

## Immagini termiche da aereo per studi di efficienza energetica in ambito urbano: il progetto ChoT

Emanuele Mandanici <sup>(a)</sup>, Paolo Conte <sup>(a)</sup>

<sup>(a)</sup> Dipartimento di Ingegneria Civile, Chimica, Ambientale e dei Materiali (DICAM), Università di Bologna, viale Risorgimento 2, Bologna, (emanuele.mandanici, paolo.conte) @unibo.it

### Abstract esteso

La creazione in ambito urbano di banche dati a larga scala è un passaggio preliminare importante per l'adozione di politiche di risparmio energetico a scala di città. Queste banche dati dovrebbero essere in grado di fornire agli esperti di pianificazione urbanistica e ai vari portatori di interesse informazioni riguardanti lo stato di efficienza energetica degli edifici, in modo da facilitare l'identificazione delle priorità di intervento e monitorare l'efficacia degli interventi adottati. Tra gli strumenti che possono essere utilizzati per la produzione di tali database, la termografia aerea è uno dei più interessanti (Hay *et al.*, 2011). Sebbene la termografia, a meno che non sia integrata da una mole di informazioni aggiuntive, non possa fornire di per sé una completa caratterizzazione delle performance energetiche degli involucri edilizi, questa tecnica ha la capacità di fornire una visione sinottica dello stato termico delle superfici su aree anche molto estese e con un'elevata risoluzione spaziale, permettendo così una comparazione tra i diversi quartieri di una città o anche tra i diversi isolati all'interno di un quartiere (Bitelli *et al.*, 2012).

In quest'ottica, il progetto intitolato “*the Challenge of remote sensing Thermography as indicator of energy efficiency of buildings*” (ChoT) si propone di analizzare le potenzialità della termografia aerea come strumento di produzione su larga scala di database che possano essere utilizzati per analisi di efficienza energetica degli edifici. Più precisamente, lo scopo finale del progetto consiste nel quantificare l'accuratezza ottenibile dal calcolo dei valori di temperatura e nell'effettuare un'analisi di sensitività del modello adottato. Il progetto è finanziato dal Ministero dell'Istruzione, dell'Università e della Ricerca (MIUR) nell'ambito del programma SIR 2014 (*Scientific Independence of young Researchers*).

La scelta della città di Bologna come caso di studio consente di sfruttare le sinergie tra l'Università ed il Comune, che sono tra l'altro due dei soggetti pubblici con maggiore interesse in questo tipo di analisi. Nel corso del progetto è prevista l'esecuzione di diversi rilievi, sia aerei che terrestri. Uno degli aspetti più interessanti è l'acquisizione di immagini termiche aeree in orario diurno e notturno, al fine di ottenere indicazioni sulle oscillazioni giornaliere nella temperatura delle superfici osservate. L'esecuzione con diverse tecniche di rilievi a terra, da svolgersi contemporaneamente alle acquisizioni da aereo, consente di collezionare dati a scopo di calibrazione e validazione.

Al momento della scrittura di questo riassunto sono stati eseguiti i primi due voli su un'area di circa dieci chilometri quadrati comprendente una porzione del centro storico di Bologna e alcune aree residenziali e produttive. Questa scelta consente di osservare il comportamento termico di diverse tipologie costruttive: infatti, mentre nel centro prevalgono gli edifici storici ed il materiale di copertura dominante è costituito da coppi in terracotta, in periferia si trovano edifici più recenti con una maggiore varietà di materiali, tra cui laminati metallici, guaine bituminose, piastrelle cementizie, ecc. I voli termici sono stati eseguiti durante la notte del 14 marzo 2016 (attorno alle ore 24) e il giorno del 15 marzo 2016 (attorno alle 13). La termocamera utilizzata per le riprese è una NEC T9260, operante nella banda dell'infrarosso termico (7-16 micron) con una risoluzione di 640x480 pixel. L'ottica installata determina un campo di vista pari a 21,7x16,4 gradi, che comporta

una quota di volo di circa 800 metri al di sopra del suolo per ottenere una risoluzione spaziale a terra di circa 0,5 m.

Per ottenere sulle coperture degli edifici dei valori di temperatura superficiale accurati, è richiesta una complessa modellazione che tenga conto di almeno tre aspetti principali: il trasferimento radiativo all'interno dello strato atmosferico tra la superficie ed il sensore, il comportamento radiometrico dei diversi materiali che compongono le superfici osservate e la geometria di acquisizione delle immagini (Bitelli *et al.*, 2015).

La correzione radiometrica, nel caso di immagini termiche con una sola banda, può essere effettuata seguendo due approcci alternativi. Il primo prevede l'utilizzo di modelli atmosferici fisicamente basati, che quantifichino i fenomeni di assorbimento ed emissione attraverso parametri di trasmittanza, radianza ascendente e discendente. Per calcolare con adeguata accuratezza questi parametri sono necessarie informazioni dettagliate sullo stato fisico e chimico della colonna d'aria compresa tra la superficie ed il sensore. Il secondo approccio, di tipo empirico, si basa invece su una serie di misurazioni a terra relative alla temperatura superficiale e ad altri parametri, che vengono successivamente utilizzati per effettuare una stima per compensazione dei parametri atmosferici incogniti.

Non essendo possibile applicare un algoritmo di separazione temperatura-emissività su immagini con una singola banda termica (Dash *et al.*, 2002), anche l'emissività delle superfici osservate deve essere fornita come dato di input. In questo caso, è stata sfruttata una classificazione delle principali tipologie di copertura sull'area, ottenuta mediante una procedura supervisionata ad oggetti applicata ad un'immagine multispettrale ad alta risoluzione WorldView-2. Ad ogni classe è stato attribuito un valore di emissività basato, ove possibile, sulle misurazioni a terra; in caso contrario sono stati utilizzati valori derivati da dati di letteratura.

Un fattore chiave per il calcolo della temperatura superficiale è lo *sky-view factor*, che esprime il rapporto tra la radiazione proveniente dalla porzione di cielo visibile rispetto alla radiazione complessiva incidente sulla superficie. Questo fattore può essere calcolato con diversi software a partire da un modello digitale della superficie (Gál *et al.*, 2009) o da altri dati tridimensionali.

Per valutare l'impatto di fenomeni direzionali legati al comportamento non lambertiano delle superfici, e più in generale alle condizioni di anisotropia frequentemente riscontrabili data la complessità morfologica del tessuto urbano, sono in corso di esecuzione ulteriori rilievi a terra.

L'acquisizione ed il processing dei dati sono tuttora in corso. I primi risultati, tuttavia, dimostrano l'elevata sensibilità dei modelli alle variazioni di emissività superficiale, che sembra essere al momento la maggiore fonte di incertezza sulle stime di temperatura ottenibili.

## Riferimenti bibliografici

- Bitelli G., Blanos R., Conte P., Coren F., Mandanici E. (2012), "Aspetti applicativi nell'uso della termografia aerea per la mappatura delle dispersioni termiche in ambito urbano", *Atti 16a Conferenza Nazionale ASITA*, 245-251.
- Bitelli G., Conte P., Csoknyai T., Franci F., Girelli V. A., Mandanici E. (2015), "Aerial thermography for energetic modelling of cities", *Remote Sensing*, 7(2), 2152–2170.
- Dash P., Göttsche F. M., Olesen F. S., Fischer H. (2002), "Land surface temperature and emissivity estimation from passive sensor data: Theory and practice-current trends", *International Journal of Remote Sensing*, 23(13), 2563–2594.
- Gál T., Lindberg F., Unger J. (2009), "Computing continuous sky view factors using 3D urban raster and vector databases: comparison and application to urban climate", *Theoretical and Applied Climatology*, 95, 111–123.
- Hay G. J., Kyle C., Hemachandran B., Chen G., Mustafizur Rahman M., Fung T. S., Arvai J. L. (2011), "Geospatial technologies to improve urban energy efficiency", *Remote Sensing*, 3(12), 1380–1405.