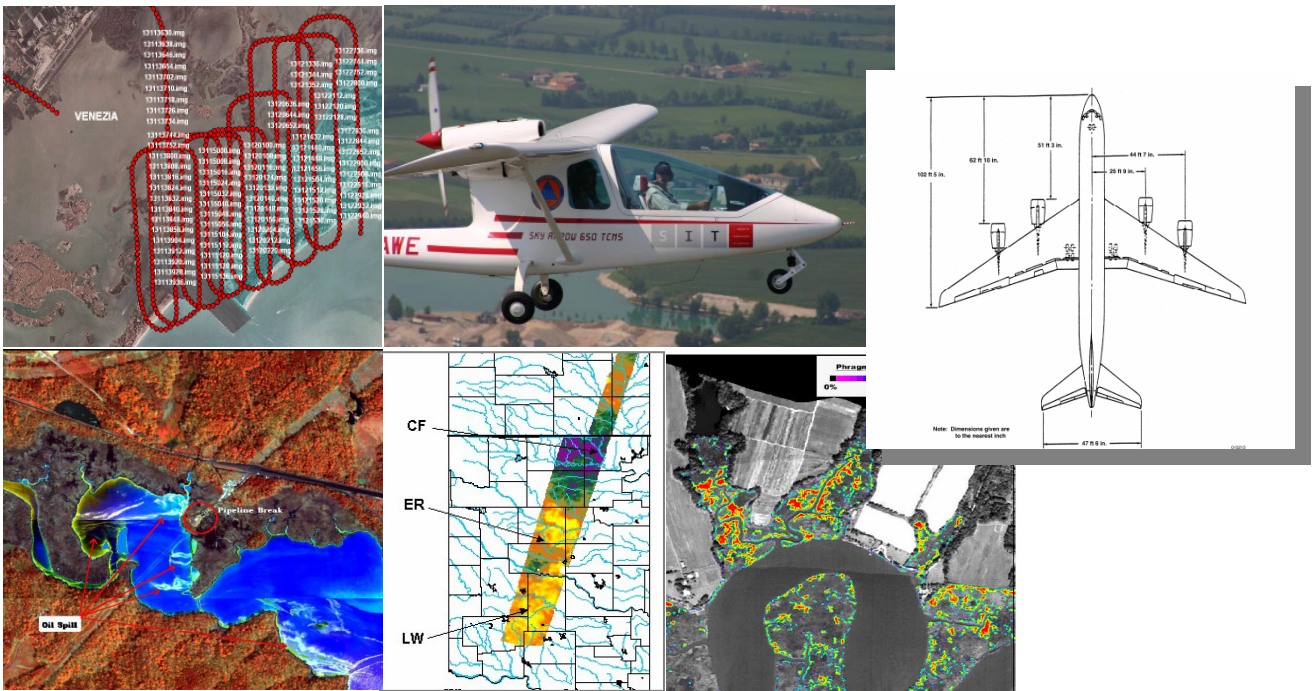


Assegno di ricerca:

INTEGRAZIONE, TRATTAMENTO E DISTRIBUZIONE DEI DATI TERRITORIO- AMBIENTE ACQUISITI DA SENSORI A BORDO DI PIATTAFORME SATELLITARI, AEREE, TERRESTRI, VEICOLARI E MARINE

3 Sensori a bordo di velivoli- bozza



Assegnista: Silvia dalla Costa

Tutor interno: prof. Luigi Di Prinzio

Tutor esterno: ing. Sergio Samarelli- Planetek Italia

1	SENSORI SU VELIVOLI	3
1.1	I sistemi su velivoli e le principali differenze con i sistemi satellitari.....	4
1.2	I velivoli	6
1.2.1	Quota di volo e risoluzione spaziale	7
1.2.2	Distorsioni e problematiche	9
1.2.3	Sistema GPS e piattaforma inerziale.....	9
1.3	Panoramica delle diverse tipologia di sensori su velivolo.....	10
1.4	Approfondimento sensori passivi.....	12
1.4.1	Camere fotogrammetriche	12
1.4.2	Camere fotogrammetriche digitali.....	14
1.4.3	Sensori Multispettrali	15
1.4.4	Sensori Iperspettrali	16
1.4.5	Camere termiche.....	19
1.4.6	Altri sensori passivi	19
1.5	Approfondimento sensori attivi	20
1.5.1	Sistemi Radar	20
1.5.2	Sistemi Laser	20
1.6	Panoramiche dei progetti che utilizzano sensori su velivoli.....	23
1.7	Panoramiche delle applicazioni che utilizzano sensori su velivoli.....	24
	Bibliografia	27
	Sitografia	27

1 SENSORI SU VELIVOLI

Il capitolo integra la panoramica dei sensori, montati a bordo di aereomobili, costruiti per il rilievo e il monitoraggio del territorio e dell'ambiente, archiviati nella base dati "DB Sensori". Molti di questi strumenti hanno forti analogie con quelli già descritti nel capitolo precedente sui satelliti: si tratta per lo più di sensori attivi o passivi che sfruttano i principi della radiazione elettromagnetica per evidenziare misure e caratteristiche di un oggetto o di un fenomeno. In questo contesto sono quindi evidenziate e descritte soprattutto le differenze, in termini di strumenti e le problematiche inerenti le piattaforme nonché le esperienze applicative finora realizzate.

La distinzione più immediata tra sistemi è legata proprio al tipo di piattaforma che, nel caso dei velivoli, consente una pianificazione del rilievo, ovvero la scelta dei tempi, dell'area da sorvolare e del grado di dettaglio da ottenere.

Una seconda differenza, meno evidente, è invece relativa alla tipologia di strumenti, più ancora infatti rispetto ai sensori su satellite, risulta difficile districarsi tra la miriade di offerte ad oggi presenti sul mercato, siamo di fronte ad un settore di grande sperimentazione, anche a supporto della sensoristica su satellite, e che spesso dalla fase di sperimentazione non passa alla fase di applicazione. O al contrario è possibile individuare sul mercato una offerta piuttosto eterogenea in termini di costi e qualità di strumenti, come nel caso dei sistemi laser scanner. Queste considerazioni hanno in qualche modo reso più difficile la scelta di classificazione e la compilazione della base dati. Se lo scopo principale della ricerca è la panoramica della sensoristica per applicazioni territorio ambiente, da confrontare e rendere disponibile alla gamma di attori che progettano e gestiscono il territorio e l'ambiente, è poco significativo occuparsi di progetti sperimentali e che tali rimarranno, o di strumenti costruiti ad hoc per determinate applicazioni e che non saranno mai sul mercato e a disposizione.

Con queste premesse sono pertanto stati scelti, descritti e schedati nel "DB Sensori", esclusivamente strumenti già testati e utilizzati in Italia e ancora presenti sul mercato. Sarebbe comunque opportuno, in un secondo tempo, evidenziare altri progetti e iniziative che potrebbero, in futuro apportare innovazione utile al mercato dei dati e alla costruzione dei quadri di conoscenza. Il capitolo sui velivoli, per analogia con quello sui satelliti, si sofferma infine negli ultimi paragrafi sulle applicazioni finora realizzate e che hanno utilizzato, in maniera sistematica e proficua strumenti a bordo di velivoli.

Precisazione sulla base dati "DB Sensori"

Le caratteristiche tecniche descritte per i sensori satellitari e che sono strutturati nella base dati sono parzialmente riferibili agli strumenti su aereo (o qualsiasi altro velivolo), si pensi alla risoluzione temporale o alla risoluzione spaziale. L'impossibilità di generalizzare o semplificare le caratteristiche tecniche delle diverse tipologie di strumenti ha comportato tre considerazioni e relative scelte di lavoro:

- 1) la base dati non propone campi fissi per determinate caratteristiche ma (solo per determinati campi) un range di valori, la risoluzione spaziale minima e massima ottenibile per esempio. Per i satelliti i valori di risoluzione spaziale sono quasi sempre corrispondenti tra massimo e minimo, mentre per i sistemi su velivolo sono dipendenti dalla quota di volo;
- 2) si è scelto di mantenere unica la tabella sulle caratteristiche tecniche, potranno essere aggiunti dei campi, a seconda del sensore trattato, i campi con valore "null" non vengono pubblicati (per esempio al risoluzione temporale per sensori su aereo);
- 3) come detto precedentemente verranno schedati solo i sensori attualmente funzionanti, possibilmente utilizzabili nel territorio nazionale.

1.1 I sistemi su velivoli e le principali differenze con i sistemi satellitari

Esistono alcune analogie tra le piattaforme, soprattutto per quanto riguarda gli strumenti che possono essere montati a bordo, per esempio i sensori multispettrali e/o pancromatici, tuttavia sono numerose anche le differenze tra i sistemi. Per questo le due piattaforme sono spesso considerate in competizione (produzione e aggiornamento della cartografia con satelliti commerciali ad alta risoluzione vs volo fotogrammetrico tradizionale), anziché come tecnologie tra loro integrabili.

Tra i vantaggi evidenti nell'uso di velivoli si può annoverare la possibilità di scegliere l'area e la quota di volo, e quindi di pianificare una campagna di acquisizione mirata agli oggetti o fenomeni da studiare, con una specifica risoluzione spaziale e larghezza della scena.

Anche la risoluzione temporale è variabile e pianificata, sempre in base all'applicazione, in termini di ore del giorno, stagione e condizione meteorologiche più adatte ad effettuare rilievi.

Molti sensori su velivolo sono nati per sperimentare o tarare strumenti da montare su satellite. La NASA per esempio presso il Dryden Flight Research Center (<http://www.nasa.gov/centers/dryden/research/AirSci/index.html>), testa sensori di tipo avanzato, di simulazione di analoghi strumenti su satellite

e supporta scientificamente e operativamente campagne di raccolta dati. Sono in uso e in fase di sviluppo numerosi sensori di tipo multispettrale, Radar ad Apertura Sintetica, e camere fotogrammetriche di grande formato.

I progetti più significativi riguardano lo sviluppo dello spettrometro *AVIRIS*, "inventato" in collaborazione con il Jet Propulsion Laboratory (JPL) già negli anni '80 da F.H. Goetz, e primo sensore iperspettrale in attività, che utilizza 4 spettrometri ed un sistema di scansione per collezionare continuamente 224 bande spettrali, il *MAS- MODIS Airborne Simulator*, scanner multispettrale configurato sulle stesse bande del MODIS, a bordo del satellite NASA EOS AM1; il *TMS - Thematic Mapper Simulator*, a bordo del velivolo ER-2 che simula lo strumento Landsat TM con una risoluzione spaziale leggermente più alta, e l'aggiunta di ulteriori bande.

Questi strumenti, se alloggiati su satelliti, per la quota dell'orbita e per la consistente energia che devono misurare (in termini di quantità, intensità o di discretizzazione), non raggiungono le analoghe prestazioni rispetto agli stessi strumenti a bordo di aereo. Si tratta principalmente di sistemi laser, di sensori iperspettrali, di camere termiche, che rappresentano la strumentazione, assieme alle camere fotogrammetriche digitali, su cui si sono concentrati i maggiori sforzi di sviluppo per adattarli o montarli su aeromobili, sia da parte degli enti e istituti di ricerca che da parte del mercato privato.

Se la scelta di acquisizione dati ricade su questo tipo di piattaforma sono da tenere in considerazione alcune problematiche che determinano la scelta dello strumento per una specifica applicazione e influenzano il trattamento e l'elaborazione dei dati acquisiti. L'aereo è infatti una piattaforma instabile, soggetta a movimenti ed oscillazioni. Inoltre per alcune applicazioni avere a disposizione in modo regolare informazioni e poter confrontare serie di dati storiche può essere molto utile, come per l'analisi dell'espansione urbana, lo studio della desertificazione, ecc. In Italia attualmente poche Amministrazioni, sia a livello locale che nazionale hanno pianificato campagne di voli con scadenze regolari, e senza lo sforzo compiuto dalla Compagnia Generale Riprese aeree di Parma con l'iniziativa Terraltaly oggi non si potrebbe disporre di un archivio così completo di immagini per l'intero territorio nazionale, che ha in parte sostituito la cartografia ufficiale italiana, spesso incompleta o poco aggiornata.

Si deve infine fare un'ulteriore considerazione relativa alle piattaforme: i velivoli attualmente in commercio sono molti e tra loro molto diversi, si possono utilizzare aerei civili e militari, ultraleggeri costruiti ad hoc e omologati per trasportare sensori, elicotteri e aerei unmanned. Ognuno di questi velivoli, varia per caratteristiche tecniche che lo rendono utilizzabile in determinati contesti e

applicazioni rispetto ad un altro, nella pianificazione di una campagna di acquisizione di dati la scelta va quindi fatta sia sul sensore che sul tipo di velivolo, per qualità, accuratezza e precisione del dato e per questioni economiche e logistiche.

1.2 I velivoli

Aerei civili modificati

Possono essere utilizzati diverse tipologie di aeromobili, nati per scopi civili o militari, purchè regolarmente certificati da ENAC -Ente Nazionale per l'Aviazione Civile per attività di sorveglianza e monitoraggio. Per il territorio italiano i velivoli prima della campagna di acquisizione dei dati devono essere in possesso delle Autorizzazioni all'effettuazione di sorvolo delle zone oggetto dell'appalto, rilasciate sempre da ENAC , Servizio Licenze.

I velivoli vengono modificati attraverso l'apertura di una o più botole per l'alloggiamento dei sensori. La Compagnia Generale RipreseAeree di Parma per esempio dispone di una flotta di diversi aerei, tra cui il bimotore Piper PA 31/350 Chieftain Navajo, dotato di due botole, una per l'alloggio di un laser scanner e l'altra per un secondo strumento. Il sensore iperspettrale MIVIS invece è montato su un bimotore CASA 212C , anche a bordo di questo aereo possono essere installati altri strumenti tra cui una camera fotogrammetrica.

La NASA dispone invece, tra la sua flotta di un velivolo DC-8, operativo dal 1987. L'aereo è stato modificato attraverso l'installazione di botole e strumenti facendolo diventare di fatto un laboratorio aereo.

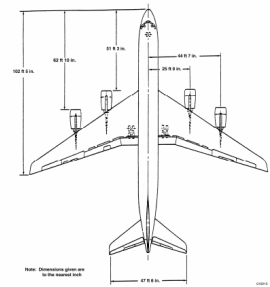
Dimensione dell'aereo e quota di volo sono quindi molto variabili e dipendono dagli obiettivi della campagna.

Aerei costruiti ad hoc: sky arrow

Contemporaneamente allo sviluppo della sensoristica e dell'interesse verso sistemi in grado di velocizzare le operazioni di aggiornamento della cartografia o di monitoraggio continuo del territorio, si sono sviluppate iniziative di progettazione e costruzione di velivoli ad hoc.

La Facoltà e il Dipartimento di Pianificazione e il corso di Laurea in SIT in questi mesi hanno promosso un'iniziativa dal titolo "Progetto Monitr Sky Arrow", su cui sarà dato spazio nel paragrafo dei progetti e delle applicazioni, che ha compiuto una serie di acquisizione dati con l'utilizzo di uno di questi velivoli.

Lo Sky Arrow 650 TCNS è un aereo biposto in tandem ad ala alta, con struttura interamente in fibra di carbonio e con un motore Rotax da 100 hp, caratterizzato dall'integrazione di moderne tecnologie e una serie di sensori, o meglio di pacchetti di sensori diversificati per lo studio del territorio.



Disegno e misure del DC-8 della NASA



L'intero velivolo è smontabile e trasportabile su un carrello; la sua modularità e leggerezza consentono la possibilità di montare/smontare a bordo una serie di strumenti necessari alle campagne di acquisizione dati.

Elicotteri

Sta progressivamente aumentando anche l'interesse all'uso di elicotteri, molto versatili e preziosi in determinate situazioni e che giustificano in parte il costo d'esercizio più elevato rispetto agli aereoporti.

Gli elicotteri infatti hanno una velocità operativa compresa fra gli 80 e i 230 km orari, possono quindi lavorare anche a bassa velocità migliorando l'accuratezza dei rilievi. Operano a quote diversificate e in condizioni critiche, come aree e valli montane, o lungo percorsi lineari, come linee ferroviarie, strade e autostrade, ecc.

I sensori alloggiati su elicottero sono solitamente camere fotografiche digitali, videocamere. In Italia le applicazioni più recenti sono state effettuate con sensori laser scanner da Auselda (sensore laser scanner Topeye) e iperspettrali da Helica (sensore iperspettrale AISA Eagle della Specim).



Aerei unmanned (unmanned aerial vehicle - UAV)

Sono ancora in fase sperimentale e derivati da tecnologie militari, come l'Altair Unmanned Aerial Vehicle Technology Demonstrator, variante del velivolo militare QM-9 Predator costruito nel centro NASA Dryden, che a breve sarà utilizzato per supportare alcune dimostrazioni concernenti l'osservazione della terra.

Pallone aerostatici

Ad integrazione di misure telerilevate da aereo e satellite si affiancano misure di dettaglio rilevate da piattaforme costruite, come centraline o palloni frenati riempiti di elio posti a distanza costante

1.2.1 Quota di volo e risoluzione spaziale

Risoluzione strumenti ottici

La risoluzione spaziale dei sensori montati su velivolo dipende dalla quota di volo, ma dipende anche dal tipo di strumento e dalle sue componenti.

Nei sistemi ottici, come le camere fotogrammetriche tradizionali, il potere risolvibile o risoluzione delle sue componenti: obiettivo, pellicola, strumento, è definito in linee/mm o cicli/mm. [Brivio, Lechi]. E' anche possibile utilizzare la misura angolare, in radianti/ciclo, che esprime l'angolo sotteso tra il rilevatore del sistema e due oggetti separati dalla distanza minima risolvibile (ciclo).

Dalla risoluzione spaziale del sistema è ricavabile la risoluzione al suolo ottenuta dalla formula:

$$R_{su} = \frac{R_s \cdot f}{H}$$

R_{su} = risoluzione al suolo

R_s = potere risolvibile del sistema

f = lunghezza focale del sistema ottico impiegato

H = altezza del sistema di ripresa rispetto al suolo

Nel caso di una fotocamera con lunghezza focale f a 152 mm e con potere risolvibile della pellicola pari a 80 linee/mm, applicando la formula per una altezza H di 3.000 metri, la risoluzione al suolo è pari a:

$$R_{su} = \frac{80 \times 152}{3000 \cdot 10^3} = 4,05 \cdot 10^3 \cong 4 \text{ linee/m } 0,25 \text{ metri}$$

Risoluzione strumenti elettro-ottici

Le camere fotogrammetriche digitali non utilizzano ancora, come nei sistemi tradizionali, centri di presa puntuali, ma un piano focale composto da elementi CCD in linea o a matrice, che scansionano la scena da rilevare, analogamente ai sistemi a scansione alloggiati su satellite.

Il rilevamento a scansione opera un campionamento al suolo le cui dimensioni dipendono dal sensore impiegato e dalla distanza fra lo strumento e l'oggetto. La risoluzione al suolo è riferibile all'IFOV- Instantaneous Field of View, cioè all'ampiezza angolare che sottende la superficie proiettata di un singolo elemento del detector. L'IFOV può essere espresso come:

$$\text{IFOV}_\alpha = \frac{a}{f} \text{ in radianti}$$

$$\text{IFOV}_v = \frac{1}{a} \text{ in cicli/mm o linee/mm}$$

$$\text{IFOV}_l = \frac{H}{f} \cdot a \text{ in m}$$

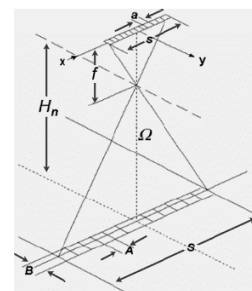
Con a dimensione del detector.

Solitamente nei sistemi a scansione e nelle camere digitali si misura la risoluzione geometrica dell'elemento in sottomultipli del m (μm) o in dpi.

Quota di volo

La quota di volo varia a seconda dell'applicazione, della tipologia di piattaforma, di sensore e qualità dello stesso in termini di precisione e accuratezza.

I rilievi fotogrammetrici fatti con camere da presa tradizionali grandangolari, con obiettivo di lunghezza focale di 150 mm, utilizzate per la produzione di



H_n = altitudine
 Ω = field of view
 f = lunghezza focale
 a = dim. elemento detector
 s = lunghezza striscia di detector
 S = lunghezza linea di scansione
 A = risoluzione in x
 B = risoluzione in y

dots per inch (punti per inch),
 ove 1 inch = 12 lines = 2,54 cm.

cartografia variano da un'altezza effettiva compresa tra 500 e 5.000 metri. Per la realizzazione di cartografia tecnica numerica alla scala 1:5.000, per esempio, la quota relativa di volo è pari a 1500 m circa, che si riduce a 900-1000 metri per la scala 1:2000.

Nel caso di rilievi con sensori laserscanner le quote possono partire da 80 metri, se montati su elicottero o ultraleggero fino a 3500, se i rilievi sono effettuati da aerei civili di medie dimensioni.

Anche se si montano sensori multi e iperspettrali si hanno altezze molto diversificate, per esempio il sensore Mivis, a bordo del CASA C212 opera da 1500 a 7000 metri.

1.2.2 Distorsioni e problematiche

Le distorsioni presenti nei dati derivati da sistemi su aereo sono dovute principalmente alla geometria di presa e ai movimenti della piattaforma. Nel rilevamento a scansione, soprattutto di tipo pushbroom esiste un grande problema di distorsione geometrica al di là dell'assetto della piattaforma ed insito nella struttura del sistema perché a velocità costante di rotazione dello specchio dello scanner, non corrisponde una proiezione al suolo di IFOV costante: la dimensione del pixel aumenta allontanandosi dal nadir della scansione.

Inoltre va tenuta presente la limitazione imposta dal tempo di risposta dello strumento, per cui può esserci un certo ritardo nella registrazione di brusche variazioni di radianza della scena.

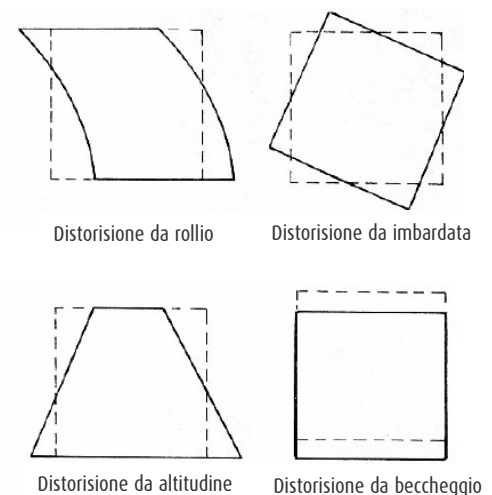
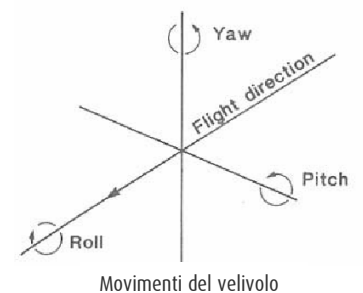
I movimenti che il velivolo subisce durante il volo sono definiti di rollio (roll), beccheggio (pitch) e variazioni dell'asse di imbardata (yaw), ovvero rotazioni del velivolo attorno al proprio asse longitudinale, laterale e verticale, rispettivamente, nelle figure di fianco la rappresentazione delle distorsioni sulle immagini.

I dati derivati da sensore devono quindi essere corretti geometricamente per essere confrontati o integrati ad altri prodotti cartografici.

Le correzioni sono anche di tipo radiometrico, al fine di eliminare gli errori introdotti dal malfunzionamento del sensore.

1.2.3 Sistema GPS e piattaforma inerziale

Per mantenere l'informazione geografica delle misure registrate dal sensore e per correggere in fase di post-processamento dei dati le eventuali deformazioni provocate dai movimenti del velivolo è necessario (a volte consigliato, a volte indispensabile) installare a bordo degli aereomobili un sistema integrato GPS e piattaforma inerziale IMU-Inertial Measuring Unit, che permette agli operatori di conoscere in ogni istante le accelerazioni lineari e angolari, quindi gli esatti



movimenti del velivolo, e di tenere sotto controllo, in qualsiasi istante di volo, la posizione della piattaforma. L'integrazione tra sistema inerziale, composto da accelerometri e giroscopi e il GPS si definisce sistema INS- Inertial Navigation System (IMU, GPS e SW).

Solitamente le operazioni di georeferenziazione vengono effettuate attraverso confronto con altre mappe o con l'uso di punti di controllo sul terreno (GCP- Ground Control Points).

Per ottenere dati georeferenziati e con la minima deformazione, è necessario determinare per ogni istante di esposizione i parametri esterni di orientamento del sensore (EOP-Exterior Orientation Parameter). Ciò richiede la determinazione dei parametri interni di orientamento del sensore (IOP- Interior Orientation Parameter).

Installando il sistema INS- Inertial Navigation System integrato con il sensore, i parametri esterni di orientamento EOP possono essere determinati riducendo i punti di controllo sul terreno GCP. Tale processo viene definito di georeferenziazione diretta

Terminata la fase della ripresa, ed il relativo controllo di qualità dei dati, viene avviato il postprocessing: inizialmente viene calcolata l'esatta traiettoria dell'aereo durante la ripresa, quindi vengono determinate le successive posizioni occupate nel tempo dall'aereo (ovvero dal sensore) in base ai dati del GPS e del sistema inerziale.

I dati della traiettoria e dell'assetto angolare vengono poi combinati con i dati dei sensori- immagine o altri tipi di sensori sincronizzandoli tra loro. La qualità dei dati in uscita dai sensori dipende quindi anche dal sistema INS, ovvero dalla piattaforma inerziale e dal tipo di ricevitore GPS utilizzato, nonché dai fattori ambientali riscontratisi nella fase di volo.

1.3 *Panoramica delle diverse tipologia di sensori su velivolo*

I sensori più utilizzati su velivolo sono le camere fotogrammetriche analogiche, le camere digitali a CCD, i sensori termici, i laser scanner, i sistemi radar SAR e i sensori iperspettrali o multispettrali a scansione pushbroom.

Anche per quanto riguarda gli strumenti a bordo di aereomobili è possibile operare una classificazione da diversi punti di vista, che in linea di principio può coincidere con quella applicata per i satelliti.

a) in base alla fonte di energia: sensori attivi e passivi

Analogamente ai sistemi satellitari gli strumenti *passivi* rilevano la radiazione elettromagnetica, proveniente dal sole e riflessa od emessa dagli oggetti. Si

tratta di strumenti come le camere fotogrammetriche e tutti i sensori multi e iperspettrali.

I sensori attivi invece rilevano la risposta riflessa da un oggetto irradiato da una fonte di energia generata artificialmente. I sensori attivi su velivoli sono sia di tipo radar come l'*AIRSAR - Airborne Synthetic Aperture Radar* della Nasa e JPL, sistema sperimentale che acquisisce, a bordo dell'aereo DC-8 in banda L, P e C e a polarizzazione multipla, sia sistemi lidar, come i laser scanner, il laser altimetrici e i laser batimetrici.

b) in base alla geometria di presa

La geometria di presa delle camere fotogrammetriche analogiche è di tipo centrale, i rilevatori nelle camere digitali sono invece sia di tipo puntuale, lineare e a matrice, ma quelle di tipo puntuale non danno ancora risultati soddisfacenti tali da essere utilizzate sistematicamente. I sensori multispettrali e iperspettrali utilizzano per lo più sistemi a scansione, già descritti nel paragrafo 2.3.1 su satelliti.

c) in base all'intervallo di lunghezza d'onda misurato: sensori ottici, elettro-ottici, termici, a microonde

I *sensori ottici* sono gli strumenti fotografici tradizionali come le camere fotogrammetriche, le camere panoramiche ecc. che operano nel campo del visibile e nell'infrarosso vicino ($0,9 \mu\text{m}$).

I *sensori elettro-ottici* sono invece gli strumenti che trasformano l'irradianza in un segnale elettrico utilizzando un rivelatore fotosensibile. Si tratta di spettrometri multi e iperspettrali che operano sia nella regione del visibile che dell'infrarosso (CASI e AVIRIS)

I sensori che misurano l'energia nelle bande dell'*infrarosso termico*, rilevano la temperatura in superficie e le proprietà termiche degli oggetti, come la camera termica ThermaCAM SC 500. Molti sensori multi e iperspettrali hanno spettrometri dedicata alla registrazione di misure anche nell'intervallo dell'infrarosso termico, come il *MIVIS* che ha uno strumento tarato tra $8,20$ e $12,70 \mu\text{m}$.

I *sensori a microonde* sono sistemi passivi o attivi (radar) che misurano il coefficiente di backscattering (radiazione retrodiffusa da superficie terrestre e atmosfera). Non sono molto utilizzati a bordo di aerei, contrariamente agli altri sistemi attivi laser che operano nel campo del visibile e soprattutto nel vicino infrarosso e che hanno avuto un forte sviluppo negli ultimi anni, in particolar modo i laser scanner.

d) in base al campionamento spettrale: sensori pancromatici, multispettrali, iperspettrali

I sensori *pancromatici* registrano una sola banda spettrale, solitamente tra 0,4-0,9 μm , corrispondente alla parte visibile dello spettro. Nel caso di aeromobili i sensori pancromatici sono le camere fotogrammetriche, sia tradizionali analogiche che digitali. Questi strumenti spesso operano anche in *modalità multispettrale*, attraverso ottiche differenziate e filtri che permettono di ottenere immagini RGB e CIR, utili ad integrare attività di fotointerpretazione e classificazione del suolo. Meno consueti i sensori multispettrali simili a quelli su satellite, montati su aeromobili e sostituiti da *sensori iperspettrali* in grado di misurare la radianza spettrale in un numero molto elevato di bande e per poter registrare nel dettaglio l'informazione spettrale.

e) in base al prodotto: imaging, non imaging

I *sensori imaging*, da cui si ottengono immagini bidimensionali delle misure di radianza registrate sono principalmente tutte le camere fotogrammetriche e i sensori multi e iperspettrali, nonostante non siano immediatamente integrabili ai consueti prodotti fotogrammetrici, a causa delle deformazioni dovute alle geometrie di presa. Dai laser scanner sono ottenibili informazioni sulla quota, è quindi possibile ottenere mappe tridimensionali come i modelli digitali del terreno (DTM) e della superficie (DSM).

I sensori *non imaging* producono segnali in uscita che non sono direttamente traducibili in mappe, ma da cui, attraverso tecniche di interpolazione, si possono immagini bidimensionali e tridimensionali. E' il caso dei Laser altimetri o del "gas analyzer" a infrarossi che misura "in-situ" la densità della CO₂ e del vapor acqueo in condizioni di turbolenza.

1.4 Approfondimento sensori passivi

1.4.1 Camere fotogrammetriche

I primi sensori utilizzati per il telerilevamento aereo sono state le macchine fotografiche su mongolfiera e dirigibili, successivamente sostituite da camere fotogrammetriche a bordo di velivoli.

Le camere fotografiche sono sensori ottici passivi di tipo analogico che utilizzano una o più obiettivi (ottiche) per formare un'immagine sul piano focale. In una camera fotografica tradizionale l'immagine della realtà viene proiettata sul piano focale dove è situata la pellicola. La luce riflessa dalla scena ripresa sensibilizza la pellicola; in altre parole le cariche energetiche che

costituiscono la luce (i fotoni) colpiscono i granuli di alogenuro d'argento dell'emulsione fotografica e li modificano in modo tale che quando la pellicola subisce il procedimento chimico di sviluppo essi si anneriscono tanto più quanto maggiore è il numero di fotoni che li ha colpiti. [Galetto]

Le pellicole fotografiche utilizzate sono sensibili alla radiazione elettromagnetica compresa tra 0.4 e 0.9 μm , quindi tra le lunghezze d'onda del visibile (VIS) e del vicino-infrarosso (NIR).

Le foto aeree possono fornire risoluzioni spaziali inferiori ai 50 centimetri. La risoluzione spaziale esatta della foto è una funzione complessa che varia a causa di molti fattori che variano con ogni acquisizione dei dati, tra cui lunghezza focale dell'obiettivo, altezza della piattaforma, tipo e formato della pellicola.

La lunghezza focale controlla il FOV, campo di vista angolare, dell'obiettivo e determina la zona "vista" dalla macchina fotografica. Le lunghezze focali più usate sono il 90 mm, 210 mm e 152 mm. Più grande risulta la lunghezza focale, più piccola è l'area coperta sulla terra, ma con maggior dettaglio.

L'altezza di volo parte da poche centinaia di metri a seconda della scala cartografica che si vuole ottenere.

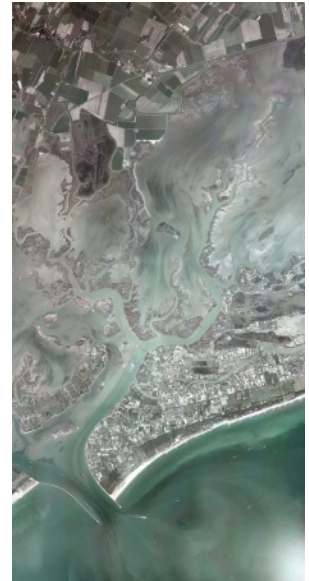
Le pellicole più utilizzate sono quelle pancromatiche sensibili al visibile, sfruttano cioè l'intera energia elettromagnetica misurata per ottenere un'alta risoluzione spaziale, a scapito della risoluzione spettrale.

La modalità multispettrale usa sistemi a più ottiche con differenti combinazioni di filtri per acquisire simultaneamente le foto in un certo numero di bande spettrali differenti. Il vantaggio di questi tipi di macchine fotografiche è la capacità di registrare separatamente l'energia riflessa in un intervallo discreto di lunghezze d'onda, fornendo l'identificazione di varie caratteristiche.

Ogni campagna di rilievo va debitamente pianificata, attraverso la scelta della piattaforma e della camera fotogrammetrica e la progettazione del piano di volo: quota, rotte e direzione delle strisciate. Va inoltre stabiliti il periodo di volo (atmosfera limpida, assenza di vento, assenza di infoglimento della vegetazione) e il metodo di: a vista o strumentale

I fotogrammi sono presi in successione con puntamento nadirale sulla terra, Una stessa porzione dell'oggetto deve comparire in almeno due immagini con una copertura del 50-60% di sovrapposizione tra foto successive.

La sovrapposizione assicura la copertura totale sulla linea di volo ed inoltre facilita la procedura stereoscopica. Nel caso di una coppia di immagini è necessario conoscere le coordinate di punti a terra (determinate con tecniche topografiche e geodetiche). Se la rappresentazione dell'oggetto richiede più di due immagini si può applicare il metodo della triangolazione aerea che ha i



pregi di fornire direttamente sia le posizioni dei punti di appoggio per ogni immagine che i suoi parametri di orientamento esterno e di limitare al minimo le operazioni topografiche e/o geodetiche. La triangolazione aerea può essere fatta sia osservando lo stesso punto in più immagini (metodo a stelle proiettive) che per modelli.

Esempio di Camere fotogrammetriche

Camera aerea RC30 (LH System) Leica Herrbrugg

Da fare

Camera aerea RMK TOP (terminal operated)- Zeiss

Da fare

1.4.2 Camere fotogrammetriche digitali

Le macchine fotografiche digitali, differiscono significativamente da quelle che usano la pellicola, utilizzano i dispositivi ad accoppiamento di carica -CCD che rispondono individualmente alla radiazione elettromagnetica e una sistema a scansione lineare o matriciale.

L'energia che raggiunge la superficie del CCD causa la generazione di una carica elettronica che è proporzionale alla luminosità della zona al suolo registrata.

L'innovazione tecnologica deriva dal fatto che le coperture fotogrammetriche precedentemente composte da una serie di immagini quadrate con proiezione centrale vengono di fatto sostituite da una sola immagine per l'intera strisciata. Sono capaci di una risoluzione spaziale fino a 0.3 m e una risoluzione spettrale di 0.012 millimetri - 0.3. La misura delle matrici di pixel (pixel arrays) variano tra sistemi, ma solitamente i range sono 512 x 512 to 2048 x 2048.

Sono dotate di sistema di georeferenziazione diretta dei pixel grazie al sistema GPS inerziale integrato

Esempio di camere fotogrammetriche digitali

Camera Fotogrammetrica Digitale LH Systems ADS40- Airborne Digital Sensor

Ogni linea di scansione si compone di 12000 pixel con dimensioni di 6,5 x 6,5 μm . Queste caratteristiche, unitamente a quelle del sistema ottico, fanno in modo che l'effetto prospettico tipico delle camere fotogrammetriche tradizionali sia notevolmente attenuato, anche nel senso trasversale all'asse della direzione di volo.

Il miglioramento rispetto alle normali camere digitali è dovuto inoltre:

- al sistema di georeferenziazione diretta dei pixel grazie al sistema GPS inerziale integrato Applanix
- al potere risolvante, pari a 153 copie di linee/mm, equivalente a 3.900 DPI, costante in tutta l'immagine
- alla riduzione ad un solo micron della distorsione geometrica
- alla diminuzione dell'effetto di trascinamento dell'immagine.

I pixel misurano l'esatta intensità dei singoli raggi luminosi in una gamma di 4.096 livelli pari a 12 bit, successivamente normalizzati a 256 livelli, pari ad 8 bit per ridurre l'occupazione di memoria e consentire un'agevole riproduzione sui monitor dei personal computer.

Il sistema è in grado di acquisire le aree da rilevare in tre modalità: pancromatico bianco e nero, colore e infrarosso vicino, incrementando le informazioni territoriali disponibili. Attraverso 3 serie di sensori posti su barrette lineari (linear array) che acquisiscono contemporaneamente terne stereoscopiche lungo la strisciata, l'acquisizione, sfruttando il moto della piattaforma avviene in tre posizioni differenti (nadirale, inclinata in avanti e indietro rispetto alla posizione istantanea del velivolo).

Le barrette del pancromatico sono 2, tra loro sfalsate di mezza cella e composte ognuna da 12.000 elementi, nel multispettrale gli elementi lineari sono 4 ciascuno dotato di filtri per l'acquisizione nel visibile e vicino infrarosso.

Il sistema digitale permette infine un considerevole aumento del fattore d'ingrandimento che passa da un valore massimo di 18x ad un valore superiore a 35x.

1.4.3 Sensori Multispettrali

Le camere fotogrammetriche sia analogiche che digitali possono acquisire immagini in modalità multispettrale, esistono poi altri sensori elettro-ottici multispettrali montati su aereo simili a quelli montati su satellite, pur scansionando la scena con un angoli compresi tra 90° e 120°, mentre i satelliti, a causa della loro orbita, utilizzano angoli inferiori, compresi tra 10 - 20°.

La gamma spettrale di sistemi fotografici si limita alle regioni visibili e vicino-infrarosso mentre i sistemi di multispettrali (MSS) possono estendersi a bande nell'infrarosso termico, sono quindi capaci di una risoluzione spettrale molto più alta dei sistemi fotografici.

I sistemi di MSS inoltre acquisiscono simultaneamente tutte le bande spettrali attraverso lo stesso sistema ottico per attenuare problemi di comparazione geometrica e radiometrica tra le bande.

Poiché i dati sui sistemi multispettrali sono registrati elettronicamente, su CCD, è più facile determinare la quantità specifica di energia misurata e possono registrare gamma superiore di valori in formato digitale.

Esempi di sistemi multispettrali

DuncanTech MS4100

Camera CCD ad alta risoluzione, è composta da Questa camera usa in realtà tre CCD sui quali viene proietta la luce suddivisa nei tre colori primari per mezzo di un prisma tricoico, per evitare di degradare la risoluzione dell'immagine dovuto all'uso dei filtri [Galetto]. La MS4100 è disponibile in due configurazioni spettrali, nel visibile: RGB (Red Green Blu) e nell'infrarosso vicino CIR (Red, Green e Near Infrared). Le bande CIR sono approssimativamente assimilabili a quella sul TM Landsat 5.

Durante il volo realizzato con il velivolo Sky Arrow nel mese di giugno sulla Laguna di Venezia e nella zona di Mestre è stato utilizzato questo sensore in configurazione CIR.



Area della Laguna di Venezia sorvolata dallo Sky Arrow 650 TCNS con a bordo il sensore Duncan MS4100 in modalità CIR

ASPIS- advanced SPetroscopic Imaging Sistema

Strumento sviluppato dall'Università della Tuscia e Terrasystems, composto da 4 camere CCD, su cui è possibile montare filtri interferenziali e ottenere immagini multispettrali tra 0,4 e 1,1 μm , ed ampiezza di banda inferiore a 0,1 μm . Lavorando nelle bande tra il rosso e il vicino infrarosso è particolarmente indicato ad evidenziare situazioni di stress idrico e patologie della vegetazione, connesse a situazioni climatiche e/o degrado dei suoli [Borfecchia et alii].

1.4.4 Sensori Iperspettrali

Risoluzione spettrali elevate (per numero bande e ampiezza delle bande stesse) garantiscono informazioni più definite sulla composizione degli oggetti rilevati e sulle loro proprietà fisiche, perciò fin dagli anni 80 la NASA JPL hanno speso le loro forze alla costruzioni di sistemi in grado di leggere e misurare più bande spettrali contemporaneamente ma soprattutto con valori molto ristretti, in modo da confrontare nel dettaglio informazioni sulla firma spettrale e i picchi di assorbimento degli elementi. Spettrometri con più di 16 bande, sono definiti ad elevata risoluzione spettrale, nello specifico sensori iperspettrali. La differenza con gli strumenti multispettrali non è tanto nella tecnologia del sensore ma nelle metodologie per l'elaborazione digitale dei dati con una idonea selezione delle bande in funzione dell'applicazione [Gomasasca].

nei problemi di classificazione, i *sensori iperspettrali* permettono di campionare densamente le firme spettrali dei vari tipi di copertura al suolo, migliorando la

discriminazione fra classi simili rispetto ai tradizionali sensori multispettrali. D'altronde, l'elevato numero di canali ha un impatto diretto sui tempi di elaborazione; questi ultimi dipenderanno anche dalla complessità dei classificatori (lineari, quadratici od altro). Inoltre, un altro aspetto ancora più problematico è la proporzionalità esistente fra la dimensionalità spettrale e la grandezza del training-set disponibile. All'aumentare della dimensionalità dei dati, la grandezza del training-set deve crescere (spesso più che linearmente) per poter sfruttare l'informazione contenuta nei dati; occorrono algoritmi di classificazione complessi e sofisticati ma al tempo stesso idonei all'impiego operativo.

Esempi di sistemi iperspettrali

System	Spectral Range (nm)	Across-Track Pixels x No. of Spectral Channels	FOV	IFOV	Dynamic Range	GPS/IMU	Software
CASI-1500 and CASI-1500UV Compact Airborne Spectrographic Imager ITRES Research www.itres.com	380 – 1,050 365 – 1,035 (UV)	1,500 x 288	40°	0.49 mr	14	Mandatory / Various	Proprietary
CASI-550	400 – 1,000 (545 nm free spectral range)	550 x 288	40.4°	1.34 mr	14	Mandatory / Various	Proprietary
SASI-600 Shortwave Infrared Airborne Spectrographic Imager ITRES Research	950 – 2,450	600 x 100	40°	1.2 mr	14	Mandatory / Various	Proprietary
TABI-320 Thermal Airborne Broadband Imager ITRES Research	8,000 – 12,000	320 x 1	48°	2.8 mr	12	Mandatory / Various	Proprietary
TASI-600 Thermal Airborne Spectrographic Imager ITRES Research	8,000 – 11,500	600 x 32	40°	1.25 mr	14	Mandatory / Various	Proprietary
Daedalus SWIR HSI Argon ST www.argonst.com	900 – 1700	640 x 80	35°	1 mr	14	Mandatory / Various	Daedalus AHS with Rapid Mapper
Daedalus E-SWIR HSI Argon ST	900 – 2,400	640 x 150	35°	1 mr	14	Mandatory / Various	Daedalus AHS with Rapid Mapper
Daedalus VNIR HSI Argon ST	400 – 1,000	1,600 x 288	46°	0.5 mr	14	Mandatory / Various	Daedalus AHS with Rapid Mapper

Aviris Airborne Visible and Infrared Imaging Spectrometer - JPL

Aviris è uno spettrometro iperspettrale sviluppato dal Jet Propulsion Laboratory (JPL). È uno strumento a scansione composto in realtà da quattro spettrometri che misurano simultaneamente in 224 bande spettrali contigue. Il primo spettrometro misura 31 bande nella regione del visibile compresa tra 0.41 - 0.70 μm . Il secondo spettrometro, misura 63 bande tra il visibile e l'infrarosso vicino (0.68 - 1.27 μm). Il terzo strumento 63 bande dell'infrarosso 1.25 - 1.86 μm . L'ultimo spettrometro 63 bande del.... tra 1.84 - 2.45 μm . L'ifov è pari a 1 mrad, ad un'altezza operativa di 65.000 ft la risoluzione spaziale al suolo è di 20 metri e la scena coperta pari a 10,6 km. L'angolo di scansione totale misura 30° e la risoluzione radiometrica è di 12 bit.

<http://aviris.jpl.nasa.gov/html/aviris.concept.html>

Casi 1500

E' stato uno dei primi spettrometri iperspettrale commerciale. Il sensore Casi misura 288 bande nel campo del visibile e dell'infrarosso, nell'intervallo tra 0,4 e 1,05 μm . Il sistema di scansione è di tipo along track e la risoluzione spaziale varia al variare della quota di volo, variabile tra 0,25 e 1,5 metri.

Le bande e l'ampiezza delle stesse possono essere programmate prima di ogni campagna di acquisizione dei dati, in ragione dell'applicazione e delle specifiche richieste. E' possibile integrare al sensore il sistema INS/GPS per il controllo e la successiva correzione geometrica dei dati registrati. Sensori come il Casi sono stati utilizzati anche per la sperimentazione di analoghi strumenti da alloggiare su satellite.

Mivis

Il Mivis è uno strumento iperspettrale operativo da 1995, di proprietà del Consiglio Nazionale delle Ricerche. E' costituito da 4 spettrometri ad elevata risoluzione spaziale e spettrale che simultaneamente riprendono le radiazioni provenienti dalla superficie terrestre nel campo del visibile (1° spettrometro, 20 bande comprese tra 0,43- 0,83 μm), dell'infrarosso vicino (2° spettrometro, 8 bande comprese tra 1,15- 1,55 μm), dell'infrarosso medio (3° spettrometro, 64 bande comprese tra 2,0- 2,5 μm) e dell'infrarosso termico (4° spettrometro, 10 bande comprese tra 8,2- 12,7 μm) per un totale di 102 bande.

I valori di radianza delle bande sono acquisiti da 102 canali separati e registrati in forma digitale automaticamente e simultaneamente su differenti tracce della memoria di massa collegata al MIVIS.

La soluzione più efficace per la realizzazione di questo strumento è stata l'utilizzo di un sistema ottico a scansione meccanica munito di un sensore per ognuno dei quattro settori delle bande spettrali.

Il MIVIS è costituito da cinque elementi distinti, tre di essi sono muniti di computer di controllo che gestiscono le operazioni, trasmettono comandi e si scambiano informazioni sullo stato di funzionamento dei componenti attraverso una rete Ethernet:

- La testa di scansione e lo spettrometro
- Il digitalizzatore, che converte i 102 segnali analogici in forma digitale a 12 bit
- Il MWD- Moving Window Display per il monitoraggio delle riprese
- Il VLDS- Very Large Data Store, il registratore digitale su nastro magnetico VHS capace di immagazzinare ad alta velocità grandi quantità di dati.

- Il sistema PAS- Position and Altitude Sensor, che assicura la georeferenziazione di tutti i dati e la loro correzione.

La CGR ha installato il MIVIS su una piattaforma aerea costituita da un bimotore CASA 212C che rileva in un intervallo di quota da 1.500 a 7.000 metri e ad una velocità non inferiore a 250 Km/h. Le fasi a terra prevedono l'elaborazione, l'archiviazione e la distribuzione dei dati.

ROSIS

da fare descrizione

AISA systems

da fare descrizione

1.4.5 Camere termiche

Molti sistemi multispettrali (MSS) percepiscono la radiazione nel infrarosso termico così come le parti infrarosse visibili e riflesse dello spettro. Tuttavia, i sensori termici usano i CCD per rilevare la radiazione termica emessa da una superficie quindi misurano la temperatura in superficie e le proprietà termiche degli oggetti.

Il sistema FLIR- Forward Looking InfraRed

Da fare

Schede sui principali sensori termici

TIMS (thermal infrared multispectral scanner)- NASA, JPL.

1.4.6 Altri sensori passivi

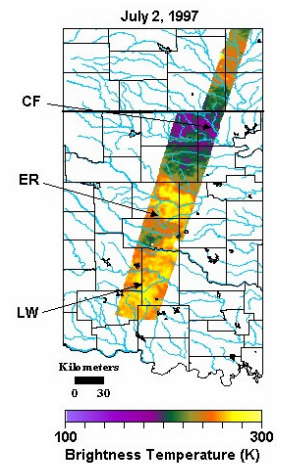
LI-7500 Open Path CO₂/H₂O Analyzer

LI-7500 è un innovativo "gas analyzer" a infrarossi, ad alta velocità, precisione elevata che misura "in-situ" la densità della CO₂ e del vapor acqueo in condizioni di turbolenza. I suoi dati possono essere usati, applicando la Eddy covariance technique insieme ai valori di turbolenza determinati con l'anemometro a ultrasuoni al fine di determinare i flussi di CO₂ e H₂O. Le applicazioni del LI-7500 comprendono la determinazione dei bilanci di CO₂ e H₂O in agricoltura, o in aree naturali come foreste, deserti e oceani per valutazione dei cambiamenti climatici e ricerche in campo ecologico.

Microonde passivo: SGP97 ESTAR Brightness Temperature and Derived Soil Moisture Data

Le bande nelle lunghezze d'onda del microonde sono utilizzate per misurare e verificare l'umidità di superficie del terreno. Un punto cruciale da risolvere sono i problemi di risoluzione spaziale legati all'altezza di volo dei velivoli. Problemi parzialmente risolti grazie all'utilizzo del SAR il radar ad apertura sintetica, utilizzato come componente di questo radiometro SGP97, realizzato per la mappatura dell'umidità del terreno.

<http://daac.gsfc.nasa.gov/fieldexp/SGP97/estar.html#201>



1.5 Approfondimento sensori attivi

1.5.1 Sistemi Radar

Schede sui principali sensori radar

Convair-580 C/X SAR system

Da fare

The Sea Ice and Terrain Assessment (STAR)

Da fare

1.5.2 Sistemi Laser

Laser a scansione

La tecnologia laser scanner è composta dall'integrazione di una serie di componenti, il laser scanner, il sistema di posizionamento GPS e il sistema inerziale IMU (Inertial Measurement Unit) di misura dell'assetto e della posizione, e infine della componentistica di alimentazione, controllo e registrazione dei dati. Il sistema invia impulsi laser a terra e riceve i segnali di ritorno, il tempo che intercorre tra invio dell'impulso e la ricezione della risposta è misurato con molta precisione, dell'ordine dei 10^{-10} secondi. Una volta determinata la distanza del velivolo dal punto colpito dal raggio laser sul terreno, per ottenere le coordinate di questo punto in un sistema di riferimento assoluto occorre determinare con esattezza la posizione del sensore al momento dell'emissione dell'impulso e la direzione del raggio uscente (i coseni direttori del raggio stesso). Per questo si usa il dato GPS e inerziale, così da ricostruire la posizione assoluta del sensore X,Y,Z e i valori angolari di ogni singolo raggio laser.

Il meccanismo di scansione del sistema è basato su un insieme di fibre ottiche che producono un insieme di misure disposte sul terreno, l'avanzamento del velivolo consente di acquisire una strisciata di punti di misura sul terreno.

L'accuratezza viene indicata in percentuale, sia essa verticale o orizzontale, in termini di misure che stanno all'interno di una certa tolleranza.

Caratteristiche tecniche dipendono dal sensore , in commercio ce ne sono di diversi, che variano per:

angolo di scansione da $\pm 7^\circ$ a $\pm 20^\circ$

frequenza di scansione Hz da 83.000 a 33.000

altezza di volo massima da 1.500 a 3.000 metri

per tipo di GPS e sistema inerziale montati

variano per accuratezza orizzontale e verticale, per la capacità di registrare contemporaneamente due risposte laser

Schede sui principali sensori laser

Laser altimetro Optech ALTM 3033 - Airborne Laser Terrain Mapper

Il laser altimetro ALTM 3033 **in Italia viene** installato dalla CGR a bordo del bimotore Piper PA 31/350 Chieftain Navajo, e da Helica su elicottero un elicottero AS350 B2 s/n 2487 Marche I-FLAP.

L'ALTM 3033 emette 33.000 impulsi Laser al secondo permettendo così di rilevare una grande densità di punti. La densità dei punti misurati per metri quadrati di superficie fornisce un'indicazione sulla qualità del rilievo, e dipende principalmente dai parametri costruttivi del sensore, dalla quota di volo relativa e dall'angolo di scansione.

Il sistema è in grado di rilevare fino a 10.200 punti per ettaro e di registrare contemporaneamente due risposte laser per ogni impulso emesso e il valore di intensità del segnale stesso.

Terminata la fase della ripresa, ed il relativo controllo di qualità dei dati, viene avviato il postprocessing: inizialmente viene calcolata l'esatta traiettoria dell'aereo durante la ripresa, quindi vengono determinate le successive posizioni occupate nel tempo dall'aereo (ovvero dal sensore) in base ai dati del GPS e del sistema inerziale.

I dati della traiettoria e dell'assetto angolare vengono poi combinati con i dati del laser altimetro, sincronizzandoli tra loro. L'output di questo processo è rappresentato da una "nuvola di punti" disposti in modo irregolare sul terreno, che rappresentano il dato grezzo del rilievo espresso in valori di coordinate geografiche nel sistema di riferimento WGS84.

Ad ogni punto del dato grezzo sono associati i valori di intensità della risposta, valori che dipendono dalla tipologia del materiale e quindi dalle caratteristiche della porzione di terreno che ha riflesso il raggio laser.

Il file di output rappresenta il primo modello digitale delle superfici (DSM-Digital Surface Model). Esso contiene tre diversi prodotti: uno ricavato dal primo impulso laser, il secondo dall'ultimo impulso, il terzo contenente il valore

dell'intensità di ricezione del segnale, quest'ultimo elaborato in forma di immagini nel formato TIFF con relativo file di georeferenziazione TFW.

La differenziazione del segnale consente già l'eliminazione di gran parte della vegetazione: in entrambi i modelli rimangono gli oggetti artificiali che verranno eliminati applicando algoritmi software di filtratura.

I dati comprendono anche altri impulsi che devono essere eliminati, come le linee di alta tensione, oppure uccelli in volo, ma sono anomalie facilmente riconoscibili perché danno luogo a punti isolati la cui quota è molto diversa da quella dei punti più vicini. Applicando ulteriori filtri vengono eliminati tutti gli elementi superficiali, sia naturali che artificiali, ottenendo come dato finale i valori di quota dei punti a terra, ovvero il modello digitale del terreno (DTM-Digital Terrain Model).

Ad eccezione del primo database dei dati grezzi, tutti i successivi prodotti raster (DSM e DTM) sono normalmente organizzati sotto forma di grigliati a maglia regolare per permetterne la visualizzazione e la elaborazione con i più diffusi software GIS in commercio.

I grigliati regolari sono normalmente ottenuti per interpolazione utilizzando algoritmi di "nearest neighbour" che mantengono inalterati i valori di quota misurati dal sensore salvaguardandone l'integrità. Essi vengono generalmente forniti in formato GRID di ArcInfo, ma possono anche avere formati diversi in base a specifiche esigenze degli utilizzatori.

Grazie a queste caratteristiche, di elevata densità dei punti rilevati e di ampia scelta delle quote di volo, il laser altimetro viene utilizzato ad integrazione di rappresentazioni cartografiche e laddove sia necessaria una ottima modellazione del terreno, per esempio a supporto di indagini per particolari situazioni a rischio idrologico e ambientale.

Airborne Laser Scanner Leica ALS50

Da fare

Airborne Laser Scanner RIEGL LMS-Q560

Da fare

Laser batimetrico LADS- Laser Airborne Depth Sounder

Il LADS è tra i più rapidi e innovativi sistemi per la ricognizione e restituzione delle batimetrie di costa. Il sensore è montato su un aereo DASH 8 è utilizzato per rilievi in acqua bassa ed in aree complesse, operando ad una velocità di

acquisizione fino a 20 volte maggiore rispetto ai tradizionali rilievi eseguiti con navi oceanografiche.

Il sistema utilizza impulsi laser, emessi nelle lunghezze d'onda dell'infrarosso e del verde, da due diodi laser collocati su una piattaforma stabile montata all'interno dell'aereo. E' inoltre integrato al sistema GPS inerziale Applanix che determina la posizione assoluta e i parametri angolari.

Il sistema emette 900 impulsi al secondo, e arriva ad una profondità massima di rilievo di 70 metri e ad una altezza massima di costa di 50 metri.

La differenza dei ritorni tra l'impulso nell'infrarosso riflesso dalla superficie dell'acqua e del verde riflesso invece dal fondo del mare, rende possibile il calcolo del battente d'acqua, ricavando così la batimetria dei fondali.

Il sistema è in grado di restituire i dati con differenti risoluzioni, da una maglia regolare di 6 x 6 metri, fino a una griglia di 2 x 2 metri, in casi particolari.

I dati raccolti durante il rilievo vengono successivamente processati e controllati a terra, attraverso l'utilizzo di software dedicati. Ogni impulso registrato dal sistema viene corretto in base ai dati di marea, georeferenziato e pulito da eventuali disturbi e interferenze.

I dati batimetrici rilevati con sensori aviotrasportati come il LADS, per la loro completezza e omogeneità, consentono una completa e approfondita conoscenza del territorio, che raggiunge livelli molto raffinati se integrata ad altri prodotti: l'ortofoto digitale, i dati da laser altimetro e i dati iperspettrali MIVIS.

1.6 Panoramiche dei progetti che utilizzano sensori su velivoli

Progetto Monitor Sky Arrow

L'idea che si intende verificare è, fra l'altro, quella della possibile attivazione partneriata di un "Servizio di monitoraggio del territorio e dell'ambiente a bassa quota". Schematizzando, il servizio consiste nell'utilizzo di un velivolo leggero, individuato dallo luav, a basso costo operativo e di facile impiego specificamente concepito per tale tipologia di attività, in grado di sorvolare a bassa e bassissima quota aree critiche e sensibili, con un set opportuno di sensori in grado di leggere e restituire caratteristiche significative degli oggetti e dei fenomeni osservati.

Sono possibili quattro diverse applicazioni, a cui corrispondono altrettante combinazioni di sensori:

SETTORE A: Acquisizione dati in 'Real time' di aree e fenomeni e trasmissione degli stessi, sempre in tempo reale, ad una stazione di controllo per missioni di sorveglianza di aree con obiettivi di prevenzione e sicurezza.

SETTORE B: raccolta dati per monitoraggio di colture, vegetazione, foreste, aree incendiate, a integrazione di dati provenienti da satellite.

SETTORE C: campionamento aria e misure di turbolenza per la determinazione della quantità di carbonio e il controllo dell'effetto serra.

SETTORE D: acquisizione dati per la costruzione di modelli tridimensionali del territorio per applicazioni relative al monitoraggio dei rischi e la valutazione della influenza umana sul territorio.

Volo AGEA

da fare descrizione

Voli MIVIS

da fare descrizione

Progetto Next map Italia

da fare descrizione

1.7 Panoramiche delle applicazioni che utilizzano sensori su velivoli

Premessa

Da fare

1) Vegetazione naturale

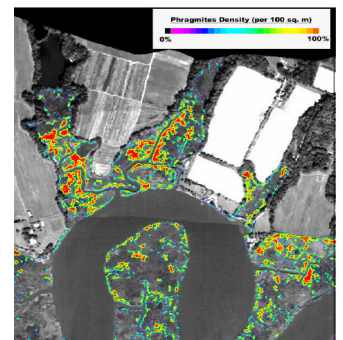
da fare descrizione

Esempi di applicazioni

da fare descrizione

Velivoli e sensori più utilizzati

Sensori iperspettrali per la discriminazione classi vegetazionali e verifica dello stato di salute della vegetazione, come il CASI, MIVIS, AISA +



2) Vegetazione coltivata

da fare descrizione

Esempi di applicazioni

da fare descrizione

Velivoli e sensori più utilizzati

Sensori iperspettrali per la discriminazione classi vegetazionali e verifica dello stato di salute della vegetazione, come il CASI, MIVIS, AISA +



3) Pianificazione e Uso del suolo

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 sia per lo smaltimento delle acque piovane, sia per il microclima di ogni zona, sia ancora per la ricarica delle falde acquifere sotterranee.

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".

Nell'ambito dell'attività di ricerca del LARA (Laboratorio Aereo Ricerche Ambientali), è stata messa a punto una metodologia che - attraverso l'utilizzo di dati telerilevati con il sensore MIVIS (Multispectral Infrared Visibile Imaging Spectrometer) del CNR, successivamente sperimentata anche con dati provenienti dal satellite Ikonos - permette di ottenere in modo automatico una enorme quantità di informazioni su innumerevoli superfici e materiali di rivestimento, per estensioni di chilometri quadrati e con una definizione e precisione unica nel suo genere, nonché di conoscere anche le temperature delle strade, delle piazze o delle aree a verde.

Esempi di applicazioni

Analisi dell'espansione urbana

Classificazione uso e copertura del suolo

Supporto alla pianificazione (calcolo della permeabilità dei suoli)

Velivoli e sensori più utilizzati

Sensori multi e iperspettrali per la discriminazione classi d'uso del suolo CASI, MIVIS, AISA +

Laserscanner per misure di dettaglio su aree e costruzione di modelli digitali del terreno e delle superfici

Gas analyzer per valutazione della CO2

4) Monitoraggio e stima catastrofi

da fare descrizione

Esempi di applicazioni

da fare descrizione

Velivoli e sensori più utilizzati

Fotogrammetria tradizionale (realizzazione di ortofoto)

Laserscanner

Interferometria SAR

5) Monitoraggio inquinamenti

da fare descrizione

Esempi di applicazioni

da fare descrizione

Velivoli e sensori più utilizzati

Inquinamento luminoso: Mivis

CO2 Gas analyzer

Iperspettrale



6) Fotogrammetria: realizzazione cartografia e modelli digitali del terreno

da fare descrizione

Esempi di applicazioni

da fare descrizione

Velivoli e sensori più utilizzati

Camere fotogrammetriche analogiche e digitali

Laserscanner

Radar (interferometria)

Bibliografia

R. Galetto *Camere digitali per riprese aeree e terrestri*, Bollettino SIFET, n. 4,

N. Robbe *Airborne Oil Spill Remote Sensing: Modelling, Analysis and Fusion of Multi-spectral Data*, Shaker Verlag GmbH, Germany, 2005

P.A. Brivio, G.M. Lechi, E. Zilioli, *Il telerilevamento da aereo e da satellite*. Carlo Delfino Editore, 1992

R. Galetto, V. Casella, A. Spalla *Il progetto di ricerca Cofin98 sull'impiego del laser a scansione*-Bollettino SIFET, n. 2, 2000

Sitografia

Elenco articoli strumenti e applicazioni telerilevamento

<http://www.gisdevelopment.net/technology/rs/index.htm>

Sito materiali ed enti che sviluppano o vendono sistemi Lidar link

<http://www.lidarmap.org/lidarlinks.html>

CSIRO Earth Observation Centre An Overview of Hyperspectral Remote sensing

<http://www.eoc.csiro.au/hswwww/Overview.htm>

NASA Airborne Dryden Flight Research Center

<http://www.nasa.gov/centers/dryden/research/AirSci/index.html>

Corso on line su DEM e IFSAR

<http://learning.intermaptechnologies.com/>