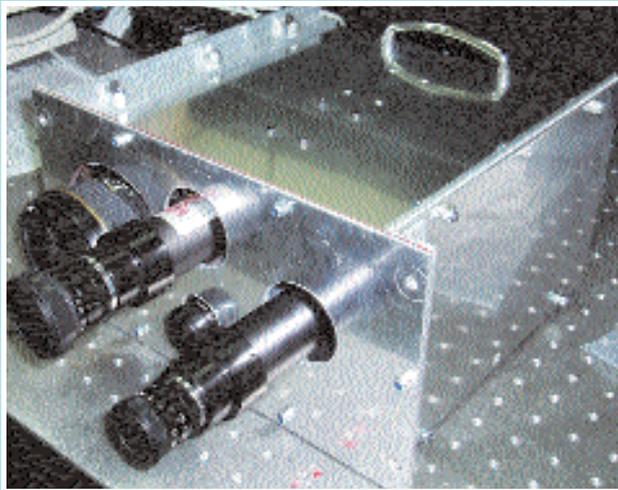


AMRA S.c. a r.l.

Università degli Studi di Napoli Federico II
Dipartimento di Ingegneria Aerospaziale

Spettrometro Aviotrasportato



Manuale tecnico a cura di:

Antonio Moccia
Giancarlo Rufino
Francesco Esposito

amra

■ analysis and monitoring of environmental risk



AMRA S.c. a r.l.

Università degli Studi di Napoli Federico II
Dipartimento di Ingegneria Aerospaziale

Spettrometro Aviotrasportato

Manuale tecnico a cura di:

**Antonio Moccia
Giancarlo Rufino
Francesco Esposito**

Autori

Antonio Moccia, Giancarlo Rufino, Francesco Esposito
Università degli Studi di Napoli Federico II
Dipartimento di Ingegneria Aerospaziale

Coordinamento editoriale

doppiavoce

www.doppiavoce.it

Copyright © 2008 AMRA S.c. a r.l.

Tutti i diritti riservati
È vietata ogni riproduzione

Indice

Introduzione	5
Schema dello spettrometro	5
Dettaglio dei componenti	7
Configurazione dell'interfaccia meccanica	16
Applicazioni di <i>fire detection</i>	17
Bibliografia	22

Introduzione

Lo Spettrometro aviotrasportato è un sistema integrato di sensori elettro-ottici a tecnologia avanzata, progettato per essere installato su piattaforme aeronautiche compatte e impiegato in missioni orientate alla prevenzione e al monitoraggio del rischio antropico, con particolare interesse rivolto verso gli incendi boschivi. Lo strumento, in fase operativa, dovrà costituire un supporto per le operazioni del personale specializzato nella gestione dell'evento (Vigili del Fuoco, Corpo Forestale, Protezione Civile) secondo le tecniche classiche (soppressione e mitigazione dei danni). Particolare attenzione è rivolta a rendere lo strumento sfruttabile, appunto, da personale non specializzato in tecnologie e operazione di sistemi aeronautici o di telerilevamento, mediante lo sviluppo di un sistema per il controllo del suo posizionamento che, basato su una unità di elaborazione digitale e programmi software con interfacce di semplice comprensione, presenti i dati di interesse in maniera chiara. Tra le possibili piattaforme d'impiego aeronautiche, grande attenzione è rivolta verso i velivoli UAV (Unmanned Aerial Vehicle) [1]. L'utilizzo di UAV per missioni di monitoraggio ambientale è difatti di crescente interesse sia perché tali velivoli possono essere resi operativi in tempi brevissimi ed essere utilizzati anche da personale non particolarmente esperto di aeronautica, a vantaggio questo del requisito di estrema tempestività di intervento, sia per la minore richiesta di risorse economiche rispetto alle piattaforme con equipaggio a bordo. L'intento è pertanto quello di impiegare gli UAV in operazioni altrimenti molto costose oppure rischiose per l'equipaggio. Ed è proprio il caso dell'osservazione e il rilevamento di dati in zone colpite da disastri naturali [2].

Schema dello spettrometro

Lo strumento è costituito da un sistema integrato di quattro sensori elettro-ottici in configurazione multispettrale e iperspet-

trale per acquisizione simultanea della stessa area a terra in più regioni spettrali dal visibile all'infrarosso termico, specificamente selezionate per il monitoraggio del rischio ambientale e, in particolare, di incendi boschivi.

I quattro sensori integrati nello spettrometro sono:

- una camera termica (banda spettrale da 7.5 a 13 μm);
- una camera multispettrale sensibile nella banda visibile;
- due sensori iperspettrali per le regioni visibile-vicino infrarosso (da 430 a 900 nm) e vicino infrarosso (da 900 a 1700 nm).

Tutti i sensori operano in modalità pushbroom (Figura 1): installati a bordo di un velivolo e puntati per osservazione nadirale (lungo la verticale, verso il basso), dotati di dispositivi fotosensibili a più elementi distinti e indipendenti disposti in matrice, eseguono l'osservazione dell'area sorvolata acquisendo: 1) simultaneamente gli elementi allineati secondo la direzione ortogonale a quella di avanzamento del velivolo, 2) in sequenza quelli secondo la direzione di volo, grazie al moto di avanzamento della piattaforma che trasporta il sistema.

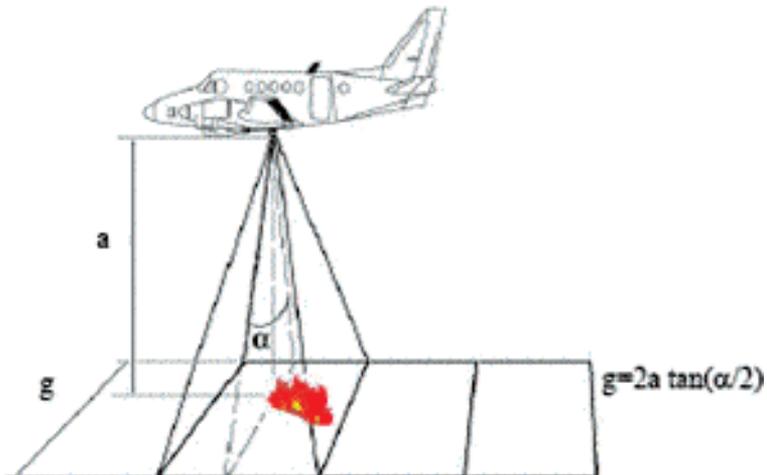


Fig. 1. Configurazione Pushbroom.

Dettaglio dei componenti

CAMERA TERMICA

La camera termica selezionata è la Indigo Omega (ora FLIR A10 dopo l'acquisizione della Indigo da parte della FLIR Systems nel 2004). Tale strumento (Figura 2), operante nella banda di lunghezze d'onda del lontano infrarosso (banda di risposta spettrale: 7.5-13.5 μm), è dotato di detector microbolometrico non raffreddato di ultima generazione (tecnologia VOx) con elevata sensibilità e che non richiede stabilizzazione della temperatura di funzionamento, a vantaggio della compattezza e della potenza elettrica assorbita. Caratteristiche salienti sono:

- massa, ingombri e consumi ridotti;
- possibilità di ricalibrazione interna durante il funzionamento;
- ampio intervallo di condizioni operative accettabili;
- possibilità di controllo della modalità di funzionamento mediante un canale digitale RS232.



Fig. 2. Camera termica Indigo Omega.

Le peculiarità rendono lo strumento ideale per l'individuazione di principi di incendio, sicurezza e sorveglianza, monitoraggio dei processi industriali, applicazioni militari e a bordo di velivoli UAV. In Tabella 1 sono riportate ulteriori caratteristiche tecniche [3].

Tab. 1. Principali caratteristiche della camera termica Indigo Omega.

Rivelatore	Micro-bolometro non raffreddato Tecnologia Vanadium Oxide (VOx)
Banda di risposta spettrale	7.5-13 μm
Risoluzione	160 x 120 pixel
<i>Noise Equivalent Temperature < 80 mK difference (NedT)</i>	
Frame rate	Fino a 25 Hz
Sorgente di calibrazione	Interna
Stabilizzazione termica del piano focale	Non richiesta
Raffreddamento	Per conduzione attraverso la base della camera
FOV / IFOV	40° x 30° / quadrato, 0.27° (focale di 11mm)
Segnale in uscita	Analogico, standard PAL monocromatico
Condizioni operative	0-40 °C, umidità entro 95%
Potenza assorbita	< 1.5 W
Massa	≤ 120 g
Dimensioni	35 x 37 x 50+30 mm (corpo camera + obiettivo)

CAMERA MULTISPETTRALE

Il sensore multispettrale DuncanTech MS4100 (adesso Redlake Megaplas 4100, dopo l'acquisizione della DuncanTech da parte della Redlake nel 2002), mostrato in Figura 3, è dotato di tre rivelatori ad alta risoluzione di tipo CCD (Charge Coupled Device), ciascuno dei quali dedicato ad una specifica banda spettrale. Esso opera l'osservazione simultanea nelle tre bande R, G e B del visibile (400-500, 520-560, 590-630 nm), grazie ad un sistema ottico rifrattivo per la focalizzazione su tre piani focali distinti della radiazione nelle tre bande (Figura 4): un prisma e un sistema di filtri separano le componenti spettrali della radiazione elettromagnetica raccolta dall'ottica. Tra le principa-



Fig. 3. Camera multispettrale MS4100.

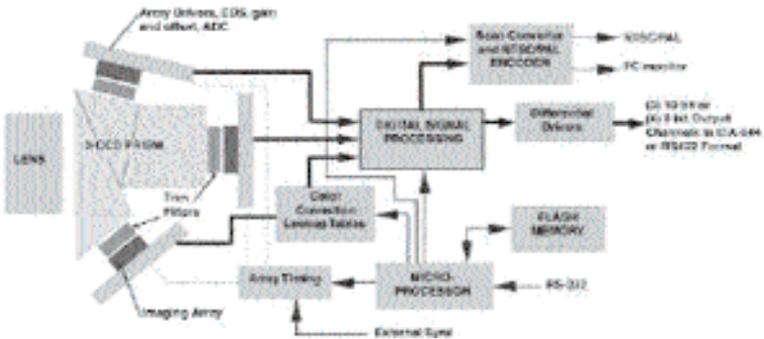


Fig. 4. Schema funzionale della camera multispettrale MS4100.

le caratteristiche tecniche (Tabella 2) vi sono [4]: elevata risoluzione; frame rate massimo di 10fps alla massima risoluzione; uscita sia analogica PAL (in risoluzione ridotta) che digitale a 8 e 12 bit per pixel (alla piena risoluzione e pieno frame rate); controllo remoto della modalità operativa durante il funzionamento via canale digitale RS232.

CAMERE IPERSPETTRALI

I due sistemi iperspettrali sfruttano soluzioni tecnologiche recenti, impiegando prodotti COTS (Commercial-Off-The-shelf) progettati per applicazioni altamente specializzate. La loro configurazione prevede l'accoppiamento di una camera monocromatica dotata di fotorivelatore bidimensionale (modello Sony XC-ST70 CE per il sistema VIS-NIR e modello SU 128-1.7RT-V per il sistema NIR, Rif. 5 e 6 di bibliografia), con uno spettrografo a immagine (ImSpector V9 per il sistema VIS-NIR e

Tab. 2. principali caratteristiche della camera multispettrale MS4100.

Rivelatore	3 x CCD da 1 pollice
Banda di risposta spettrale	3 bande spettrali nello spettro VIS 437.5-482.5, 520-560, 640-680 nm (B, G e R rispettivamente)
Risoluzione	1920 x 1080 pixel per banda, 6.2 Megapixel per frame
Frame rate	Fino a 10 Hz
Tempo di esposizione (<i>electronic shutter</i>)	1/10000-1/10 s, controllo indipendente per ciascun canale
Guadagno	da -4 dB a 32 dB, controllo indipendente per ciascun canale
FOV / IFOV	46° x 26° / quadrato, 0.025° (focale da 17mm)
Segnale in uscita	Analogico: standard PAL colore Digitale: Camera Link, 8 o 10 bit / pixel
Condizioni operative	0-65 °C
Potenza assorbita	12 W
Massa	2.0 kg
Dimensioni	89 x 97 x 160+40 mm (corpo camera + obiettivo)

ImSpector N17 per il sistema NIR, entrambi prodotti dalla ditta finlandese Specim [7]). Questo assieme costituisce uno spettrometro, cioè uno strumento in grado di caratterizzare sia la distribuzione spettrale che quella spaziale della radiazione proveniente dalla superficie osservata (Figura 5).



Fig. 5. Configurazione dei sistemi iperspettrali.

Lo ImSpector (Figura 6) è uno strumento per le immagini spettrografiche, capace di misurare simultaneamente gli elementi dello spettro ottico e la posizione spaziale degli elementi sulla superficie osservata. Esso impiega un sistema diffrattivo basato su un componente gelatinoso che garantisce: alta linearità spettrale, alta efficienza, compattezza, configurazione assiale del sistema ottico complessivo, elevata resistenza a sollecitazioni meccaniche (shock e vibrazioni). Accoppiato a un fotoregistratore bidimensionale di opportuna banda di risposta spettrale, lo ImSpector è capace di ottenere informazioni spaziali quali la posizione nel piano, l'intensità e la lunghezza d'onda, convertendo un'area del detector monocromatico in una linea spettrale. I due modelli scelti, N17 e V9, hanno rispettivamente il seguente range spettrale di funzionamento: 900-1750 nm e 430-900 nm. Importante caratteristica di ogni ImSpector è la dimensione della slit: una fenditura longitudinale che si trova all'entrata dello strumento, capace di convogliare monodimensionalmente la luce in ingresso. La dimensione della slit è di 80 μm per il modello N17 e di 25 μm per il modello V9, con una risoluzione spettrale di 13 nm (circa 60 bande di risoluzione spettrale) e 2.7 nm (circa 64 bande) rispettivamente.



Fig. 6. ImSpector.

Lo ImSpector ha due gruppi di tre lenti ad alte prestazioni che sono usate per collimare la luce nel sistema costituito dal Prisma-Griglia-Prisma e focalizzare la radiazione sul piano dei detector, come mostrato in Figura 7. Il sistema P-G-P provvede ad un'alta efficienza di diffrazione e ad una buona linearità spettrale. È quasi libero dalle aberrazioni geometriche, grazie al funzionamento in asse, ed è indipendente da come entra la luce polarizzata dovuta all'utilizzo delle trasmissioni ottiche. La dispersione della radiazione è tale che, passando attraverso il

P-G-P, il raggio centrale passa simultaneamente attraverso la griglia e il prisma, mentre le radiazioni più piccole e quelle più lunghe sono disperse, rispettivamente, al di sotto e al di sopra di quella centrale.

Gli elementi del P-G-P impiegano una riproduzione olografica per la trasmissione sulla griglia della luce, questo consente di evitare l'attenuazione della luce in ingresso e permette di ottenere delle particolari caratteristiche quali l'alta efficienza di diffrazione (50-70%), basso scattering, che minimizza la diffusione della luce e assenza di direzioni perse.

La risoluzione spettrale dello spettrografo dipende dalla larghezza della slit che produce una dispersione lineare. Il limite minimo per la risoluzione è regolato dalla capacità delle ottiche interne allo ImSpector. La slit è costruita tenendo conto della larghezza della focale e della distanza a cui si vuole misurare la radiazione, in termini di lunghezza e larghezza della scena osservata. La slit è costruita litograficamente, con uno strato di vetro in modo da evitare sia cavità fisiche all'interno dello spet-

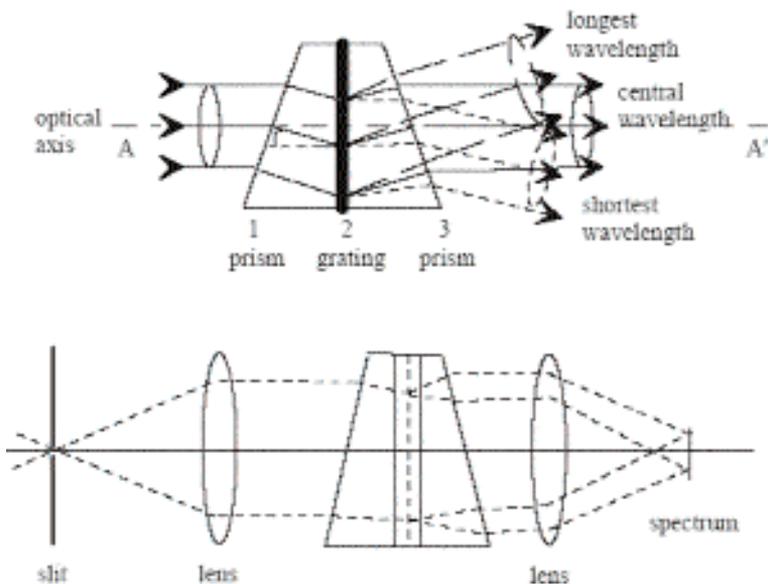


Fig. 7. Dispersione della luce all'interno dello ImSpector.

trografo, sia l'accumulo di polvere. Per evitare fenomeni di riflessione e dispersione di luce, essa è costruita con un particolare processo in modo da ottenere una slit "nera" da entrambi i lati. La configurazione, comune ad entrambi i sistemi iperspettrali, prevede un'ottica rifrattiva standard per focalizzare l'immagine della scena osservata e, in corrispondenza del piano focale di tale ottica, la sezione di ingresso dello spettrografo, costituita dalla slit (Figura 8). Lo spettrografo, quindi, scompone la radiazione focalizzata sulla fenditura nelle sue componenti spettrali, disperdendo quelle nella banda di interesse secondo la direzione ortogonale a quella di sviluppo della slit. L'immagine formata sul detector, posto a valle dello spettrografo, è rappresentativa della distribuzione di radianza nella scena lungo la direzione di sviluppo della slit e della relativa composizione spettrale nella direzione perpendicolare. L'allineamento del detector con lo spettrografo, da operare in sede di calibrazione dello strumento, consente di associare a righe e colonne delle immagini acquisite il significato di asse di risoluzione spaziale e spettrale dello strumento.

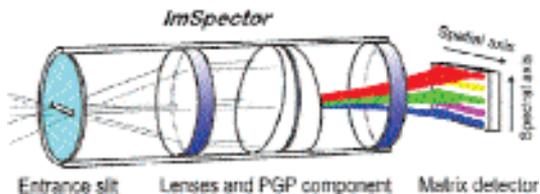


Fig. 8. Componenti e schema funzionale dei sensori iperspettrali.

Le caratteristiche tecniche salienti dei due sistemi iperspettrali sono riassunte nelle Tabelle 3 e 4.

Riguardo le ottiche, gli strumenti prevedono la possibilità di obiettivi intercambiabili con attacco standard di tipo C. Sono disponibili obiettivi con le seguenti focali: 4.8 mm, 12 mm, 16 mm, 25 mm, per diverse ampiezze del campo di vista del sensore. In Tabella 5 sono riportati FOV e IFOV delle configurazioni possibili per i sensori iperspettrali, per le diverse ottiche disponibili. È opportuno notare che, essendo i FOV molto stretti

Tab. 3. principali caratteristiche spettrali dei sensori iperspettrali.

		VIS-NIR	NIR	
Spettro- grafo ad immagine	Modello	Specim ImSpector V9	Specim ImSpector N17	
	Banda di risposta spettrale (nm)	430-900	850-1750	
	Risoluzione spettrale (nm)	2.7	13	
	Numero di bande 175	70		
	Dimensioni fenditura (μm)	9900 x 25	9900 x 80	
	Dimensione immagine piano focale (μm)	9900 x 4350	9900 x 5530	
Camera mono- cromatica	Modello	Camera	Sony XC-ST70/CE	SU 128 RT-V
		Rivelatore	Sony ICX 423 AL	SU 128-1.7 T1
	Banda di risposta spettrale (nm)	400-1000	900-1700	
	Dimensioni pixel (μm)	11.6 x 11.2	60 x 60	
	Numero di pixel	752 x 582	128 x 128	
	Dimensioni dell'area fotosensibile (μm)	8720 x 6520	7680 x 7680	
Sensore iper- spettrale (spettro- grafo + camera)	Banda di risposta spettrale (nm)	430-900	900-1700	
	Risoluzione spettrale (nm)	2.7	13.0	
	Numero di bande	174	61	
	Immagine utile	Dimensioni ($\mu\text{m}/\text{pixels}$)	8720 x 4350 / 752 x 390	7680 x 4920 / 128 x 83
		Pixel totali	2.93E+05	1.06E+04
	Numero minimo di campioni	Spaziali x spettrali	752 x 195	128 x 83
Totale		1.47E+05	1.06E+04	

nella dimensione secondo la direzione di avanzamento, sono state prese in considerazione soprattutto focali corte, in modo da contenere il frame rate necessario per una copertura senza interruzioni dell'area sorvolata durante l'acquisizione (che, come già detto, avviene in modalità "pushbroom").

ACCESSORI DELLO STRUMENTO

Per l'acquisizione e la memorizzazione dei dati prodotti dall'insieme di sensori integrati, sono previsti i seguenti sistemi accessori:

Tab. 4. Principali caratteristiche elettriche e fisiche dei sensori iperspettrali.

	Camera VNIR (Sony XC-ST70/CE)	Camera NIR (Sensors Unlimited SU 128 RT-V)
Rivelatore	CCD	InGaAs
Frame rate	Fino a 25 Hz	Fino a 25 Hz
Tempo di esposizione (<i>electronic shutter</i>)	1/120-1/10000 s	fisso, 16.38 ms
Segnale in uscita	Analogico: standard PAL	Analogico: standard PAL Digitale: RS422
Condizioni operative (temperatura/umidità)	-5-+45 °C / fino a 95%	0-40 °C / fino a 95%
Potenza assorbita	2.1 W	< 9 W
Massa (inclusi ImSpector e obiettivo)	590 g	1700 g [+ 1280 g control unit]
Dimensioni	44 x 29 x 65 + 176 mm (corpo camera + ImSpector e obiettivo)	104 x 104 x 159 + 176 mm (corpo camera + ImSpector e obiettivo)

Tab. 5. FOV e IFOV per diverse configurazioni delle ottiche.

	Focale (mm)	FOV (°)	IFOV (°)
Sistema iperspettrale VNIR	4.8	85 x 0.30	0.14 x 0.30
	12	40 x 0.12	0.06 x 0.12
	16	30 x 0.09	0.04 x 0.09
	25	20 x 0.06	0.03 x 0.06
Sistema iperspettrale NIR	4.8	77 x 0.95	0.72 x 0.95
	12	35 x 0.38	0.29 x 0.38
	16	27 x 0.29	0.21 x 0.29
	25	17 x 0.18	0.14 x 0.18

- registratore digitale (formato miniDV, 1 canale) di segnale video standard PAL, per il salvataggio dei dati acquisiti;
- frame grabbers per acquisizione e digitalizzazione in personal computer dei segnali video analogici;

- sistema di trasmissione via radio in formato analogico del segnale video prodotto dai sensori, costituito da trasmettitore (installato a bordo del velivolo che trasporta i sensori) e ricevitore (collegato alla stazione di terra di controllo dello svolgimento della missione).

In Tabella 6 sono riportate le principali caratteristiche del sistema di trasmissione.

Tab. 6. Principali caratteristiche del sistema di trasmissione.

Segnale	Analogico
Standard	PAL
Qualità delle trasmissioni	Broadcast
Frequenza di trasmissione	2.4 GHz
Range operativo	Fino a 5 km in cammino ottico libero
Trasmettitore	
Potenza trasmessa	2 livelli: basso (200 mW) e alto (1 W)
Potenza assorbita	1.8 W (basso) / 5 W (alto)
Massa	< 100 g
Dimensioni	40x13x6 mm ³ (trasmettitore 200 mW) 60x60x30 mm ³ (amplificatore 1 W)
Antenna	Patch type, pattern di radiazione emisferico
Ricevitore	
Sensibilità	-92 dBm
Potenza assorbita	< 4 W
Massa	300 g
Dimensioni	150x65x20 mm ³
Antenna	Patch type, pattern di radiazione emisferico

Configurazione dell'interfaccia meccanica

Per rendere operativo lo spettrometro aviotrasportato è stata progettata e realizzata un'interfaccia meccanica che consentisse una rapida installazione dello stesso a bordo di piattaforma

me aeree compatte e che al contempo conferisse al sistema integrato caratteristiche di versatilità e praticità di utilizzo, rendendolo indipendente dalla piattaforma aerea su cui andrà installato a patto che quest'ultima fosse dotata di un'apertura sul ventre della fusoliera e di un volume minimo disponibile sufficiente per consentirne l'imbarco [8]. In Figura 9 sono mostrati alcuni disegni 3D del progetto dell'interfaccia e in Figura 10 un'immagine del rack, realizzato nei laboratori del DIAS, con le quattro camere alloggiare al suo interno.

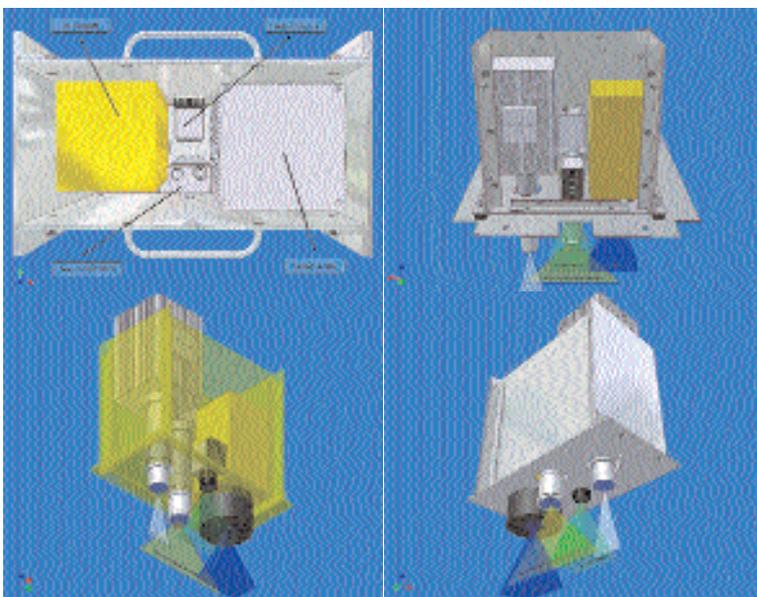


Fig. 9. Disegni CAD del progetto del rack.

Applicazioni di *fire detection*

L'insieme di sensori che costituisce lo strumento Spettrometro Aviotrasportato risulta particolarmente adatto a svolgere tutte le



Fig. 10. Rack con le quattro camere alloggiate al suo interno.

operazioni richieste a partire dall'avvistamento fino ad arrivare alla definitiva estinzione di un incendio [9]:

- Avvistamento e conferma o meno di una segnalazione di un incendio. Grazie alla camera termica *broadband* è possibile l'avvistamento anche di piccoli focolai, considerata la sensibilità di questo tipo di sensori alle radiazioni emesse da sorgenti ad elevata temperatura [10, 11]. Inoltre, il sensore iperspettrale che opera nel VIS-NIR è dotato di una risoluzione spettrale di soli 2.7 nm e può essere impiegato per rilevare la sottile finestra spettrale di emissione del potassio, dalla quale si possono ottenere informazioni utili relativamente all'individuazione di questi fenomeni [12].
- Monitoraggio della vegetazione per la generazione di una mappa del rischio potenziale. I due sensori iperspettrali nelle bande del VIS-NIR e NIR sono particolarmente adatti

per questo tipo di applicazioni, essendo essi in grado di coprire complessivamente un'ampia finestra di frequenze dello spettro (430-1750 nm) in cui sono compresi tre intervalli spettrali di assorbimento dell'acqua (a 980, 1200 e 1350 nm) e quello della clorofilla (a 680 nm), che sono alla base dei principali indici di vegetazione come lo NDVI, NDWI e il WI [13, 14].

- Verifica dell'effettivo spegnimento delle fiamme. Per tale scopo si sfrutta la camera termica *broadband* dato che, nelle fasi prossime allo spegnimento, l'intensità della radiazione termica generata dall'incendio è sicuramente più bassa di quella emessa dai fronti di fuoco che sono caratterizzati da temperature anche di 1300° C alle quali questo tipo di sensori termici solitamente tendono a saturarsi. Al contrario l'osservazione di target a temperature inferiori come le zone in fase di *smouldering* (termine utilizzato per indicare il fuoco senza fiamma) non causa tali problemi [10, 11]. In ogni caso la saturazione del sensore durante l'osservazione di una determinata area può essere un segnale che tale zona merita un controllo da parte delle forze di terra impegnate nello spegnimento. Va considerato, inoltre, l'utilizzo del sensore iperspettrale operante nel NIR visto che a tali lunghezze d'onda (ad esempio a 1.275 μm), le zone in cui sono presenti fiamme attive (come i fronti di fuoco) sono ben evidenti, senza il rischio di saturazione del sensore stesso [1].
- Valutazione dei danni e realizzazione del catasto delle aree percorse dal fuoco. La camera multispettrale operante nel VIS assolve ad entrambe le applicazioni succitate.

Per quanto riguarda i possibili utilizzi durante lo svolgimento di un incendio, per il supporto alle forze impegnate nello spegnimento, il discorso è più complesso.

Partendo dal presupposto che dati come la *fire fractional area* [11] sono molto probabilmente di scarso interesse nelle fasi in cui si combatte attivamente per domare le fiamme (essendo troppo tecnici e più adatti a studi finalizzati alla conoscenza delle caratteristiche dei *fire events* in generale), lo strumento integrato Spettrometro Aviotrasportato può assolvere anche al compito di monitoraggio di un incendio in corso. Grazie al sensore iperspettrale operante nel NIR, è possibile ricavare infor-

mazioni parziali sulla geometria e estensione di un incendio e acquisire immagini chiare del fronte di fuoco attraverso l'osservazione alla lunghezza d'onda di $1.275 \mu\text{m}$ (in particolare se si considerano osservazioni diurne dove il flusso solare riflesso dalla superficie terrestre rende ancora più difficile una netta distinzione delle aree non ancora colpite dalle fiamme rispetto a quelle già bruciate). Tale strumento da solo non consente di ottenere dati sulla velocità e direzione di avanzamento del *fire front*. Ricorrendo, però, ad un utilizzo combinato di esso con la camera termica *broadband*, che consente un'adeguata mappatura delle zone in fase di *smouldering* e *pre-heating* oltre che una buona discriminazione tra queste ultime e il *background* non ancora coinvolto nel *fire event*, si possono ricavare importanti informazioni relativamente a velocità e direzione di avanzamento del *fire front* attraverso l'analisi delle differenze in *frames* successivi di una stessa scena [15]. D'altro canto la camera termica, come già sottolineato, non è adatta per l'osservazione e quindi la mappatura delle zone in cui l'incendio è più intenso, ed è questo un altro caso in cui si ricorre all'utilizzo combinato con il sensore iperspettrale [1, 10].

Queste soluzioni sembrano alquanto complesse e in contrasto con l'esigenza di rendere facilmente comprensibili le informazioni sul *fire event* nell'ottica di un loro diretto utilizzo da parte delle forze impegnate nello spegnimento. Di qui l'esigenza di completare/integrare il sistema "Spettrometro Aviotrasportato" con un'unità di elaborazione dedicata, che assolva alle funzioni di [16]:

- controllo dei sensori;
- raccolta e memorizzazione dei dati telerilevati;
- gestione della trasmissione a terra di questi ultimi e, più in generale, della comunicazione con la stazione di controllo;
- integrazione tra il sistema di telerilevamento e altri impianti di bordo (ad esempio con l'impianto di navigazione, come necessario per le funzioni di georeferenziazione della scena).

Tale unità dovrà svolgere altresì la funzione di elaborazione, anche se solo preliminare e parziale, dei dati stessi, attraverso la fusione delle informazioni ricavate dall'osservazione nelle diverse bande, proiettando in coordinate terrestri la scena

osservata e permettendo la “sovrapposizione” delle immagini prodotte dai diversi sensori [17]. Queste funzioni devono essere svolte:

- in tempo reale: per un efficiente svolgimento del *wildland fire management*, come è stato più volte sottolineato;
- in modo autonomo: secondo una logica implementata nella stessa unità di elaborazione.

Avere un quadro complessivo sulle temperature delle varie aree coinvolte nell'incendio è strategicamente fondamentale per poter dislocare al meglio gli uomini e i mezzi impegnati nello spegnimento. Per questo scopo, dal processamento delle immagini acquisite con una camera ottica multispettrale operante nel VIS, come quella presente nello strumento integrato Spettrometro Aviotrasportato, si estraggono informazioni sulla morfologia del territorio e quindi informazioni strategiche come ad esempio: possibili vie di fuga; zone a rischio come centri abitati, fabbriche o depositi di sostanze pericolose nelle vicinanze dell'incendio (chiaramente solo nelle ore diurne e comunque in condizioni di buona visibilità), a meno delle zone coperte dai fumi dell'incendio. In ogni caso, per aree coperte dai fumi e per le osservazioni notturne, si può sempre pensare di ottenere informazioni sulla morfologia del territorio attraverso l'utilizzo del sensore iperspettrale operante nel VIS-NIR e in particolare alla lunghezza d'onda di 769.9 nm (ma si possono considerare anche lunghezze maggiori), che consente una penetrazione dei fumi e contemporaneamente immagini non troppo complesse da interpretare.

Nell'ottica dell'ottimizzazione nella gestione delle operazioni di pronto intervento, è opportuno effettuare preventivamente una mappatura di tutti i territori a rischio e conservare i dati così da poterne disporre quando necessario.

L'ultimo aspetto da sottolineare, riguardo lo strumento integrato Spettrometro Aviotrasportato, è che, considerato il complesso di sensori di cui è dotato, esso può risultare utile non solo per applicazioni relative al *fire management*, ma più in generale per il monitoraggio di una vasta gamma di eventi classificabili come disastri naturali o causati dall'uomo, come ad esempio: inondazioni, frane, valanghe, sversamenti accidentali di petrolio in mare [15].

Bibliografia

1. V.G. Ambrosia, S.S. Wegener, D.V. Sullivan, S.W. Buechel, S.E. Dunagan, J.A. Brass, J. Stoneburner, and S. M. Schoenung, "Demonstrating UAV-Acquired Real-Time Thermal Data over Fires", PERS, Vol. 69, No. 4, 2004, pp. 391-402.
2. N. El-Sheimy and B. Wright, "Real-time Airborne Mapping System for Forest Fire Fighting (F3) System", PERS, Vol. 70, No. 4, 2004, pp.381-383.
3. Indigo System Corporation, Omega Camera User Manual, doc. no. 412-0006-10, v. 110, 2002.
4. Duncan Tech, "MS4000/MS4100 User Manual", doc. no. 9000-001-05, 2002.
5. Sony Corporation, "XC-ST70/70CE User's Guide", v. 1.0, 1999.
6. Sensors Unlimited inc., "SU128-1.7 RT Operation Manual", doc. no. 09_4113, 1999.
7. Specim, "ImSpector user manual", v. 2.21, 2003.
8. F. Di Caro, "Integrazione di un sistema di telerilevamento aereo multisensore", Tesi di laurea in Ingegneria Aerospaziale, anno accademico 2004/2005.
9. R. Zappelli, "Metodi e tecnologie di telerilevamento per il Wildland Fire Management", Tesi di laurea in Ingegneria Aerospaziale, anno accademico 2006/2007.
10. P. J Riggan, e J. W. Hoffman, 2004. "FireMapper™: a thermal-imaging radiometer for wildfire research and operations". Proceedings of the IEEE Aerospace Conference, 2003, Big Sky, Montana.
11. Riggan, P. J.; R. G. Tissell e J. W. Hoffman, 2003. "Application of the FireMapper™ thermal-imaging radiometer for wildfire suppression". Proceedings of the IEEE Aerospace Conference, 2003, Big Sky, Montana.
12. A. Vodacek, R. L. Kremens, A. J. Fordham, S. C. Vangorden, D. Luisi, J. R. Schott e D. J. Latham, 2002. "Remote optical detection of biomass burning using a potassium emission signature". International Journal of Remote Sensing, Vol. 23, no. 13.
13. D. A. Roberts e P. E. Dennison, 2003. "Hyperspectral technologies for wildfire fuel mapping". Proceedings of the 4th International Workshop on Remote Sensing and GIS Applications to Forest Fire Management, 2003, Ghent, Belgium.

14. J. Verbesselt, S. Fleck e P. Coppin, 2002. "Estimation of fuel moisture content towards Fire Risk Assessment: A review". Proceedings of IV International Conference on Forest Fire Research 2002 Wildland Fire Safety Summit, 2002, Luso, Coimbra, Portugal.
15. J. W. Hoffman e P. J. Riggan, 2001. "Flight demonstration of the infrared and visible airborne FireMapper system". Proceedings of the Vth International Airborne Remote Sensing Conference, 2001, San Francisco, California.
16. F. Esposito, D. Accardo, G. Rufino, and A. Moccia, 1st: a Fully Autonomous UAV Aimed at Monitoring Environmental Risks, Italian Journal on Composites and Nanotechnologies-Materials, Aerospace, Special Technologies, Vol.2, n.2, October 2006, pp. 61-69.
17. F. Esposito, G. Rufino, and A. Moccia-1st Mini UAV Integrated Hyperspectral/Thermal Electro Optical Payload for Forest Fire Risk Management, AIAA Infotech@Aerospace 2007 Conference & Exhibit, California, USA, 2007.

Finito di stampare nel mese di aprile 2008
presso Officine Grafiche Francesco Giannini & Figli S.p.A. – Napoli

