

Approccio integrato all'agricoltura di precisione nella moderna azienda cerealicola pugliese

Acronimo: AdP4Durum

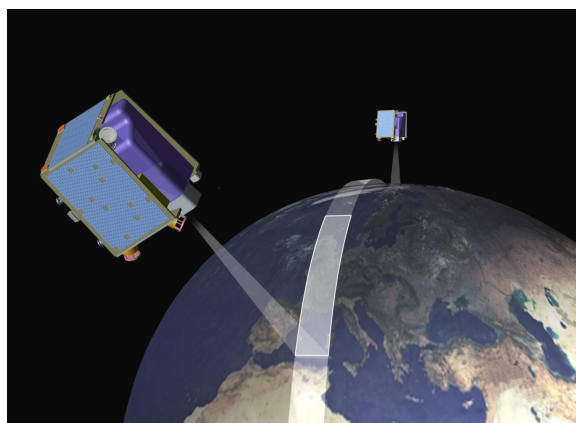
Modulo 2 – Lettura delle informazioni dai satelliti
Incontro 2 - Il telerilevamento e le piattaforme satellitari per l'AdP



Progetto realizzato con finanziamento della Regione Puglia - Legge regionale n. 55/2018
*Avviso pubblico per la presentazione di Progetti pilota per la promozione e lo sviluppo dell'Agricoltura di Precisione



Il telerilevamento e le piattaforme satellitari per l'Adp



Di Rmatt - Opera propria, CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=4588307>



Progetto realizzato con finanziamento della Regione Puglia - Legge regionale n. 55/2018
*Avviso pubblico per la presentazione di Progetti pilota per la promozione e lo sviluppo dell'Agricoltura di Precisione



Cos'è il telerilevamento

- Insieme di tecniche che permettono di rilevare, a diverse distanze, proprietà fisiche o chimiche di un materiale (suolo, vegetazione, ...)
- Tutte le tecniche di rilevamento necessitano di sensori.
- Sensore: dispositivo in grado di rilevare un segnale proveniente dall'oggetto d'interesse e di registrarlo («remote sensing»)
- Distanza del sensore dall'oggetto: dipende dalla piattaforma su cui essi sono trasportati
 - Sensori prossimali
 - Sensori aerotrasportati
 - Sensori satellitari



Progetto realizzato con finanziamento della Regione Puglia - Legge regionale n. 55/2008 Avviso pubblico per la presentazione di progetti pilota per la promozione e lo sviluppo dell'Agricoltura di Precisione



Partner di progetto



Principi fisici e tecnologici del telerilevamento

LA RADIAZIONE ELETTROMAGNETICA

«È il risultato della variazione di intensità e di direzione di un campo elettromagnetico».

La radiazione elettromagnetica si compone di LUNGHEZZA, AMPIEZZA e FREQUENZA

La LUNGHEZZA delle onde elettromagnetiche è la distanza intercorrente tra due onde successive (metri e sottomultipli)

L'AMPIEZZA è l'altezza delle onde

La FREQUENZA è il numero di cicli che la radiazione compie in un secondo (Hz)



Progetto realizzato con finanziamento della Regione Puglia - Legge regionale n. 55/2008 Avviso pubblico per la presentazione di progetti pilota per la promozione e lo sviluppo dell'Agricoltura di Precisione

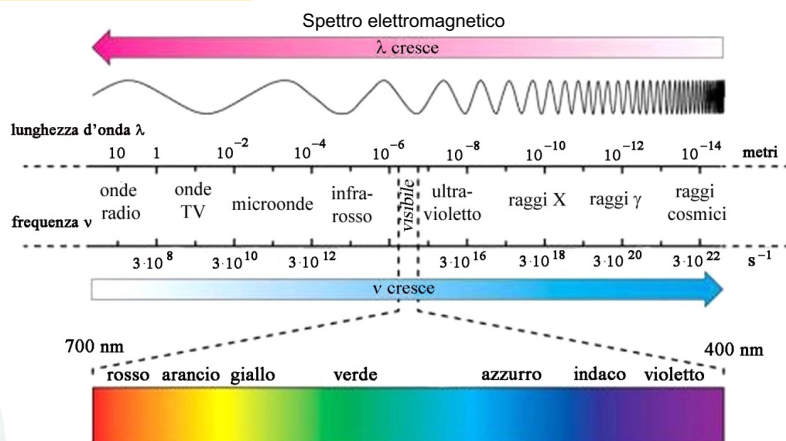


Partner di progetto



Principi fisici e tecnologici del telerilevamento

LA RADIAZIONE ELETTROMAGNETICA



Progetto realizzato con finanziamento della Regione Puglia - Legge regionale n. 55/2008 Avviso pubblico per la promozione di Progetti pilota per la promozione e lo sviluppo dell'Agricoltura di Precisione



Principi fisici e tecnologici del telerilevamento

LA RADIAZIONE ELETTROMAGNETICA

Chi emette radiazione elettromagnetica:

Qualsiasi corpo che abbia temperatura superiore a -273 K

I corpi emettono radiazioni a diverse lunghezze d'onda e simultaneamente a lunghezze d'onda diverse



Progetto realizzato con finanziamento della Regione Puglia - Legge regionale n. 55/2008 Avviso pubblico per la promozione di Progetti pilota per la promozione e lo sviluppo dell'Agricoltura di Precisione



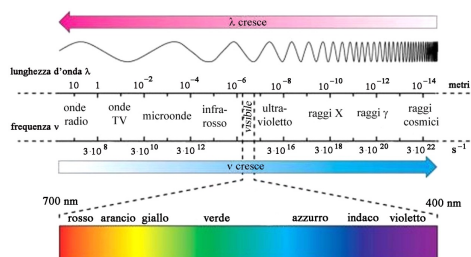
Principi fisici e tecnologici del telerilevamento

LA RADIAZIONE ELETTROMAGNETICA: DOMINI

DOMINIO OTTICO: porzione dello spettro elettromagnetico percepibile dall'occhio umano.

è denominato anche banda VIS (*visible*) o PAR (*Photosynthetically Active Radiation*)

Colore	Frequenza	Lunghezza d'onda
Violetto	668-789 THz (Terahertz)	380-450 nm (nanometri)
Indaco	631-668 THz	450-475 nm
Blu	606-631 THz	476-495 nm
Verde	526-606 THz	495-570 nm
Giallo	508-526 THz	570-590 nm
Arancione	484-508 THz	590-620 nm
Rosso	400-484 THz	620-750 nm



Progetto realizzato con finanziamento della Regione Puglia - Legge regionale n. 55/2008 Avviso pubblico per la presentazione di progetti pilota per la promozione e lo sviluppo dell'Agricoltura di Precisione



Principi fisici e tecnologici del telerilevamento

LA RADIAZIONE ELETTROMAGNETICA: DOMINI

DOMINIO IR: Lunghezze d'onda comprese tra 750 e 20.000 nm

INFRA ROSSO: 700 e 20.000 nm

NIR: 700 e 1.300 nm SWIR: 1.300 e 2.500 nm MWIR: 2.500 8.000 nm TIR: 8.000 20.000 nm

(Near Infra Red)

(Short Wave Infra Red)

(Middle Wave Infra Red)

(Thermal Infra Red)

ENERGIA

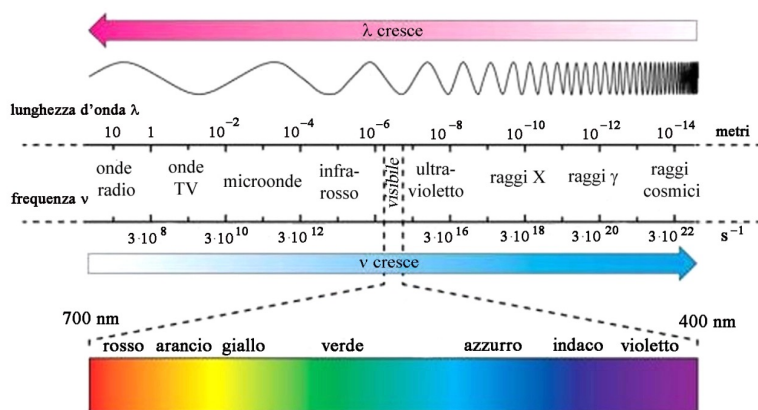


Progetto realizzato con finanziamento della Regione Puglia - Legge regionale n. 55/2008 Avviso pubblico per la presentazione di progetti pilota per la promozione e lo sviluppo dell'Agricoltura di Precisione



Principi fisici e tecnologici del telerilevamento

LA RADIAZIONE ELETTROMAGNETICA: DOMINI



Progetto realizzato con finanziamento della Regione Puglia - Legge regionale n. 55/2008 Avviso pubblico per la promozione di progetti pilota per la promozione e lo sviluppo dell'Agricoltura di Precisione



Partner di progetto
CAIONE CONCER
CREA

Principi fisici e tecnologici del telerilevamento

LA RADIAZIONE ELETTROMAGNETICA: DOMINI

La rilevazione nei vari domini è eseguita mediante sensori, differenti sulla base della lunghezza d'onda da captare.

SENSORI PASSIVI: per banda VIS-IR

SENSORI ATTIVI: per banda delle MICROONDE

Un sensore attivo, a differenza di uno passivo, invia radiazione alla superficie da analizzare e ne raccoglie l'energia riflessa (principio del RADAR e del LIDAR).



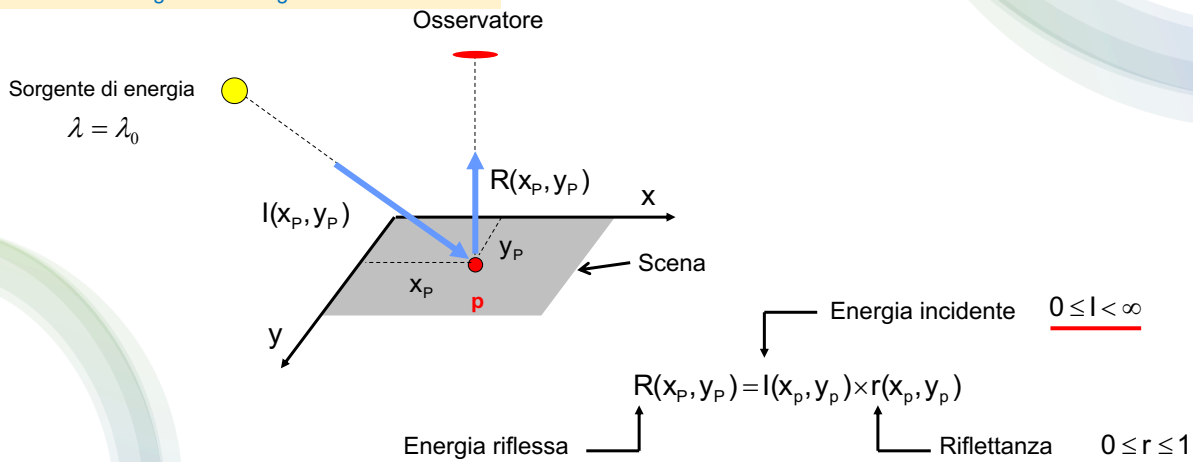
Progetto realizzato con finanziamento della Regione Puglia - Legge regionale n. 55/2008 Avviso pubblico per la promozione di progetti pilota per la promozione e lo sviluppo dell'Agricoltura di Precisione



Partner di progetto
CAIONE CONCER
CREA

Principi fisici e tecnologici del telerilevamento

Interazione dell'energia elettromagnetica con la materia



Progetto realizzato con finanziamento della Regione Puglia - Legge regionale n. 55/2008 Avviso pubblico per la presentazione di progetti pilota per la promozione e lo sviluppo dell'Agricoltura di Precisione



Principi fisici e tecnologici del telerilevamento

IMMAGINE FISICA

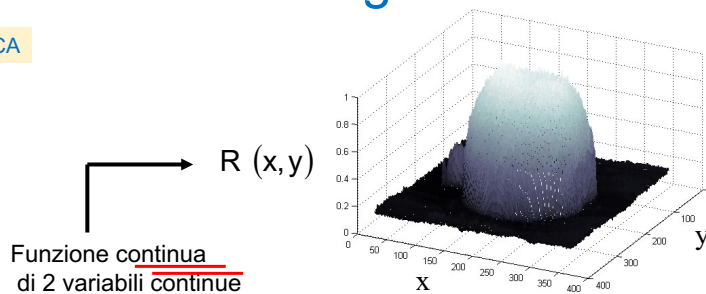
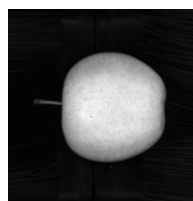


Immagine percepita dall'osservatore (a livelli di grigio)



Progetto realizzato con finanziamento della Regione Puglia - Legge regionale n. 55/2008 Avviso pubblico per la presentazione di progetti pilota per la promozione e lo sviluppo dell'Agricoltura di Precisione



Principi fisici e tecnologici del telerilevamento

IMMAGINE DIGITALE

- Rappresentazione numerica di un'immagine fisica sotto forma di una matrice di elementi numerici

Immagine fisica

$R(x,y)$



$$\mathbf{F} = \begin{bmatrix} f_{11} & f_{12} & \dots & f_{1n} \\ f_{21} & f_{22} & \dots & f_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ f_{m1} & f_{m2} & \dots & f_{mn} \end{bmatrix}$$

Immagine digitale

- Fasi del processo di digitalizzazione

- campionamento
- quantizzazione



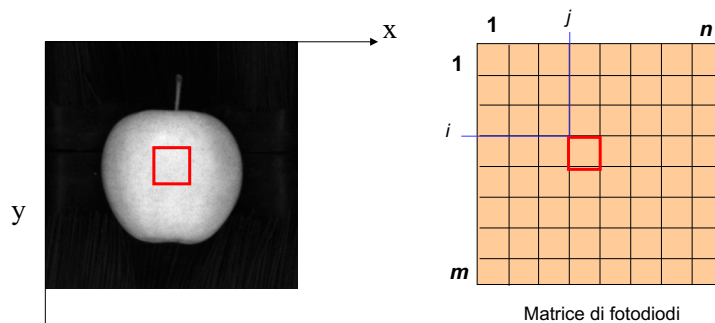
Progetto realizzato con finanziamento della Regione Puglia - Legge regionale n. 55/2008 - Avviso pubblico per la presentazione di progetti pilota per la promozione e lo sviluppo dell'Agricoltura di Precisione



Principi fisici e tecnologici del telerilevamento

IMMAGINE DIGITALE

- Schematicamente, proiezione dell'immagine fisica su una matrice di $m \times n$ sensori ottici (fotodiodi)



- Ciascun sensore misura l'energia media riflessa (livello di grigio medio) da una piccola parte dell'immagine (pixel)
- La posizione di ciascun pixel è individuata da una coppia di numeri interi (i, j)



Progetto realizzato con finanziamento della Regione Puglia - Legge regionale n. 55/2008 - Avviso pubblico per la presentazione di progetti pilota per la promozione e lo sviluppo dell'Agricoltura di Precisione



Principi fisici e tecnologici del telerilevamento

QUANTIZZAZIONE

- Schematicamente, il livello di grigio di ciascun pixel è scalato in un campo finito di valori (scala dei livelli di grigio) compreso fra 0 e 255



Immagine percepita

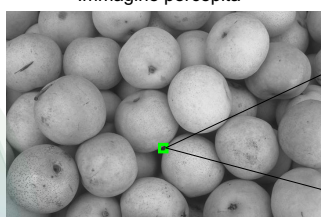


Immagine campionata (parte)

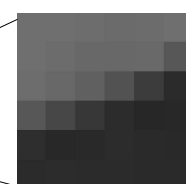


Immagine digitale (parte)

128	121	111	121	12	110
110	121	111	111	101	80
115	111	83	63	35	27
110	111	84	55	43	10
28	25	23	15	10	7
25	10	8	7	8	6



Progetto realizzato con finanziamento della Regione Puglia - Legge regionale n. 55/2008 Avviso pubblico per la promozione di Progetti pilota per la promozione e lo sviluppo dell'Agricoltura di Precisione



Partner di progetto



Principi fisici e tecnologici del telerilevamento

CARATTERISTICHE DELLE IMMAGINI DIGITALI

- Dimensione ($m \times n$)
- Risoluzione in ampiezza (bit/pixel)
- Formato dei pixel (bianco/nero, scala di grigio, colore, ...)
- Formato di memorizzazione (BMP, JPG, PNG, ...)
- Memoria occupata
 - $m \times n \times$ risoluzione in ampiezza



Progetto realizzato con finanziamento della Regione Puglia - Legge regionale n. 55/2008 Avviso pubblico per la promozione di Progetti pilota per la promozione e lo sviluppo dell'Agricoltura di Precisione

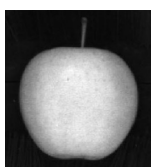


Partner di progetto

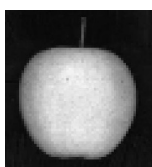


Principi fisici e tecnologici del telerilevamento

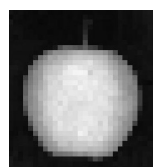
EFFETTI DELLA RISOLUZIONE SPAZIALE



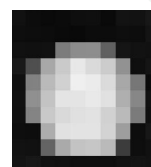
256 x 256



64 x 64



32 x 32



10 x 10

← Dettagli distinguibili



Progetto realizzato con finanziamento della Regione Puglia - Legge regionale n. 55/2008 Avviso pubblico per la promozione di progetti pilota per la promozione e lo sviluppo dell'Agricoltura di Precisione

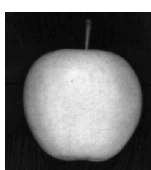


Partner di progetto

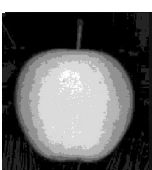


Principi fisici e tecnologici del telerilevamento

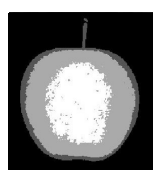
EFFETTI DELLA RISOLUZIONE IN AMPIEZZA



8 bit/pixel



4 bit/pixel



2 bit/pixel



1 bit/pixel

← Variazioni di livello di grigio distinguibili



Progetto realizzato con finanziamento della Regione Puglia - Legge regionale n. 55/2008 Avviso pubblico per la promozione di progetti pilota per la promozione e lo sviluppo dell'Agricoltura di Precisione



Partner di progetto



Principi fisici e tecnologici del telerilevamento

IL TELERILEVAMENTO NEL DOMINIO OTTICO

La rilevazione avviene tramite misura della radiazione solare riflessa dalle superfici.

La luce incidente su una superficie può essere RIFLESSA, TRASMESSA, ASSORBITA.

Esempio:

Clorofilla: assorbe radiazione nella banda del blu e del rosso. La radiazione non assorbita viene riflessa, esibendo il colore ad essa associata (VERDE)



Progetto realizzato con finanziamento della Regione Puglia - Legge regionale n. 55/2008 Avviso pubblico per la promozione di Progetti pilota per la promozione e lo sviluppo dell'Agricoltura di Precisione

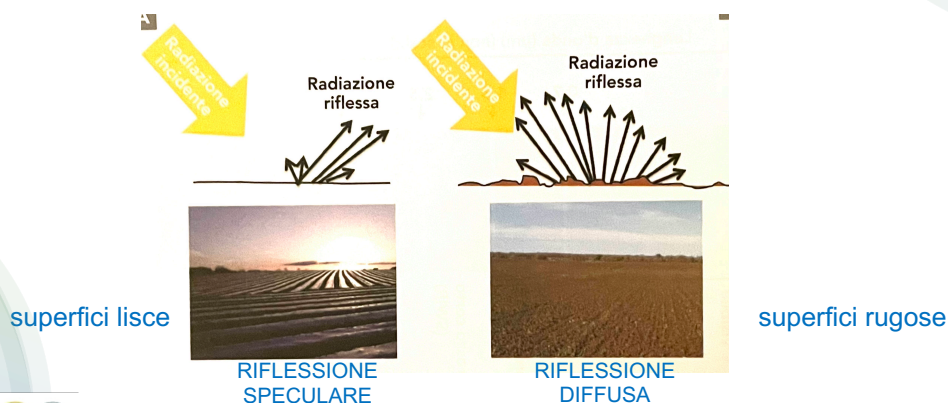


Partner di progetto
CAIONE CONCER
crea

Principi fisici e tecnologici del telerilevamento

IL TELERILEVAMENTO NEL DOMINIO OTTICO

La RIFLESSIONE della radiazione incidente è distinta in due forme:



Progetto realizzato con finanziamento della Regione Puglia - Legge regionale n. 55/2008 Avviso pubblico per la promozione di Progetti pilota per la promozione e lo sviluppo dell'Agricoltura di Precisione



Partner di progetto
CAIONE CONCER
crea

Principi fisici e tecnologici del telerilevamento

IL TELERILEVAMENTO NEL DOMINIO OTTICO

QUESTIONE IMPORTANTE NEL TELERILEVAMENTO:

ANGOLO DI ACQUISIZIONE

L'angolo di acquisizione può mutare la riflessione della luce a seconda che le superfici siano ISOTROPE o ANISOTROPE

SUPERFICI ISOTROPE: superfici che esprimono lo stesso livello di riflettanza qualunque sia l'angolo di osservazione. Determinano la RIFLESSIONE ISOTROPA (o Lambertiana)

SUPERFICI ANISOTROPE: superfici che esprimono livelli di riflettanza differente a seconda dell'angolo di osservazione. Determinano la RIFLESSIONE ANISOTROPA



Progetto realizzato con finanziamento della Regione Puglia - Legge regionale n. 55/2008 Avviso pubblico per la promozione di Progetti pilota per la promozione e lo sviluppo dell'Agrocoltura di Precisione



Partner di progetto



Principi fisici e tecnologici del telerilevamento

IL TELERILEVAMENTO NEL DOMINIO OTTICO

Nel dominio ottico si approssima la riflessione a quella Lambertiana.

La RIFLESSIONE della radiazione incidente dipende, quindi, dal tipo di superficie (liscia o rugosa), ma anche da come la luce attraversa l'atmosfera, oltre che all'intensità.



Progetto realizzato con finanziamento della Regione Puglia - Legge regionale n. 55/2008 Avviso pubblico per la promozione di Progetti pilota per la promozione e lo sviluppo dell'Agrocoltura di Precisione



Partner di progetto



Principi fisici e tecnologici del telerilevamento

IL TELERILEVAMENTO NEL DOMINIO OTTICO

Come ottenere un valore riferito solamente alle caratteristiche dell'oggetto target?

Si utilizza la RIFLETTANZA, ovvero il rapporto tra l'energia elettromagnetica incidente sulla superficie e l'energia riflessa da esse. Ha un valore, quindi, espresso tra 0 e 1.

L'indice utile al rilevamento di proprietà superficiali di colture è la RIFLETTANZA SUPERFICIALE, denominata anche TOC (Top Of the Canopy)



Progetto realizzato con finanziamento della Regione Puglia - Legge regionale n. 55/2008 Avviso pubblico per la promozione di Progetti pilota per la promozione e lo sviluppo dell'Agicoltura di Precisione



Partner di progetto



Principi fisici e tecnologici del telerilevamento

IL TELERILEVAMENTO NEL DOMINIO OTTICO

Per determinare il TOC è necessario:

1. conoscere la radianza incidente per calcolare la riflettanza misurata all'altezza del sensore, che nel caso dei satelliti viene chiamata riflettanza al limite dell'atmosfera (TOA top of the atmosphere);
2. effettuare quella che viene chiamata una **correzione atmosferica** per eliminare gli effetti di assorbimento selettivo e di scattering che avvengono nel doppio attraversamento del flusso di radiazione dal sole, alla superficie, al sensore.

La **correzione atmosferica** è generalmente effettuata per i dati acquisiti da sensori satellitari ed aerei, mentre si tende a trascurarla nelle acquisizioni da terra (sensori prossimali) e da drone. Tuttavia, necessaria anche in queste situazioni, per ottenere informazioni di tipo quantitativo. Le bande in cui l'assorbimento da parte dei componenti dell'atmosfera è minore vengono chiamate finestre atmosferiche.



Progetto realizzato con finanziamento della Regione Puglia - Legge regionale n. 55/2008 Avviso pubblico per la promozione di Progetti pilota per la promozione e lo sviluppo dell'Agicoltura di Precisione



Partner di progetto

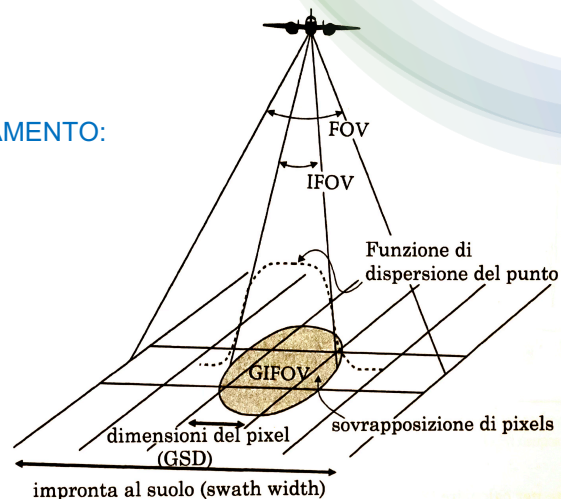


Principi fisici e tecnologici del telerilevamento

IL TELERILEVAMENTO NEL DOMINIO OTTICO

COME AVVIENE IL TELERILEVAMENTO:

A prescindere dal tipo di piattaforma utilizzata, i sensori acquisiscono un segnale elettrico proporzionale alla radianza spettrale relativa ad un'area, detta CAMPO DI VISTA (GFOV, ovvero Ground Field Of View):



Progetto realizzato con finanziamento della Regione Puglia - Legge regionale n. 54/2008 Avviso pubblico per la promozione di Progetti pilota per la promozione e lo sviluppo dell'Agro-cultura di Precisione



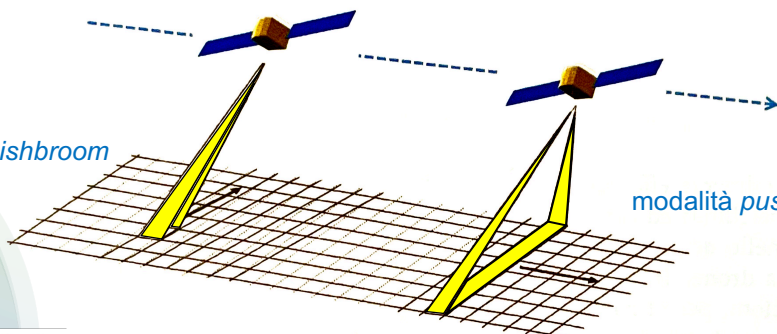
Partner di progetto
CAIONE CON CER
crea

Principi fisici e tecnologici del telerilevamento

IL TELERILEVAMENTO NEL DOMINIO OTTICO

COME AVVIENE IL TELERILEVAMENTO:

modalità *whishbroom*



modalità *pushbroom*



Progetto realizzato con finanziamento della Regione Puglia - Legge regionale n. 54/2008 Avviso pubblico per la promozione di Progetti pilota per la promozione e lo sviluppo dell'Agro-cultura di Precisione



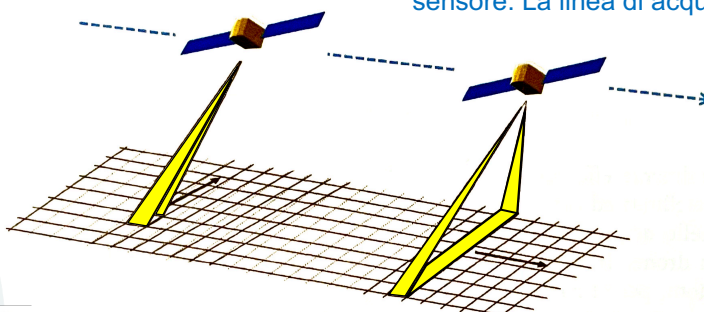
Partner di progetto
CAIONE CON CER
crea

Principi fisici e tecnologici del telerilevamento

IL TELERILEVAMENTO NEL DOMINIO OTTICO

Nella modalità **whishbroom**, il FOV del sensore equivale all'intorno di ciascun pixel acquisito a step successivi, lungo la direzione trasversale.

Nella modalità **pushbroom**, il FOV del sensore equivale alla dimensione della linea di acquisizione sviluppata a terra durante l'avanzamento del sensore. La linea di acquisizione è detta **swath**.



Progetto realizzato con finanziamento della Regione Puglia - Legge regionale n. 55/2008 Avviso pubblico per la promozione di Progetti pilota per la promozione e lo sviluppo dell'Agricoltura di Precisione



Partner di progetto

HORT@

CAIONE

CONCER

crea

Principi fisici e tecnologici del telerilevamento

IL TELERILEVAMENTO NEL DOMINIO OTTICO

RISOLUZIONI DEI DATI RILEVATI NEL DOMINIO OTTICO

RISOLUZIONE SPAZIALE: indica la dimensione minima distinguibile da ciascun elemento del sensore (pixel)

RISOLUZIONE SPETTRALE: indica il numero di bande della radiazione elettromagnetica rilevabili dal sensore. I sensori si dividono in Multispettrali e Iperspettrali, a seconda di quante bande riescono a rilevare.



Progetto realizzato con finanziamento della Regione Puglia - Legge regionale n. 55/2008 Avviso pubblico per la promozione di Progetti pilota per la promozione e lo sviluppo dell'Agricoltura di Precisione



Partner di progetto

HORT@

CAIONE

CONCER

crea

Principi fisici e tecnologici del telerilevamento

IL TELERILEVAMENTO NEL DOMINIO OTTICO

TIPOLOGIE DI SENSORI

SENSORI MULTISPETTRALI

- Utilizzano da 4 a 10 bande, con ampiezza di banda dai 15 ai 70 nm.
- Data l'ampia larghezza di banda non sono in grado di distinguere i dettagli spettrali.
- Sono sensori impiegati principalmente nel campo del VISIBILE.



Progetto realizzato con finanziamento della Regione Puglia - Legge regionale n. 55/2008 Avviso pubblico per la promozione di Progetti pilota per la promozione e lo sviluppo dell'Agrocoltura di Precisione



Partner di progetto

CAIONE

CONCER

crea

Principi fisici e tecnologici del telerilevamento

IL TELERILEVAMENTO NEL DOMINIO OTTICO

TIPOLOGIE DI SENSORI

SENSORI IPERSPETTRALI

- Utilizzano da centinaia di, con ampiezza di banda dai 5 ai 10 nm.
- Sono in grado di distinguere i dettagli spettrali.
- Sono sensori impiegati campo VIS-NIR.

La peculiarità dei sensori iperspettrali sta nel fatto che ogni immagine acquisita è composta da tanti «piani», ciascuno inerente ad una singola banda spettrale. L'immagine rappresenta quindi il cosiddetto «IPERCUBO»



Progetto realizzato con finanziamento della Regione Puglia - Legge regionale n. 55/2008 Avviso pubblico per la promozione di Progetti pilota per la promozione e lo sviluppo dell'Agrocoltura di Precisione



Partner di progetto

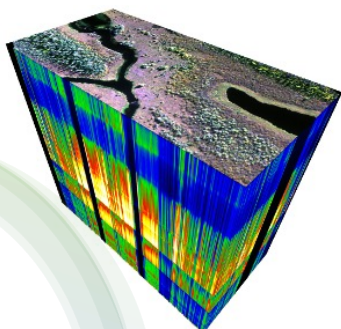
CAIONE

CONCER

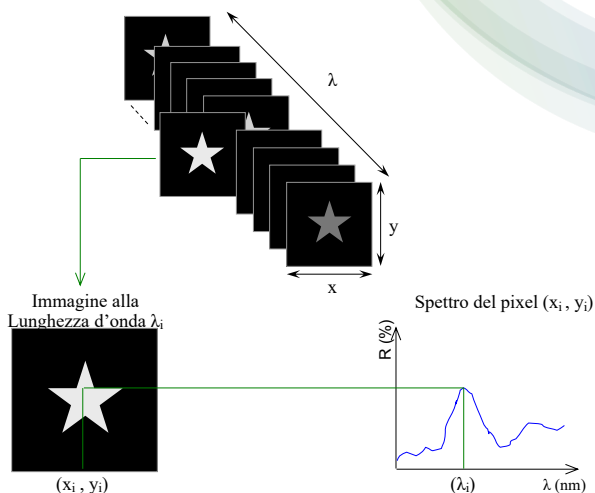
crea

Principi fisici e tecnologici del telerilevamento

IMMAGINE IPERSPETTRALE: L'IPERCUBO



http://hyperspectral.alaska.edu/news_updates.html



Progetto realizzato con finanziamento della Regione Puglia - Legge regionale n. 55/2008 Avviso pubblico per la promozione di Progetti pilota per la promozione e lo sviluppo dell'Agrocoltura di Precisione



Partner di progetto
CAIONE CONCER
crea

Principi fisici e tecnologici del telerilevamento

IL TELERILEVAMENTO NEL DOMINIO OTTICO

OSSERVAZIONE DELLA FLUORESCENZA

La fluorescenza si verifica quando la radiazione elettromagnetica viene assorbita dalle molecole del materiale e riemessa ad una lunghezza d'onda più alta.

Lo spostamento di lunghezza d'onda determina una riduzione di energia, quindi la fluorescenza può essere mascherata dalla riflettanza (ha energia maggiore).

La rilevazione della fluorescenza può essere eseguita con l'uso di sistemi attivi, tramite l'invio di luce laser che stimola il sistema fotosintetico delle foglie costringendole all'emissione di bande caratteristiche.



Progetto realizzato con finanziamento della Regione Puglia - Legge regionale n. 55/2008 Avviso pubblico per la promozione di Progetti pilota per la promozione e lo sviluppo dell'Agrocoltura di Precisione



Partner di progetto
CAIONE CONCER
crea

Principi fisici e tecnologici del telerilevamento

IL TELERILEVAMENTO NEL DOMINIO OTTICO

OSSERVAZIONE DELLA FLUORESCENZA

I sistemi passivi utilizzano la fluorescenza indotta dalla luce solare (Solar Induced Fluorescence).

Questi sistemi sfruttano l'osservazione di bande ai bordi delle lunghezze d'onda 687 e 760.4 nm. In questa banda la radiazione solare che arriva al suolo è attenuata dall'ossigeno presente nell'atmosfera. Di conseguenza la radianza che colpisce le foglie in questo intervallo è ridotto di circa il 90%. Le due bande sono chiamate Bande di Fraunhofer.

Tecniche di rilevazione avanzate sono in grado di rilevare l'entità della fluorescenza, sfruttando i vuoti dati dalle bande di Fraunhofer, per la rilevazione della produttività e degli stress delle colture.

Importanti sviluppo di queste tecniche saranno dati dal lancio del satellite FLEX dell'Agenzia Spaziale Europea (ESA), che avverrà nel 2024.



Progetto realizzato con finanziamento della Regione Puglia - Legge regionale n. 55/2008 Avviso pubblico per la promozione di Progetti pilota per la promozione e lo sviluppo dell'Agrocoltura di Precisione



Partner di progetto



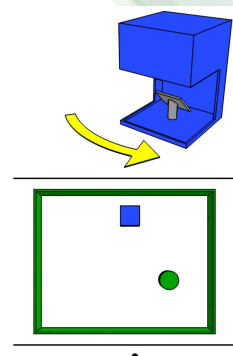
Principi fisici e tecnologici del telerilevamento

IL TELERILEVAMENTO NEL DOMINIO OTTICO

IL LIDAR

Il LIDAR è un sistema di telerilevamento attivo nel dominio ottico. Il sensore invia impulsi laser verso il bersaglio e rileva l'impulso riflesso, tramite un detector.

Per le sue caratteristiche, il LIDAR è in grado di rilevare le coordinate tri-dimensionali del bersaglio.



Progetto realizzato con finanziamento della Regione Puglia - Legge regionale n. 55/2008 Avviso pubblico per la promozione di Progetti pilota per la promozione e lo sviluppo dell'Agrocoltura di Precisione



Partner di progetto



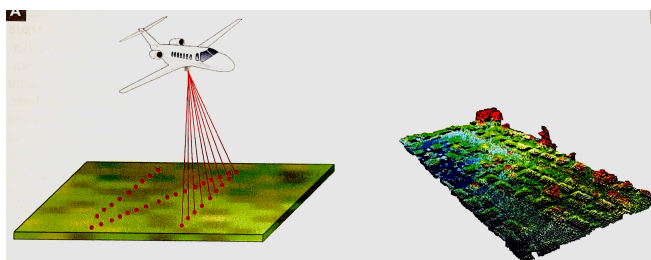
Principi fisici e tecnologici del telerilevamento

IL TELERILEVAMENTO NEL DOMINIO OTTICO

II LIDAR

La rilevazione della forma degli oggetti avviene mediante il calcolo del tempo che il raggio laser impiega a ritornare al sensore, rapportata alla velocità della luce (nota).

la geolocalizzazione del sensore nello spazio consente quindi di ricavare le coordinate dei punti rilevati dal sensore. Dunque, è possibile tracciare una mappa tridimensionale della vegetazione.



Progetto realizzato con finanziamento della Regione Puglia - Legge regionale n. 55/2008 Avviso pubblico per la promozione di Progetti pilota per la promozione e lo sviluppo dell'Agricoltura di Precisione



Partner di progetto



Principi fisici e tecnologici del telerilevamento

IL TELERILEVAMENTO NEL DOMINIO OTTICO

II LIDAR: TIPOLOGIE

LIDAR full waveform: permette una scansione multi-punto, in modo da aumentare il dettaglio della ricostruzione delle superfici.

LIDAR iperspettrale: sensori che sono in grado di rilevare un ampio spettro di riflettanza per ciascun punto rilevato. In questo modo, è possibile rilevare caratteristiche del suolo o della vegetazione che corrispondono a specifiche bande dello spettro elettromagnetico (es. concentrazione di azoto).

i sensori LIDAR sono installati principalmente su piattaforme aeree o droni.



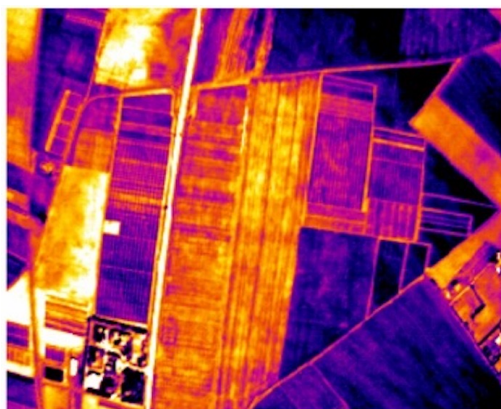
Progetto realizzato con finanziamento della Regione Puglia - Legge regionale n. 55/2008 Avviso pubblico per la promozione di Progetti pilota per la promozione e lo sviluppo dell'Agricoltura di Precisione



Partner di progetto



Il telerilevamento nel dominio dell'infrarosso termico



Progetto realizzato con finanziamento della Regione Puglia - Legge regionale n. 55/2008 Avviso pubblico per la promozione di Progetti pilota per la promozione e lo sviluppo dell'Agricoltura di Precisione

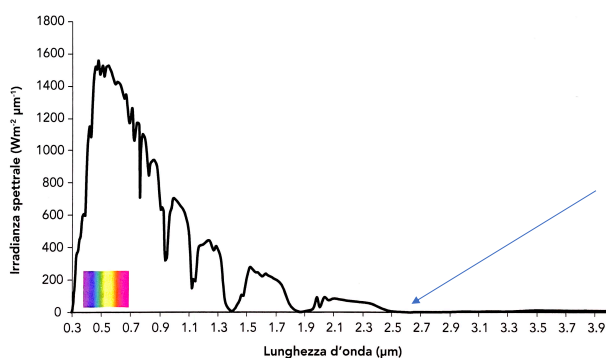


Partner di progetto



Principi fisici e tecnologici del telerilevamento

IL TELERILEVAMENTO NELL'INFRAROSSO TERMICO



Radianza al suolo della luce solare dopo attenuazione dovuta all'atmosfera

I telerilevamenti nell'infrarosso avvengono nella banda spettrale compresa tra 7 e 15 μm (7.000-15.000 nm)

Tale radiazione ha una bassa radianza da parte della luce solare, infatti la radiazione solare diminuisce vertiginosamente già a partire dai 2.500 nm .

Data questa evidenza, prevalgono i fenomeni di EMISSIONE di radiazione elettromagnetica dai corpi presenti sulla superficie terrestre.



Progetto realizzato con finanziamento della Regione Puglia - Legge regionale n. 55/2008 Avviso pubblico per la promozione di Progetti pilota per la promozione e lo sviluppo dell'Agricoltura di Precisione



Partner di progetto



Principi fisici e tecnologici del telerilevamento

IL TELERILEVAMENTO NELL'INFRAROSSO TERMICO

La legge fisica che governa l'emissione di radiazione elettromagnetica dai corpi è la legge di Stefan-Boltzmann:

$$E = \epsilon \sigma T^4$$

E = flusso di radiazione emessa dal corpo ($W m^{-2}$)

ϵ = emissività (Intervallo 0.1-1)

σ = costante di Stefan-Boltzmann

A parità di emissività, maggiore è la temperatura del corpo, più alta sarà l'emissione di radiazione elettromagnetica.



Progetto realizzato con finanziamento della Regione Puglia - Legge regionale n. 54/2008 Avviso pubblico per la promozione di Progetti pilota per la promozione e lo sviluppo dell'Agricoltura di Precisione



Partner di progetto



Principi fisici e tecnologici del telerilevamento

IL TELERILEVAMENTO NELL'INFRAROSSO TERMICO

La temperatura rilevata dei corpi dipende fortemente da due fattori: «emissività» e «temperatura riflessa».

L'emissività della vegetazione e del suolo varia tra 0.92 e 0.99, a seconda della composizione dei tessuti vegetali e del suolo.

La temperatura riflessa è data dalla quota di radiazione dell'infrarosso termico emessa dall'atmosfera (seppur modesta).

La quantità di energia che arriva ai sensori è molto inferiore a quella osservata nello spettro visibile. Per avere un buon segnale termico bisogna amplificare il segnale utilizzando un GIFOV maggiore. Motivo per il quale i sensori delle termocamere hanno risoluzione spaziale inferiore ai sensori utilizzati per lo spettro visibile.



Progetto realizzato con finanziamento della Regione Puglia - Legge regionale n. 54/2008 Avviso pubblico per la promozione di Progetti pilota per la promozione e lo sviluppo dell'Agricoltura di Precisione



Partner di progetto





Il telerilevamento nel dominio delle microonde



Progetto realizzato con finanziamento della Regione Puglia - Legge regionale n. 55/2008 Avviso pubblico per la promozione di Progetti pilota per la promozione e lo sviluppo dell'Agrocoltura di Precisione



Partner di progetto



Principi fisici e tecnologici del telerilevamento

IL TELERILEVAMENTO NEL DOMINIO DELLE MICROONDE

I dati telerilevati nel dominio delle microonde hanno bisogno di una elaborazione diversa rispetto a quelli rilevati nella banda ottica, NIR e TIR.

I sensori utilizzati sono tutti di tipo attivo

La rilevazione avviene tramite RADAR (Radio Detection and Ranging), sensori attivi che inviano energia elettromagnetica al suolo

Le microonde non subiscono interferenze da parte dell'atmosfera. L'osservazione non risente neanche della presenza o assenza di luce solare.

L'unica interferenza può essere determinata dalla pioggia intensa, dove le gocce d'acqua assumano dimensione pari alla lunghezza d'onda delle microonde



Progetto realizzato con finanziamento della Regione Puglia - Legge regionale n. 55/2008 Avviso pubblico per la promozione di Progetti pilota per la promozione e lo sviluppo dell'Agrocoltura di Precisione



Partner di progetto



Principi fisici e tecnologici del telerilevamento

IL TELERILEVAMENTO NEL DOMINIO DELLE MICROONDE

Nome della banda	Frequenza (GHz)	Lunghezza d'onda (cm)	Utilizzi
P	0.3 - 1	30 - 100	Stima della biomassa forestale (satellite ESA Biomass)
L	1 - 2	15 - 30	Penetra nelle colture e nei suoli
S	2 - 4	7.5 - 15	Utile per rilevare la pioggia in atto
C	4 - 8	3.8 - 7.5	Monitoraggio dell'umidità del suolo a 2-3 cm; info sulla biomassa delle colture
X	8 - 12.5	2.4 - 3.8	Info sulla geometria delle colture (rugosità)
Ku	12.5 - 18	1.7 - 2.4	Sensibile alla pioggia; interagisce con la superficie delle colture; rileva rugosità - fenologia
K	18 - 26.5	1.1 - 2.7	Sensibili alle superfici delle foreste; forte attenuazione in atmosfera
Ka	26.5 - 40	0.75 - 1.1	Fortemente assorbita dall'acqua, utile per monitoraggio acqua nelle foglie.



Progetto realizzato con finanziamento della Regione Puglia - Legge regionale n. 54/2008 Avviso pubblico per la promozione di progetti pilota per la promozione e lo sviluppo dell'agricoltura di Precisione



Partner di progetto



Principi fisici e tecnologici del telerilevamento

IL TELERILEVAMENTO NEL DOMINIO DELLE MICROONDE

Come avviene la rilevazione del segnale inviato dal satellite / areomobile:

Il RADAR è composto da un trasmettitore, un ricevitore ed un'antenna, connessi ad un sistema di elaborazione dati.

Trasmettitore: genera delle radiazioni elettromagnetiche pulsate, lateralmente alla direzione di avanzamento.

Antenna: focalizza le pulsazioni delle radiazioni elettromagnetiche in un raggio d'azione

Antenna: focalizza le pulsazioni delle radiazioni elettromagnetiche in un raggio d'azione e riceve la radiazione riflessa dagli oggetti che si trovano nel cono d'illuminazione. Il segnale di ritorno è detto **backscattering**



Progetto realizzato con finanziamento della Regione Puglia - Legge regionale n. 54/2008 Avviso pubblico per la promozione di progetti pilota per la promozione e lo sviluppo dell'agricoltura di Precisione

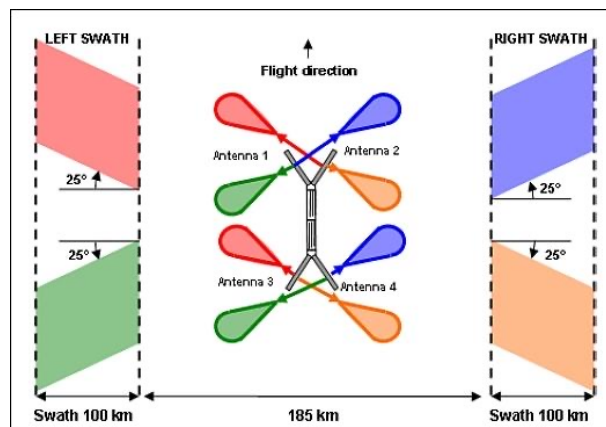


Partner di progetto



Principi fisici e tecnologici del telerilevamento

IL TELERILEVAMENTO NEL DOMINIO DELLE MICROONDE



<https://directory.eoportal.org/web/eoportal/airborne-sensors/wavemill>



Progetto realizzato con finanziamento della Regione Puglia - Legge regionale n. 55/2008 "Avviso pubblico per la presentazione di progetti pilota per la promozione e lo sviluppo dell'agricoltura di Precisione"



Partner di progetto



Principi fisici e tecnologici del telerilevamento

IL TELERILEVAMENTO NEL DOMINIO DELLE MICROONDE

backscattering: rapporto tra la potenza d'onda di ritorno al sensore e la potenza d'onda emessa dal sensore (misurato in dB)

La risoluzione spaziale nella direzione di avanzamento, del satellite o dell'aeromobile, è detta **azimut** e dipende dalla lunghezza dell'antenna.

Non potendo superare lunghezze dell'antenna superiori ad alcuni metri, si utilizzano antenne virtuali denominate **SAR** (Synthetic Aperture Radar). Le SAR sfruttano acquisizioni in successione moltiplicando i passaggi su ogni zona. Questo migliora di molto la risoluzione spaziale.



Progetto realizzato con finanziamento della Regione Puglia - Legge regionale n. 55/2008 "Avviso pubblico per la presentazione di progetti pilota per la promozione e lo sviluppo dell'agricoltura di Precisione"



Partner di progetto



Principi fisici e tecnologici del telerilevamento

IL TELERILEVAMENTO NEL DOMINIO DELLE MICROONDE

EFFETTO DELLA BANDA UTILIZZATA

Le bande delle microonde (come da tabella precedente) influenza la risoluzione dell'immagine rilevata. Porzioni di terreno ad esempio, possono apparire lisce se acquisite con la banda P (lunghezza d'onda 30-100 cm) o rugose se acquisite con la banda X (lunghezza d'onda di 3 cm).



Progetto realizzato con finanziamento della Regione Puglia - Legge regionale n. 55/2018 Avviso pubblico per la presentazione di progetti pilota per la promozione e lo sviluppo dell'agricoltura di Precisione



Partner di progetto



Piattaforme satellitari utilizzate per l'AdP



Progetto realizzato con finanziamento della Regione Puglia - Legge regionale n. 55/2018 Avviso pubblico per la presentazione di progetti pilota per la promozione e lo sviluppo dell'agricoltura di Precisione



Partner di progetto



Piattaforme satellitari utilizzate per l'AdP

Sistemi satellitari in uso per le applicazioni in AdP:

<https://directory.eoportal.org/web/eoportal/airborne-sensors>

In generale, le applicazioni in agricoltura richiedono alta risoluzione (<20m) e alta frequenza di acquisizione (tempo di rivisitazione) in modo da eseguire il monitoraggio delle colture durante il ciclo colturale.

I dati satellitari possono essere forniti da «costellazioni», ovvero serie di satelliti dello stesso tipo che orbita intorno al globo.



Progetto realizzato con finanziamento della Regione Puglia - Legge regionale n. 55/2018 "Avviso pubblico per la presentazione di progetti pilota per la promozione e lo sviluppo dell'agricoltura di Precisione"



Partner di progetto



Piattaforme satellitari utilizzate per l'AdP

I segnali provenienti dai satelliti possono essere di varie categorie, a seconda del livello di correzione che hanno subito:

classe L0: dati grezzi

classe L1: dati con correzione radiometrica

classe L1A: + correzione geometrica

classe L1B: + orto-rettifica

classe L2: + correzione atmosferica

classe L3 e successive: dati con alto livello di servizio (es. elaborazione per scopi specifici, come indici di vegetazione, mappe di umidità, ecc,)



Progetto realizzato con finanziamento della Regione Puglia - Legge regionale n. 55/2018 "Avviso pubblico per la presentazione di progetti pilota per la promozione e lo sviluppo dell'agricoltura di Precisione"



Partner di progetto

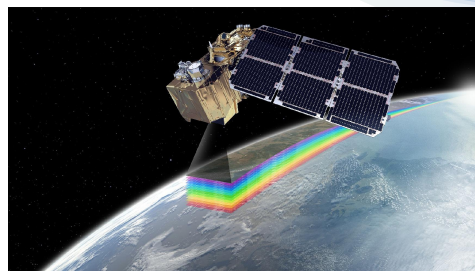


Piattaforme satellitari utilizzate per l'AdP

Principali satelliti utilizzati per le applicazioni di AdP

SENTINEL - 2

- Fa parte della missione ESA.
- Imaging iperspettrale a 12 bande,
- Swath = 290 km
- Risoluzione variabile tra 10 e 60 m, in dipendenza del sensore impiegato (grafico seguente)



Progetto realizzato con finanziamento della Regione Puglia - Legge regionale n. 55/2008 "Avviso pubblico per la presentazione di progetti pilota per la promozione e lo sviluppo dell'agricoltura di Precisione"



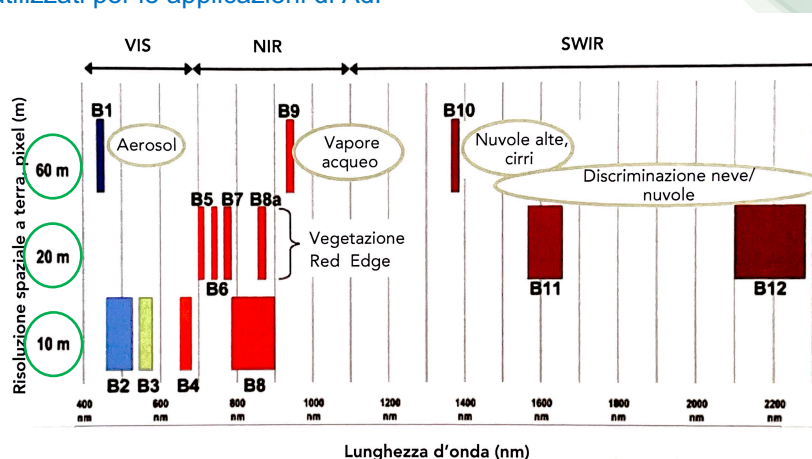
Partner di progetto



Piattaforme satellitari utilizzate per l'AdP

Principali satelliti utilizzati per le applicazioni di AdP

SENTINEL - 2



Progetto realizzato con finanziamento della Regione Puglia - Legge regionale n. 55/2008 "Avviso pubblico per la presentazione di progetti pilota per la promozione e lo sviluppo dell'agricoltura di Precisione"



Partner di progetto



Piattaforme satellitari utilizzate per l'AdP

Principali satelliti utilizzati per le applicazioni di AdP

SENTINEL - 2

La missione Sentinel-2 comprende due satelliti identici in modo da dimezzare il tempo di rivisitazione (5 giorni all'equatore)

I dati del Sentinel-2 sono gratuiti, scaricabili dopo registrazione al sito ESA:
<https://sentinel.esa.int/web/sentinel/sentinel-data-access>



Progetto realizzato con finanziamento della Regione Puglia - Legge regionale n. 55/2019
 Avviso pubblico per la presentazione di progetti pilota per la promozione e lo sviluppo dell'agricoltura di Precisione



Partner di progetto



Piattaforme satellitari utilizzate per l'AdP

Principali satelliti utilizzati per le applicazioni di AdP

SPOT e Pléiades

Due piattaforme satellitari facenti parte della missione dell'agenzia spaziale francese CNES e della società Airbus Defence & Space.

Utilizzano sensori multispettrali, con risoluzione spaziale di 6 m (SPOT) e 2 m (Pléiades) e 4 bande: 3 nel visibile (bande RGB) e una nel NIR.

Tempo di rivisita: GIORNALIERO

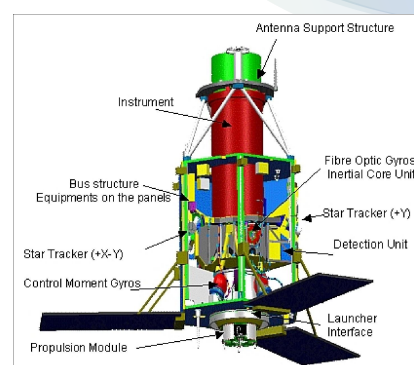
Dati di livello L1B, a pagamento.



Progetto realizzato con finanziamento della Regione Puglia - Legge regionale n. 55/2019
 Avviso pubblico per la presentazione di progetti pilota per la promozione e lo sviluppo dell'agricoltura di Precisione



Partner di progetto



Piattaforme satellitari utilizzate per l'AdP

Principali satelliti utilizzati per le applicazioni di AdP

Formosat-2

Programma dell'agenzia spaziale di Taiwan, ma costruito e gestito da Airbus Defence and Space

Tempo di rivisita giornaliero con la stessa configurazione di acquisizione (angolo di osservazione), caratteristica utile per il monitoraggio dell'andamento delle colture.

Sensore multispettrale con risoluzione di 8 m con 4 bande: RGB + NIR.

Prodotto corretto radiometricamente e Immagini a pagamento (3 €/km² per le immagini d'archivio e 5 €/km² per nuove acquisizioni su richiesta.



Progetto realizzato con finanziamento della Regione Puglia - Legge regionale n. 55/2018 "Avviso pubblico per la presentazione di progetti pilota per la promozione e lo sviluppo dell'agricoltura di Precisione"



Partner di progetto



Piattaforme satellitari utilizzate per l'AdP

Principali satelliti utilizzati per le applicazioni di AdP

RapidEye

Programma gestito dalla società tedesca BlackBridge, comprende una costellazione di 5 satelliti identici con a bordo un sensore multispettrale (RGB + NIR), allineati sulla stessa orbita, in modo da fornire immagini con le medesime caratteristiche spettrali e spaziali con un basso tempo di rivisitazione

Le immagini RapidEye si caratterizzano per una buona qualità ed elevata risoluzione e grazie alla sua capacità di individuare variazioni nel contenuto in clorofilla.

Livelli del segnale: base (Level 1B) ed elaborato (Level 3A) con correzione radiometrica, ortorettifica e georeferenziazione, per aree minime di 500 km² ed un prezzo di circa 1 €/km².



Progetto realizzato con finanziamento della Regione Puglia - Legge regionale n. 55/2018 "Avviso pubblico per la presentazione di progetti pilota per la promozione e lo sviluppo dell'agricoltura di Precisione"



Partner di progetto



Piattaforme satellitari utilizzate per l'AdP

Principali satelliti utilizzati per le applicazioni di AdP

GeoEye-1, World View-2, WorldView-3

Satelliti con **sensori pushbroom multispettrali** ad altissima risoluzione spaziale, gestiti dalla società americana DigitalGlobe

GeoEye-1: risoluzione spaziale di 1,65m, con 4 bande (blu, verde, rosso e NIR).

WorldView-2: risoluzione spaziale di 2 m per le otto bande multispettrali nella regione del VNIR: "coastal" (400-450nm), blu (450-510 nm), verde (510-580 nm), giallo (585-625 nm), rosso (630-690 nm), red edge (705-745 nm), NIR-1 (770-895 nm) e NIR-2 (860-1040nm). La presenza della banda red-edge, delle due bande NIR e l'altissima risoluzione spaziale lo rendono molto adatto alle applicazioni in agricoltura di precisione. la frequenza di rivisitazione è di circa 1 giorno.



Progetto realizzato con finanziamento della Regione Puglia - Legge regionale n. 55/2019 Avviso pubblico per la presentazione di progetti pilota per la promozione e lo sviluppo dell'agricoltura di Precisione



Partner di progetto



Piattaforme satellitari utilizzate per l'AdP

Principali satelliti utilizzati per le applicazioni di AdP

GeoEye-1, World View-2, WorldView-3

WorldView-3: è il satellite attualmente che fornisce la migliore risoluzione spaziale e spettrale, con le stesse di WorldView-2 ad una risoluzione di 1.24 m a cui si aggiungono 8 bande nello SWIR comprese tra 1195 e 2365 nm ad una risoluzione di circa 4 m, e 12 bande appositamente concepite per la correzione atmosferica e per la discriminazione di nuvole e neve, dette CAVIS (Clouds, Aerosols, Vapors, Ice, and Snow), con una risoluzione di 30m. Il satellite ha la possibilità di acquisire immagini con frequenza giornaliera grazie ad un sistema di puntamento.

Le immagini GeoEye-1, WorldView-2 e WorldView-3, per prodotti con correzioni radiometriche, geometriche ed eventualmente ortorettificate, sono fornite a pagamento dai distributori nazionali con dimensioni minime da 100 a 275 km² (a seconda del livello del prodotto) ed hanno attualmente un costo che varia circa da 20 a 70 €/km² a seconda della tipologia di richiesta (archivio o nuove acquisizioni su richiesta).



Progetto realizzato con finanziamento della Regione Puglia - Legge regionale n. 55/2019 Avviso pubblico per la presentazione di progetti pilota per la promozione e lo sviluppo dell'agricoltura di Precisione



Partner di progetto



Grazie per l'attenzione



Progetto realizzato con finanziamento della Regione Puglia - Legge regionale n. 55/2008 Avanzo pubblico per la promozione di Programmi pilota per la promozione e lo sviluppo dell'Agricoltura di Precisione



Partner di progetto

