

ANALISI E SPERIMENTAZIONE DI ALGORITMI PER IL RICONOSCIMENTO AUTOMATICO DEI TETTI E STUDIO DI FATTIBILITÀ PER L'UTILIZZO DELL'ENERGIA SOLARE

Sergio BROFFERIO (*), Daniele PASSONI (**),
Maria Elena GAETANI (**), Massimiliano SPERTINO(***)

(*) Politecnico di Milano: DEI, Piazza L. da Vinci 32, 20133 Milano

Tel: +39-0223993577, E-mail: sergio.brofferio@polimi.it

(**) Politecnico di Milano: DIIAR, Piazza L. da Vinci 32, 20133 Milano

Tel: +39-0223996525, E-mail: daniele.passoni@polimi.it

(***) CNR Torino IEIIT, C.so Duca degli Abruzzi 24, 10129 Torino

Tel: +39 011 3919247, E-mail: spertino@iriti.cnr.it

Riassunto

Questo lavoro illustra lo sviluppo di un sistema interattivo per il riconoscimento delle caratteristiche dei tetti degli edifici in vista dell'utilizzazione di pannelli per la produzione di energia solare: fotovoltaica o termica.

Per ciascuna falda del tetto sono stimati, con differenti livelli di precisione, i dati riguardanti la forma, l'orientamento, l'inclinazione e l'area utile per il posizionamento dei pannelli.

Il sistema utilizza una carta topografica e due immagini fotogrammetriche aeree, che vengono allineate per la selezione degli edifici, la suddivisione in parti dell'immagine e la modellazione tridimensionale. Ciascun tetto di edificio è automaticamente classificato e vengono ricavate le informazioni necessarie per creare, a partire dalle due immagini stereoscopiche, un modello 3D da utilizzare quale dato in ingresso per pacchetti software standard per la stima del potenziale solare.

Abstract

The paper presents the work in progress of the design and implementation of an interactive system for the detection of the building's roofing characteristic. For each of its pitches data concerning shape, orientation, slope and useful area are estimated at different precision levels. The system operates on a cartographic map and two aerial photographs that are aligned for building selection, image segmentation and 3D modelling. Each building roofing is automatically classified and its features are used for precise 3D modelling. The 3D model is the input to standard software packages for solar energy potential estimation.

Introduzione

L'energia solare rappresenta un'importante fonte di energia alternativa in vista della riduzione della disponibilità delle risorse energetiche tradizionali che in genere sono inquinanti e non rinnovabili. Primo passo verso un suo maggiore sfruttamento è la valutazione della quantità di energia producibile in funzione della superficie, orientamento, inclinazione dei tetti degli edifici su cui si intendono posizionare pannelli fotovoltaici o termici.

Il Politecnico di Milano, dipartimenti DEI e DIIAR sezione Rilevamento, con la collaborazione del CNR di Torino IEIIT, nell'ambito di una ricerca orientata allo sviluppo sostenibile, si propongono di fornire agli Enti Pubblici un software che permetta, con costi contenuti e per numero elevato di edifici, di condurre lo studio di fattibilità per l'utilizzo dell'energia solare. A questo scopo è

necessario un censimento dei tetti che evidenzi le caratteristiche utili al calcolo del potenziale solare di ciascun edificio.

Il presente lavoro costituisce uno studio preliminare al riconoscimento automatico dei tetti e alla restituzione delle loro caratteristiche geometriche attraverso una procedura il cui ingresso è costituito da dati cartografici e fotogrammetrici:

- cartografia numerica (in scala 1:2000 o maggiore)
- coppia di fotogrammi con relativi parametri di orientamento interno ed esterno.

Il caso di studio concreto analizzato riguarda il Comune di Torre Boldone in provincia di Bergamo.

Gli obiettivi della ricerca sono:

- implementare un algoritmo di riconoscimento e classificazione dei tetti e realizzare un modello 3D dal quale estrapolare le caratteristiche geometriche necessarie al calcolo del potenziale solare;
- generare i dati necessari al calcolo del cono d'ombra del singolo tetto;
- analizzare gli errori, evidenziando i punti critici del problema e delle tecniche utilizzate, attraverso il confronto con SW commerciali di fotogrammetria digitale e con misure topografiche effettuate con strumentazione GPS accoppiata ad una stazione totale.

Procedura

La fase preliminare della procedura consiste nell'allineare manualmente ciascun fotogramma con la cartografia numerica e nel selezionare i tetti degli edifici per i quali si intende effettuare l'analisi del potenziale solare. Questa fase è l'unica "non automatica" ma di facile realizzazione anche da parte di un utente non esperto tramite l'utilizzo di un sistema CAD poiché per l'allineamento non è richiesta un'elevata precisione né rigidità.

I due fotogrammi allineati con la cartografia costituiscono i dati di input per un software implementato con *Matlab* che permette di generare in modo automatico un modello 3D dei tetti e di estrapolarne le caratteristiche necessarie al calcolo del potenziale solare.

Ciascun tetto selezionato dall'utente viene isolato, in entrambi i fotogrammi, tramite segmentazione dell'immagine sfruttando la tecnica chiamata '*region growing*' che permette di individuare, attorno ad un certo pixel denominato 'seme', una regione costituita da pixel aventi, con elevata probabilità, proprietà (ad es. classe di colore) simili a quelle del 'seme'.

Nel nostro caso il 'seme' può essere uno qualsiasi dei punti interni al tetto e viene individuato in maniera automatica dal software implementato che, a partire dall'allineamento tra cartografia e fotogrammi, associa al punto centrale del perimetro cartografico dell'edificio un pixel appartenente alle immagini (Figura 1).

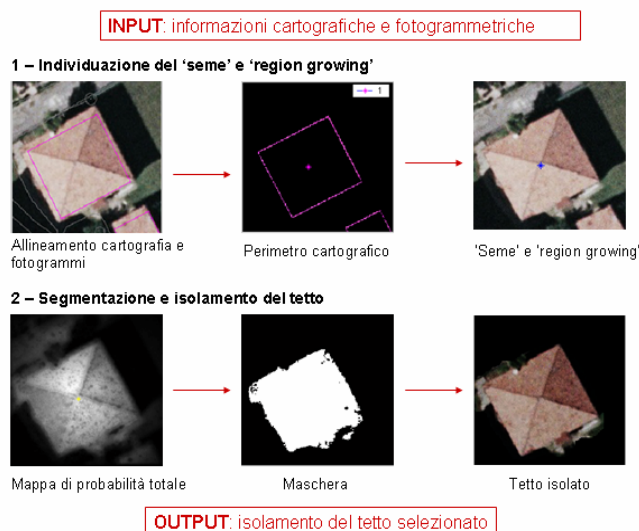


Figura 1 – Esempio di segmentazione delle immagini

Una volta isolato il tetto, viene applicato il metodo di Canny per estrarne i contorni (perimetro e spigoli) ottenendo in output un'immagine binaria (Figura 2).



Figura 2 - Contorni estratti con il metodo di Canny

Poiché i contorni trovati tramite questo metodo possono risultare irregolari, risulta necessario utilizzare una tecnica che tracci in modo più preciso le linee che compongono i contorni del tetto. Per questo motivo è stata utilizzata la trasformazione di Hough che permette il riconoscimento di configurazioni globali presenti in una immagine (segmenti, curve, forme prestabilite), e si basa sulla trasformazione di tutti i punti dell'immagine, in punti di un nuovo spazio detto spazio dei parametri. Questa tecnica è basata sulla 'validazione delle ipotesi' in cui, definita la curva che si intende cercare nella scena, per ogni punto dell'immagine (in questo caso del contorno) si calcolano i parametri di tutte le curve che potrebbero passare per quel punto e si incrementano le celle di uno spazio n -dimensionale (con n numero dei parametri) che corrispondono alle varie curve. Si ottiene così una funzione di accumulazione definita nello spazio dei parametri. Alla fine saranno i massimi di questa funzione a rappresentare le curve che hanno probabilità elevata di essere presenti nell'immagine, come se si trattasse di un'ipotesi avvalorata dal maggior numero di conferme sperimentali. Una delle caratteristiche più interessanti della trasformata di Hough è quella di non risentire del 'rumore' presente in un'immagine. Infatti l'altezza dei picchi nella matrice di accumulazione, dipende in maniera del tutto trascurabile da eventuali lacune presenti nella retta di partenza o dall'esistenza di punti spuri presenti nello spazio immagine. Una volta trovati i massimi nello spazio trasformato si estraggono le rette che caratterizzano il tetto (Figura 3).

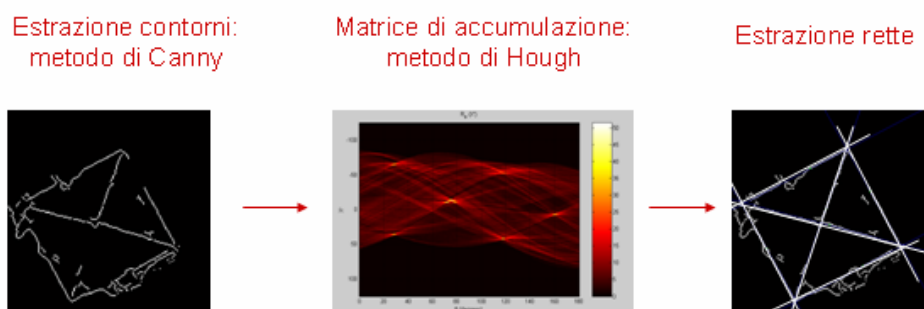


Figura 3 – Estrazione delle rette che caratterizzano il tetto

A questo punto il software è in grado di classificare il tetto in base alla sua forma confrontandolo con un set di forme elementari aventi tutte base rettangolare. Per ora le classi di tetto predisposte sono le seguenti:

Classi	1	2	3
Tetto			

Tabella 4 – Classi di tetto

Dall'intersezione delle rette estratte con il metodo di Hough, viene determinata la posizione sui fotogrammi dei vertici del tetto e vengono ricavate le loro coordinate immagine. Utilizzando le equazioni di collinearità e noti i parametri di orientamento interno ed esterno della coppia di fotogrammi, vengono calcolate le coordinate 3D dei vertici permettendo così la creazione di un modello tridimensionale del tetto. Da questo è possibile ricavare l'altezza approssimata dell'edificio e la superficie, l'inclinazione e l'orientamento delle falde del tetto che serviranno quali informazioni in ingresso per il calcolo del potenziale solare e del cono d'ombra generato dal tetto stesso.

Il modello 3D può inoltre essere utilizzato direttamente quale dato di input per pacchetti software standard per la stima del potenziale solare.

Caso di studio

Il buon funzionamento del software implementato è stato testato prendendo in considerazione un caso di studio concreto, rappresentato dal Comune di Torre Boldone in provincia di Bergamo, utilizzando una cartografia numerica in scala 1:2000 e due immagini fotogrammetriche aeree.

Sono stati selezionati quattro tetti da analizzare di cui uno appartenente alla classe n°1 (Tabella 1), uno alla classe n°2, e due appartenenti alla classe n°3.

Risultati

I risultati ottenuti dall'elaborazione dei tetti selezionati tramite il software implementato sono stati confrontati con misure fotogrammetriche effettuate con il SW *GCarto* prodotto dalla *Geosoft* e con misure topografiche realizzate in loco con strumentazione GPS accoppiate a quelle ottenute con una stazione totale.

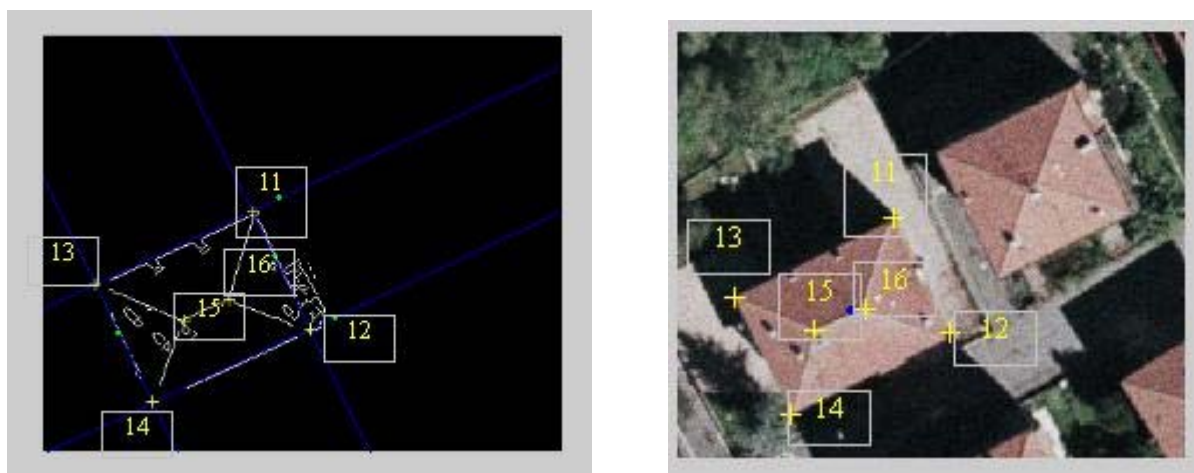


Figura 5 – Tetto rilevato con metodologia automatica e con il SW *GCarto*

Ad esempio vengono riportate nella seguente tabella le coordinate ottenute con l'algoritmo implementato e con il SW *GCarto*:

Procedura automatica				Misure fotogrammetriche		
Etichetta	Est (X)	Nord (Y)	Quota (Z)	Est (X)	Nord (Y)	Quota (Z)
11	555328.82	5062720.86	335.84	555327.82	5062721.36	336.89
12	555334.24	5062710.38	337.62	555333.05	5062710.97	336.86
13	555314.33	5062713.74	337.76	555313.80	5062714.46	336.85
14	555319.76	5062703.27	339.55	555318.99	5062704.25	336.91
15	555322.31	5062711.31	342.93	555321.27	5062711.91	339.48
16	555326.68	5062712.84	338.27	555325.40	5062713.94	339.47

Tabella 6 – Confronto tra coordinate ottenute con procedura automatica e fotogrammetrica

Assumendo la metodologia manuale fotogrammetrica classica come riferimento, si nota come i vertici del tetto risultino traslati, tuttavia nell'insieme la procedura automatica riesce a ricostruire la geometria del tetto ed in particolare le grandezze geometriche che interessano ai fini del calcolo del potenziale solare, ovvero l'area delle falde, la loro inclinazione e l'orientamento.

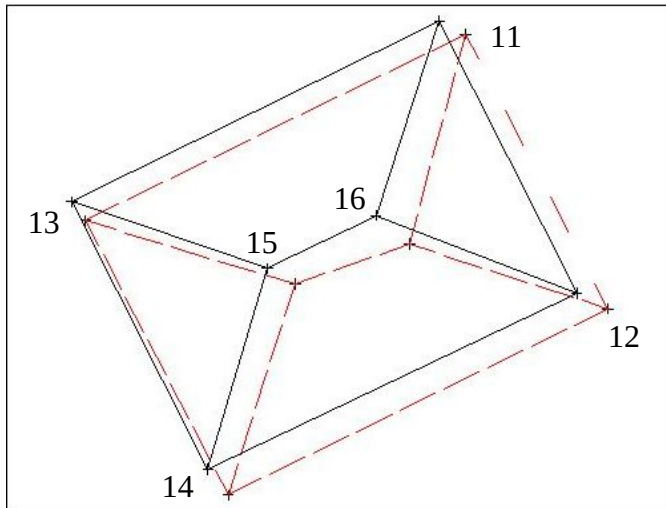


Figura 7 – confronto modelli 3D

Tabella comparativa lunghezze lati tetto (m)		
	Procedura automatica	Misure fotogrammetriche
lato 11-12	11.80	11.63
lato 12-14	16.13	15.58
lato 14-13	11.79	11.45
lato 13-11	16.14	15.63

Tabella 8 – tabella comparativa lunghezze lati tetto

Confronto Aree		
Tetto	Area[m ²]	azimut
Tratteggiato (metodo automatico)	201,81	26°
Linea continua (metodo fotogrammetrico manuale)	198,07	26°

Tabella 9 – Confronto aree rilevate

L'area complessiva viene calcolata come somma delle aree di ciascuna falda (per 3 punti passa un solo piano) e l'angolo viene misurato a partire dall'est e rispetto alla prima falda che si incontra. L'errore nel calcolo dell'area è dunque dell'1,9%.

La componente altimetrica è risultata meno precisa, con scarti talvolta anche superiori ai 2 m, che si ripercuotono in maniera significativa sul calcolo dell'inclinazione delle falde.

Conclusioni

Gli algoritmi implementati hanno offerto buoni risultati nel posizionamento planimetrico e conseguentemente nella valutazione dell'orientamento del tetto. Minore precisione è stata riscontrata nell'altimetria e quindi nella determinazione dell'inclinazione delle falde e dell'altezza del tetto. Ciò nonostante la precisione con cui viene valutata la superficie dei tetti è sufficiente per il calcolo del potenziale solare.

La procedura, già allo stato attuale, può fornire una buona base di partenza per il progetto del posizionamento di pannelli solari e fotovoltaici. Gli sviluppi futuri pesserò il miglioramento della precisione di calcolo della quota e l'implementazione di un algoritmo che permetta il calcolo del cono d'ombra generato dagli edifici circostanti a quello sul quale sono posizionati i pannelli solari.

Ringraziamenti

Gli autori ringraziano sentitamente l'Ing. Lucia Pezzuto e il Prof. Livio Pinto per il contributo offerto nello sviluppo di questa ricerca.

Bibliografia

- Baillard C. (1997), "*Analyse d'images aériennes stéréoscopiques pour la restitution 3-D des milieux urbains*", thèse de doctorat de ENST.
- Grattoni P., Guiducci A. (1990), "Contour coding for image description", *Pattern Recognition Letters*, Vol. 11(2), 95-105.
- Hartley R. and Zisserman A. (2000), "Multiple View Geometry in Computer Vision", *Cambridge University Press*.
- Henkel R.D. (1997), "A Fast parallel Algorithm for Stereovision", IEEE , 0-8186-7987-5/97.
- Jibrini H. (2002), "*Reconstruction automatique de bâtiments en modèles polyédriques 3-D à partir de données cadastrales vectorisées 2D et d'un couple d'images aériennes à haute résolution*", Thèse de Doctorat ENTS.
- NET Novak (2004), " Le Potentiel Solaire dans le Canton de Genève-Analyse et Evaluation du Potentiel Solaire, Photovoltaïque et Thermique, dans le Parc Immobilier Public du Canton de Genève ", *Rapport Technique November 2004* , *NET Nowak Energie & Technologie SA Waldweg 8 CH-1717 St. Ursen*.
- Ulm K. (2005), "3D City Models from Aerial Imaginery- Integrating Images and the Landscape", *GEOInformatics*, Jan/Feb 2005, Volume 8.