment Functions in Image Analysis - Theory and Applications*, World Scientific.
- Vosselman G., Suveg I. (2004), "Recostruction of 3D building models from aerial images and maps", *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, 58: 202-224.

