



Agenzia Nazionale per le Nuove Tecnologie,  
l'Energia e lo Sviluppo Economico Sostenibile



*Ministero dello Sviluppo Economico*

## RICERCA DI SISTEMA ELETTRICO

Elaborazione dati del sensore MIVIS per l'individuazione di elementi e materiali da costruzione e analisi del comportamento termico, in aree campione, preventivamente selezionate nell'area metropolitana di Roma

*Lorenza Fiumi, Luca Congedo, Carlo Meoni*



**Consiglio Nazionale delle Ricerche**  
Istituto sull'Inquinamento Atmosferico

ELABORAZIONE DATI DEL SENSORE MIVIS PER L'INDIVIDUAZIONE DI ELEMENTI E MATERIALI  
DA COSTRUZIONE E ANALISI DEL COMPORTAMENTO TERMICO, IN AREE CAMPIONE,  
PREVENTIVAMENTE SELEZIONATE NELL'AREA METROPOLITANA DI ROMA

Lorenza Fiumi, Luca Congedo, Carlo Meoni (IIA-CNR)

Settembre 2011

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico – ENEA

Area: Razionalizzazione e risparmio nell'uso dell'energia elettrica)

Progetto: Studi e valutazioni sull'uso razionale dell'energia: Tecnologie per il risparmio elettrico  
nel settore

Responsabile Progetto: Gaetano Fasano, ENEA.

## Indice

Indice delle Figure .....	3
Indice delle Tabelle.....	3
Obiettivi del progetto .....	4
Individuazione dell' area di studio.....	5
Materiali e Metodi.....	5
I dati MIVIS, acquisizione e pre-elaborazio.....	6
Campagna di misure a terra contestuali al sorvolo .....	7
Controllo di qualità del dato.....	7
Elaborazione dati.....	8
Classificazione dati MIVIS.....	9
Verifica accuratezza tramite Matrice di errore .....	10
Analisi Spaziali .....	11
Risultati ottenuti.....	12
Analisi termica .....	17
Il comportamento termico dei materiali di rivestimento in ambito urbano.....	19
Conclusioni .....	23
Bibliografia .....	23
ALLEGATO .....	25
Caratteristiche del sensore MIVIS .....	26

## Indice delle Figure

Figura 1: Area di studio .....	5
Figura 2: Immagine MIVIS georeferenziata e sovrapposta a CTR .....	8
Figura 3:Classificazione di elementi e materiali (riferiti all'area di studio).....	10
Figura 4: Esempio di isolato, ottenuto dall'intersezione tra classificazione e CTR.....	12
Figura 5: Classificazione di elementi e materiali .....	13
Figura 6:Elaborazione di intersezione tra la classificazione e CTR numerica dei soli fabbricati .....	14
Figura 7: Classificazione delle superfici stradali (riferite all'area di studio).....	15
Figura 8: Esempio di scheda redatta per ciascun isolato presente nell'area di studio .....	16
Figura 9: Analisi termica di elementi e materiali (riferiti all'area di studio).....	17
Figura 10: Esempio di scheda redatta per ciascun isolato presente nell'area di studio .....	18
Figura 11: Trend giornaliero di temperatura di materiali registrate il 29/8/2009 .....	19
Figura 12: Trend annuale di temperatura su diversi materiali di rivestimento registrate alle ore 13.00 nei mesi citati dell'anno 2009 .....	20
Figura 13: Foto dei diversi materiali esaminati .....	20
Figura 14: A sinistra, foto di pavimentazione stradale a destra la stessa immagine fotografata con una termo camera.....	21

## Indice delle Tabelle

Tabella 1:Temperature dei materiali rilevate contestualmente al sorvolo MIVIS.....	7
Tabella 2:Matrice di errore riferita ai pixel.....	11
Tabella 3: Percentuali riassuntive dell'intera area di studio, ottenute della classificazione .....	12
Tabella 4: Percentuali riassuntive relative ai soli isolati.....	13

## Obiettivi del progetto

Il presente lavoro si inserisce nel Piano Annuale di Realizzazione 2008-2009, per quanto attiene all'Area *“Razionalizzazione e Risparmio nell'uso dell'energia elettrica”*, tematica di ricerca *“Risparmio di energia elettrica nel settore civile”*; nello specifico, si riferisce all'obiettivo E *“Sviluppo ed assessment di Cool Material per l'efficienza energetica ed il controllo ambientale a scala urbana e di edificio”* del progetto *“Tecnologie per il risparmio elettrico nel settore civile”*.

Per raggiungere il citato obiettivo E, è stato effettuato uno studio volto ad individuare - attraverso l'analisi, in aree campione, delle risposte spettrali dei dati del sensore MIVIS (Multispectral Infrared Visible Imaging Spectrometer) - i materiali cui è realizzato il costruito della città di Roma. Questo studio fornisce le condizioni iniziali per valutare le potenzialità di risparmio energetico e di comfort termico, ed è dunque propedeutico ad analisi e sperimentazioni che saranno condotte all'interno della linea E.

All'Istituto sull'Inquinamento Atmosferico (IIA) del CNR è stato affidato il compito di svolgere un'attività di ricerca che utilizza dati telerilevati acquisiti nella città di Roma per classificare elementi e materiali da costruzione e analizzarne il comportamento termico.

I dati originali MIVIS, utilizzati in questo progetto sono stati acquisiti con un volo sulla città di Roma, ad una quota di 1.500 metri da terra, ne corrisponde un pixel di 3 X 3 m.

L'analisi spettrale dei dati georeferenziati (WGS 84-UTM 33), con tecniche di classificazione, ha consentito di individuare in modo univoco e certo i diversi materiali presenti nell'area di studio ed ottenere stime, al fine di individuare i dati in input da inserire nelle analisi numeriche per la valutazione dell'efficacia dei *cool material*.

Lo studio contestualmente ha previsto nelle aree oggetto di indagine, una mappatura georeferenziata delle temperature a terra misurate al sensore, nell'infrarosso termico (8.2-8.6 micron).

Al fine di rendere fruibile ai fini della ricerca, il dato MIVIS elaborato, nonché dimostrare le effettive potenzialità applicative delle metodologie proposte, sono state redatte delle schede per ciascun isolato, sia per la classificazione che per le analisi termiche. Tali schede sono ordinate in modo automatico secondo un sistema attribuito dalla CTR in base alla posizione geografica dell'estremo superiore di ogni isolato (cioè che ha latitudine massima), partendo con la numerazione dall'isolato più a Sud ed terminando con l'isolato più a Nord dell'area di studio.

Nel presente report sono inseriti i risultati della ricerca raggiunti, articolati nelle sue varie fasi, relative alla:

- Classificazione;
- Analisi termica.

Tali risultati forniranno gli elementi utili per effettuare analisi finalizzate al risparmio energetico e comfort termico.

## Individuazione dell' area di studio

L'area oggetto di studio, riportata di seguito, è stata individuata dall'ENEA, interessa una superficie di 873.068,6 mq.



**Figura 1: Area di studio**

## Materiali e Metodi

### Software e dati

Sono stati utilizzati i seguenti software:

- ENVI della ITTVIS, per l'elaborazione dei dati MIVIS;
- ArcGIS della ESRI, per le analisi spaziali e l'integrazione dei diversi dati.

Sono stati utilizzati i seguenti dati:

- Dato MIVIS, volo sulla città di Roma, acquisito il 19/6/2004 ore 11.30, (ora legale), ad una quota di 1.500 metri con una risoluzione del pixel di 3x3m;
- CTR (Carta Tecnica Regionale) del 1996, scala 1:10.000, per l'inquadramento territoriale;
- CTR vettoriale del 2004, scala 1:5.000, per le analisi spaziali (gentile concessione Regione Lazio).

## **I dati MIVIS, acquisizione e pre-elaborazioni**

Utilizzando le sole tecniche e metodologie del telerilevamento da satellite, non sempre è possibile ottenere una corretta individuazione di elementi e materiali situati in ambito urbano a causa dei limiti di risoluzione spaziale, in particolar modo spettrale. Infatti, attualmente, i recenti sensori satellitari hanno raggiunto delle eccezionali risoluzioni spaziali, con una buona scala di dettaglio (ad esempio un pixel con definizione al suolo di 0.69 m metri del satellite Quick Bird). Al contrario la risoluzione spettrale, intesa come la possibilità di estendere l'indagine simultaneamente su porzioni diverse dello spettro elettromagnetico al fine di migliorare la riconoscibilità delle superfici oggetto dello studio, rappresenta ancora un problema non risolto .

La risoluzione spettrale si riferisce comunemente al numero di bande in cui è suddiviso l'intervallo di sensibilità spettrale del sistema; esprime la capacità di un sistema nel distinguere due lunghezze d'onda contigue al fine di separare al meglio le caratteristiche spettrali (riconoscibilità) delle superfici, superando quelle situazioni dove il comportamento di quest'ultime appare ambiguo e molto simile e, quindi, difficilmente individuabile

La capacità di separazione su base spettrale aumenta dunque con la disponibilità del numero delle bande e, per tale motivo, un settore in via di sviluppo di estremo interesse è appunto il telerilevamento iperspettrale. Questi sono capaci di acquisire per ciascun elemento dell'immagine (pixel) un intero spettro di energia solare riflessa dalla superficie terrestre, in numerose bande strette, nella regione dello spettro elettromagnetico compresa tra 0.40 e 2.50 micron .

A tal proposito, un importante sistema iperspettrale aero-portato, denominato MIVIS (*Multispectral Infrared and Visible Imaging Spectrometer*), è stato realizzato e reso operativo dal CNR. Si tratta di un sistema di scansione modulare di nuova generazione, costituito da 4 spettrometri in grado di realizzare un campionamento spettrale in 102 canali, nell'intervallo compreso tra 0.433 micron e 12.70 micron. La larghezza delle bande varia da 0.020 micron a 0.050 micron, nel visibile/infrarosso vicino (28 canali da 0.433 a 1.550 micron), 0.08 micron, nelle onde corte infrarosse (64 canali da 2.000 a 2.500 micron) e 0.400/500 micron, nell'infrarosso termico (10 canali da 8.2 micron a 12.7 micron). Il sistema campiona 755 pixel per ogni linea acquisita con una IFOV (Instantaneous Field of View) pari a 2 mrad, mentre il complessivo FOV (Field of View) è di circa 71.059°. Il segnale grezzo viene amplificato, campionato e registrato a 12 bit. Per ulteriori dettagli vedi Allegato.

Tali caratteristiche permettono una grande precisione di analisi nel riconoscimento di materiali, nel caso specifico di materiali di rivestimento di ambienti antropizzati come le coperture di edifici, laterizi, materiali lapidei, asfalto, piombo, rame, cemento-amianto, superfici vegetate, suoli nudi, ecc..

I risultati ottenuti nelle elaborazione hanno dimostrato le grandi potenzialità di questi strumenti applicati in aree urbane, realtà complesse con un elevato grado di frammentazione. Pur tuttavia rimangono irrisolti alcuni aspetti fondamentali, come quelli economici, tali da limitarne un uso su larga scala.

In questa attività, per le elaborazioni è stato utilizzato il dato MIVIS, con un volo sulla città di Roma, acquisito il 19/6/2004 ore 11.30, (ora legale), ad una quota di 1.500 metri con una risoluzione del pixel di 3x3m.

## Campagna di misure a terra contestuali al sorvolo

Al fine di ottimizzare le potenzialità dei dati, nonché comparare il dato tele rilevato con la realtà a terra, contestualmente al volo MIVIS sono state svolte dai ricercatori CNR campagne di misura in alcune aree prescelte, con osservazione diretta e/o con strumentazioni di tipo portatile.

Le misure sui materiali sono state rilevate contestualmente al sorvolo MIVIS il 19/6/2004 ore 11.30, (ora legale), mediante un Thermopoint portatile della AGEMA con un spectral range di 8-14 micron.

Sono stati rilevati inoltre i valori della temperatura dell'aria attraverso un termoigrometro della Delta OHM modello 9216. Nella tabella, si riportano per ogni materiale rilevato anche i valori della temperatura media, lo scarto quadratico medio (SQM) ed i valori di temperatura massimi e minimi registrati nell'arco della giornata.

**Tabella 1: Temperature dei materiali rilevate contestualmente al sorvolo MIVIS**

Materiale (emissività)	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	T.Media	SQM	T.Max	T.Min
Graniglie (0,93)	31,9	35,0	37,3	37,3	39,9	38,4	36,1	36,5	2,4	39,9	31,9
Basalto (0,72)	40,5	44,0	45,3	43,7	48,2	45,2	41,7	44,0	2,3	48,2	40,5
Basalto (0,93)	37,6	40,2	40,5	40,2	43,5	41,0	38,3	40,2	1,8	43,5	37,6
Travertino (0,95)	33,7	37,6	39,9	40,2	43,2	41,3	40,0	39,4	2,8	43,2	33,7
Piastrella cemento (0,92)	42,8	49,8	52,3	53,4	54,7	52,6	47,4	50,4	3,8	54,7	42,8
Laterizio giallo (0,72)	40,7	48,2	50	48,8	55,2	51,0	44,0	48,3	4,4	55,2	40,7
Eternit scuro (0,95)	47,9	53,0	52,5	50,2	56,4	52,3	48,9	51,7	2,6	56,4	47,9
Ghiaia (0,95)	35,7	39,2	42,1	39,7	47,4	46,1	40,0	41,5	3,8	47,4	35,7
Suolo nudo (0,92)	49,5	48,9	51,8	59,3	58,5	44,0	43,9	50,9	5,7	59,3	43,9
Asfalto strada (0,93)	39,0	44,2	48,9	50,8	55,4	53,1	49,3	48,7	5,1	55,4	39,0
Prato (0,90)	27,7	33,5	33,2	35,3	32,9	33,0	27,3	31,8	2,8	35,3	27,3
Prato (0,97)	29,4	33,5	31,8	35,9	33,6	32,3	27,4	31,9	2,6	35,9	27,4
Superfici metalliche (0,72)	48,3	59,4	63,5	59,8	68,5	63,3	54,7	59,6	6,1	68,5	48,3
Vetro (0,92*)	23,6	25,4	27,6	25,1	27,7	26,9	23,9	25,7	1,6	27,7	23,6

\* Al Vetro è stato attribuito un valore di emissività errato. Il suo reale valore è di 0,89.

**T. Media** = Temperatura Media

**SQM** = Scarto Quadratico Medio (SQM)

**T. Max** = Temperatura massima

**T.Min** = Temperatura minima della giornata

## Controllo di qualità del dato

I dati MIVIS relativi alla consegna in oggetto, sono stati ispezionati. Le analisi effettuate, relativamente alle deformazioni indotte dal sistema di ripresa hanno evidenziato complessivamente la buona qualità del dato tali da consentire sia la messa a registro e mosaicatura con la CTR.

Anche se alcune strisciate presentano lievi deformazioni geometriche probabilmente dovute a variazioni dell'assetto di volo a causa di turbolenza atmosferica non viene in alcun modo pregiudicata la posizione dei pixel per una sua corretta collocazione da un punto di vista geografico. In via preliminare sono state applicate delle metodologie di pre-trattamento delle immagini quali sintesi in RGB, Tecniche di Enfaticazione, ecc.. Tali metodologie permettono di meglio evidenziare particolari problemi avvenuti in fase di registrazione. Dall'esame effettuato si è evidenziato che le immagini analizzate sono ben contrastate.

## Elaborazione dati

I dati MIVIS acquisiti sono stati georeferenziati su un sistema cartografico di riferimento standard WGS84 UTM33.



**Figura 2: Immagine MIVIS georeferenziata e sovrapposta a CTR**

## Classificazione dati MIVIS

I dati MIVIS , radiometricamente corretti, sono stati classificati utilizzando il metodo della *Spectral Angle Mapper* (SAM). La SAM permette una rapida mappatura delle similarità di spettri di immagine con spettri di riferimento (Boardman, 1994; Yuhas et al. 1992; Heiden et al.2001; Heiden et al.2007 ). Gli spettri di riferimento possono essere determinati in laboratorio o in campo ovvero estratti dall’immagine. L’algoritmo determina la similarità spettrale tra i due spettri attraverso il calcolo dell’ “angolo” che essi formano, trattando dunque gli stessi come vettori in uno spazio con dimensionalità uguale al numero delle bande. La similarità di uno spettro non conosciuto  $t$  con uno spettro di riferimento  $r$ , è determinata attraverso la seguente equazione:

$$\alpha = \cos^{-1} \left( \frac{\vec{t} \bullet \vec{r}}{\|\vec{t}\| \|\vec{r}\|} \right) \quad [1]$$

che può essere anche scritta come:

$$\alpha = \cos^{-1} \left( \frac{\sum_{i=1}^{nb} t_i r_i}{\left( \sum_{i=1}^{nb} t_i^2 \right)^{1/2} \left( \sum_{i=1}^{nb} r_i^2 \right)^{1/2}} \right) \quad [2]$$

dove  $\alpha$  è l’angolo tra i vettori e  $nb$  il numero di bande nell’immagine.

Per ciascun spettro di riferimento scelto nell’analisi delle immagini iperspettrali, l’angolo  $\alpha$  è determinato per ogni elemento dell’immagine (pixel). Questo valore, in radianti, è assegnato allo spettro corrispondente nell’immagine SAM di *output*, una per ciascun spettro di riferimento. Le mappe dell’angolo spettrale derivate formano un nuovo cubo di dati con il numero di bande uguale a quello degli spettri di riferimento utilizzati per la mappatura.

L’algoritmo SAM implementato in ENVI 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 banche dati spettrali (Story e Congalton, 1986; Kruse et al., 1993). Nel nostro caso gli spettri input sono stati ricavati da ROI accuratamente individuate nella scena, ed in alcuni casi esportati in librerie spettrali ed utilizzati nelle elaborazioni. La metodologia seguita si è avvalsa di un’analisi visiva di sintesi additive in RGB (*Red, Green, Blue*) integrata con una serie di accurate osservazioni sui luoghi, in alcuni casi anche con il supporto di Google Map.

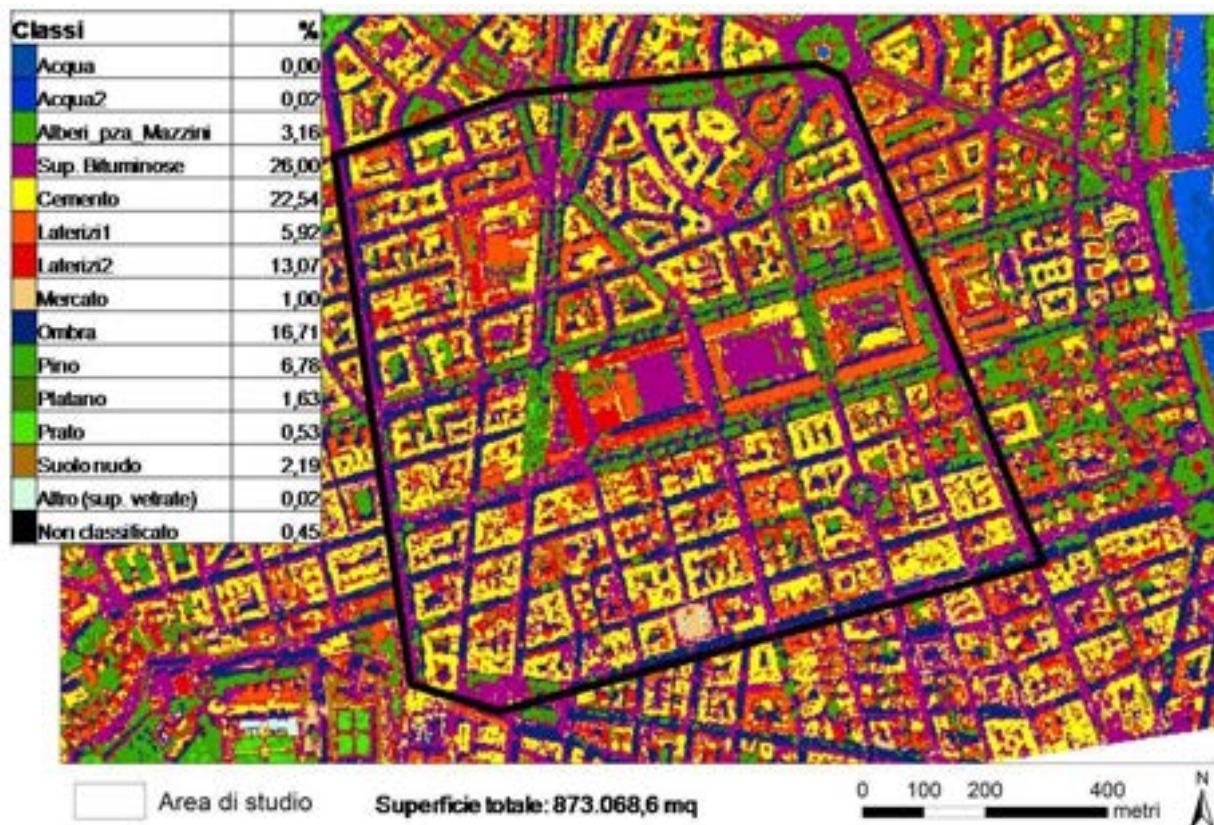


Figura 3: Classificazione di elementi e materiali (riferiti all'area di studio)

## Verifica accuratezza tramite Matrice di errore

Nell'ambito del progetto le mappe tematiche prodotte sono state sottoposte ad una rigorosa valutazione statistica di "accuratezza".

Si definisce "accuratezza" di una mappa tematica la misura dell'accordo tra la mappa tematica, ottenuta dalla classificazione, e un riferimento che si assume come corretto (la "verità").

Quanto più la mappa tematica, cioè l'immagine classificata, si avvicina o assomiglia al riferimento assunto come verità, tanto è più è accurata (Yuhas et al. 1992; Heiden et al.2001; Heiden et al.2007)

Per valutare l'accuratezza è stata elaborata la matrice di errore: è una tabella delle coincidenze in cui gli elementi sulla diagonale principale rappresentano i casi di corretta classificazione, cioè i casi di accordo fra i dati di classificazione e di verità, mentre gli elementi al di fuori della diagonale rappresentano gli errori di classificazione cioè la mancanza di accordo tra classificazione e verità. Inoltre è possibile calcolare gli errori di omissione, per cui i pixel appartenenti ad una classe non vengono attribuiti ad essa (indicati nelle colonne), e gli errori di commissione, per cui alcuni pixel vengono classificati in classi diverse da quella a cui dovrebbero appartenere. La tabella 2 evidenzia un'accuratezza complessiva della classificazione pari al 96,0%, ed un coefficiente Kappa pari a 0,95,. Quest'ultimo, (calcolato dal software), fornisce una stima più accurata della bontà della classificazione in quanto tiene conto degli errori di omissione e commissione, è basato su tecniche discrete multivariate. Si calcola a partire dalla matrice di errore secondo la relazione descritta in ENVI della ITTVIS (ITT, 2008).

Poiché ogni singola classe ha una distribuzione di tipo binomiale (ogni elemento ha sole due possibilità di essere classificato correttamente, probabilità di successo  $p$ , o di essere classificato erroneamente, probabilità di insuccesso  $q = 1-p$ ), nel loro insieme hanno una distribuzione multinomiale e quindi sono adatte ad essere trattate con tecniche discrete multivariate. Per ulteriori dettagli cfr. Brivio et al. (2006).

**Tabella 2:Matrice di errore riferita ai pixel**

Class	Acqua	Asfalto	Cemento	Laterizi	Laterizi2	Viale_ZItella	Ombra	Suolo_nudo	Mercato	Acqua2	Pino	Platano	Prato	Alberi	Total
Unclassified	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Acqua	1117	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1117
Asfalto	0	131	0	0	0	0	21	0	3	0	0	0	0	0	155
Cemento	0	2	241	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	244
Laterizi	0	0	0	223	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	223
Laterizi2	0	2	0	0	302	0	2	0	0	0	0	0	0	1	307
Viale_ZItella	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	100
Ombra	0	0	0	0	0	0	358	0	0	0	0	0	0	1	359
Suolo_nudo	0	0	0	1	0	0	0	409	0	0	0	0	0	0	410
Mercato	0	0	0	0	0	8	5	0	255	100	0	0	0	0	368
Acqua2	0	0	0	0	0	12	0	0	0	1804	0	0	0	0	1816
Pino	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	182	0	0	16	202
Platano	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	108	12	15	135
Prato	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	156	11	169
Alberi	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	4	74	80
Total	1117	135	241	224	302	120	392	409	259	1904	182	110	172	118	5685

## Analisi Spaziali

### Intersezione con CTR vettoriale

Applicando un'intersezione spaziale tra i dati MIVIS classificati e la CTR vettoriale, relativa al tematismo dell'edificato, è stato possibile produrre una nuova mappa in cui sono tematizzate le coperture rappresentate dai poligoni della CTR (visivamente la copertura va a svilupparsi sull'intero poligono della CTR).



Figura 4: Esempio di isolato, ottenuto dall'intersezione tra classificazione e CTR

## Risultati ottenuti

Le elaborazioni prodotte hanno evidenziato quanto segue:

- La classificazione ha permesso di caratterizzare e stimare i diversi materiali utilizzati come superfici di copertura con un'accuratezza, pari al 96 %.

Al fine di ridurre il numero delle classi spettrali individuate nella classificazione, si è proceduto con un raggruppamento sulla base della similarità spettrale (vedi Tabella 3), ad esempio Laterizi con Laterizi2, oppure Pino, Platano, Prato, Alberi sono stati raggruppati in un'unica classe denominata Vegetazione.

Tabella 3: Percentuali riassuntive dell'intera area di studio, ottenute della classificazione

Materiale	%
Acqua	0,02
Cemento	25,73
Laterizi	18,99
Sup. bituminose	43,15
Sup. vetrate	0,02
Vegetazione	12,09

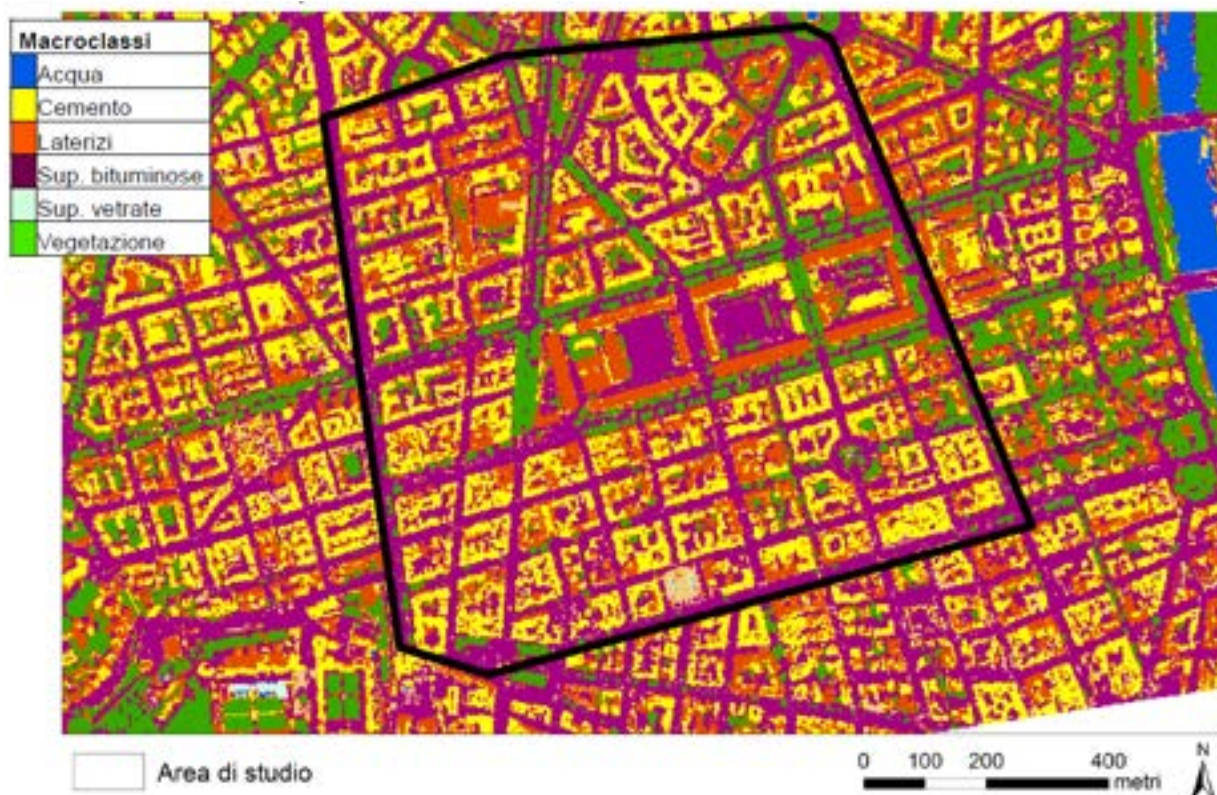


Figura 5: Classificazione di elementi e materiali (aggregati in macroclassi, riferiti all'area di studio)

- L'intersezione con la CTR, relativa ai soli isolati (figura 6), e alle strade (figura 7), ha contribuito a una migliore rappresentazione visiva delle mappe prodotte, attribuendo al poligono della CTR l'intera superficie, laddove la classificazione aveva omesso alcuni pixel.

Inoltre sono state fornite delle viste stradali ottenute da Google Maps, per una migliore identificazione delle caratteristiche dell'area di studio.

Tabella 4: Percentuali riassuntive relative ai soli isolati

Materiale	%
Acqua	0,03
Cemento	43,36
Laterizi	32,91
Sup. bituminose	21,27
Sup. vetrate	0,05
Vegetazione	2,37



Figura 6: Elaborazione di intersezione tra la classificazione e CTR numerica dei soli fabbricati



Figura 7: Classificazione delle superfici stradali (riferite all'area di studio)

Al fine di rendere fruibile ai fini della ricerca, il dato MIVIS elaborato, nonché dimostrare le effettive potenzialità applicative delle metodologie proposte, sono state redatte delle schede per ciascun isolato (vedi figura 8). Complessivamente sono state redatte 142 schede ordinate in base alla latitudine massima di ogni isolato, e numerate da Sud a Nord (sistema attribuito dalla CTR). In ciascuna scheda oltre ad evidenziare il fabbricato oggetto di studio, ed il risultato prodotto dalla classificazione, viene riportata la relativa tabella con le superfici (in termini di mq), dove in colore rosso viene evidenziata la classe prevalente.

**Scheda isolato: 5**

Classe	Sup. (mq)
Acqua	0
Cemento	2437,7
Laterizi	311,1
Sup. bituminosa	1800,8
Sup. vetrate	0
Vegetazione	52,8
Totale	4602,4



Figura 8: Esempio di scheda redatta per ciascun isolato presente nell'area di studio

## Analisi termica

Le caratteristiche dei dati MIVIS hanno permesso di produrre un'immagine termica dell'area di studio, le cui temperature registrate al sensore hanno una precisione di circa un decimo di grado (vedi figura 9).

La determinazione della temperatura di superficie nel telerilevamento di basa sull'equazione di Planck. Per ulteriori dettagli cfr.: Brivio et al, [2006].

Le bande corrispondenti all'infrarosso termico (dalla 93 alla 102 corrispondenti alle lunghezze d'onda comprese tra 8.2 e 12.7 micron ) danno informazioni correlate alla temperatura superficiale del suolo registrata al sensore e la sensibilità del sensore in questo campo dello spettro è tale da poter apprezzare differenze dell'ordine di alcuni decimi di grado.

La tecnica utilizzata, attraverso il software ENVI (Environment for Visualizing Images) [ITT, 2008], ha permesso il raggruppamento dei livelli di temperatura presenti nella scena di studio, assegnando a ciascun intervallo di valori un colore.



Figura 9: Analisi termica di elementi e materiali (riferiti all'area di studio)

L'elaborazione del dato telerilevato MIVIS ha evidenziato, inoltre, particolari anomalie termiche rispetto al contesto, con valori minimi compresi tra 4,7 e 16 °C e valori massimi tra 60,1 e 70 °C.

In maniera analoga a quanto fatto per la classificazione dei materiali, sono state redatte delle schede per ciascun isolato, un esempio è riportato in vedi figura 10.

Sono state redatte 142 schede, ordinate in base alla latitudine massima di ogni isolato, e numerate da Sud a Nord (sistema attribuito dalla CTR).

In ciascuna scheda oltre ad evidenziare il fabbricato oggetto di studio, ed il risultato prodotto dalla analisi termica, viene riportata la relativa tabella che sintetizza le temperature minime e massime presenti in ciascun isolato, nonché la superficie (in termini di mq) per ciascun range, inoltre in colore rosso viene evidenziato l'intervallo di temperatura con superficie maggiore.

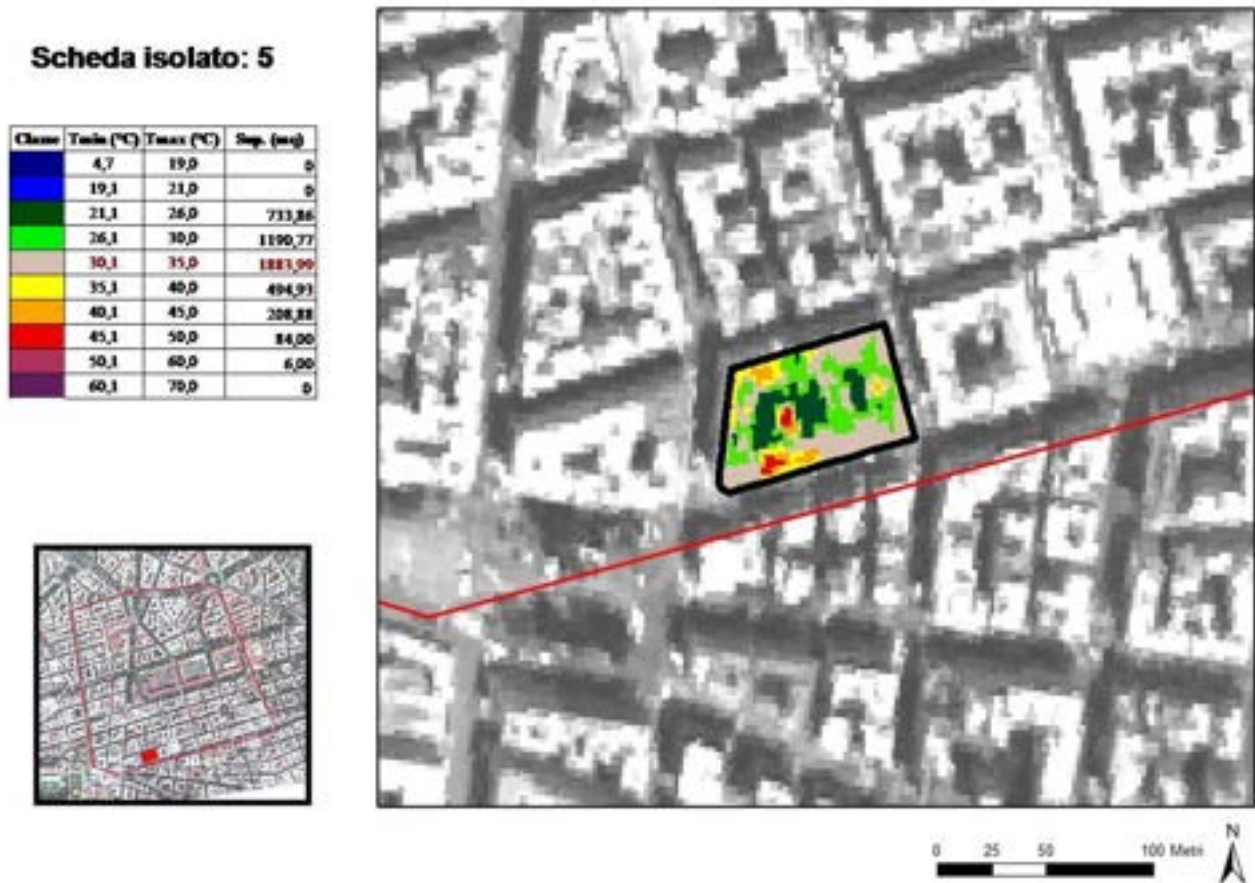


Figura 10: Esempio di scheda redatta per ciascun isolato presente nell'area di studio

## Il comportamento termico dei materiali di rivestimento in ambito urbano

Si riporta in questo capitolo uno studio condotto dal gruppo di ricerca CNR nell'anno 2009, su alcuni materiali volto a descriverne il comportamento termico (Fiumi, 2010).

Come è noto, i materiali da costruzione e il manto stradale delle aree urbane hanno una grande capacità termica e conduttiva. Esse assorbono più radiazione solare di quanta ne riflettano e il calore trattenuto viene lentamente rilasciato.

Conoscere la risposta termica dei materiali da costruzione alla radiazione solare, permetterà di trovare soluzioni atte al miglioramento delle loro prestazioni termiche e, di conseguenza, mitigare, almeno in parte, il fenomeno delle isole di calore.

A partire da queste considerazioni è nata la scelta del gruppo di ricerca di effettuare delle misure di temperatura puntuali sui materiali più rappresentativi delle coperture urbane; in particolare, è stata individuata un'area campione in cui sono presenti asfalto, basalto, travertino, suolo nudo e prato (Fiumi, 2010).

Attraverso più campagne a terra, sono stati rilevati gli andamenti di temperatura sia nell'arco di tutta una giornata sia nell'arco di un anno, di alcuni materiali comunemente utilizzati come ricoprimento di superfici urbane. Le misure sui materiali sono state rilevate in località Colle Oppio, Roma, mediante un Thermopoint portatile della AGEMA con un *spectral range* di 8-14 micron. Contestualmente sono stati rilevati i valori della temperatura dell'aria attraverso un termoigrometro della Delta OHM modello 9216. Nelle figure 11 e 12, sono riportati i valori di temperatura misurati alle diverse ore della giornata e nei diversi mesi dell'anno 2009.

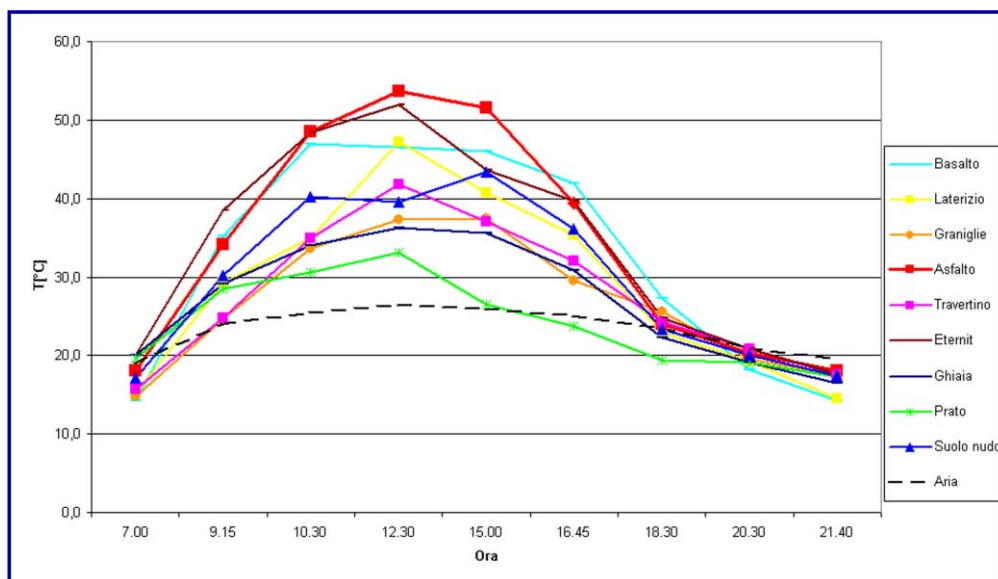


Figura 11: Trend giornaliero di temperatura di materiali registrate il 29/8/2009

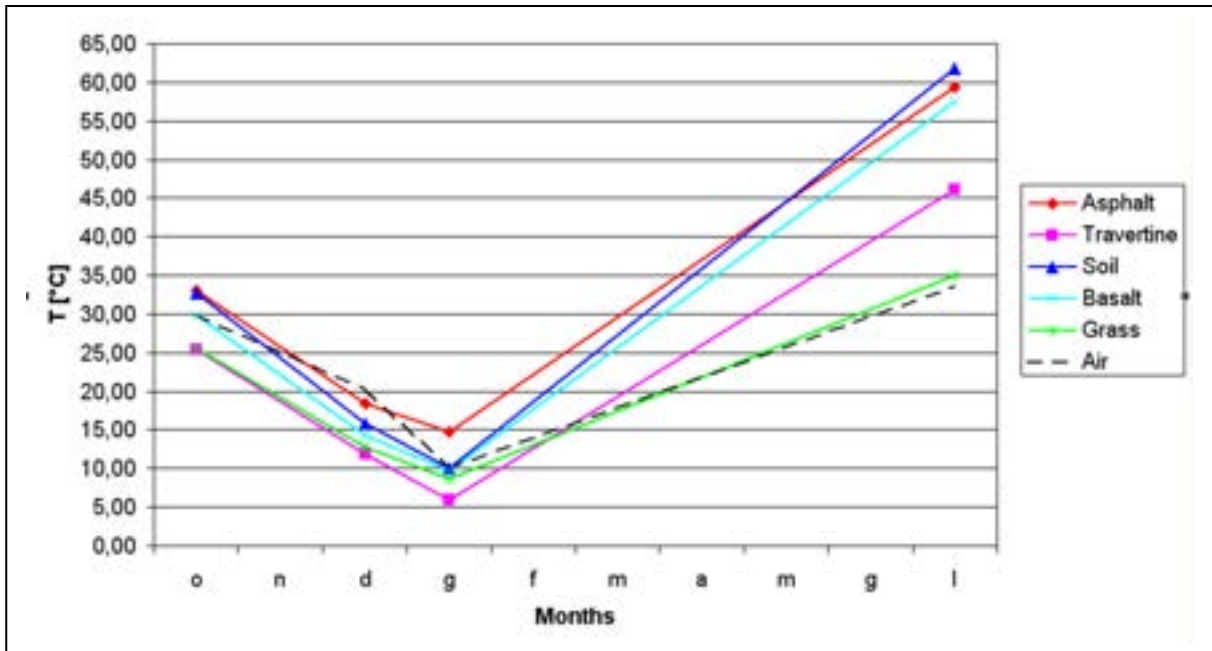


Figura 12: Trend annuale di temperatura su diversi materiali di rivestimento registrate alle ore 13.00 nei mesi citati dell'anno 2009



Prato



Travertino



Ghiaia

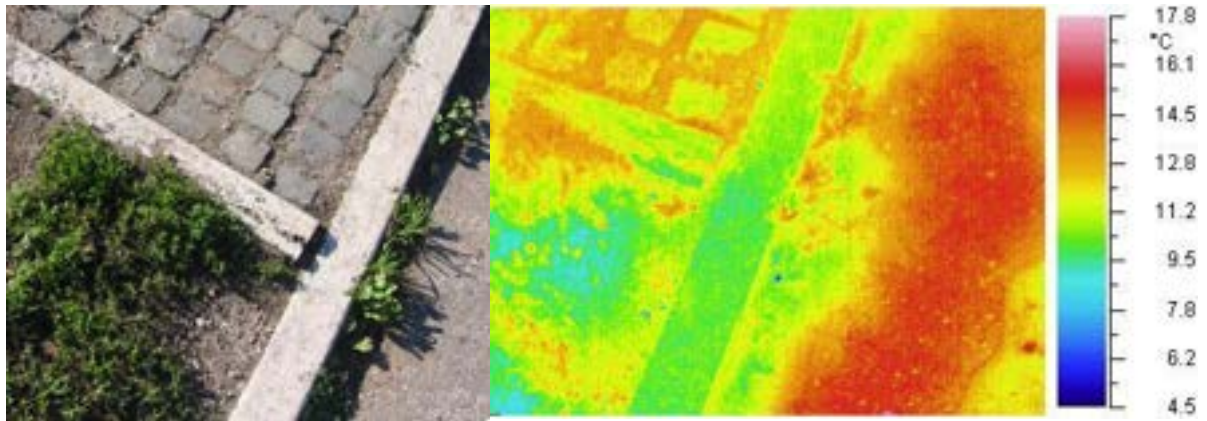


Suolo nudo



Asfalto

Figura 13: Foto dei diversi materiali esaminati



**Figura 14: A sinistra, foto di pavimentazione stradale a destra la stessa immagine fotografata con una termocamera**

Dal grafico relativo al trend giornaliero di temperatura di materiali registrate il 29/8/2009, emerge che, nella fase di massimo irraggiamento e nella fase serale l'asfalto registra temperature più elevate rispetto agli altri materiali (rispettivamente 53,7°C e 18,1°C). La grande quantità di calore accumulato nella fase diurna da questo materiale viene lentamente rilasciato nella fase notturna influenzando la formazione di "isole di calore".

Materiali quali basalto, laterizio ed eternit, pur registrando alti valori di temperatura durante la fase di massimo irraggiamento, presentano un rilascio termico molto più rapido dell'asfalto. Tale comportamento permette quindi di osservare per tali materiali temperature relativamente basse nella fase serale fornendo un basso contributo per la formazione delle "isole di calore". In particolare il basalto e il laterizio registrano le temperature più basse in assoluto raggiungendo valori intorno ai 14°C.

I materiali naturali permeabili (suolo nudo e prato) o di colore chiaro (graniglie, ghiaia e travertino) nell'arco di tutta la giornata di misure registrano temperature nettamente inferiori agli altri materiali. Nella fase serale si attestano su temperature intorno ai 17°.

Escludendo la superficie a prato ed il travertino, a causa del loro basso assorbimento solare, tutti gli altri materiali subiscono incrementi termici elevati, superando la temperatura dell'aria nella parte centrale del periodo di sessione di misure.

Per materiali molto usati per pavimentazioni stradali, quali asfalto e basalto, sono stati misurati incrementi compresi tra 10° e 20°, così anche come per il suolo nudo secco costituito da materiale pozzolanico.

Dal trend annuale di temperatura su diversi materiali di rivestimento registrate alle ore 13.00 nei giorni di sessione citati si evidenzia come l'asfalto presenta una grande capacità di accumulare il calore durante il periodo diurna nella fase di massimo irraggiamento (particolarmente evidente nella sessione estiva in cui raggiunge temperature doppie dell'aria).

Il suolo nudo rileva nelle sessioni più calde comportamenti analoghi all'asfalto, mentre nelle sessioni invernali la risposta termica segue l'andamento degli altri materiali. Questa caratteristica è dovuta probabilmente sia alla tipologia del suolo nudo analizzato (pozzolanico e di colore scuro) sia al minore contenuto di acqua nel periodo estivo.

In tutte le sessioni di analisi il prato (superficie permeabile) ed il travertino (superficie chiara) hanno registrato temperature superficiali minori dell'aria, ad eccezione della sessione di Luglio durante il quale evidenziano temperature comunque nettamente inferiori degli altri materiali presenti nell'area campione.

Affrontare il problema dell'isola di calore a livello urbano, implica la riduzione di consistenti gap di temperatura; in particolare, il problema potrebbe essere ridotto utilizzando materiali diversi, ovvero utilizzando gli stessi materiali rifiniti con rivestimenti speciali. L'obiettivo di ridurre le temperature superficiali deve essere perseguito riducendo l'assorbimento della radiazione solare, ovvero aumentandone la riflessione. A questo scopo numerose attività di ricerca sono state condotte negli

anni passati da importanti istituti, quali L.W. Berkeley Laboratory in California, con l'obiettivo di sviluppare e testare nuovi prodotti atti a mitigare l'effetto isola di calore. Queste esperienze saranno propedeutiche allo sviluppo applicativo delle metodologie volte alla messa a punto di linee guida utili ai fini di una progettazione e di una pianificazione urbanistica sostenibile.

## Conclusioni

Il Contratto di Ricerca tra l'Istituto sull'Inquinamento Atmosferico (IIA) del CNR e ENEA per la *“Elaborazione dati del sensore MIVIS per l'individuazione di elementi e materiali da costruzione e analisi del comportamento termico, in aree campione, preventivamente selezionate nell'area metropolitana di Roma”*, non solo ha dimostrato le ottime potenzialità dei dati MIVIS per la realizzazione del progetto ma ha anche evidenziato l'efficacia delle metodologie proposte.

Attraverso tecniche di classificazione e analisi termiche nell'area oggetto dello studio (873.068,6 mq), sono state sviluppate metodiche con un carattere di unicità ed originalità, ad oggi mai attuate dai ricercatori CNR in collaborazione con i ricercatori ENEA.

Pertanto visti i risultati raggiunti sarebbe opportuno che le attività potessero proseguire su altre aree più vaste, al fine di individuare di dati in input da inserire nelle analisi numeriche per la valutazione dell'efficacia dei cool material per l'efficienza energetica ed il controllo ambientale a scala urbana e di edificio.

## Bibliografia

**Boardman J.W., Kruse F.A.** (1994) - Automated spectral analysis: a geological example using AVIRIS data, North Grapevine Mountains, Nevada. Proceedings of Tenth Thematic Conference on Geologic Remote Sensing, San Antonio Texas USA, Vol. I. pp.407-418.

**ITT** Visual Information Solutions, ENVI - Environment for Visualizing Images, Version 4.4.[Online] Available at: <http://www.itvis.com/envi/>

**Story M., Congalton R.G.** (1986) –Accuracy assessment: a user's prospective. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing. 52 pp397-399.

**Kruse F.A., A.B.Lefkoff, J.B.Boardman, et al.:** The Spectral Image Processing System (SIPS) Interactive Visualization and Analysis of Imaging spectrometer data. Remote Sensing of Environmental v.44 p.145-163 (1993).

**Brivio, P.A., Lechi, G., Zilioli, E.,** Principi e metodi di telerilevamento, Edizioni Città Studi, Torino, 2006.

**Heiden, U., S.Roessner, K.Segl, et al.:** Analysis of spectral signatures of urban surfaces for their area-wide identification using hyperspectral HyMap data. Proceedings of IEEE-ISPRS Joint Workshop on Remote Sensing and Data Fusion over Urban Areas. Rome, Italy, November 8-9, 2001; pp. 173–177 (2001).

**Fiumi L., L.Camilucci, A.Campopiano, et al.:** Indagine conoscitiva su alcuni fabbricati con coperture in cemento-amianto in località Magliana Roma. Monografico 2004 di Prevenzione Oggi, ISBN 88-89415-01-0, Ed. Global Media System Press 2004.

**Fiumi L.** “Il telerilevamento per lo studio dell' impermeabilizzazione del suolo. Un caso di studio: Napoli e dintorni”. Atti del workshop Il Laboratorio urbano: progettare la città per il cittadino. Geitalia 2010, Rimini 9-11 Luglio 2010 . AGI, Bollettino Geofisico (in stampa) (2010)

**Heiden, U., Segl K., Roessner S., at al.:** Determination of robust spectral features for identification of urban surface materials in hyperspectral remote sensing data. *Remote Sensing of Environment* 111, 537–552 (2007).

**Yuhas R.H. , A.F.H. Goetz, and J.W.Boardman:** Discrimination among semiarid landscape endmembers using THE Spectral Angle Mapper (SAM) algorithm. *Summaries of the Third Annual JPL Airborne Geoscienze Workshop*, 1 june, Pasadena, CA, Jet Propulsion Laboratory, 147-149. (1992).

## **ALLEGATO**

## Caratteristiche del sensore MIVIS

Il sensore MIVIS rappresenta l'unico e più evoluto sistema iperspettrale in ambito internazionale in grado di operare con un numero elevato di canali (102) in ripresa contemporanea dal visibile all'infrarosso termico.

Le caratteristiche sono le seguenti:

- 102 bande spettrali simultaneamente digitalizzate e registrate.
- Copertura spettrale compresa tra 0,43 e 12,7 micron.
- 2 corpi neri di riferimento selezionabili a meno di 15°C e più di 45°C rispetto alla temperatura ambiente.
- Registrazione spaziale di tutte le bande attraverso un comune Field Stop ottico (IFOV 2.0 mrad).
- Field Of View digitalizzato V1.1.
- Velocità rotazionale di scansione selezionabile a 25, 16.7, 12.5, 8.3, 6.25 scansioni/sec.
- Componenti ottico-meccaniche compensate termicamente per il mantenimento delle prestazioni.
- Scena ripresa su 755 pixels per linea di scansione.
- Sistema computerizzato per il controllo in real time della qualità del dato per tutti i 102 canali.
- Digitalizzazione dei dati 12 bit per pixel.
- Ampio range dinamico: massima temperatura nella scena 1200°C senza saturazione del segnale.
- Sistema di registrazione computer-interfacciato su registratore bufferizzato VLDS (Very Large Data Store). Velocità di registrazione 6.2 Gigapixels per ogni ora di operazione. Supporto magnetico cassette VHS tipo BQ grade.
- Sistema PAS (Position and Attitude Sensor) costituito da:
  - Ricevitore GPS per la determinazione della posizione (accuratezza 15-40 metri) e velocità (accuratezza 0.05-0.20 metri/sec) della piattaforma aerea.
  - Giroscopio per la determinazione del rollio e beccheggio (accuratezza 0.2°) della piattaforma aerea. Correzione sui dati in real time del rollio tra 10°.
  - Flux gate compass per la determinazione delle variazioni della piattaforma aerea intorno all'asse di imbardata (accuratezza c.a. 0.6°).
- Interfaccia operatore attraverso un Touch Screen Display con menu operativi.
- Moving Window Display tipo CRT ed oscilloscopio digitale per il monitoraggio contemporaneo di 2 canali selezionabili durante le operazioni di ripresa.

L'apparato in questione opera da piattaforma aerea bimotore turboelica CASA 212/200 con funzioni di laboratorio aereo, in quanto opportunamente modificata dal CNR per alloggiare apparecchiature scientifiche particolarmente impegnative come quella in questione, che presenta dimensioni della testa di ripresa, dell'elettronica di comando e di registrazione dei dati, nonché di fabbisogno di energia elettrica che ne impediscono l'uso a bordo di aeromobili, anche fotogrammetriche, non specificatamente adattate.

La piattaforma CASA 212/200 e il sistema iperspettrale MIVIS hanno sottostato ad un accurato processo di integrazione al fine di minimizzare gli effetti dei disturbi elettrici e delle vibrazioni con conseguente raggiungimento di livelli segnale/disturbo ottimali in ogni condizione di impiego.

### 4.2 - Conversione e distribuzione dei dati MIVIS

Attraverso il Registratore VLDS il sistema MIVIS registra tutti i dati per la loro successiva analisi, archiviazione e distribuzione attraverso il sistema MIDAS (Multispectral Interactive Data Analysis System).

Il sistema MIDAS è stato sviluppato per un efficiente preprocessamento ed analisi dei dati iperspettrali MIVIS su piattaforme UNIX Silicon Graphics (SGI). Di seguito è riportata in modo

sintetico la configurazione della piattaforma SGI 4D/420VGXT del Centro di Calcolo del Progetto LARA:

- 2 CPU da 40 MHz.
- 128 Mbytes di memoria principale-
- 4 dischi IPI ad alta velocità (capacità singola 1.1 Gbytes).
- 2 dischi SCSI (capacità singola 1.2 Gbytes).
- Unità nastro VHS/VLDS per l'inserimento dai MIVIS.
- 2 unità nastro Exabyte 8 mm (capacità singola 5 Gbytes).
- Unità nastro tipo ¼ in Cartridge (capacità 150 Mbytes).
- Kodak Model XL-7700 film recorder.

Le funzioni MIDAS per il preprocessamento dei dati MIVIS comprendono:

- la calibrazione radiometrica;
- l'eliminazione di eventuali rumori sistematici introdotti accidentalmente nei dati;
- correzioni geometriche ed atmosferiche;
- correzioni geometriche mediante l'utilizzo di dati provenienti dal PAS (vedi sopra).

