

# Telerilevamento e agricoltura di precisione

Ing. Ph.D. Serena Artese



## Agroindustria 4.0

Un modello sostenibile per vincere le sfide future





## Telerilevamento – Remote sensing

*Tele* (dal greco: da lontano) e *rilevamento* sinonimo di osservazione (qualitativa, quantitativa) → Rilievo da lontano

Disciplina tecnico-scientifica o scienza applicata con finalità diagnostico-investigative che permette di ricavare informazioni, qualitative e quantitative, sull'ambiente e su oggetti posti a distanza senza interconnessione fisica.

# Agroindustria 4.0

Un modello sostenibile per vincere le sfide future



## Scopo

Possibilità di sviluppare sistemi di monitoraggio ambientale per:

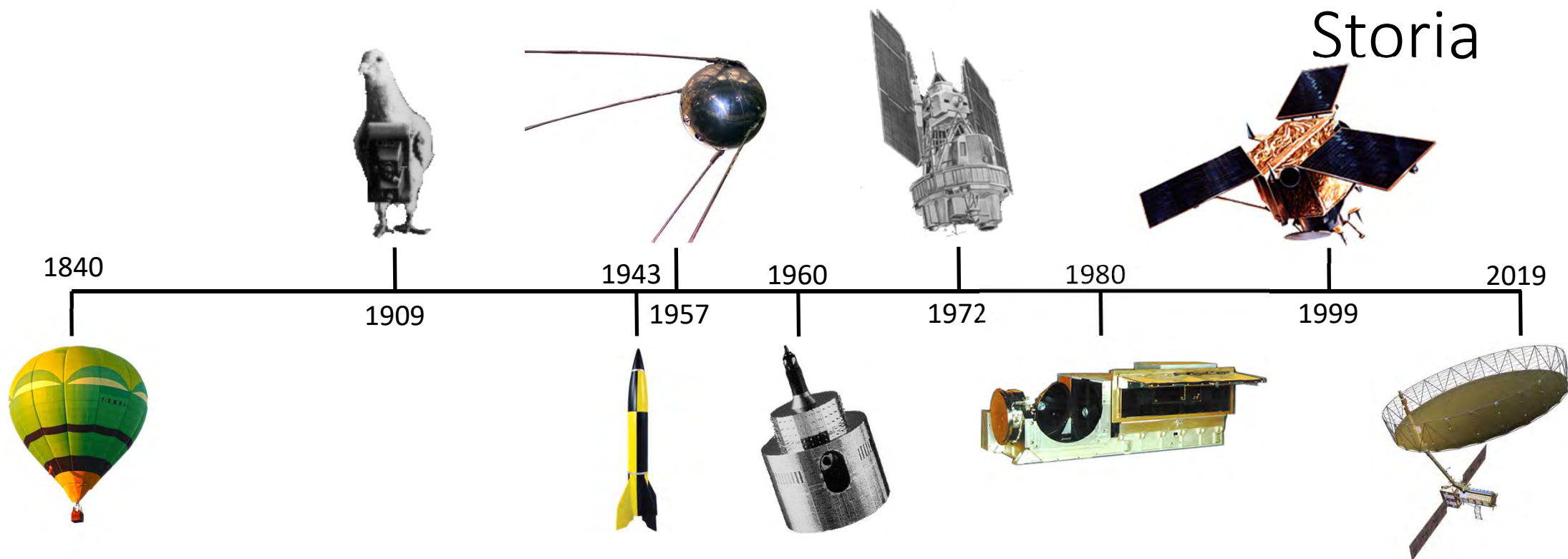
- la difesa dalle calamità naturali;
- l'osservazione dei cambiamenti nell'uso del suolo;
- la ricerca e la protezione delle risorse naturali;
- il tracciamento delle interazioni tra biosfera, atmosfera, idrosfera e geosfera.

# Agroindustria 4.0

Un modello sostenibile per vincere le sfide future



## Storia



 **Iniziativa finanziata dal FEASR**  
(Fondo Europeo Agricolo per lo Sviluppo Rurale)

Programma di Sviluppo Rurale 2014/2020  
Regione Calabria  
Misura 1 - Trasferimento di conoscenze e azioni di informazione  
Intervento 1.2.1 "Sostegno per progetti dimostrativi e azioni di informazione"





# Agroindustria 4.0

Un modello sostenibile per vincere le sfide future



## Principi fisici

L'acquisizione dei dati territoriali avviene per mezzo di **sensori** posti sui vettori e si basa sulla proprietà delle superfici e degli oggetti di riflettere onde elettromagnetiche provenienti da una fonte naturale (sole) o artificiale (antenna emittente) nei campi del *visibile*, dell'*infrarosso* e delle *microonde*.

# Agroindustria 4.0

Un modello sostenibile per vincere le sfide future



L'energia elettromagnetica viene emessa da tutti i corpi con temperatura superiore allo zero assoluto (0° Kelvin).

Le radiazioni elettromagnetiche sono funzione delle caratteristiche chimiche e geometriche e della temperatura della superficie del corpo, che ne determinano anche il colore esterno.

La radiazione elettromagnetica (luce riflessa) viene registrata dall'occhio, o da uno strumento di ripresa, e processata per ricavare informazioni sulla superficie dell'oggetto.

# Agroindustria 4.0

Un modello sostenibile per vincere le sfide future



$E_i$  = energia incidente sulla superficie S

$E_r$  = energia riflessa dalla superficie S

$E_a$  = energia assorbita dalla superficie S

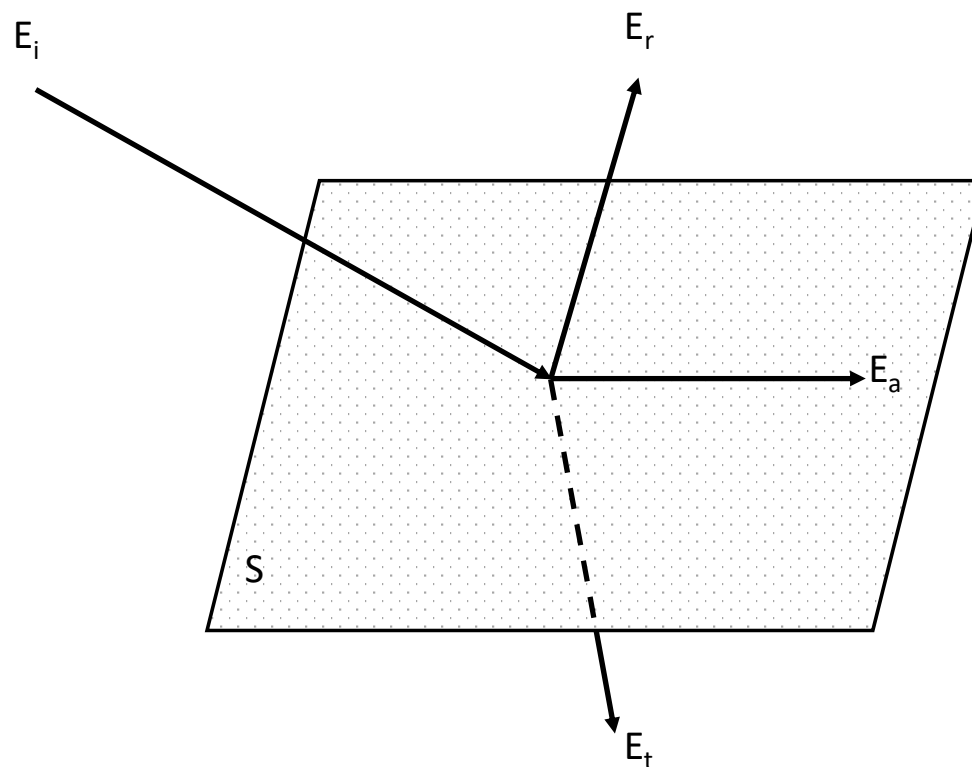
$E_t$  = energia trasmessa dalla superficie S

$$\alpha = \frac{E_r}{E_i} = \text{coefficiente di riflessione}$$

$$\rho = \frac{E_a}{E_i} = \text{coefficiente di assorbimento}$$

$$\tau = \frac{E_t}{E_i} = \text{coefficiente di trasmissione}$$

$$\rho + \alpha + \tau = 1$$





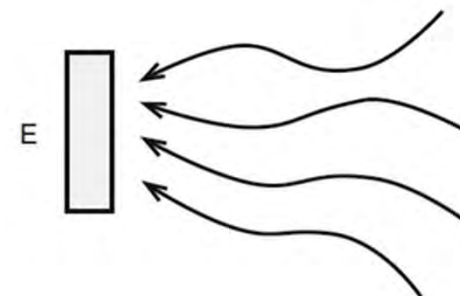
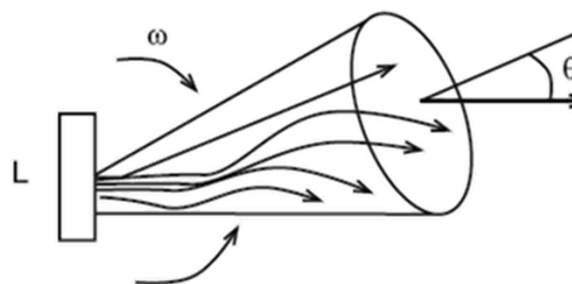
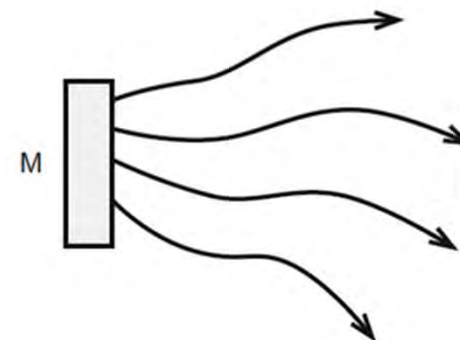
# Agroindustria 4.0

Un modello sostenibile per vincere le sfide future



Grandezze radiometriche:

- Energia radiante  $Q$ ;
- Flusso radiante  $\Phi$ ;
- Exitanza  $M$ ;
- Irradianza  $E$ ;
- Radianza  $L$ .





# Agroindustria 4.0

Un modello sostenibile per vincere le sfide future



 **Iniziativa finanziata dal FEASR**  
(Fondo Europeo Agricolo per lo Sviluppo Rurale)

Programma di Sviluppo Rurale 2014/2020  
Regione Calabria  
Misura 1 - Trasferimento di conoscenze e azioni di informazione  
Intervento 1.2.1 "Sostegno per progetti dimostrativi e azioni di informazione"



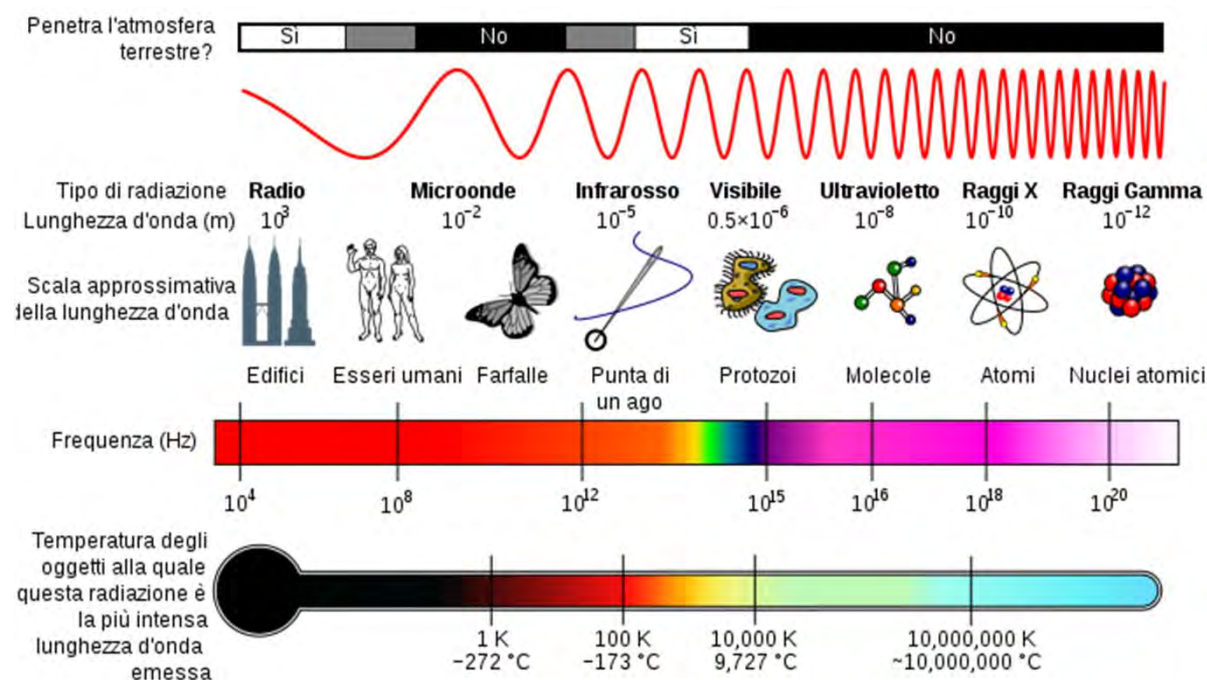
# Agroindustria 4.0

Un modello sostenibile per vincere le sfide future



Lo spettro elettromagnetico (EM) indica l'insieme di tutte le possibili frequenze delle radiazioni elettromagnetiche.

Nel telerilevamento si utilizza dall'ultravioletto all'infrarosso termico o infrarosso lontano.





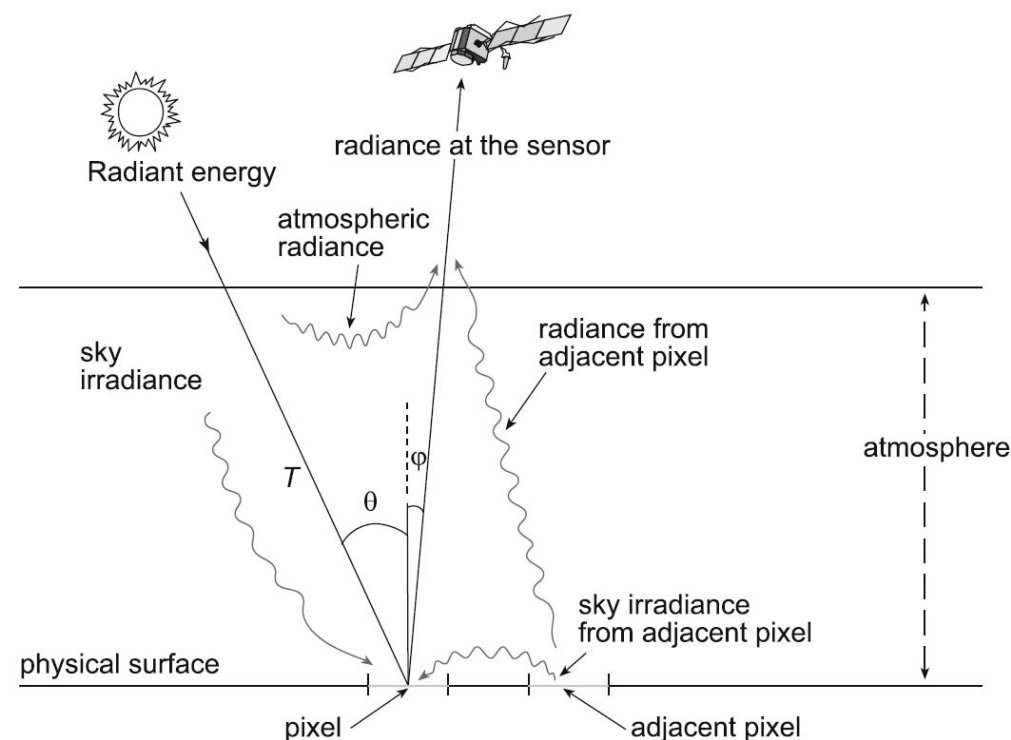
# Agroindustria 4.0

Un modello sostenibile per vincere le sfide future



Dal punto di vista del telerilevamento satellitare, le sorgenti di energia elettromagnetica sono il sole e la terra stessa.

Tale energia viaggia nello spazio fino ad incontrare la Terra; qui viene riflessa, dalla superficie terrestre nelle regioni del visibile e dell'infrarosso vicino, e successivamente percepita dai sensori montati su aereo o satellite.



Fonte

Mario A. Gomasca - Basics of Geomatics

# Agroindustria 4.0

Un modello sostenibile per vincere le sfide future



## Firma spettrale

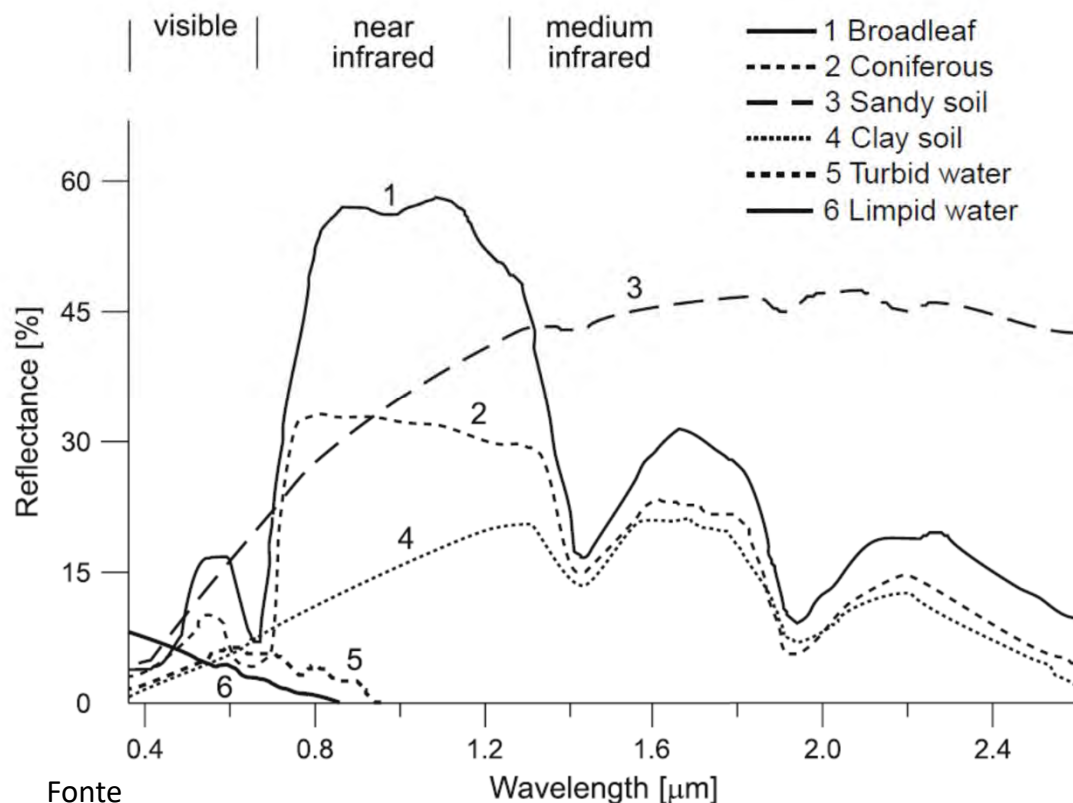
Ogni superficie restituisce, dunque, un'impronta digitale chiamata **firma spettrale**.

Essa ci permette di distinguere una superficie dalle altre superfici o corpi che hanno comportamenti diversi.



# Agroindustria 4.0

Un modello sostenibile per vincere le sfide future



Fonte  
Mario A. Gomasca - Basics of Geomatics

La curva di riflettanza della **vegetazione** varia funzione di molti fattori, tra cui il tipo di vegetazione e la sua densità, lo stadio fenologico, il contenuto di acqua.

La risposta spettrale dell'**acqua** varia con la lunghezza d'onda.

La riflettanza dei **suoli** dipende dalla composizione chimica e fisica, che ne determina il colore superficiale.

# Agroindustria 4.0

Un modello sostenibile per vincere le sfide future



## Sensori

- Acquisiscono informazioni misurando e registrando l'energia elettromagnetica;
- Sono posizionati su piattaforme stabili e lontane dalla superficie che deve essere osservata. Le piattaforme possono essere sul terreno, su un aereo, su drone, su un satellite o su stazioni spaziali.



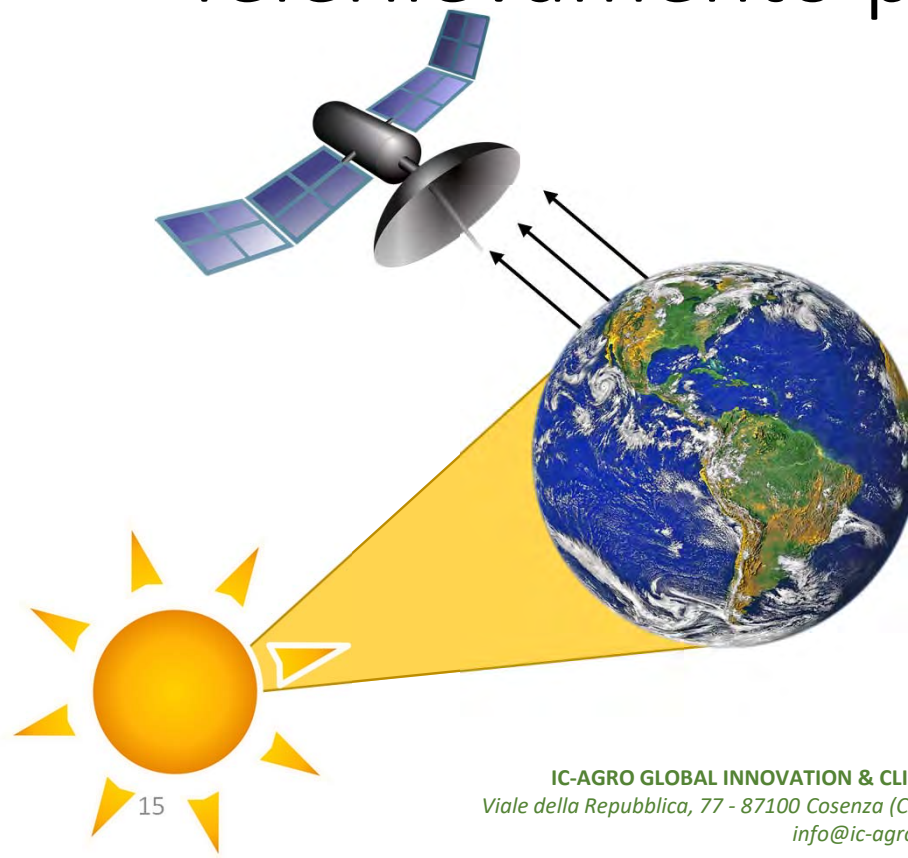
# Agroindustria 4.0

Un modello sostenibile per vincere le sfide future



## Telerilevamento passivo

Viene misurata, tramite il sensore, la radiazione, emessa o riflessa dagli oggetti, naturalmente disponibile.



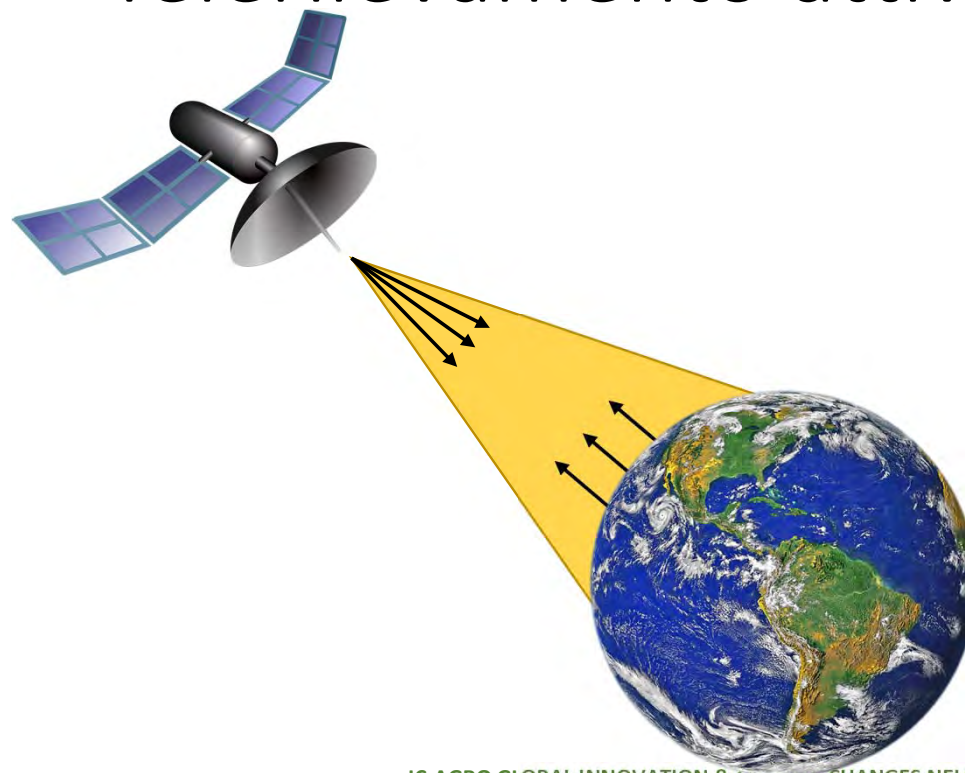
# Agroindustria 4.0

Un modello sostenibile per vincere le sfide future



## Telerilevamento attivo

Il sensore genera una radiazione che illumina l'oggetto che deve essere osservato e misura e registra l'eco della radiazione riflessa dall'oggetto.





# Agroindustria 4.0

Un modello sostenibile per vincere le sfide future

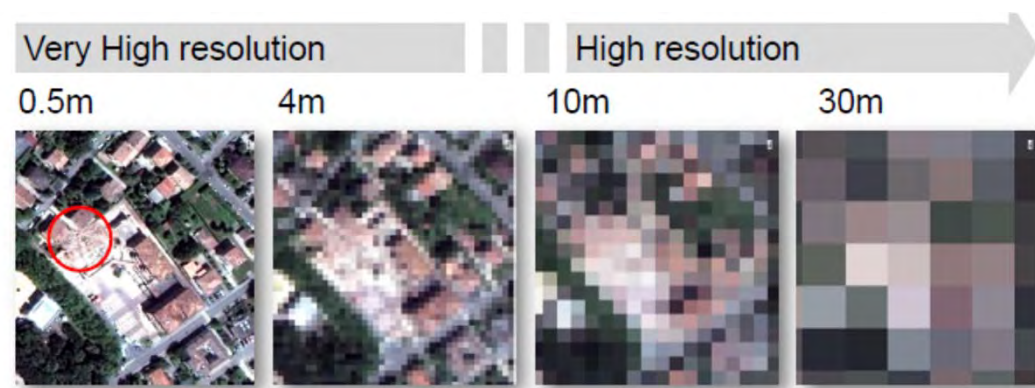


## Risoluzione strumentale

1. *Risoluzione spaziale o geometrica* cioè area minima visibile dallo strumento.

Può essere:

- Alta quando la dimensione del pixel corrisponde a terra a  $0,5 \div 4$  m
- Media quando la dimensione del pixel corrisponde a terra a  $4 \div 30$  m
- Bassa quando la dimensione del pixel corrisponde a terra a più di 30 m



Fonte

[https://emergency.copernicus.eu/mapping/sites/default/files/files/EMS\\_RSbases\\_poster\\_A0.pdf](https://emergency.copernicus.eu/mapping/sites/default/files/files/EMS_RSbases_poster_A0.pdf)



## Risoluzione strumentale

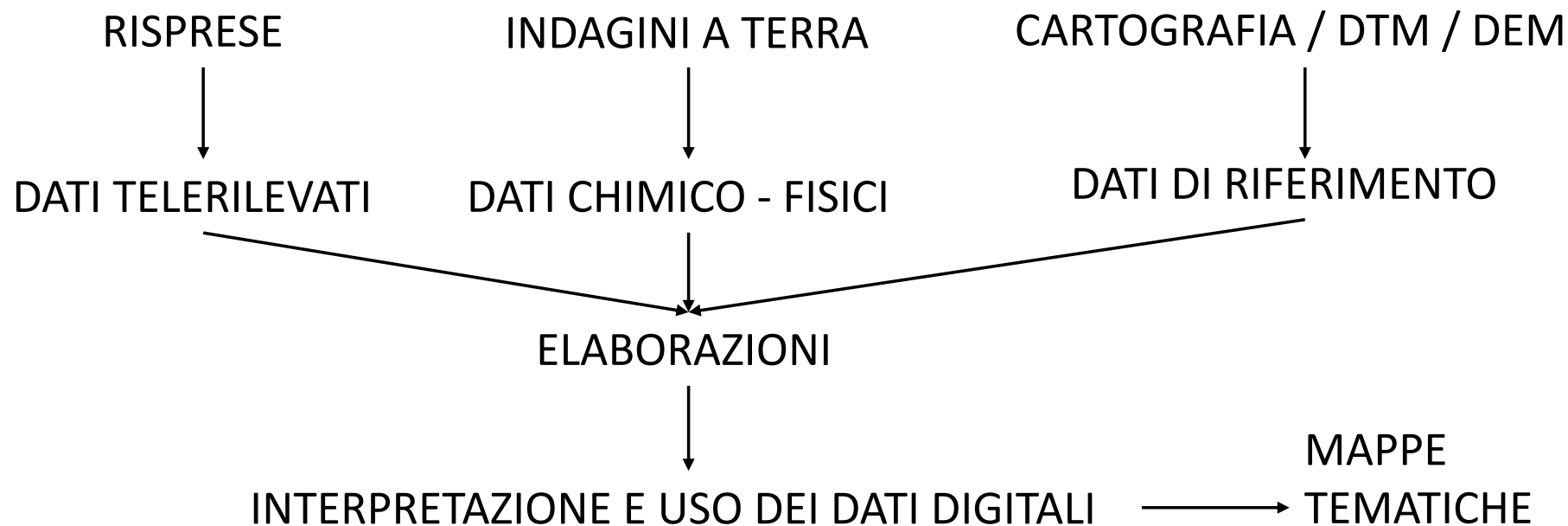
2. *Risoluzione spettrale*: indica il numero di bande di acquisizione e la loro ampiezza. A seconda della banda la ripresa si definisce:
  - Pancromatica: il sensore opera nelle bande dell'ultravioletto, del visibile e dell'infrarosso vicino;
  - Multispettrale: il sensore opera nelle bande del visibile, dell'infrarosso vicino e di quello medio;
  - Termica: quando vengono registrate le radiazioni comprese nella banda dell'infrarosso termico.
3. *Risoluzione radiometrica*: sensibilità del rivelatore di un certo sensore nel percepire e codificare in segnale le differenze di flusso radiante riflesso o emesso dalle superfici analizzate.
4. *Risoluzione temporale*: periodo di tempo che intercorre tra due riprese successive di una stessa area.

# Agroindustria 4.0

Un modello sostenibile per vincere le sfide future



## Fasi di lavoro



# Agroindustria 4.0

Un modello sostenibile per vincere le sfide future



## Dati telerilevati

Il dato registrato dai sensori viene visualizzato sotto forma di immagine digitale o terne di coordinate (dati numerici), che sottoposta a successivi processi di elaborazione e interpretazione, serve ad estrarre le informazioni sulla superficie in esame.



# Agroindustria 4.0

Un modello sostenibile per vincere le sfide future



## Elaborazioni immagini

Una parte cospicua del lavoro di acquisizione delle informazioni di telerilevamento consiste nell'elaborazione delle stesse in immagini opportune e nella successiva analisi.

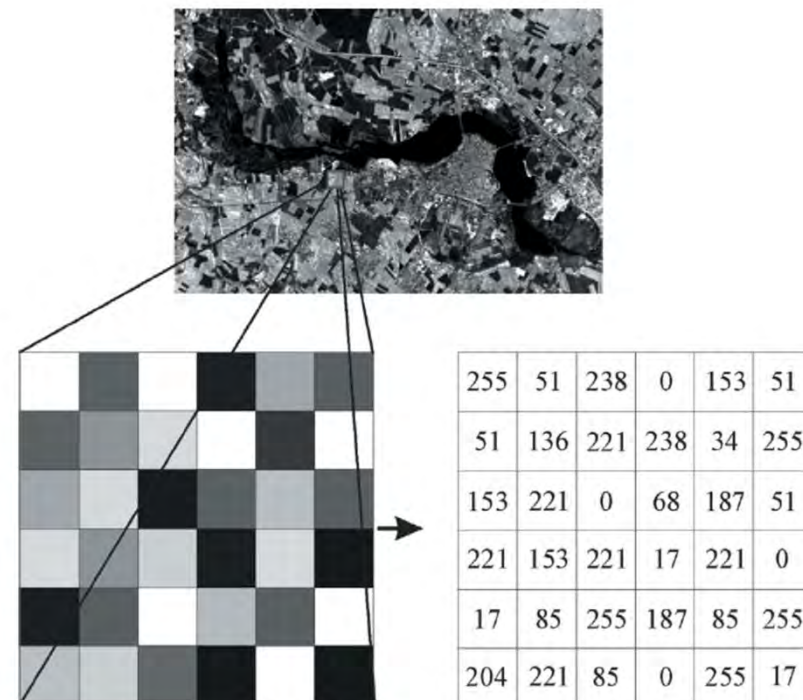
# Agroindustria 4.0

Un modello sostenibile per vincere le sfide future



## Immagini digitali

Le immagini digitali sono un insieme di elementi discreti detti *pixel*, disposti in un grigliato di righe Y e colonne X, a cui è associato un numero intero positivo **DN** (Digital Number), compreso tra 0 e 255, che rappresenta la radianza media misurata per ciascuna cella elementare di risoluzione al suolo (GSD).



[http://dipsa.unibo.it/catgis/pdf/Vol\\_3\\_3.pdf](http://dipsa.unibo.it/catgis/pdf/Vol_3_3.pdf)

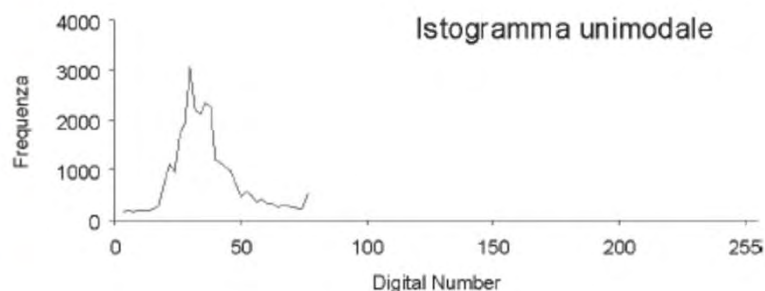
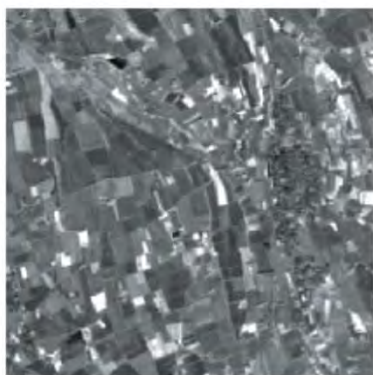
# Agroindustria 4.0

Un modello sostenibile per vincere le sfide future



## Immagini digitali

È possibile ottenere la distribuzione di frequenza dei DN dell'immagine sotto forma di istogramma, sia globalmente sia per arbitrari profili di riga Y e colonna X, con relativi parametri statistici di media, varianza, deviazione standard, moda, mediana.



Fonte

[http://dipsa.unibo.it/catgis/pdf/Vol\\_3\\_3.pdf](http://dipsa.unibo.it/catgis/pdf/Vol_3_3.pdf)



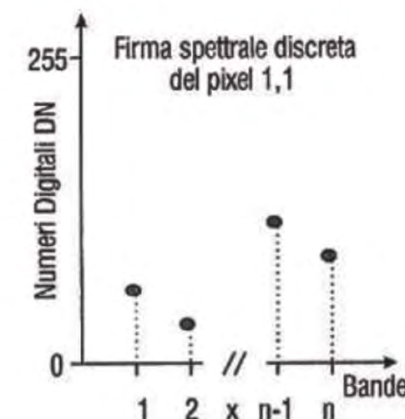
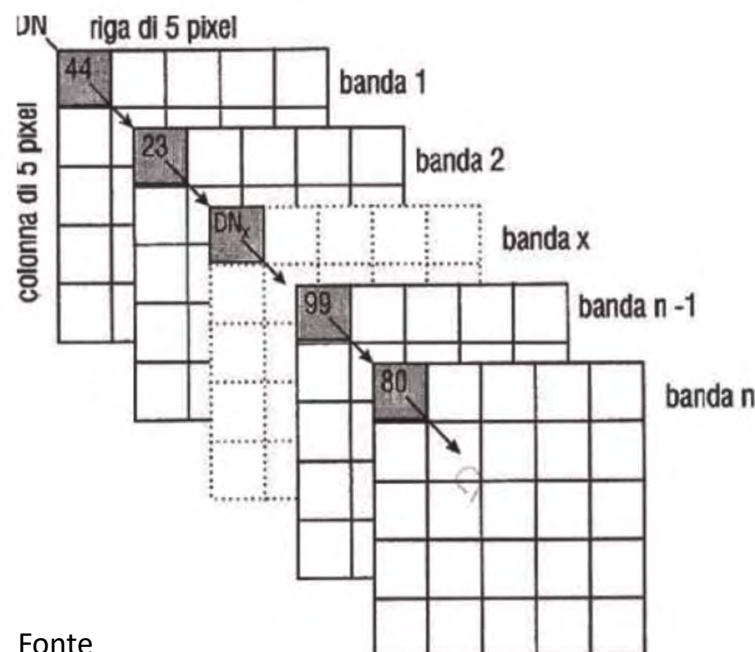
# Agroindustria 4.0

Un modello sostenibile per vincere le sfide future



## Immagini multispettrali

Ogni pixel è caratterizzato da tanti valori di DN quante sono le bande che compongono l'immagine e dalle sue coordinate immagine, cioè dalla sua posizione (Riga e Colonna) nella matrice - immagine



Fonte  
Mario A. Gomarasca - Basics of Geomatics

# Agroindustria 4.0

Un modello sostenibile per vincere le sfide future



## Bande di acquisizione

- BLU(0.45 –0.52 nm): aree costiere e degli ambienti marini; processi di correzione atmosferica; analisi sulla vegetazione
- VERDE(0.52 –0.60nm): stato di salute delle piante; vigore della pianta
- ROSSO(0.63 –0.69 nm): analisi della vegetazione; individuazione strade, terreno nudo e caratteristiche geologiche
- INFRAROSSO VICINO (0.76 –0.90  $\mu\text{m}$ ): analisi quantitative di umidità e biomassa vegetale; classificazione vegetazione e tipi di suoli; individuazione di confini tra corpi d'acqua e vegetazione
- INFRAROSSO AD ONDE CORTE (1.55 –2.35  $\mu\text{m}$ ):analisi della salute della vegetazione (è sensibile al contenuto di acqua nella pianta).
- INFRAROSSO TERMICO ( 8.0-14.0  $\mu\text{m}$ ): indagini termografiche, mappatura formazioni geologiche e confini del terreno, processi di dispersione di inquinanti, rilevazione discariche.

# Agroindustria 4.0

Un modello sostenibile per vincere le sfide future



## Errori di acquisizione dei dati

- Errori sistematici:
  - Rotazione della terra
  - Curvatura della terra
  - Distorsione panoramica
  - Variazione di altezza rispetto all'ellissoide di riferimento
- Errori accidentali:
  - Rifrazione atmosferica
  - Variazioni di assetto del vettore
  - Variazioni di velocità del vettore
- Errori strumentali:
  - Variazione di velocità dello specchio di scansione
  - Diversa velocità di scansione lungo la linea



# Agroindustria 4.0

Un modello sostenibile per vincere le sfide future



## Correzioni geometriche

Servono ad eliminare deformazioni dovute al sistema di ripresa. Sono indispensabili per la registrazione e mosaicatura di più immagini.

## Georeferenziazione

Occorre individuare dei punti di riferimento sull'immagine che corrispondono a specifici elementi al suolo per i quali sono note le coordinate geografiche (GCP Ground Control Points).

## Correzioni per la calibrazione del sensore

- Calibrazione radiometrica
- Equalizzazione del sensore
- Ripristino di linee e pixel saltati
- Correzione atmosferica

# Agroindustria 4.0

Un modello sostenibile per vincere le sfide future



## Tecniche di enfattizzazione

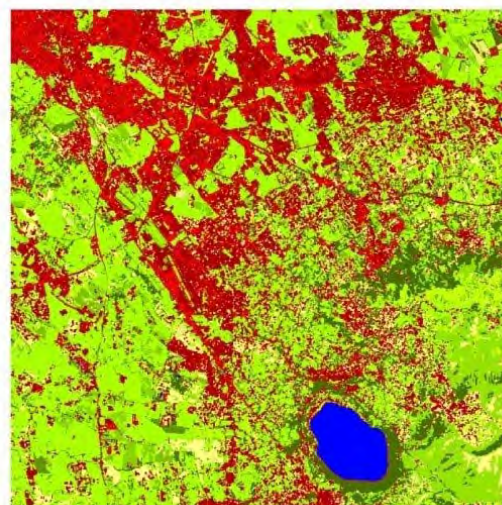
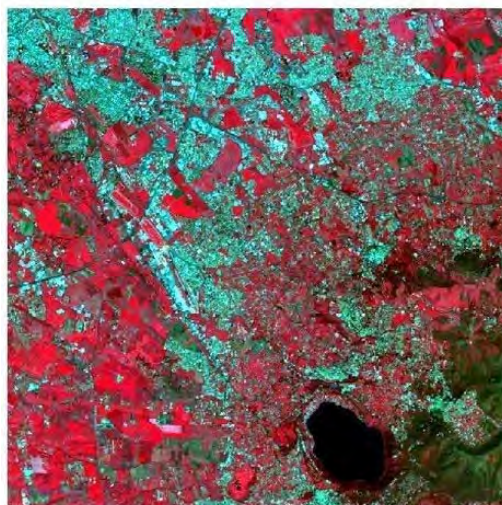
Non tutte le bande acquisite ricadono nel campo delle lunghezze d'onda visibili dall'occhio umano.

Le immagini richiedono, perciò, un certo numero di operazioni (processamento) per poter fornire informazioni fruibili.



# Agroindustria 4.0

Un modello sostenibile per vincere le sfide future



## Colori

Fonte

[https://semiautomaticclassificationmanual-v5.readthedocs.io/it/latest/remote\\_sensing.html](https://semiautomaticclassificationmanual-v5.readthedocs.io/it/latest/remote_sensing.html)

1. Immagine a colori veri
2. Immagine in falsi colori
3. Immagini in colori pseudo - naturali



# Agroindustria 4.0

Un modello sostenibile per vincere le sfide future



NASA | Peeling Back Landsat's Layers of Data  
[https://www.youtube.com/watch?v=YP0et8I\\_bvY](https://www.youtube.com/watch?v=YP0et8I_bvY)

 **Iniziativa finanziata dal FEASR**  
(Fondo Europeo Agricolo per lo Sviluppo Rurale)

Programma di Sviluppo Rurale 2014/2020  
Regione Calabria  
Misura 1 - Trasferimento di conoscenze e azioni di informazione  
Intervento 1.2.1 "Sostegno per progetti dimostrativi e azioni di informazione"



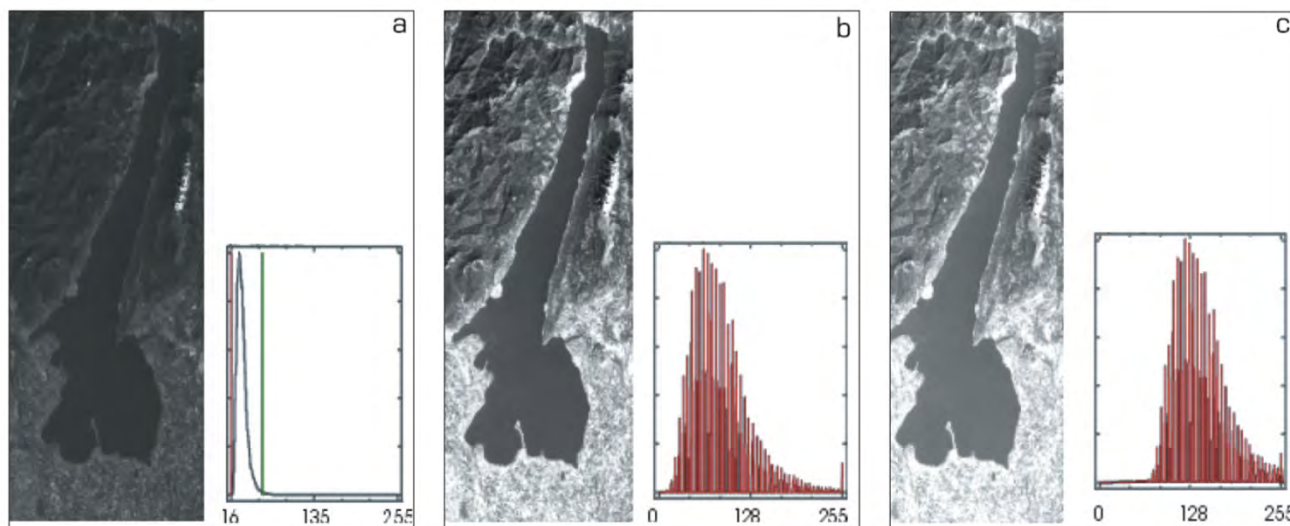
# Agroindustria 4.0

Un modello sostenibile per vincere le sfide future



## Enfatizzazione

- Agire sul contrasto: per redistribuire i livelli di grigio;
- Applicare le LUT (Look Up Table) per modulare l'intensità dell'immagine;
- Analisi delle componenti principali (PCA – Principal Component Analysis) per filtrare il rumore



Fonte  
[http://dipsa.unibo.it/catgis/pdf/Vol\\_3\\_3.pdf](http://dipsa.unibo.it/catgis/pdf/Vol_3_3.pdf)



# Agroindustria 4.0

Un modello sostenibile per vincere le sfide future



## Indagini a terra

Consentono di avere un'effettiva informazione degli aspetti sul suolo.

Per tali indagini bisogna selezionare piccole porzioni di territorio rappresentative *training area* scelte in base a:

- Gli obiettivi dello studio;
- Il periodo migliore per eseguire osservazioni;
- Il numero e le dimensioni delle aree necessarie;
- I dati da acquisire;
- Il personale, i mezzi, le risorse necessari e costi.

# Agroindustria 4.0

Un modello sostenibile per vincere le sfide future



## Training area

- Devono essere rappresentative dell'oggetto del rilievo;
- Devono essere omogenee;
- Devono avere una dimensione congrua a ciò che rileva il sensore;
- Devono essere in numero rappresentativo.

# Agroindustria 4.0

Un modello sostenibile per vincere le sfide future



## Utilizzo dati training area

Si utilizzano per:

- La correzione e calibrazione dei dati telerilevati;
- Avere esatte interpretazioni e correlazioni fra sensore – realtà fisica indagata;
- L'identificazione degli aspetti o dei materiali della superficie.



# Agroindustria 4.0

Un modello sostenibile per vincere le sfide future



## Vantaggi telerilevamento

- Visione globale
- Osservazione a diverse scale



Dati NOAA-AVHRR

Fonte  
Telerilevamento - Paolo Trivero

Immagini Landsat delle eruzioni dell'Etna, Agosto 2001 e Ottobre 2002



Iniziativa finanziata dal FEASR  
(Fondo Europeo Agricolo per lo Sviluppo Rurale)

Programma di Sviluppo Rurale 2014/2020

Regione Calabria

Misura 1 - Trasferimento di conoscenze e azioni di informazione  
Intervento 1.2.1 "Sostegno per progetti dimostrativi e azioni di informazione"



UNIONE EUROPEA

Ministero delle Politiche Agricole e Rurali

Ministero dell'Agricoltura e delle Foreste

Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio

Ministero dell'Agricoltura e delle Foreste

Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio

Ministero dell'Agricoltura e delle Foreste

Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio

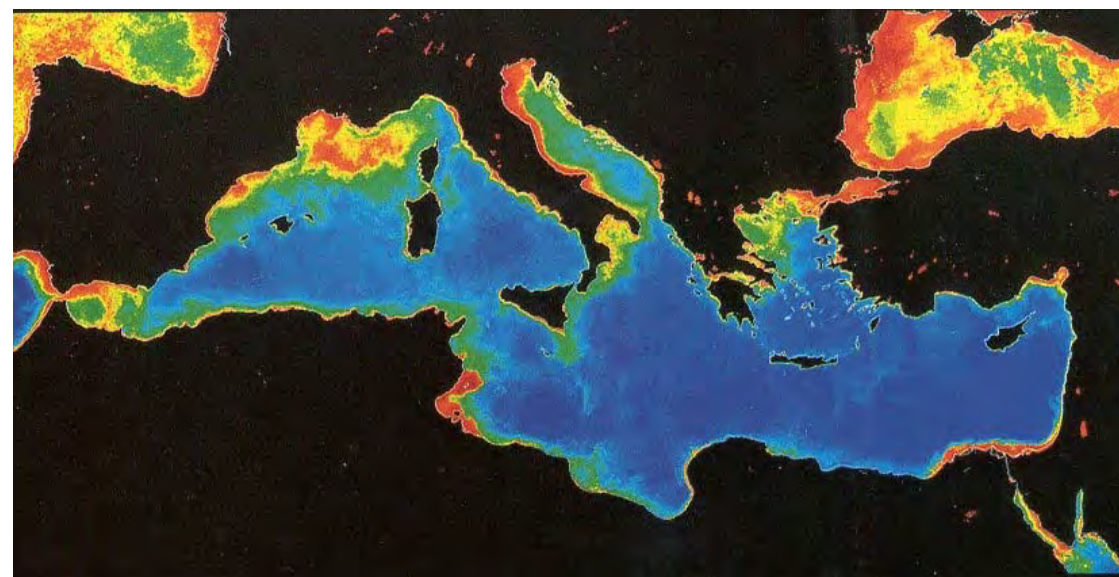
# Agroindustria 4.0

Un modello sostenibile per vincere le sfide future



## Vantaggi telerilevamento

- Copertura frequente
- Omogeneità dei dati acquisiti
- Regioni spettrali oltre il visibile
- Formato digitale



Fonte  
Telerilevamento - Paolo Trivero

Fitoplancton nel Mediterraneo: Seawifs



# Agroindustria 4.0

Un modello sostenibile per vincere le sfide future



## Svantaggi telerilevamento

Fonte

Telerilevamento - Paolo Trivero

- Calibrazione (misure assolute)
- Copertura nuvolosa
- Frequenza di acquisizione
- Risoluzione spaziale
- Risoluzione spettrale
- Visione stereoscopica difficile da ottenere





# Agroindustria 4.0

Un modello sostenibile per vincere le sfide future



## Applicazioni

- monitoraggio dell'atmosfera
- climatologia
- inquinamento
- glaciologia
- geologia, geomorfologia, geodesia
- topografia e cartografia
- Archeologia
- agricoltura, foreste, vegetazione
- Idrologia e idrogeologia
- previsione e controllo catastrofi, valutazione dei rischi
- gestione del territorio
- indagini militari
- urbanistica e sviluppo sostenibile

# Agroindustria 4.0

Un modello sostenibile per vincere le sfide future



## Agricoltura di precisione

- Mappatura di indici di vegetazione
- Classificazioni delle colture
- Valutazione degli stadi fenologici per la messa a punto di modelli agrometeorologici
- Monitoraggio delle condizioni di salute e diagnosi precoce di malattia
- Gestione dei trattamenti e fertilizzazioni
- Stima delle biomasse
- Stima dei danni causati da calamità naturali o altri eventi distruttivi
- Supporto e mappatura per l'automatizzazione di spargitori a ratio variabile
- Gestione delle acque di irrigazione
- Gestione della produttività agricola
- Salvaguardia dell'ambiente e della salute dell'uomo

# Agroindustria 4.0

Un modello sostenibile per vincere le sfide future

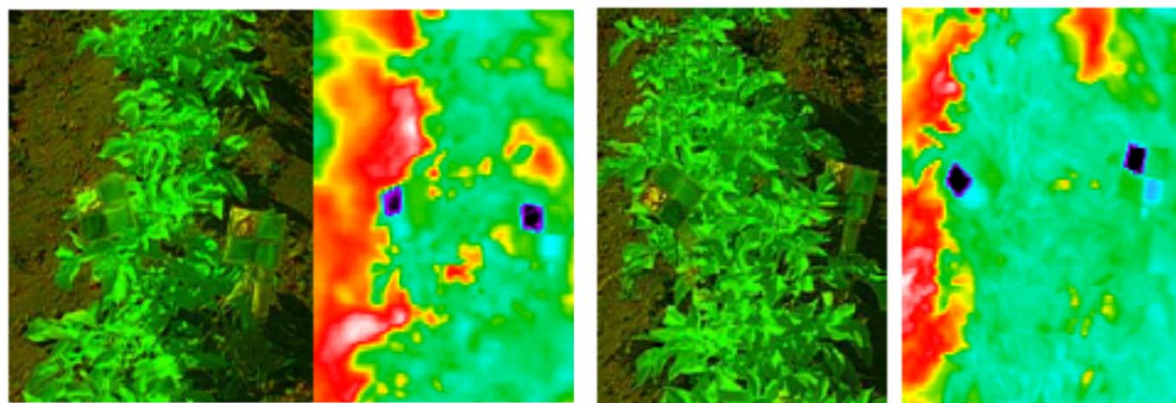


## Esempi agricoltura di precisione

Valutazione dello stress idrico mediante termografia nell'infrarosso

Non Irrigato

Irrigato



Fonte

Applicazioni del telerilevamento in agricoltura - Raffaele Casa



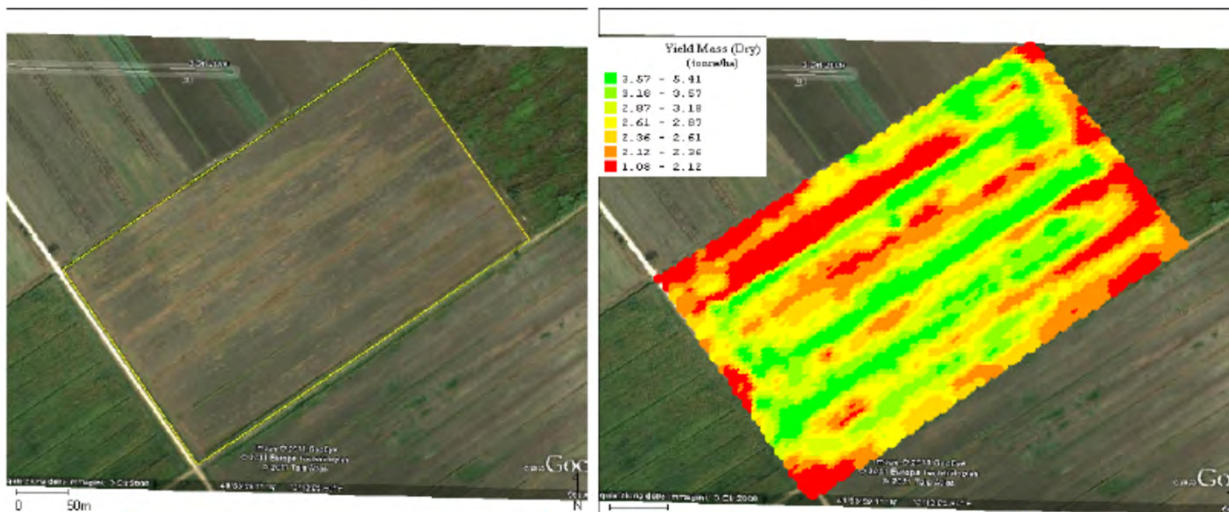
# Agroindustria 4.0

Un modello sostenibile per vincere le sfide future



## Esempi agricoltura di precisione

### Monitoraggio dello stato di infestazione da malerbe



Le zone con basse rese registrate dal sistema di mappatura della mietitrebbia corrispondono alle zone infestate lungo le scoline

Fonte

Applicazioni del telerilevamento in agricoltura - Raffaele Casa

## Un modello sostenibile per vincere le sfide future

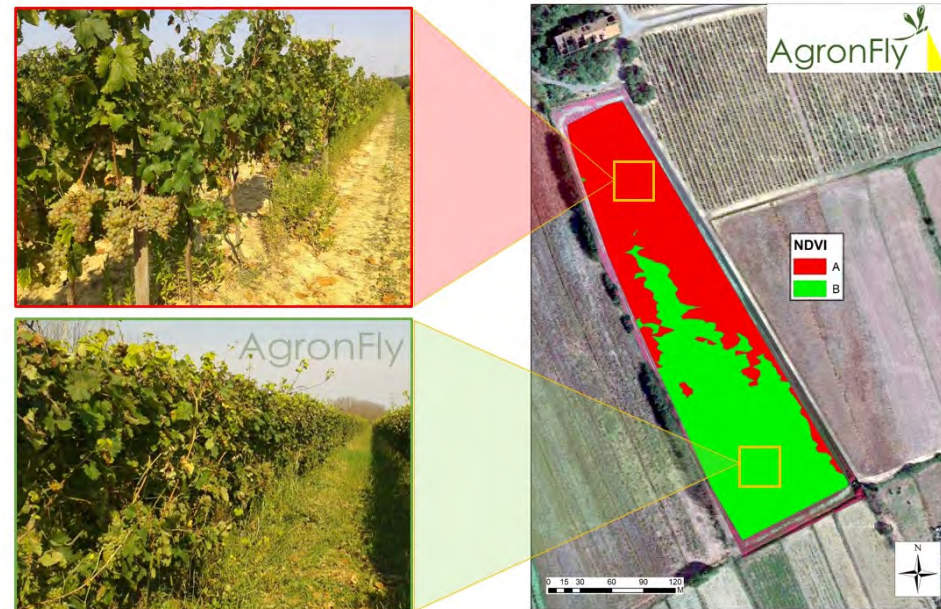


## Stato di salute della vegetazione

Si distinguono aree omogenee, per la vigoria delle piante, all'interno dell'appezzamento

Fonte

<https://www.teatronaturale.it/strettamente-tecnico/bio-e-natura/20960-l-agricoltura-di-precisione-ha-un-arma-in-piu-i-droni.htm>





# Agroindustria 4.0

Un modello sostenibile per vincere le sfide future



## Fonti

- Aldo Riggio, Renzo Carlucci - Topografia di base Fondamentali della geomatica per la misura e la rappresentazione del territorio
- Mario A. Gomasasca (1997, 2ª Ed. 2000): Introduzione a telerilevamento e GIS per la Gestione delle Risorse Agricole e Ambientali, Edizioni Associazione Italiana di Telerilevamento
- Telerilevamento (materiale didattico del Corso di Telerilevamento) Marco Moriondo - Camilla Dibari (<https://www.slideshare.net/IvanGiordano/ambiente4e-telerilevamento>)
- [http://dipsa.unibo.it/catgis/pdf/Vol\\_3\\_3.pdf](http://dipsa.unibo.it/catgis/pdf/Vol_3_3.pdf)
- Telerilevamento - Paolo Trivero Università del Piemonte Orientale "A. Avogadro" – Alessandria - <https://slideplayer.it/slide/10199602/>
- <https://it.wikipedia.org/wiki/Telerilevamento#Tecniche>
- Applicazioni del telerilevamento in agricoltura - Raffaele Casa Dipartimento di Scienze e Tecnologie per l'Agricoltura, le Foreste, la Natura e l'Energia (DAFNE) - <http://www.anicav.it/getfile/16527>
- TESI DI LAUREA -Analisi multiscala e multitemporale con immagini telerilevate per la regione della Siria interna settentrionale - Proietti Gabriele - [https://amslaurea.unibo.it/2640/1/Proietti\\_Gabriele\\_tesi.pdf](https://amslaurea.unibo.it/2640/1/Proietti_Gabriele_tesi.pdf)
- [http://dipsa.unibo.it/catgis/pdf/Vol\\_3\\_3.pdf](http://dipsa.unibo.it/catgis/pdf/Vol_3_3.pdf)
- [https://emergency.copernicus.eu/mapping/sites/default/files/files/EMS\\_RSbases\\_poster\\_A0.pdf](https://emergency.copernicus.eu/mapping/sites/default/files/files/EMS_RSbases_poster_A0.pdf)
- NASA | Peeling Back Landsat's Layers of Data
- [https://www.youtube.com/watch?time\\_continue=155&v=YP0et8I\\_bvY](https://www.youtube.com/watch?time_continue=155&v=YP0et8I_bvY)
- Telerilevamento ed elaborazione di immagini – Roberto Pizzuto - <https://users.dimi.uniud.it/~angelo.montanari/slide15.pdf>
- <https://www.teatronaturale.it/strettamente-tecnico/bio-e-natura/20960-l-agricoltura-di-precisione-ha-un-arma-in-piu-i-droni.htm>