

# I DATI MIVIS PER LO STUDIO DELL'ISOLA DI CALORE URBANA

Lorenza FIUMI

CNR - IIA - LARA (Laboratorio Aereo Ricerche Ambientali)  
Area della Ricerca CNR di Torvergata, Via del Fosso del Cavaliere, 00133 Roma, mail: [l.fiumi@lara.rm.cnr.it](mailto:l.fiumi@lara.rm.cnr.it)

## Riassunto

Attraverso l'utilizzo di dati telerilevati ripresi sulla città di Roma, con il sensore MIVIS (Multispectral Infrared Visibile Imaging Spectrometer), viene analizzato su alcune aree campione della città, come l'eccessiva impermeabilizzazione suoli urbani agisce sulle condizioni climatiche locali, in particolare viene studiato il comportamento dei materiali utilizzati per l'edificazione nella loro risposta alle radiazioni solari.

L'impatto dell'eccessiva impermeabilizzazione sulle condizioni climatiche locali, e perfino regionali, è così elevato da creare il fenomeno conosciuto come "isola di calore urbano".

Nella formazione delle isole di calore, i cui effetti negativi sull'uomo e sull'ambiente sono ben noti, è determinante come rispondono i materiali utilizzati per l'edificazione alle radiazioni solari.

La maggior parte delle aree urbane deve affrontare i crescenti problemi dell'espansione, spesso disordinata, e di perdita di vegetazione. In particolare, i moderni insediamenti sono caratterizzati da un uso indiscriminato dell'asfalto e del cemento, ovvero da una impermeabilizzazione dei suoli diffusa, con conseguenze negative per il microclima di ogni zona, per la ricarica delle falde acquifere sotterranee e per lo smaltimento delle acque piovane.

## Abstract

The analysis of remotely sensed MIVIS (Multispectral Infrared Visibile Imaging Spectrometer) data, collected over Rome, enables to study how the excessive soil impermeability influences local climatic conditions; a particular attention is devoted to the behaviour of materials used for building and their response to sun radiation.

The impact of the excessive impermeability on local climatic conditions, and even regional, is so high as to create the phenomenon known as "urban heat island".

The way how used building materials response to sun radiation is determining for the formation of heat islands, whose negative effects on man and environment are well known.

Most urban areas should face the increasing problems connected with their expansion, often rough, and the loss of vegetation. In particular, modern settlements are characterized by an indiscriminate use of asphalt and cement, giving origin to a diffuse soil impermeability which determines negative effects for the microclimate of that areas, the rain water ebb and the regeneration of the underground water layers.

## Introduzione

In quest'ultimo secolo, con l'incremento della popolazione ed il progresso tecnologico è diventato sempre più evidente e scientificamente dimostrato come la città rappresenta il luogo dove l'uomo ha modificato il clima locale o microclima.

Uno degli effetti più rilevanti è l'aumento delle temperature dell'area urbana rispetto all'ambiente rurale circostante. Tale fenomeno è noto con il nome di isola di calore urbana. Una delle cause è la sigillatura e impermeabilizzazione dei suoli. Infatti, le superfici impermeabilizzate provocano un riscaldamento della massa d'aria sovrastante, venendo a mancare l'effetto mitigatorio dato dal processo di evapotraspirazione della vegetazione (Vinci, 1996).

La permeabilità dei suoli consente la rigenerazione della falda acquifera, l'incremento della vegetazione con una conseguente maggiore difesa del suolo ed una migliore ossigenazione dell'aria. In questo lavoro, attraverso l'impiego di tecniche di telerilevamento e metodi di analisi nell'infrarosso termico, si presentano i risultati di una ricerca volta allo studio del territorio della città di Roma.

### **Area di studio**

L'acquisizione di dati MIVIS sulla città di Roma è stata effettuata il 19 giugno 2004, alle ore 11.30, ad una quota di 1.500 m. ne corrisponde un pixel di 3 x 3 m. L'area di ripresa è posta all'interno del Grande Raccordo Anulare, copre una superficie di circa 148 kmq.

Inoltre, è stata acquisita un'altra area ad una quota di 1200 m, secondo una linea di volo Ovest –Est, a cui corrispondono le zone che partono da P.za del Popolo e seguono tutta la via Tiburtina per arrivare alla città di Tivoli.

### **Materiali e metodi**

Come è noto, l'ambiente urbano presenta una variegata distribuzione delle diverse superfici. Ciò significa che in tale ambito sono presenti materiali eterogenei tra loro e con una distribuzione spaziale a volte del tutto casuale. Pertanto, lo studio delle diverse superfici richiede un'attenta analisi dei singoli *pixel* o *patches* che compongono il mosaico relativo "all'immagine della città" (Zilioli, 2000).

Premesso ciò, per ottenere delle buone analisi bisogna tener conto sia dell'elevato grado di frammentazione delle superfici e quindi la loro distribuzione spaziale sia della variabilità ed ambiguità spettrale. La condizione necessaria per produrre buone analisi nel contesto urbano è che abbiano una buona corrispondenza con la realtà. Pertanto sono indispensabili ripetute verifiche in campo sia in fase di analisi preliminare che di verifica dei risultati.

I dati MIVIS sono stati calibrati secondo le procedure descritte in Bianchi et al., 1996. Non disponendo di misure di valori di riflettanza alla superficie del suolo ed informazioni sulla caratterizzazione della colonna d'aria compresa tra il sensore ed il piano di campagna, è stato applicato il metodo di calibrazione noto come IARR (*International Average Relative Reflectance*), descritto da Kruse 1993.

La scena investigata è stata valutata qualitativamente attraverso l'analisi visiva dei singoli canali. Tale analisi ha evidenziato, per la maggior parte dei canali riflessivi, un accettabile Rapporto Segnale-Rumore (*Signal to Noise Ratio*, SNR), strettamente corrispondente alle specificazioni fornite da Ben-Dor et al., 1994. Soltanto la qualità di alcuni canali (es. 59, 63) è risultata al di sotto di un livello qualitativo tale da porre in questione il loro uso (Fiumi, et al., 1997). Al fine di raggiungere un accettabile SNR a livello di pixel, è stato quindi applicato un filtro ai canali SWIR ricadenti nel dominio spettrale 2.000-2.500  $\mu\text{m}$ , ch. 31-92 (Rast, et al., 1991).

La banda 93, da 8.200 micron a 8.600 micron, visualizza il comportamento in termini di emissività delle superfici, in quanto sensibile alla porzione dello spettro elettromagnetico corrispondente all'infrarosso termico. In tale contesto è possibile registrare le variazioni di temperatura al suolo (costituendo quello che si definisce "termografia") per l'intera acquisizione (Goetz, et al., 1985).

Si è diviso quindi l'intervallo di radianza ottenuto in classi di colore per una migliore visualizzazione "a gradini" del contenuto informativo dell'immagine. Questo procedimento viene comunemente denominato "*slicing*" o suddivisione in livelli. Le mappe termiche ottenute sono il

risultato derivato dall'applicazione di un filtro *low pass* alla banda 93, visualizzato con uno *slicing* su 7 livelli di colore che descrivono i valori di temperatura relative al suolo registrati al sensore.

### **Massima Verosimiglianza (Metodo di classificazione)**

I dati oggetto della ricerca, radiometricamente corretti, sono stati classificati utilizzando il metodo noto come Massima Verosimiglianza (Maximun Likelihood). Questo classificatore è il più conosciuto nello stabilire il criterio di assegnazione di ogni singolo pixel ad una determinata classe. L'algoritmo opera assegnando ciascun pixel alla classe per cui è maggiore la probabilità condizionale, definita come la probabilità che, selezionato un pixel  $x$  della scena, esso appartenga ad una determinata classe  $C$ . Il pixel appartiene alla classe  $C$  se:

$$P(C|x) > P(CK|x)$$

dove  $P(C|x)$  è la probabilità condizionale dei pixel  $x$  rispetto alla classe  $C$ ;  $P(CK|x)$  è la probabilità condizionale dei pixel  $x$  rispetto alla classe  $CK$  (Gomasca, 1997).

È un modello probabilistico e da informazioni circa la distribuzione dei dati in  $n$  dimensioni spettrali.

I pixel vengono assegnati ad una classe o ad un'altra seguendo il criterio di massima probabilità di appartenenza; è possibile inoltre definire una soglia per imporre i confini della decisione.

L'algoritmo richiede come input un numero di aree di prova (training areas) o spettri di riferimento, derivanti da specifiche "Regioni di Interesse" (Region Of Interest, ROI) o anche dati spettrali. Nel nostro caso, gli spettri input sono stati ricavati da ROI accuratamente individuate nella scena, attraverso l'analisi visiva di sintesi additive in RGB (Red, Green, Blue).

In particolare, sono state individuate 6 ROI corrispondenti a tipologie di rivestimento e/o copertura del suolo urbano, di seguito brevemente descritte.

- Edificato "Superfici impermeabili". Tutto ciò che riguarda il costruito, dai grandi blocchi compatti di edifici, ai fabbricati di medie dimensioni adibiti a varie attività anche artigianali della periferia urbana, alle piccole abitazioni diffuse. I materiali utilizzati vanno dal laterizio (come per le coperture di edifici storici), alle superfici metalliche dei capannoni industriali, alle semplici coperture a terrazzo pavimentate con materiali lapidei (graniglie o marmette tipiche di molte palazzine o abitazioni sorte spontaneamente).

- Strade asfaltate e/o variamente pavimentate "Superfici impermeabili". Si intendono strade, marciapiedi, piazze e spazi adibiti a parcheggio. Possono essere ricoperte con materiale bituminoso, costituito da una miscela di idrocarburi e da inerte, oppure pavimentate con materiali lapidei come porfido, basalto e altro.

- Suolo nudo "Superfici permeabili". Sono tutte le aree non ricoperte da vegetazione. Queste superfici possono essere sia in stato di abbandono, sia spazi interclusi da alberi all'interno di parchi, o sentieri in terra battuta, o semplicemente terreno coltivato, appena arato.

- Superfici a prato "Superfici permeabili". Tutte quelle aree ricoperte da vegetazione molto bassa, o da colture erbacee compreso il grano.

- Superfici alberate "Superfici permeabili". Sono prevalentemente costituite da alberi di medio e alto fusto, di specie caducifoglie o sempreverdi (platani, pini e lecci, ecc.), nonché da alti cespugli.

- Acqua. È presente nell'alveo del fiume Tevere; è inoltre riconoscibile in un piccolo lago artificiale e superfici adibite a piscina.

### **Risultati e discussioni**

Nella classificazione sono state riconosciute nell'immagine digitale le 6 classi di superfici dalle caratteristiche spettrali omogenee esistenti al suolo, individuate attraverso delle ROI (Region Of Interest) sopra descritte.

La “bontà” della classificazione è stata verificata sia attraverso osservazioni dirette nell’area di studio, sia con verifiche puntuali sul luogo integrate da alcune sintesi in RGB di immagini MIVIS, e da analisi di foto aeree a colori acquisite nell’ambito del Progetto Strategico di “ROMA CAPITALE” del CNR. Avvalendosi del materiale sopra citato per la raccolta delle informazioni a terra, è stato selezionato un congruo numero di aree su cui verificare l’accuratezza della classificazione. Dall’analisi della matrice di confusione, che riassume e quantifica i possibili errori definiti di Omissione e di Commissione per singole classi, si rileva come il maggiore numero di dati raccolti in “*situ*” abbia consentito la realizzazione di classificazione con un’accuratezza totale pari al 96,5%. La classe acqua e la classe suolo nudo risultano essere le meglio classificate grazie alla loro univoca firma spettrale. Le classi che sono tra loro non sempre separabili sono invece la classe strade asfaltate e/o variamente pavimentate con la classe edificato, a causa della eterogeneità dei diversi materiali in essa incorporati, quali laterizio, graniglie, lamiere zincate e tra questi il materiale bituminoso utilizzato per le coperture di edifici.

La procedura seguita, anche se migliorabile, può essere ritenuta idonea per la realizzazione di mappe che discriminano le superfici permeabili da quelle impermeabili, da utilizzarsi in analisi urbanistico ambientale secondo l’approccio noto come Massima Verosimiglianza.

Nel *View Statistics File* corrispondente alla classificazione sono riportate le superfici in ettari e percentuali per ogni classe della legenda. Questo approccio permette di avere ulteriori informazioni numeriche come somme o sottrazioni di più classi.

### **Osservazioni e considerazioni sull’ambiente urbano**

Da una prima analisi visiva delle mappe termiche messe a confronto si conferma la presenza elevati livelli termici lungo i principali assi stradali e comunque in presenza di superfici impermeabili riconosciute dalla classificazione come edificato e strade.

E opportuno precisare che i valori citati sono relativi, in quanto contengono errori dovuti essenzialmente all’assorbimento atmosferico e alla variabilità del coefficiente di emissività delle superfici rilevate. Nel dettaglio le mappe prodotte evidenziano quanto segue.

Nel quartiere Prati Mazzini, Via della Conciliazione, P.le Clodio Via Trionfale sono molte le superfici con elevati valori relativi stimati, oltre i 41° C, per poi toccare il valore massimo in P.za Bainsizza con 48° C. La struttura urbana agisce da trappola di calore con effetti di un forte riscaldamento dovuto anche al traffico veicolare spesso congestionato.

Procedendo verso la zona Monteverde Circonvallazione Gianicolense si evidenzia il “*canyon*” di Viale dei Colli Portuensi o di Via del Casaletto. Inoltre, una fitta rete di strade laterali registrano valori di temperature relative elevate oltre i 41° C, se ombreggiate sono un ottimo serbatoio di fresco ma se sono soleggiate è facile ipotizzare che diventano fornaci.

Sorprendente sono le elevate temperature registrate nel quartiere EUR. L’immagine termica ha definito la geometria dei grandi Piazzali dell’Industria e dell’Agricoltura e degli ampi Viali Europa, America, nonché Via Cristoforo Colombo. Altresì evidente la forma di Piazzale dello Sport realizzato in asfalto che seppur presente una modesta alberatura registra valori oltre i 50° C. Nella zona del laghetto si registrano temperature più basse grazie alla presenza di un corso d’acqua e alla folta vegetazione circostante. Quest’area ombreggiata e verde, caratterizzata da un edilizia abitativa di tipo estensivo, costituisce una piccola oasi termica nella parte sud della città, tra l’altro crea condizioni microecologiche adatte all’inserimento di vari animali dagli ecosistemi circostanti.

Elevati livelli termici, oltre 55° C, sono stati registrati nell’area di recente costruzione adibita a mercati generali lungo al Via Tiburtina. Nell’immagine termica ben si caratterizzano per le alte temperature la forma dei fabbricati e gli spazi adibiti a parcheggio asfaltati. A queste superfici si contrappongono le temperature più basse della campagna limitrofa. In sintesi, l’analisi sopra esposta evidenzia che ad elevate temperature registrate dalla elaborazione del dato MIVIS corrispondono

superfici impermeabili e scarsa presenza di superfici evaporanti quali specchi d'acqua, prati e superfici alberate in grado di sottrarre calore all'atmosfera attraverso l'evaporazione.

Infatti, da un'analisi sia dei file statistici e dalle mappe prodotte dalla classificazione, le osservazioni possibili, quasi immediate, sono numerose, alcune scontate, altre sorprendenti.

L'edificato in senso stretto (sup. coperta) ha il suo "vertice" nei quartieri Prati-Mazzini-Trionfale (con una media del 47%) e la punta massima in un'area campione interna al quartiere Prati (57%).

Anche il territorio Monteverde-Circonvallazione Gianicolense attesta intensità rilevanti di edificazione con una media del 35%. Incredibile poi il valore raggiunto nell'area campione della Magliana: 72%.

Le altre aree urbane esaminate attestano percentuali medie di copertura comprese tra il 22% ed il 28%, entità che, secondo logica, sembra essere quella ragionevolmente ammissibile in aree urbane a concentrazione edilizia medio-alta.

Le superfici occupate da strade asfaltate o variamente pavimentate oscillano intorno al 28% nei quartieri Prati-Mazzini-Trionfale-Trastevere-Monteverde-Gianicolense; tale percentuale si abbassa fino al 20% nelle zone semicentrali e periferiche, dove la rete secondaria è meno capillarmente diffusa. Il problema diventa particolarmente grave se alle superfici coperte da edificazione (citate in precedenza) si sommano quelle asfaltate o pavimentate della viabilità.

Si registra allora l'esistenza di percentuali altissime di superfici del tutto impermeabili, incapaci di assorbire le acque piovane per via diretta, che superano spesso il 90% del totale e raggiungono qualche volta quasi il 100%, come nelle aree campione di Prati-Trionfale-Monteverde.

Situazioni come queste, assolutamente abnormi, dovrebbero almeno presumere il funzionamento perfetto della rete fognaria, cosa che raramente accade a Roma (Fiumi, et al., 2007).

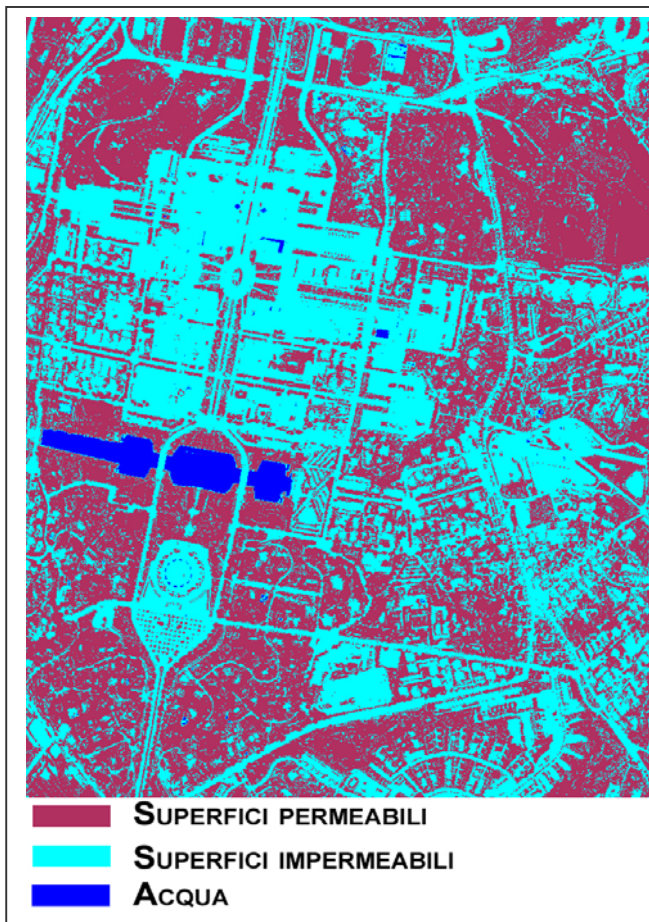


Figura 1 – Roma EUR. Classificazione delle superfici permeabili, impermeabili e acqua

In via orientativa si può dire che, pur in presenza di un sistema di smaltimento delle acque piovane perfetto, le superfici impermeabili non dovrebbero mai superare il 60% del totale. In zone densamente edificate, come quelle dei quartieri Prati-Mazzini-Trionfale, tali superfici sono modestissime, al di sotto del 5%. Sarebbe invece necessario, per ovvi motivi di benessere ambientale, che non scendessero mai al di sotto del 10-15% in qualsiasi area urbana, anche densamente edificata. (Fiumi et al., 2007)

I suoli nudi sono inesistenti nei quartieri centrali e presenti in dimensioni variabili nelle zone periferiche. Non dovrebbero mai avere rilevanza nelle aree urbane, se non in quelle di completamento. Le alberature di alto fusto hanno qualche "apparente" consistenza anche in zone densamente edificate, ma si tratta quasi esclusivamente di viali alberati pavimentati. Inutile rilevare che anche nelle aree urbane densamente edificate non dovrebbero mai mancare le aree parco, con alberature di alto fusto sovrastanti superfici verdi permeabili.

Pare che a Roma l'elemento acqueo non sia assolutamente considerato come componente paesaggistica di qualche rilievo, ad eccezione delle fontane monumentali presenti nel centro

storico. Tale percentuale non dovrebbe essere inferiore al 15-20% e raggiungere possibilmente il 25% del totale.

Gli specchi e i corsi d'acqua sono pressoché inesistenti a Roma, prescindendo dal corso del Tevere, ormai di ben modesta portata. Mancano del tutto, nelle aree considerate, laghi, laghetti e canali.

### **Considerazioni finali**

È evidente che questa metodologia di tipo applicativo consente, attraverso l'uso di dati telerilevati, di analizzare stati di fatto e predisporre scelte progettuali ben motivate. Pertanto, nasce spontaneo l'auspicio che le Amministrazioni responsabili della pianificazione e gestione del territorio avvertano la necessità di dotarsi di strumenti conoscitivi di questo tipo. Le esperienze condotte sono comunque propedeutiche all'utilizzo di dati provenienti dai recentissimi sistemi satellitari, quale appunto Ikonos, i cui costi ridotti ne consentiranno in un prossimo futuro l'uso su larga scala (Galati et al., 2002).

### **Riferimenti bibliografici**

Ben-Dor E., Kruse F.A., Lefkoff A.B. and Banin A. (1994) "Comparison of three calibration techniques for utilization of GER 63-channel aircraft scanner data" Makhtesh Raamon Negev, Israel. PE&RS, Vol 60, No.11, pp.1339-1354.

Fiumi L., Leone A.P., Marino C.M. (1997) "Uso dei dati MIVIS per la mappatura delle superfici in aree urbane, con particolare attenzione al cemento-amianto". Rivista Italiana di Telerilevamento, n. 13. Maggio. Pp. 25-30.

Fiumi L., Rossi S. (2007) "Dalla Cartografia storica al telerilevamento: la città di Roma" editore CNR-Pagine

Galati G. e Giardini A. (2002) "Tecniche e strumenti per il telerilevamento ambientale", Redazione a cura del Servizio Pubblicazioni e Informazioni Scientifiche CNR - Roma

Goetz, A.F.H., Vane, G. (1985) "Imaging spectrometry for earth remote sensing", Science, Vol. 228, n. 4704. pp. 1147-1153.

Gommarasca M. (1997) "Introduzione a telerilevamento e GIS per la gestione delle risorse agricole ambientali", Ed. Arte Stampa Daverio, Varese, pp. 3-79.

Kruse F.A., Lefkoff, A.B., Boardman, J.B., Heidebrecht, K., Shapiro, A.T., Barloon, P.J., and Goetz A.F.H (1993) "The Spectral Image Processing System (SIPS) Interactive Visualization and Analysis of Imaging spectrometer data: Remote Sensing of Environmental", v.44 p.145-163.

Rast M., Hook S.J., Elvidge C.D. and Alley R.E. (1991) "An evaluation of techniques for the extraction of mineral absorption features from high spectral resolution Remote Sensing data". PE&RS, Vol.5 No.10 pp.1303-1309.

Vinci L. (1996), "Le isole di calore urbano", Sistema Terra, Rivista Internazionale di Telerilevamento, anno V, n. 2/3 pp.40-43.

Zilioli E. (2000) "Appunti e Spunti di Telerilevamento", Ed. Artestampa Daverio, Varese.