

Ingegnerizzazione della produzione di ortomosaici termici: un esempio di prodotto relativo alla città di Brescia

Paolo Dosso (*)

(*) consulente Rossi s.r.l., via San Zeno 40 - 25124 Brescia, tel. 030 220068, e-mail: paolo.dosso@rossibrescia.it

Abstract

La termografia all'infrarosso è una tecnica nota e consolidata da decenni nel settore delle riprese aeree oltretutto in quello dei rilievi da terra, specialmente con riferimento al monitoraggio del patrimonio edilizio. Tuttavia le enormi potenzialità di tale tecnica di rilievo non sono state ad oggi totalmente dispiegate, in quanto la sua applicazione pratica si è perlopiù limitata a studi ed indagini di tipo accademico e scientifico. E' mancata da un lato l'attenzione ad una ingegnerizzazione spinta dei processi di elaborazione dei dati rilevati, tale da dare origine a prodotti aventi caratteristiche metriche e tematiche codificate e riproducibili e tecniche di trattamento dati che garantiscano una rapida scalabilità nelle capacità elaborative in termini di superficie rilevabile; dall'altro, si è dovuta scontare l'assenza di un mercato - sia pubblico che privato - in grado di supportare tale tecnologia e, in particolare, l'implementazione di procedure di elaborazione dati efficienti la cui messa a punto richiede inevitabilmente un impegno oneroso alle società di rilievo aereo ed elaborazione dati che intendono operare in tale ambito.

Lo studio presentato mostra le potenzialità di un prodotto ottenuto dalla fusione, mediante tecniche di pansharpening, di un ortomosaico termico con GSD di 1 m con un ortomosaico multispettrale preesistente ottenuto da immagini DMC con GSD di 50 cm. Il sensore termico utilizzato è la termocamera aeromontata JAIR della Jenoptik, equipaggiato con ricevitore GPS e sistema inerziale per l'orientamento automatico dei fotogrammi.

Il prodotto realizzato si presta a molteplici usi. In particolare, esso consente alle autorità pubbliche di avere un quadro sinottico, relativo a vasti areali, dello stato di efficienza del patrimonio edilizio dal punto di vista energetico, così da poter gestire in modo oggettivo le procedure connesse alle concessioni di incentivi in termini di scomputo degli oneri di urbanizzazione e del contributo sul costo di costruzione per gli interventi di bio-edilizia ed a risparmio energetico, oltre che poter pianificare con migliore cognizione di causa gli interventi sul patrimonio edilizio dell'Ente stesso volti a conseguire risparmi energetici.

I rilievi termici

Il telerilevamento termico, ovvero l'esplorazione remota della superficie terrestre nell'intervallo di lunghezze d'onda dello spettro elettromagnetico corrispondenti all'infrarosso termico, è una tecnologia piuttosto consolidata e datata: risalgono infatti agli anni '60 del secolo scorso i lanci dei primi satelliti meteorologici (della famiglia TIROS) equipaggiati con sensori termici. Dal campo della meteorologia si è quindi rapidamente passati negli anni '70 alle esplorazioni della vera e propria superficie della terra con le missioni Landsat (a partire dal Landsat 3, equipaggiato con un sensore termico che sfortunatamente incontrò subito problemi di funzionamento), e delle superfici coperte dagli oceani, a partire dalla gloriosa carriera del sensore CZCS montato a bordo del satellite Nimbus-7: lanciato nel 1978 e progettato per avere una vita utile di un solo anno, operò invece per ben 8 anni, fino al 1986.

Dal punto di vista concettuale e teorico, la capacità di rilevare le radiazioni relative al classico intervallo dell'infrarosso termico, ovvero compreso tra 10 e 12 μm , permette essenzialmente di

ottenere informazioni precise e sostanzialmente dirette sulla temperatura delle superfici osservate. Questo perché la legge di Wien stabilisce che oggetti - i quali possano essere assimilati a corpi neri - a temperature situate intorno ai 300 K (all'incirca la temperatura del corpo umano) presentano un massimo di emissione di energia elettromagnetica intorno ai 10 μm , mentre la legge di Stefan-Boltzmann stabilisce che l'energia totale emessa da un corpo (la quale è massimamente prodotta nell'intervallo di lunghezze d'onda comprese nel primo intorno della lunghezza d'onda individuata dalla legge di Wien) è proporzionale alla quarta potenza della sua temperatura assoluta. Si capisce quindi che rilevando l'emissione nell'intervallo suddetto, è possibile addivenire facilmente alla stima della temperatura superficiale del corpo rilevato. Tutto questo deve essere corretto in funzione del valore effettivo di emissività della superficie (la stessa legge di Stefan-Boltzmann per corpi grigi tiene adeguatamente in conto l'effetto attenuante dell'emissività sull'energia totale emessa dal corpo), la quale è indice della sua assimilabilità o meno a corpo nero: quest'ultimo, in quanto assorbitore ed emettitore totale, ha emissività pari a 1, mentre tutti i materiali "reali" hanno emissività diverse che sono nella maggior parte dei casi elevate (sopra 0,9 per la gran parte dei materiali murari, il legno, gli asfalti, il corpo umano stesso, acqua, vetro, carta, plastica, ecc.; emissività variabili e talvolta molto basse per altri materiali, soprattutto metallici).

Gli impieghi pratici di questo tipo di rilevamenti sono molto importanti, utili e contraddistinti da un vastissimo campo di applicazione: dalla produzione di termografie in campo edilizio a fini di diagnostica energetica, al monitoraggio ambientale di corpi idrici finalizzato al censimento ed alla localizzazione di scarichi inquinanti, dall'individuazione di incendi boschivi al monitoraggio di reti impiantistiche civili di grandi dimensioni (es. reti di teleriscaldamento).

Tuttavia le enormi potenzialità di tale tecnica di rilievo non sono state ad oggi totalmente dispiegate, in quanto la sua applicazione pratica si è perlopiù limitata a studi ed indagini di tipo accademico e scientifico. E' mancata da un lato l'attenzione ad una ingegnerizzazione spinta dei processi di elaborazione dei dati rilevati, tale da dare origine a prodotti aventi caratteristiche metriche e tematiche codificate e riproducibili e tecniche di trattamento dati che garantiscano una rapida scalabilità nelle capacità elaborative in termini di superficie rilevabile; dall'altro, si è dovuta scontare l'assenza di un mercato - sia pubblico che privato - in grado di supportare tale tecnologia e, in particolare, l'implementazione di procedure di elaborazione dati efficienti la cui messa a punto richiede inevitabilmente un impegno oneroso alle società di rilievo aereo ed elaborazione dati che intendono operare in tale ambito.

Termografia in edilizia

L'utilizzo di tecniche termografiche in edilizia sta avendo un crescente successo sulla spinta delle recenti normative in materia di certificazione energetica entrate in vigore a seguito del recepimento della Direttiva 2002/91/CE da parte dello Stato Italiano e, successivamente, delle singole Regioni. La normativa nazionale non prevede l'utilizzo diretto della tecnica termografica con finalità di certificazione energetica degli edifici: detta certificazione avviene infatti per via di una modellizzazione piuttosto sofisticata del "funzionamento" energetico dell'edificio inteso come insieme di un involucro edilizio, avente determinate caratteristiche costruttive e termiche, e di uno o più impianti termici al suo servizio. Tuttavia, la normativa stessa ipotizza il ricorso alla termografia con finalità più che altro di diagnosi energetica: il decreto 26 giugno 2009 "Linee guida nazionali per la certificazione energetica degli edifici" prevede infatti la possibilità di prove strumentali sull'edificio, tra le quali appunto quelle basate sull'utilizzo di termocamere, per effettuarne un collaudo energetico. Tali prove vanno eseguite in conformità alla normativa tecnica specifica (UNI EN 13187). Gli utilizzi sono pertanto i più disparati: individuazione di difetti strutturali, visualizzazione di dispersioni energetiche, restauro e risanamento degli edifici, individuazione di permeabilità all'aria, controllo di infiltrazioni su tetti a terrazzo, riscaldamento, aerazione, climatizzazione.

Lo scopo dello studio

Lo studio presentato mostra le potenzialità di un prodotto ottenuto dalla fusione, mediante tecniche di pansharping, di un ortomosaico termico con GSD di 1 m con un ortomosaico multispettrale preesistente ottenuto da immagini DMC con GSD di 50 cm. Il sensore termico utilizzato è la termocamera aeromontata JAIR della Jenoptik, equipaggiato con ricevitore GPS e sistema inerziale per l'orientamento automatico dei fotogrammi.

Il prodotto realizzato si presta a molteplici usi. In particolare, esso consente alle autorità pubbliche di avere un quadro sinottico, relativo a vasti areali, dello stato di efficienza del patrimonio edilizio dal punto di vista energetico, così da poter gestire in modo oggettivo le procedure connesse alle concessioni di incentivi in termini di scomputo degli oneri di urbanizzazione e del contributo sul costo di costruzione per gli interventi di bio-edilizia ed a risparmio energetico, oltre che poter pianificare con migliore cognizione di causa gli interventi sul patrimonio edilizio dell'Ente stesso volti a conseguire risparmi energetici.

Il sensore JAIR

Il sensore JAIR è prodotto dalla Jena-Optronik GmbH di Jena, divisione "Defense & Civil Systems" della Jenoptik AG. Jena-Optronik appartiene al ristretto gruppo di società che hanno tracciato la strada pionieristica che ha portato all'avvento delle camere digitali multispettrali e sviluppa strumenti per la ricerca scientifica in campo astronomico. Il focus principale è l'applicazione di tecnologie opto-elettroniche per l'Earth Observation ed il Remote Sensing, ad esempio lo Spaceborne Scanner JSS 56 con cui sono equipaggiati i satelliti della costellazione Rapid Eye, lo scanner multispettrale aerotrasportato JAS 150s e la camera all'infrarosso termico aerotrasportata JAIR. Quest'ultima è il primo esemplare di camera aerotrasportata sensibile all'infrarosso termico con risoluzione VGA (640x480 pixels) in real-time. Essa è basata su tecnologia a microbolometro non refrigerato e si distingue da altri sensori per l'estrema nitidezza delle immagini, oltre che per un innovativo sistema di stabilizzazione in volo (AeroStab-3).



Figura 1 – Il sensore JAIR e la piattaforma di stabilizzazione AeroStab-3.

La Rossi s.r.l.

La Rossi s.r.l. fa parte del ristretto numero di aziende aerofotogrammetriche con pluriennale esperienza operanti sul territorio italiano. Le origini risalgono al 1956, quando l'utilizzo di queste tecniche a livello privato era ancora pionieristico. La profonda competenza e la professionalità acquisita consentono alla Rossi s.r.l. di essere fra le poche aziende italiane ad occuparsi, con mezzi e personale propri, dell'intero spettro delle attività fotogrammetriche, tanto da rappresentare un punto di riferimento per chi necessita di elaborati di questo tipo. Per raggiungere gli elevati standard qualitativi richiesti dal mercato, la Rossi s.r.l. si avvale della collaborazione e del confronto con professori universitari e con noti specialisti del settore. Grazie anche all'alta specializzazione dello staff tecnico, svolge incarichi a livello mondiale (Europa, Africa e America) per vari soggetti, che spaziano dagli studi tecnici privati ai Ministeri.

La mappa termica realizzata

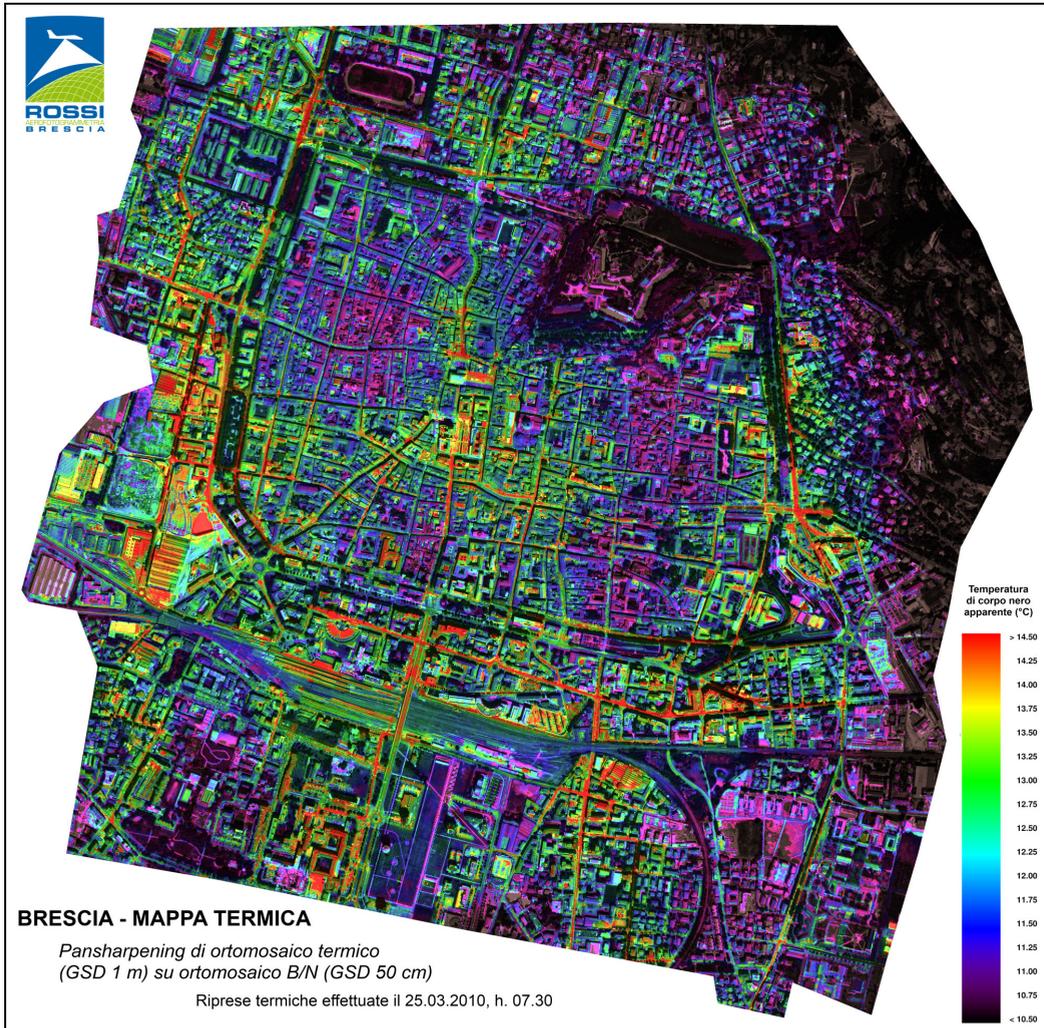


Figura 2 – Mappa termica del centro della città di Brescia realizzata mediante fusione di dati JAIR e DMC.

Modalità realizzative della mappa termica

La mappa termica oggetto del presente studio è basata sulla fusione di due dati a risoluzioni geometriche diverse: un dato termico rilevato tramite sensore JAIR ed un'ortofoto preesistente basata su riprese effettuate con camera DMC.

Il volo con sensore termico è stato eseguito dalla Rossi s.r.l. alle ore 7.30 del 25/03/2010, ed è costituito da immagini con risoluzione media al suolo di 1 m ed aventi ricopertura laterale e longitudinale adatte alla realizzazione di un ortomosaico termico.

Il sensore JAIR è dotato sia di uno stabilizzatore meccanico (AeroStab-3) volto a mantenere la camera stessa quanto più possibile in condizione di presa nadirale, sia di un sensore inerziale di media precisione in grado di fornire i parametri di orientamento esterno di ciascun fotogramma (coordinate X, Y, Z del centro di presa del fotogramma, ed angoli ω , ϕ , κ di assetto della camera stessa al momento dello scatto).

Le immagini permettono la lettura diretta della temperatura degli oggetti rappresentati, che è espressa in centesimi di grado Kelvin, nell'omonima scala assoluta. La risoluzione radiometrica del sensore è migliore di 1/10 di grado Kelvin.

Il blocco di immagini termiche è stato sottoposto ad aerotriangolazione mediante bounding-block adjustment secondo il metodo delle stelle proiettive, utilizzando il software Match-AT della Inpho. A causa delle caratteristiche precipue del dato termico, è stato necessario procedere ad una preliminare identificazione manuale di tie-points tra le immagini in numero tale da rendere il software stesso in grado di procedere con la generazione automatica di un numero ben maggiore di tie-point, necessari per un corretto block adjustment.

Successivamente si è generato un ortomosaico termico mediante il software OrthoVista della Inpho, tramite il quale è stato possibile realizzare anche un bilanciamento tonale del mosaico stesso.

A completamento delle elaborazioni, con il software ENVI della ITT VIS si è dapprima tematizzato l'ortomosaico termico con una palette di colori idonea, ed infine è stata realizzata la fusione tra l'ortomosaico termico a 1 m GSD ed un'ortofoto preesistente con GSD 50 cm basata su riprese effettuate con camera digitale Intergraph Z/I DMC, utilizzando l'algoritmo di Brovey.

Tale approccio multirisoluzione permette da un lato di limitare il numero di fotogrammi e strisciate necessari alla copertura termica, limitando pertanto i costi relativi a tale rilievo, e dall'altro lato di avere comunque nel prodotto finale un dettaglio geometrico sufficiente per interpretare correttamente le informazioni contenute nella mappa termica.

Da ultimo, si desidera puntualizzare che la mappa rappresenta comunque sempre temperature apparenti di corpo nero, le quali andrebbero corrette in ragione dei valori di emissività delle singole superfici investigate. Ovviamente una campagna di rilievo da terra dei valori emissività finalizzata alla correzione dei valori di temperatura indicati nella mappa vanificherebbe le potenzialità della metodica proposta, che si vuole contraddistinguere per la velocità di esecuzione della mappatura termica, la sua rapida scalabilità su vasti areali ed il costo ragionevole. Si coglie però l'occasione di far notare che, qualora il fine dell'utilizzo della mappa sia di identificare situazioni di dispersione termica, pertanto contraddistinte da temperature elevate, il fatto di trascurare il valore effettivo di emissività può dare origine a sottostime del valore reale, sicuramente non auspicabili, ma altrettanto sicuramente meno gravi di eventuali sovrastime, che sono invece da escludere proprio in virtù della modalità realizzativa della mappa stessa. Si avranno pertanto "falsi negativi" ma non "falsi positivi". E' per questo che si auspica l'integrazione di tale metodica di monitoraggio termico remoto con altre metodologie quali ad esempio l'analisi dei consumi energetici degli edifici.

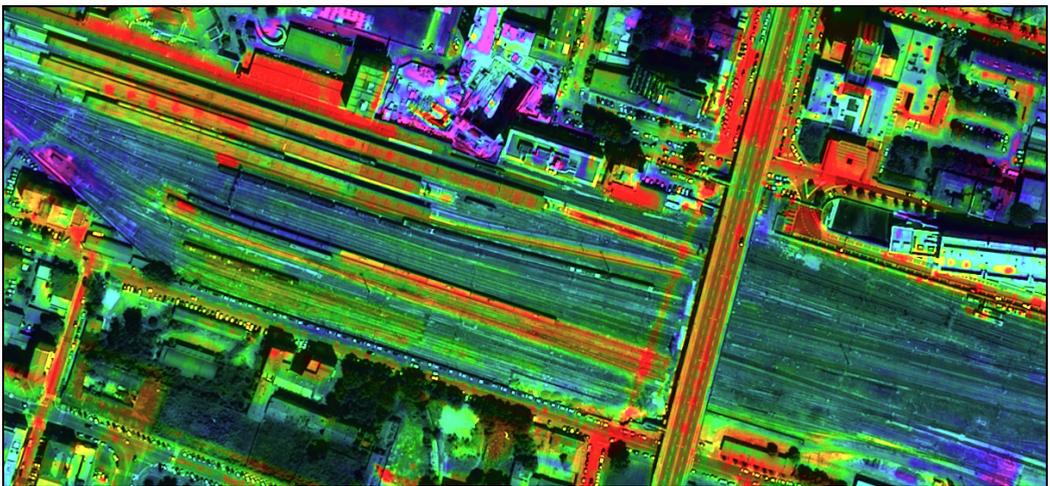


Figura 3 – Zoom sulla zona della stazione FS: si notino i dettagli relativi alle pensiline ed ai binari, oltre che l'attraversamento sotterraneo di una tubazione contraddistinta da una temperatura più elevata dell'area circostante.

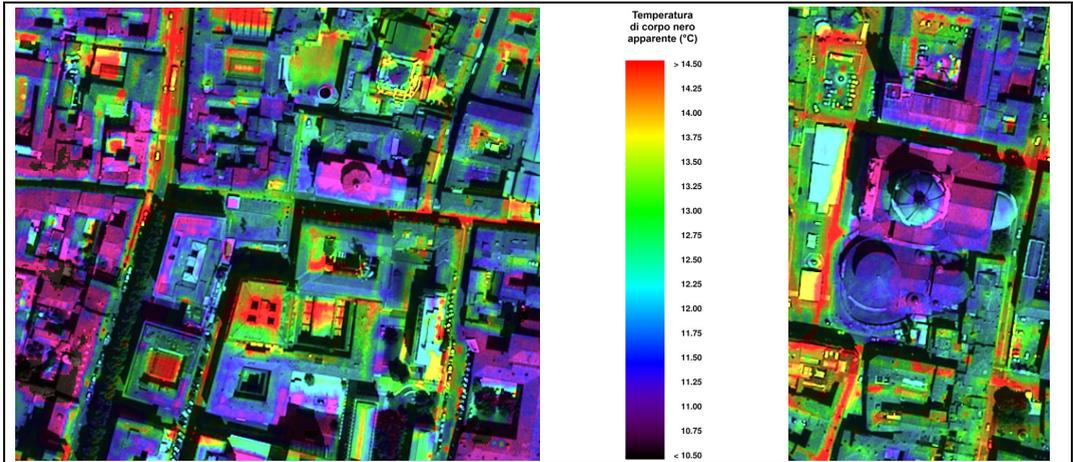


Figura 4 – Dettagli della mappa proposta: si può notare il buon livello di congruenza geometrica del prodotto finale, risultato di una fusione tra dati a risoluzioni diverse, analizzando i singoli particolari delle due scene.

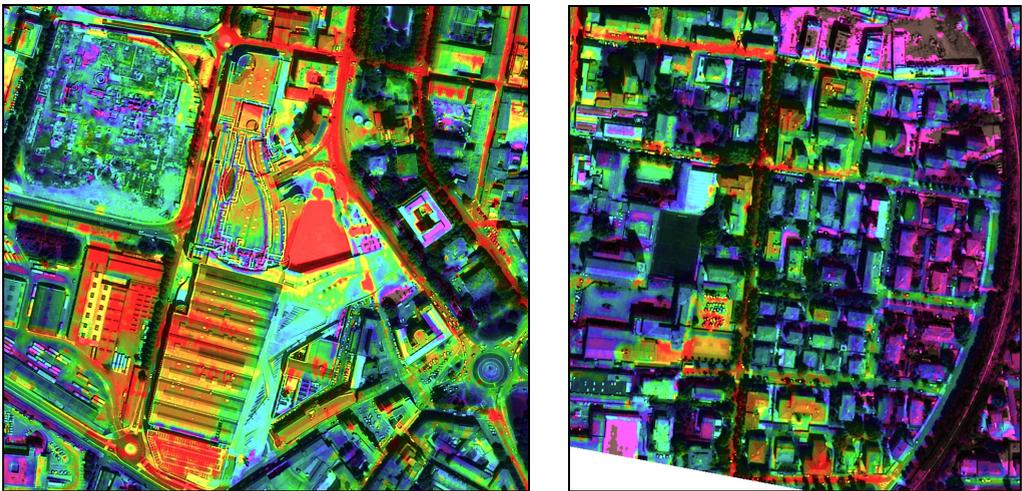


Figura 5 – A sinistra, dettaglio relativo ad una zona industriale; a destra, un'area residenziale mostra chiaramente le diverse caratteristiche "termiche" di tipologie edilizie risalenti ad epoche diverse, distinguibili per isolati omogenei