



Principali ambiti di ricerca Dott. Pasquale Nino (CREA)
Perugia 23/04/2014

Principali ambiti di ricerca



Agenda

- **Telerilevamento da satellite:** Definizioni e basi teoriche
- **Struttura delle immagini satellitari**
- Le risoluzioni dei sistemi di Osservazione della Terra
- La visualizzazione delle immagini
- Monitoraggio della dinamica della vegetazione da remoto
- I dati disponibili
- Software Open Source
- Alcune applicazioni pratiche
 - Mappatura aree irrigate
 - Stima evapotraspirazione colturale (ETc)
 - Stima fabbisogno irriguo
- WEF nexus

1. Definizioni e basi teoriche

- ▶ **Telerilevamento da satellite:** rappresenta uno strumento in grado di ottenere informazioni, sia qualitative che quantitative, su oggetti posti ad una determinata distanza sulla base di misure di energia elettromagnetica (EM - misurata in metri (m) o sottomultipli, come nanometri, micrometri o centimetri) emessa, riflessa o trasmessa, attraverso l'impiego di satelliti in orbita equipaggiati con specifici sensori.

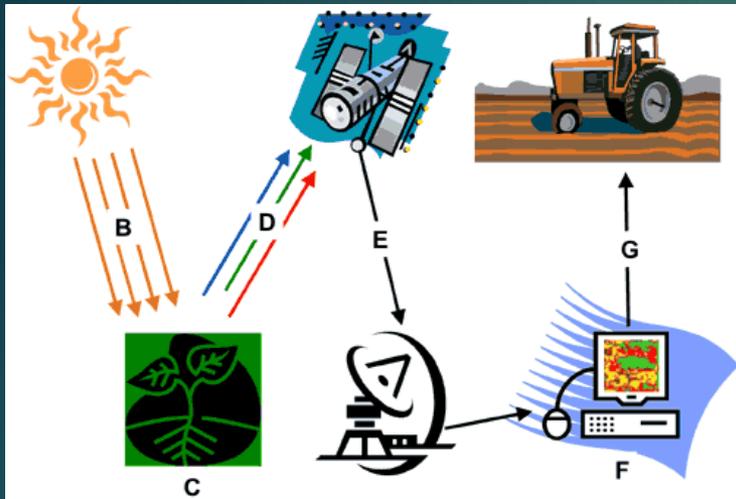


Sensori radar attivi : emettono un'onda elettromagnetica, diretta verso l'oggetto di indagine. La radiazione riflessa dall'oggetto viene poi registrata e misurata dal sensore, operano nella frequenza delle microonde.



Sensori ottici passivi: misurano la radiazione naturalmente disponibile, emessa o riflessa dagli oggetti sul terreno a seconda della loro riflettività o riflettanza, operano dalle lunghezze d'onda del visibile fino a quelle dell'infrarosso.

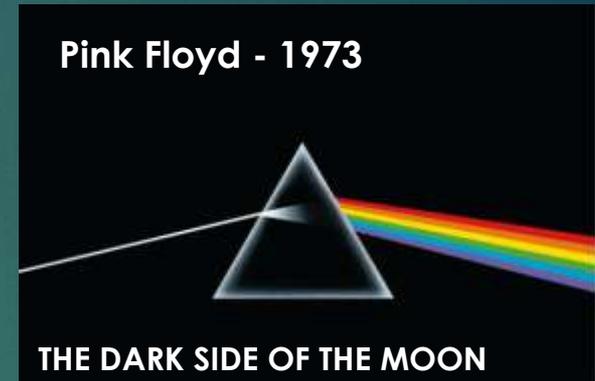
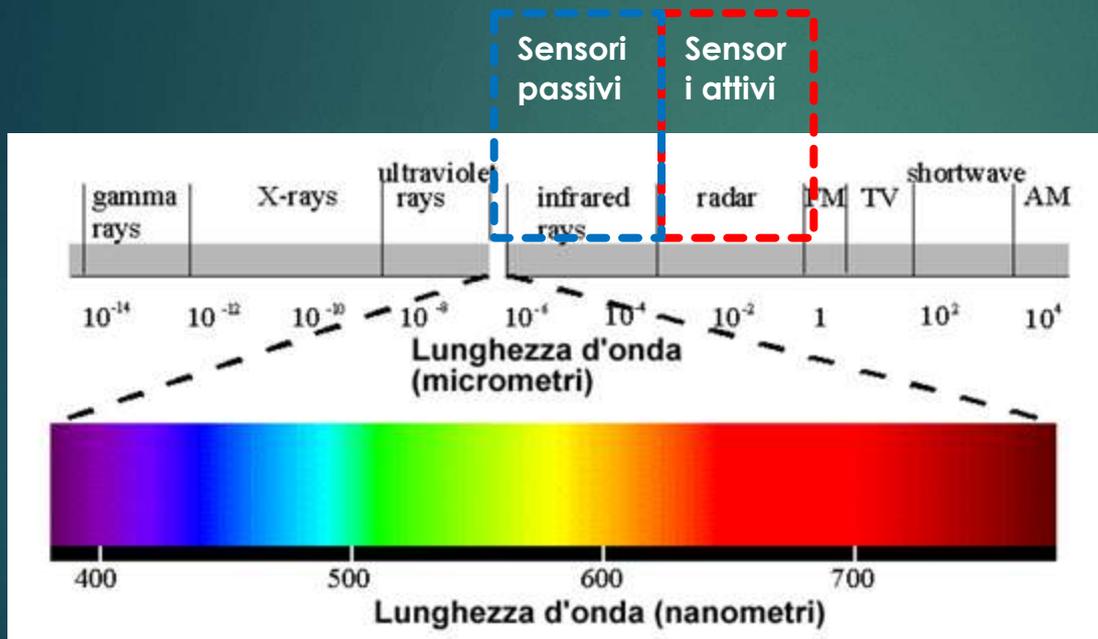
Schema semplificato di telerilevamento satellitare applicato ai processi di monitoraggio agricolo.



Il sole emette EM (B) che raggiunge la vegetazione (C). Una parte dell'energia elettromagnetica è trasmessa/assorbita attraverso le foglie. Il sensore sul satellite rileva l'energia riflessa (D). I dati vengono quindi trasmessi alla stazione a terra (E), analizzati (F) e visualizzati su mappe tematiche (G), utilizzando sistemi GIS.

► **GIS (Geographical Information System)**: è uno strumento che permette di memorizzare ed analizzare dati territoriali, il loro trattamento e soprattutto la loro rappresentazione sotto forma di mappe tematiche o tabelle ritagliati su porzioni di territorio più o meno estese.

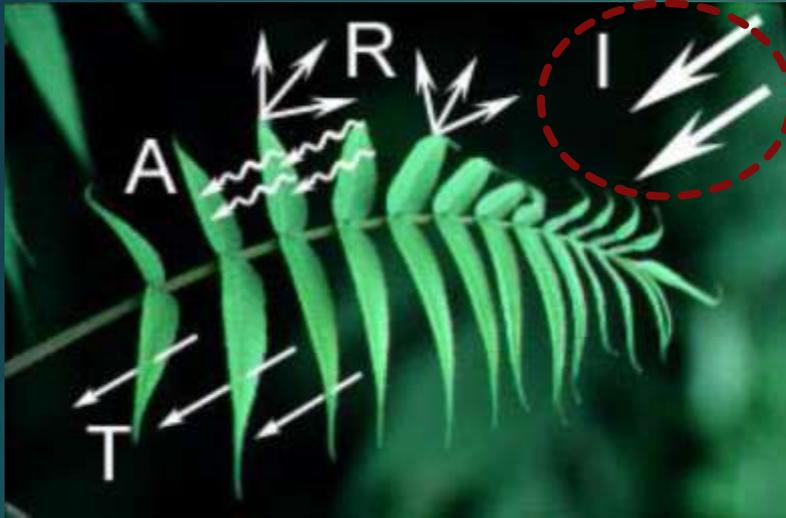
- ▶ L'informazione utilizzata dal telerilevamento da satellite è quindi legata all'EM, la cui distribuzione continua ordinata per lunghezze d'onda (λ) costituisce lo spettro elettromagnetico. Anche se la realtà fisica dello spettro elettromagnetico è un continuum d'energia, per ragioni pratiche ed operative lo si considera suddiviso in diversi intervalli, definiti **bande spettrali**



blu

ROSSO

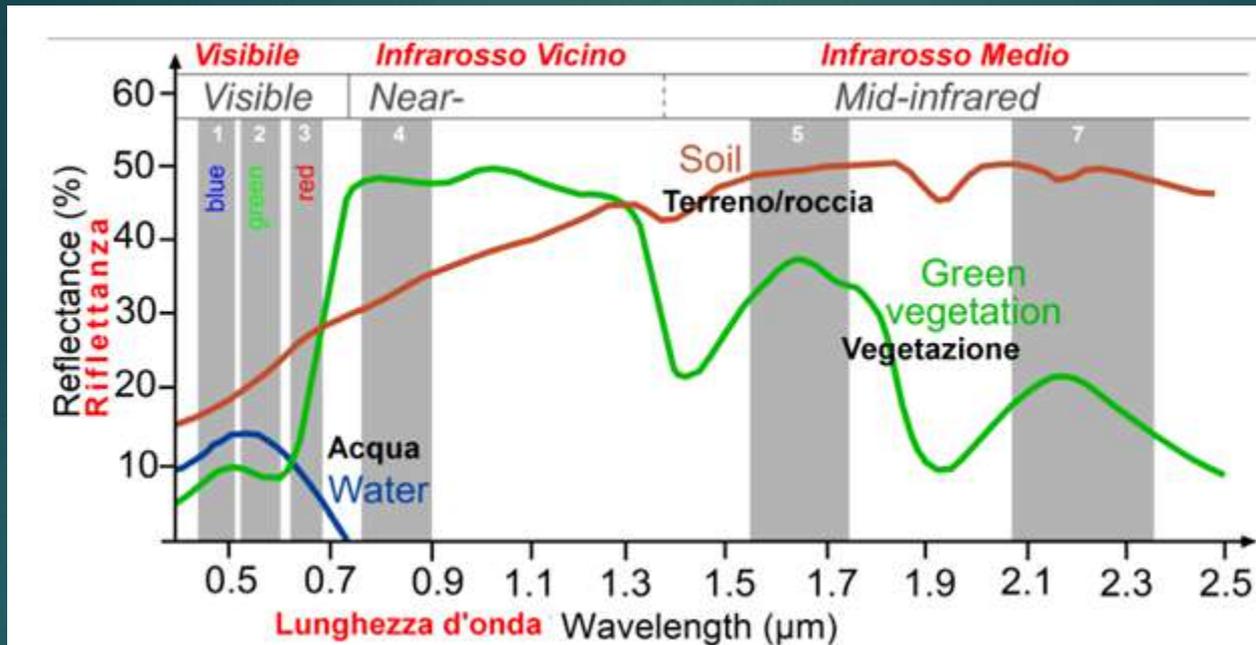
Interazione della radiazione EM con la vegetazione



- assorbimento [A]
- trasmissione [T]
- riflessione [R]

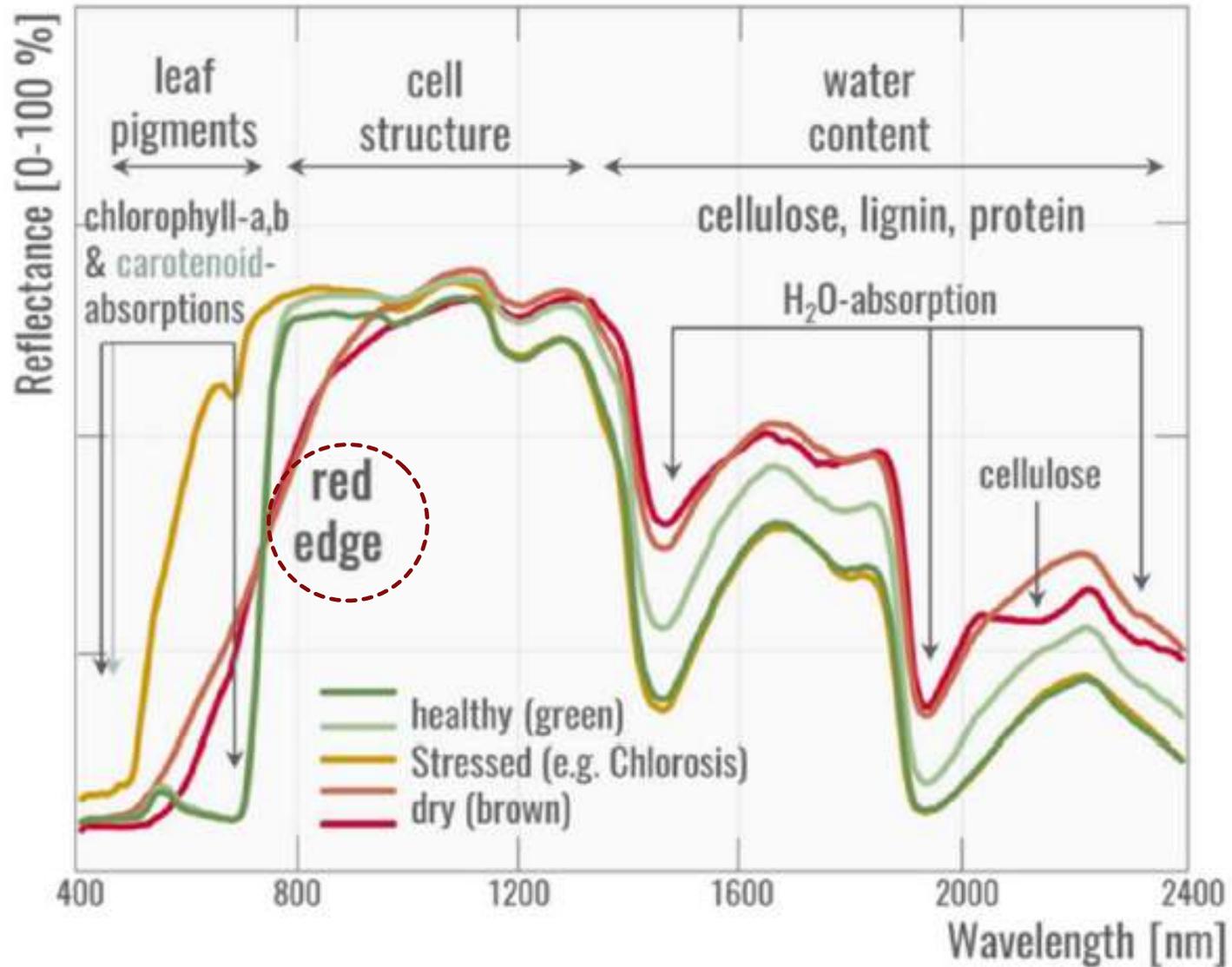
La percentuale di energia radiante che viene riflessa nelle diverse regioni dello spettro EM (denominata “riflettanza”) dalla vegetazione varia molto in funzione delle condizioni ambientali (periodo dell’anno, tipo di vegetazione e sua densità, lo stadio fenologico, lo stato fito – sanitario, il contenuto di umidità ecc.) e di ripresa (geometria Sole-superficie–sensore).

Pertanto, si può costruire un grafico (denominato *firma spettrale*) basato sulla riflettanza in funzione della lunghezza d'onda della radiazione incidente.



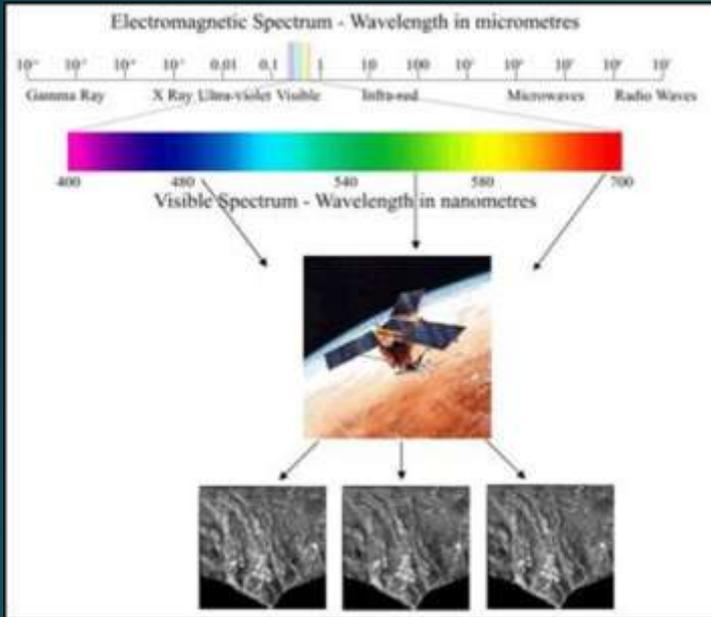
La firma spettrale è alla base per la costruzione di mappe di uso copertura del suolo e derivazione parametri biofisici della vegetazione

- ▶ Nel visibile si registrano bassi valori nella bande del Blu (intorno a $0,45 \mu\text{m}$) e del Rosso (intorno a $0,66 \mu\text{m}$) correlata alla presenza di pigmenti fogliari, in particolare della clorofilla, che in queste regioni assorbe l'energia necessaria alla sua attivazione. La componente verde della radiazione (intorno a $0,55 \mu\text{m}$), viene riflessa dai tessuti delle foglie, conferendo la colorazione verde nella banda del visibile.
- ▶ Nella regione dell'Infrarosso vicino (tra $0,7$ e $0,9 \mu\text{m}$), la struttura fogliare provoca una riflessione molto elevata, nell'ordine del 30-70% dell'energia incidente.
- ▶ Nel dominio dell'infrarosso medio, tra $1,35$ e $2,70 \mu\text{m}$, le proprietà spettrali della vegetazione dipendono strettamente dal contenuto in acqua della foglia. In condizioni di stress idrico, si ha un innalzamento dei valori di radiazione riflessa, più accentuato in alcune bande di assorbimento
- ▶ Tale comportamento della vegetazione, in telerilevamento, è di importanza essenziale, in quanto è alla base delle possibilità di analisi più significative del mondo vegetale. Infatti, poiché il tessuto fogliare è più o meno sviluppato a seconda dello stato di salute della pianta, della varietà specifica e dello stadio fenologico, lo studio della riflettanza nell'infrarosso vicino diventa un potente strumento di indagine, per poter discriminare specie diverse, per monitorare l'evoluzione della vegetazione nel tempo e per determinare eventuali patologie/stress idrici all'interno di una omogenea comunità vegetale.



2. Struttura delle immagini satellitari

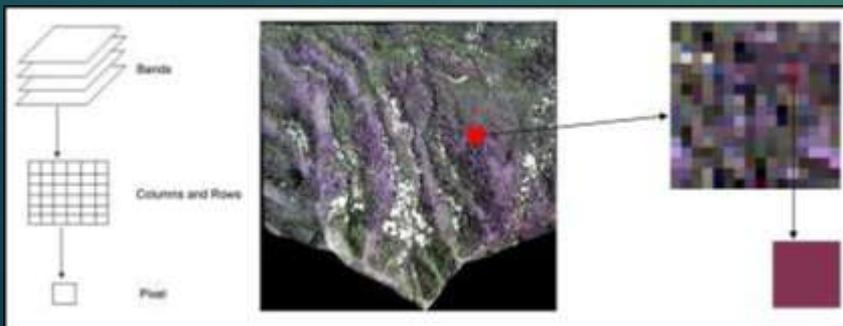
L'immagine prodotta con i dati del sensore è costituita da uno a più bande spettrali.



Esempio di acquisizione di diverse bande spettrali (blu, verde, rossa)

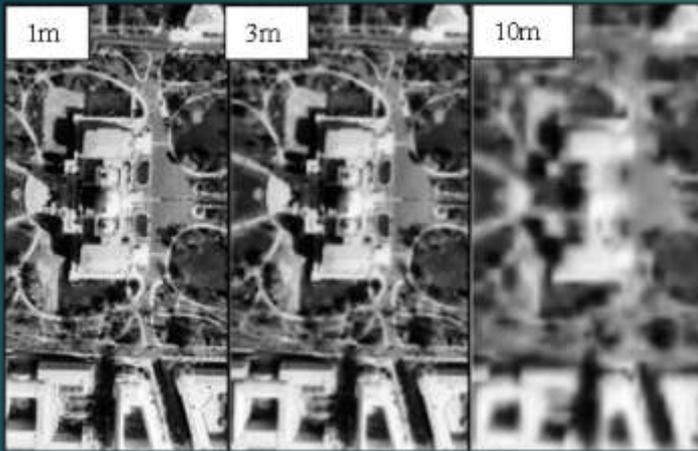
Ciascuna banda è composta da singoli elementi che sono disposti in una griglia di righe e colonne. I singoli elementi sono detti "pixel« (picture element): *‘più piccola unità di area a terra misurata dal sensore’*. Ad ogni pixel sono associati degli indici di riga e di colonna (x e y), che individuano la posizione del pixel all'interno dell'immagine ed un valore numerico, definito *digital number (DN)* – *‘intensità del segnale riflesso in una particolare lunghezza d'onda’*

Il numero di bande e la dimensione dei pixel differiscono da sensore a sensore.



3. Le risoluzioni dei sistemi di osservazione

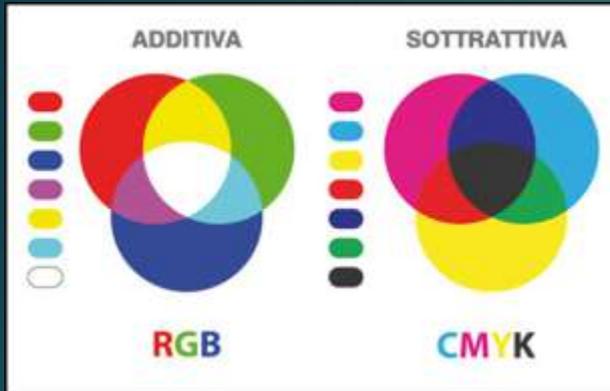
- ▶ risoluzione geometrica: dimensioni dell'area elementare al suolo (pixel) in cui si rileva l'energia elettromagnetica;



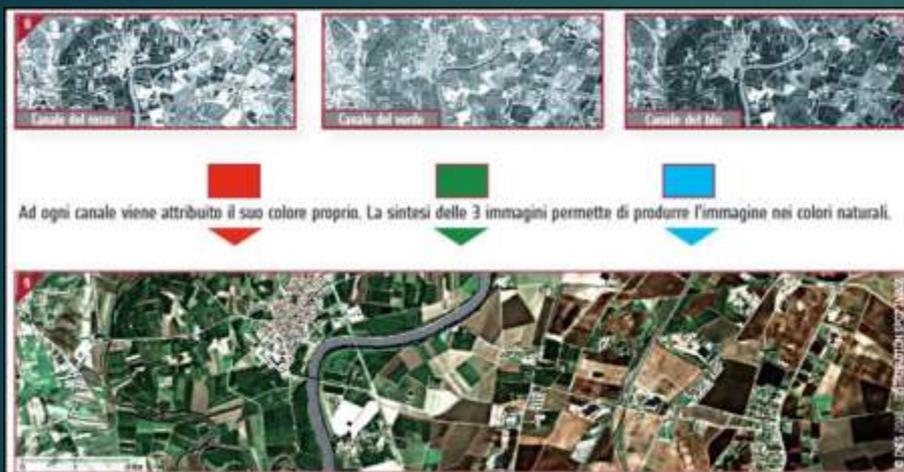
- ▶ risoluzione spettrale: numero di bande di cui è dotato il sensore; (da 2-5 – sensori multispettrali - fino a oltre 200 – sensori iperspettrali)
- ▶ risoluzione temporale: periodo di tempo che intercorre tra due riprese successive di una stessa area (tempo di rivisitazione).

4. La visualizzazione delle immagini

La sintesi additiva si riferisce ai colori primari della luce: il rosso (Red), il verde (Green) e il blu (Blu) - di solito abbreviato in RGB



La sintesi sottrattiva, si riferisce ai colori primari dei pigmenti, che assorbono in maniera selettiva solo alcune lunghezze d'onda della luce e di rifletterne le altre. Il colore del pigmento quindi è determinato dalle radiazioni sottratte alla luce bianca, per questo si parla di sintesi sottrattiva. I colori primari della sintesi sottrattiva sono: il ciano, il magenta, il giallo (C,M,Y).



Ad esempio per produrre l'immagine nei colori naturali, ad ogni banda viene attribuito il proprio colore

La vegetazione riflette una > quantità di energia nell'infrarosso rispetto al verde. L'uso di questo canale è pertanto efficace per individuare la vegetazione e rivelarne alcune variazioni. È possibile sfasare i colori scelti per ogni canale, per creare un'immagine che integra le informazioni date dal canale infrarosso (non visibile dall'occhio umano) gli viene attribuito, per convenzione, il colore rosso. Al canale rosso il colore verde e al canale verde il blu, producendo un'immagine definita in falsi colori.



Utilizzando diverse combinazioni di bande si possono ottenere diverse visualizzazioni.

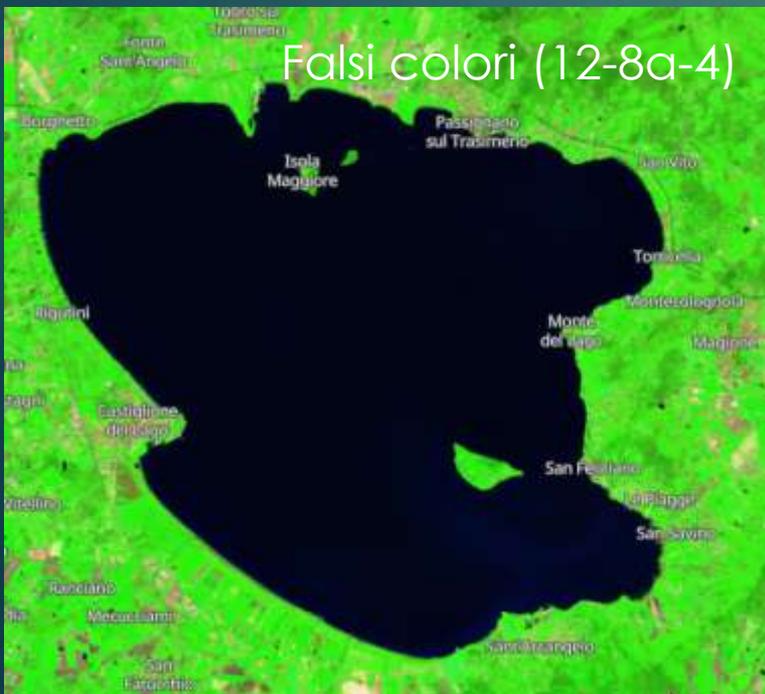
Colori naturali



Falsi colori (8-4-3)



Falsi colori (12-8a-4)



Immagini derivate da dati Sentinel 2
– missione Copernicus ESA

5. monitoraggio della dinamica della vegetazione da remoto

Gli indici di vegetazione forniscono dei parametri per valutare da remoto sullo stato di salute di una coltura sotto diversi punti di vista. Possono descrivere la **vigoria della pianta**, fornendo una misura del suo stato di salute generale, oppure problematiche specifiche come lo **stress idrico** o la quantità di **clorofilla**.

Ne sono stati elaborati moltissimi, ma quello maggiormente utilizzato è l'NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*), calcolato come

$$\text{NDVI} = (\text{rNIR} - \text{rRED}) / (\text{rNIR} + \text{rRED})$$

Il risultato dell'NDVI è un **valore compreso tra -1 e +1**. I valori più alti indicano una maggiore attività vegetativa, mentre i valori più bassi sono associati a vegetazione poco sviluppata e/o suolo nudo, fino ad arrivare all'acqua.

Chlorophyll Index (CI): categoria di indici basati sulla riflettanza nelle bande del verde, rosso, red edge, e dell'infrarosso vicino, utilizzati per stimare i contenuti di clorofilla nelle piante.

6. I dati disponibili

Esiste una grande quantità di piattaforme da cui ottenere dati satellitari, sia commerciali (a pagamento) che ad accesso libero.

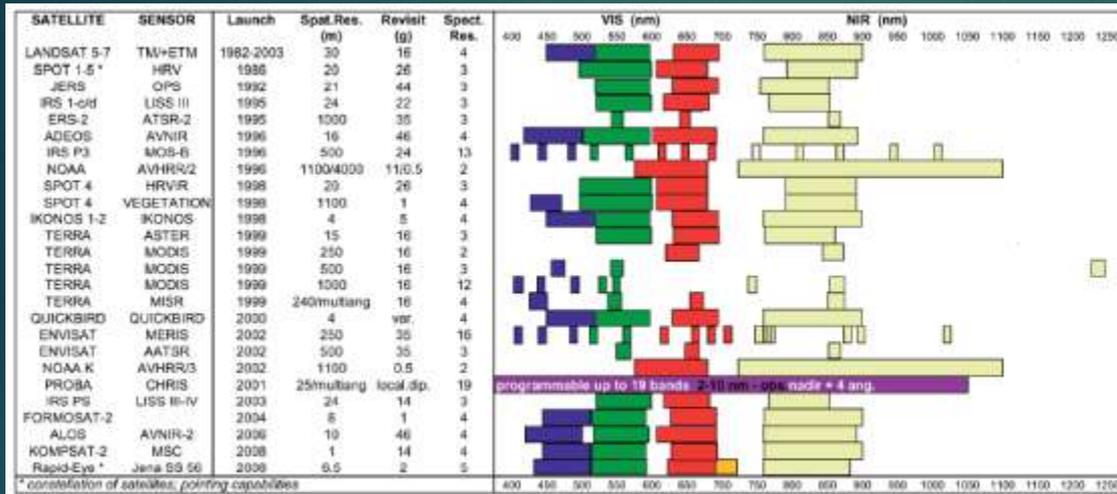


Table 1b. Multispectral Earth Observation systems – Shortwave Infrared wavelengths.

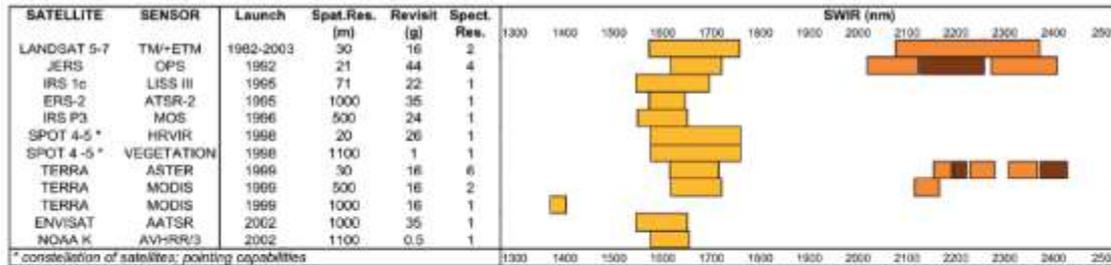
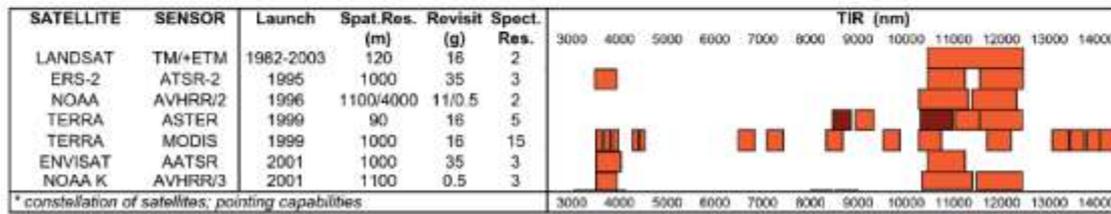
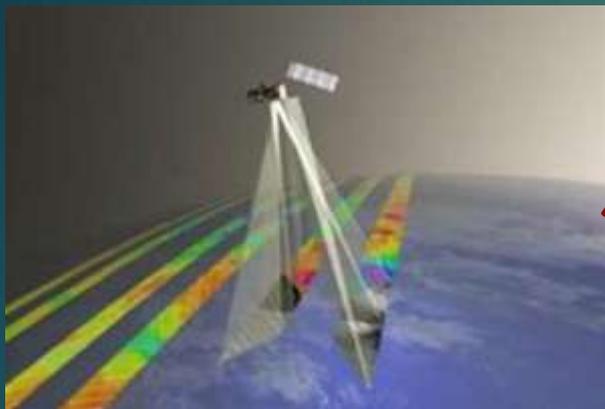


Table 1c. Multispectral Earth Observation systems – Thermal Infrared wavelengths.



A) Dati Copernicus: la componente di osservazione della Terra del programma spaziale dell'Unione Europea



Dati ottici

Dati radar

Dal 2015 ad oggi



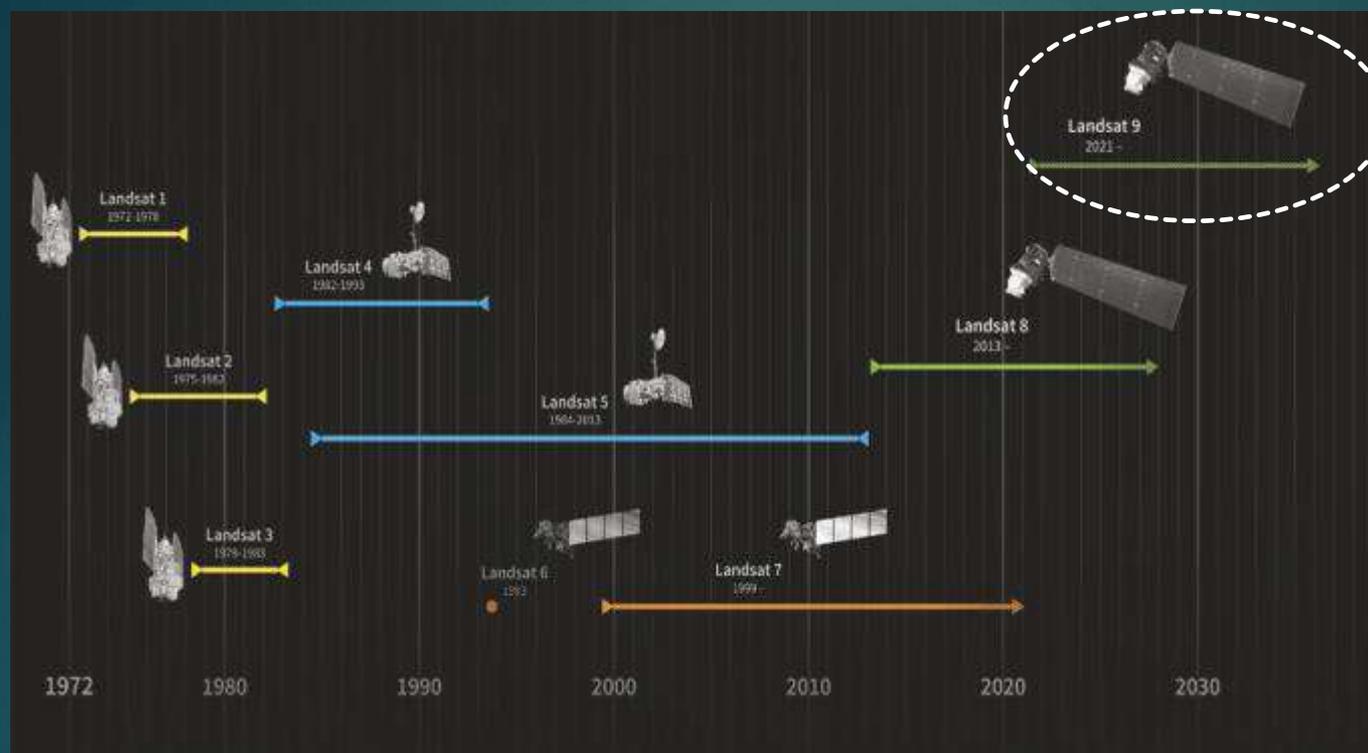
**13 bande
spettrali**
**Risoluzione
geometrica:
10-20-60 m**
Ogni 5 giorni



4 bande spettrali
**Risoluzione
geometrica: 10
m**
Ogni 5 giorni

Dal 2014 ad oggi

B) Dati missioni Landsat (NASA):



11 bande spettrali
Risoluzione
geometrica:
15-30-100 m
Ogni 8 giorni, in
combinazione
con Landsat 8.

7. Software Open Source

Telerilevamento:

Piattaforma applicativa Sentinel (SNAP), un'architettura comune per tutti i toolbox satellitari Sentinel

<https://step.esa.int/main/download/snap-download/>

GIS

Applicazione desktop, QGIS permette di visualizzare, organizzare, analizzare e rappresentare dati spaziali. È il software GIS open source più diffuso al mondo

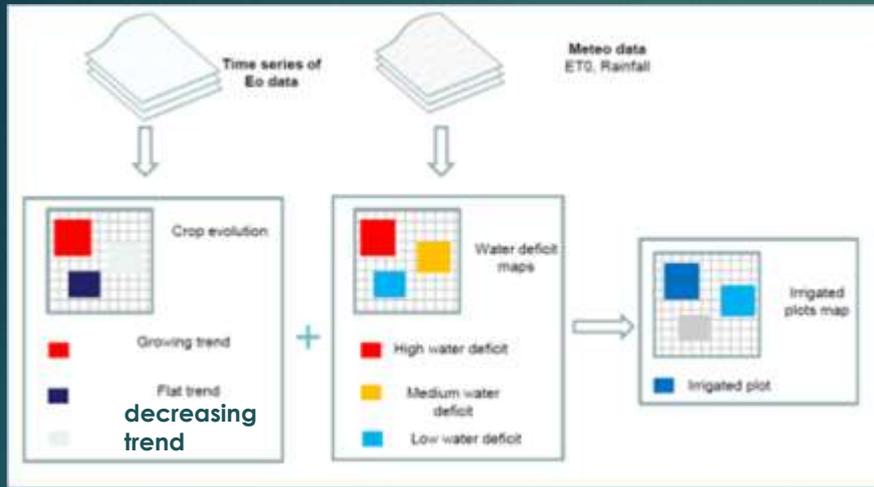
<https://qgis.org/it/site/>



8. Alcune applicazioni pratiche

► Mappatura aree irrigate

Rappresentazione schematica del flusso di lavoro

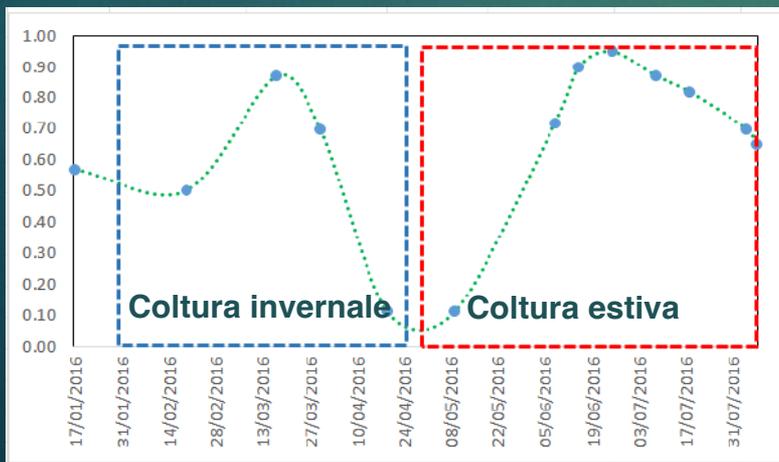


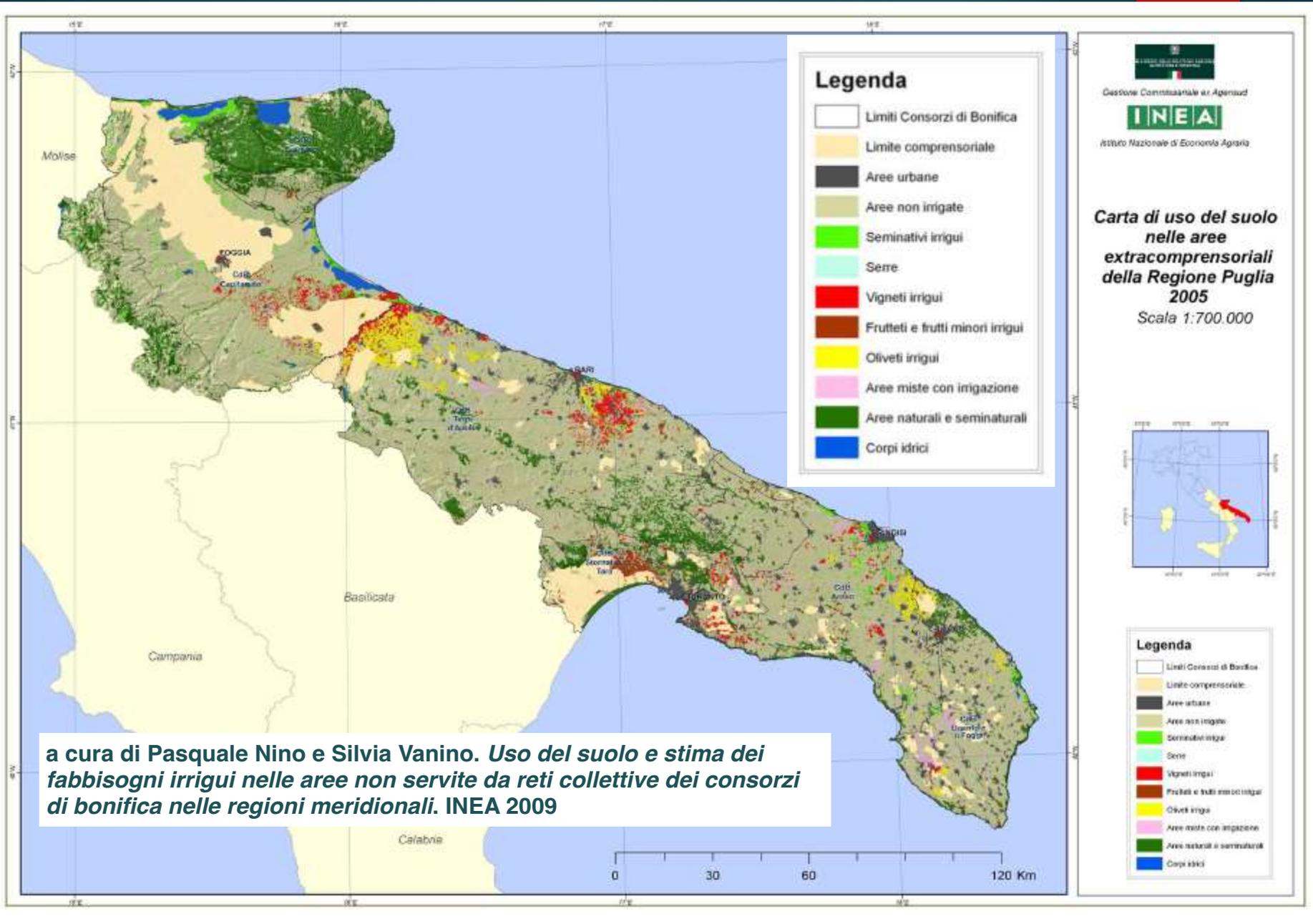
La serie temporale di NDVI è sovrapposta ai dati di precipitazioni cumulate aggregate nello stesso intervallo temporale. Tale integrazione consente una discriminazione tra aree irrigate e no.

► l'andamento dell'NDVI è in fase con le precipitazioni cumulate, l'area può essere considerata "non irrigata" poiché la crescita delle colture è strettamente correlata agli eventi piovosi, in grado di compensare le perdite per evapotraspirazione.

► l'andamento dell'NDVI non è sincronizzato con le precipitazioni cumulate, l'area è considerata "irrigata" in quanto la crescita delle colture risulta indipendente dalle precipitazioni e pertanto le perdite evapotraspirative devono essere compensate attraverso l'irrigazione.

Evoluzione dell'NDVI nel tempo





Legenda

- Limiti Consorzi di Bonifica
- Limite comprensoriale
- Aree urbane
- Aree non irrigate
- Seminativi irrigui
- Serre
- Vigneti irrigui
- Frutteti e frutti minori irrigui
- Oliveti irrigui
- Aree miste con irrigazione
- Aree naturali e seminaturali
- Corpi idrici

Gestione Comunitaria ex-Agenasud
INEA
 Istituto Nazionale di Economia Agraria

**Carta di uso del suolo
 nelle aree
 extracomprendoriali
 della Regione Puglia
 2005**
 Scala 1:700.000



Legenda

- Limiti Consorzi di Bonifica
- Limite comprensoriale
- Aree urbane
- Aree non irrigate
- Seminativi irrigui
- Serre
- Vigneti irrigui
- Frutteti e frutti minori irrigui
- Oliveti irrigui
- Aree miste con irrigazione
- Aree naturali e seminaturali
- Corpi idrici

a cura di Pasquale Nino e Silvia Vanino. *Uso del suolo e stima dei fabbisogni irrigui nelle aree non servite da reti collettive dei consorzi di bonifica nelle regioni meridionali.* INEA 2009



► Stima evapotraspirazione colturale (ETc)

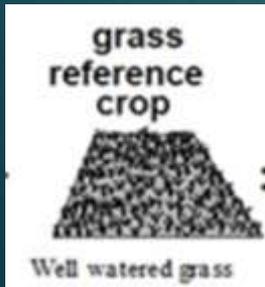
Rappresenta la quantità totale di acqua che una coltura perde nel corso del suo sviluppo vegetativo, che deve essere reintegrata con degli apporti idrici (precipitazioni + irrigazione).

La metodologia di base per la stima di ETc è stata codificata dalla F.A.O. (Food and Agricultural Organization) nella pubblicazione “*Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements - Irrigation and drainage Paper 56*” curata da Allen et al. (1998).

ETc (mm/d) è stimata come il prodotto tra l'evapotraspirazione di riferimento (ETo) e il coefficiente colturale (Kc).

$$ETc = Kc * ETo$$

ETo evapotraspirazione di riferimento [mm/d]: parametro climatico che esprime le perdite idriche di un'ipotetica superficie di riferimento, che variano esclusivamente in funzione delle condizioni meteorologiche, calcolata da dati quali temperatura ed umidità relativa dell'aria, radiazione solare incidente (diretta e diffusa) e velocità media del vento.

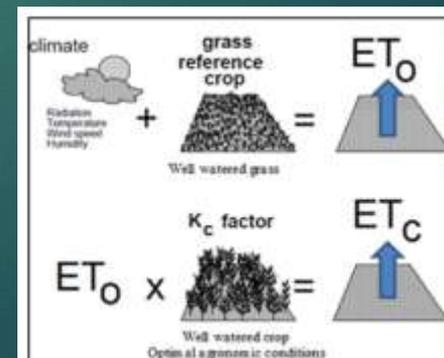


superficie di riferimento

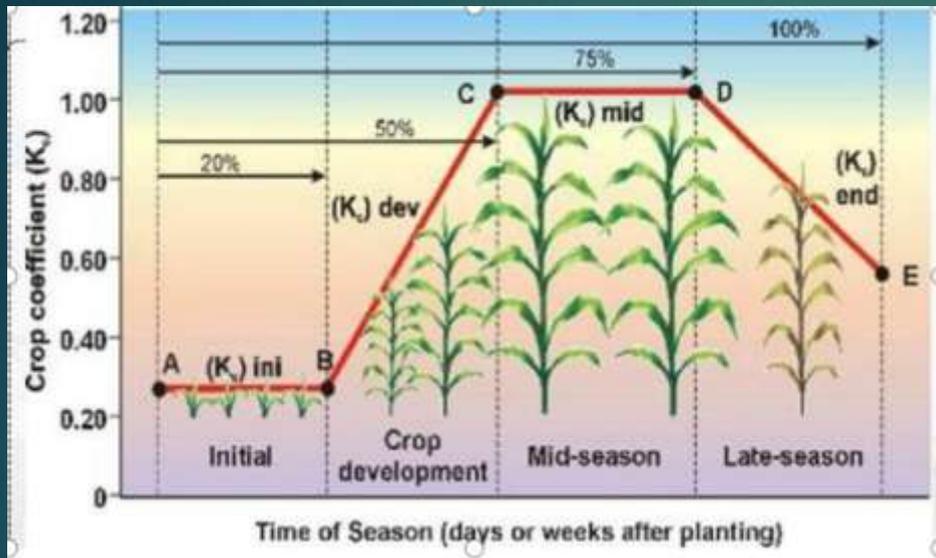
LAI=2.88 (m²/m²)

Altezza=0.12m

Albedo (frazione di radiazione incidente che viene riflessa) = 0.23



K_c [-]: Coefficiente culturale, è un fattore correttivo, legato in maniera sintetica all'effettivo sviluppo del manto vegetale della coltura in esame. Il quaderno FAO 56 riporta per molte tipologie culturali dei valori di K_c , suddivisi per le principali fasi di crescita di una coltura.



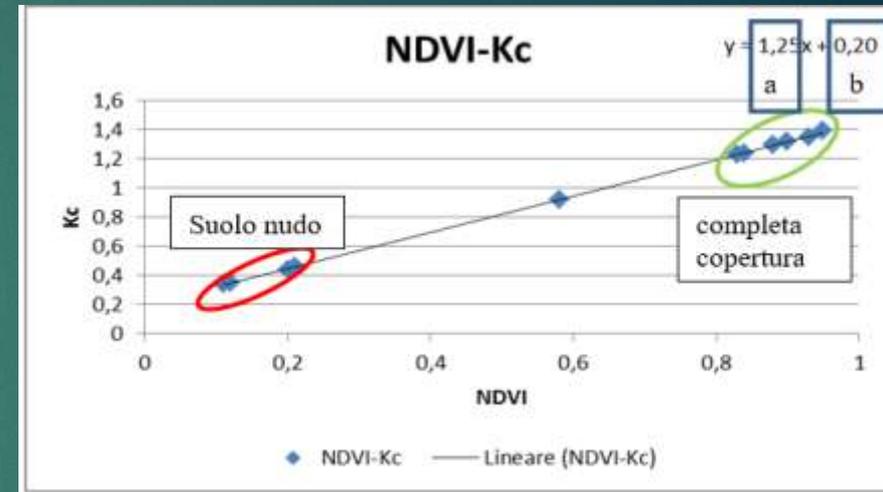
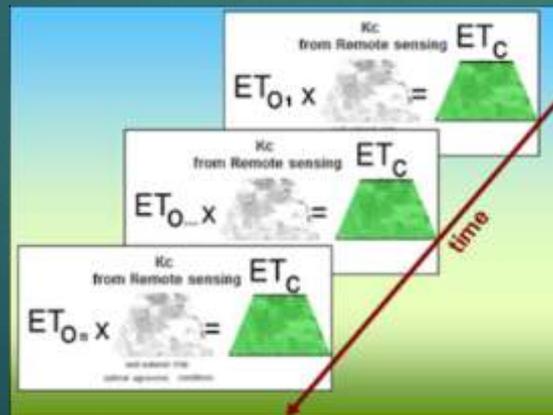
Crop	$K_{cb\ ini}^1$	$K_{cb\ mid}^1$	$K_{cb\ end}^1$
a. Small Vegetables	0.15	0.95	0.85
Broccoli		0.95	0.85
Brussel Sprouts		0.95	0.85
Cabbage		0.95	0.85
Carrots		0.95	0.85
Cauliflower		0.95	0.85
Celery		0.95	0.90
Garlic		0.90	0.60
Lettuce		0.90	0.90
Onions - dry		0.95	0.65
- green		0.90	0.90
- seed		1.05	0.70
Spinach		0.90	0.85
Radishes		0.85	0.75
b. Vegetables – Solanum Family (<i>Solanaceae</i>)	0.15	1.10	0.70
EggPlant		1.00	0.80
Sweet Peppers (bell)		1.00 ²	0.80
Tomato		1.10 ²	0.60-0.80

Tali coefficienti sono validi a livello generico, e dovrebbero essere calibrati nelle condizioni ambientali e climatiche del contesto cui si opera.

Nell'ambito di diversi progetti europei (PLEIADES, SIRIUS, FATIMA) sono state sviluppate delle metodologie che prevedono l'utilizzazione del telerilevamento per la quantificazione del K_c . Tali metodologie si basano sul presupposto che i coefficienti colturali sono fortemente influenzati dallo sviluppo e dalla copertura del terreno da parte della vegetazione; poiché questi parametri condizionano direttamente la riflettanza di aree coltivate, è possibile stabilire una correlazione tra le misurazioni multispettrali di riflettanza della vegetazione e i corrispondenti valori di K_c .

$$K_c = a NDVI + b$$

in cui i coefficienti a , b sono derivati dall'osservazione dei valori minimi (suolo nudo) e massimi (completa copertura del suolo da parte della vegetazione) dell'NDVI nell'immagine satellitare.

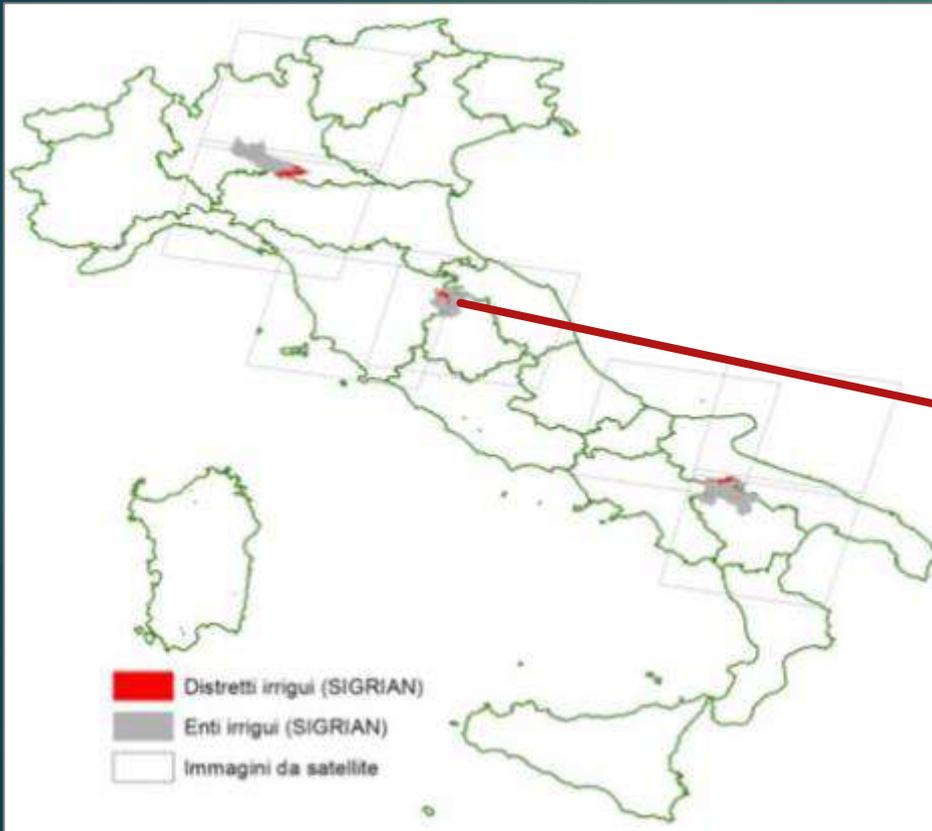


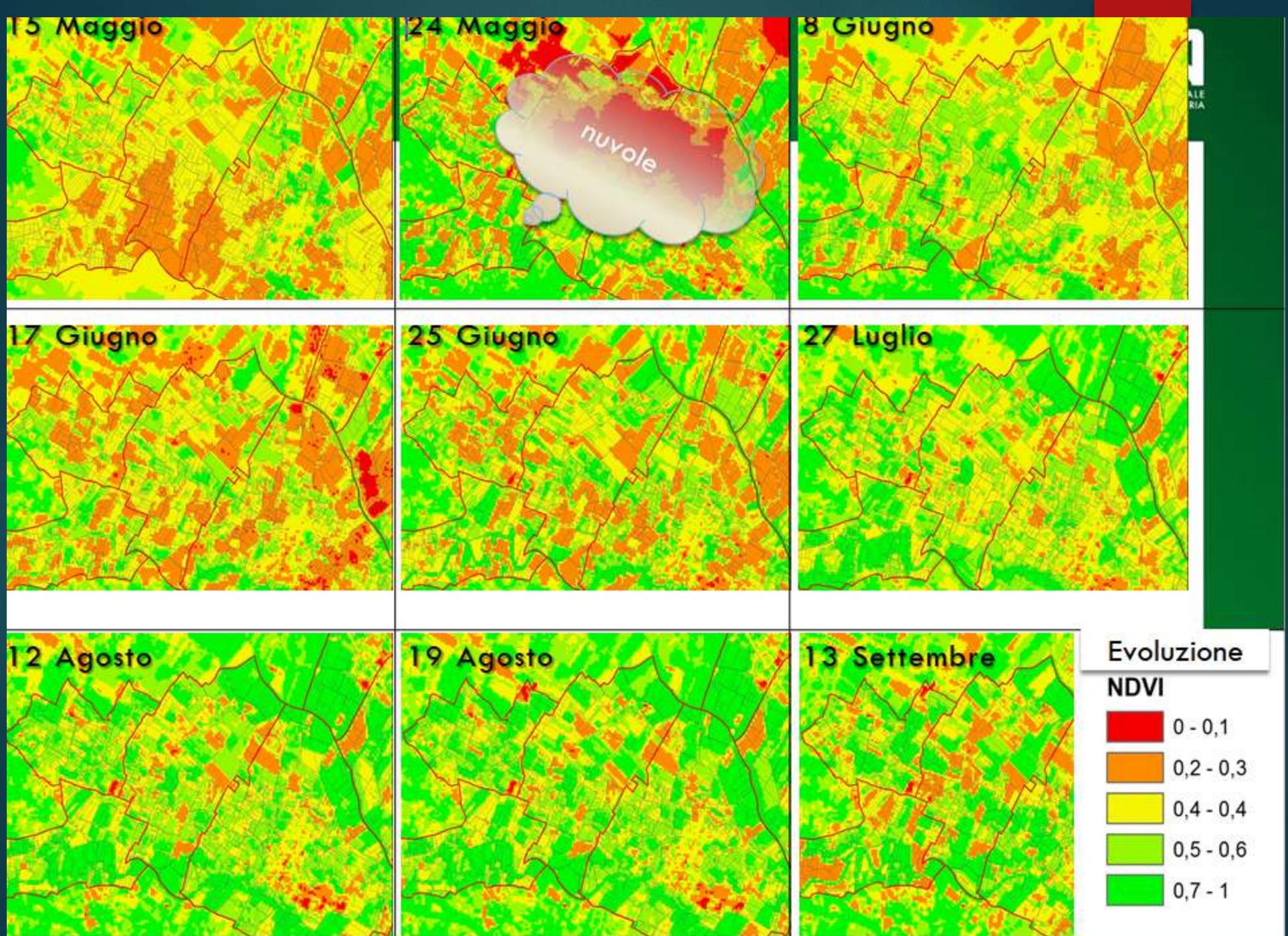
► Stima fabbisogno irriguo: Caso studio Comunità Montana Alto Tevere

L'ETc al netto degli apporti dovuti alle precipitazioni ($P_n - \text{mm/d}$) fornisce il Fabbisogno Irriguo (indicato con W). Pertanto, W per una superficie di area A può essere definito dalla seguente relazione

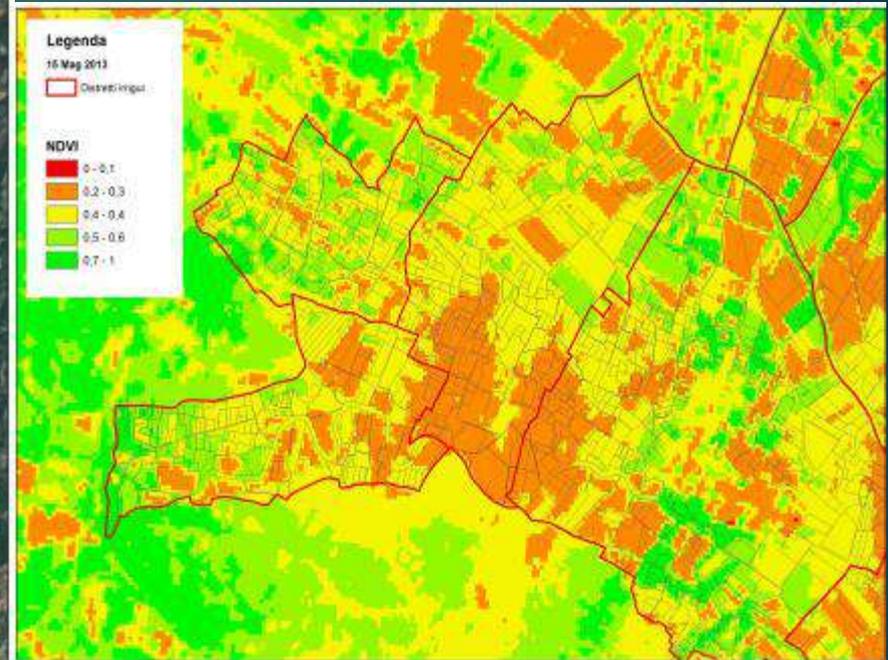
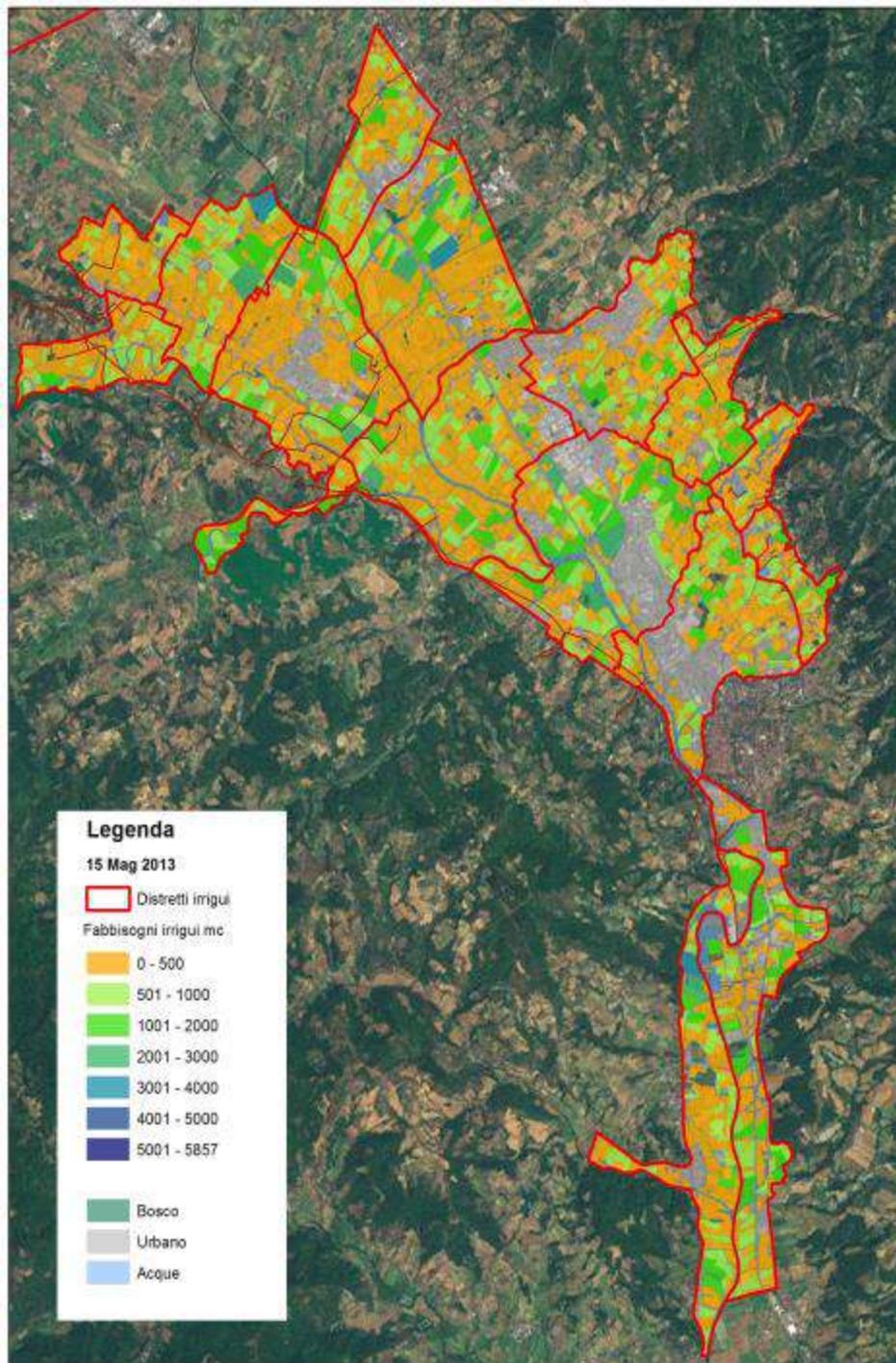
$$W = 10 \frac{|ET_c - P_n|}{e_{ap} e_d e_a} A \Delta t$$

In cui e_{ap} , e_d , e_a , rappresentano l'efficienza di applicazione al campo, l'efficienza del sistema di distribuzione (nel distretto) e di adduzione (fino al distretto),

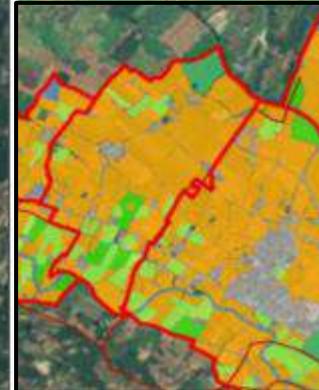
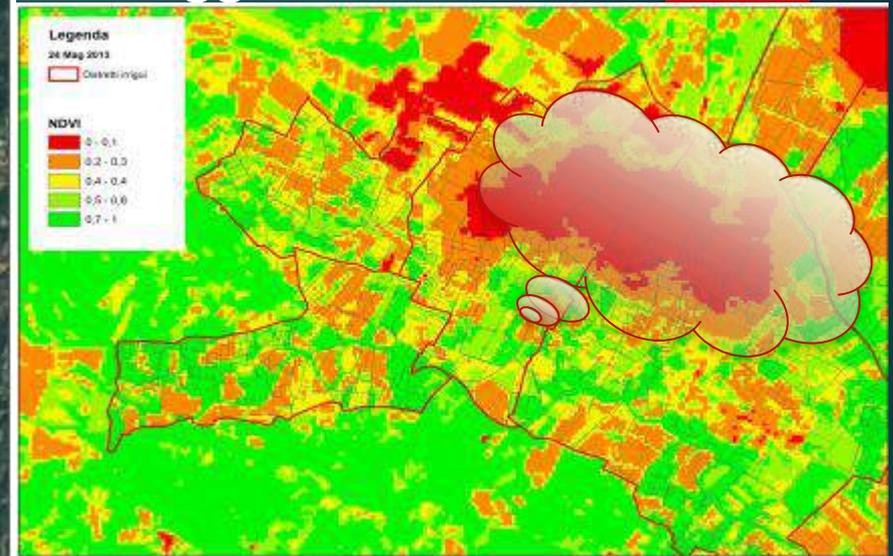
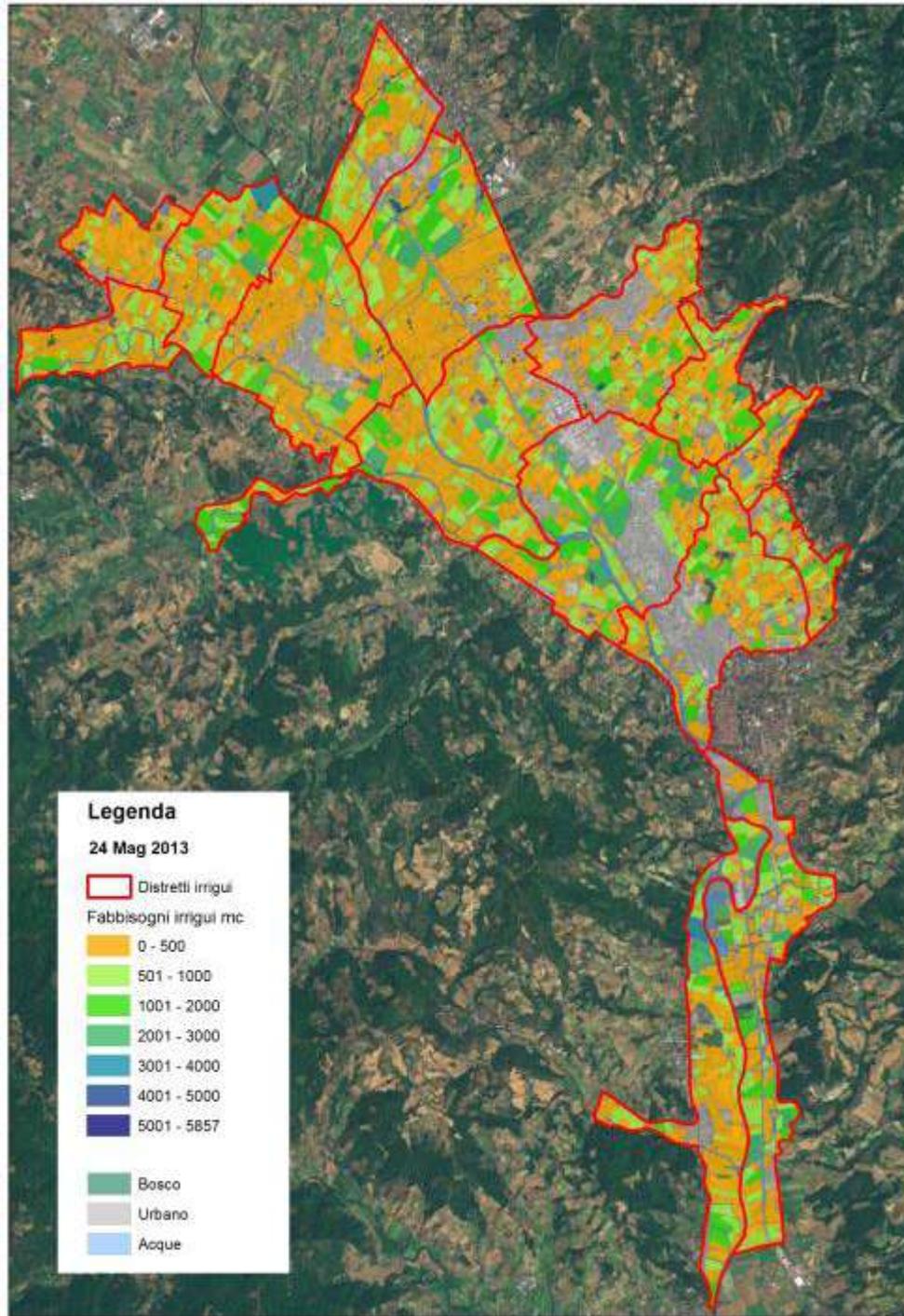




15 Maggio



24 Maggio

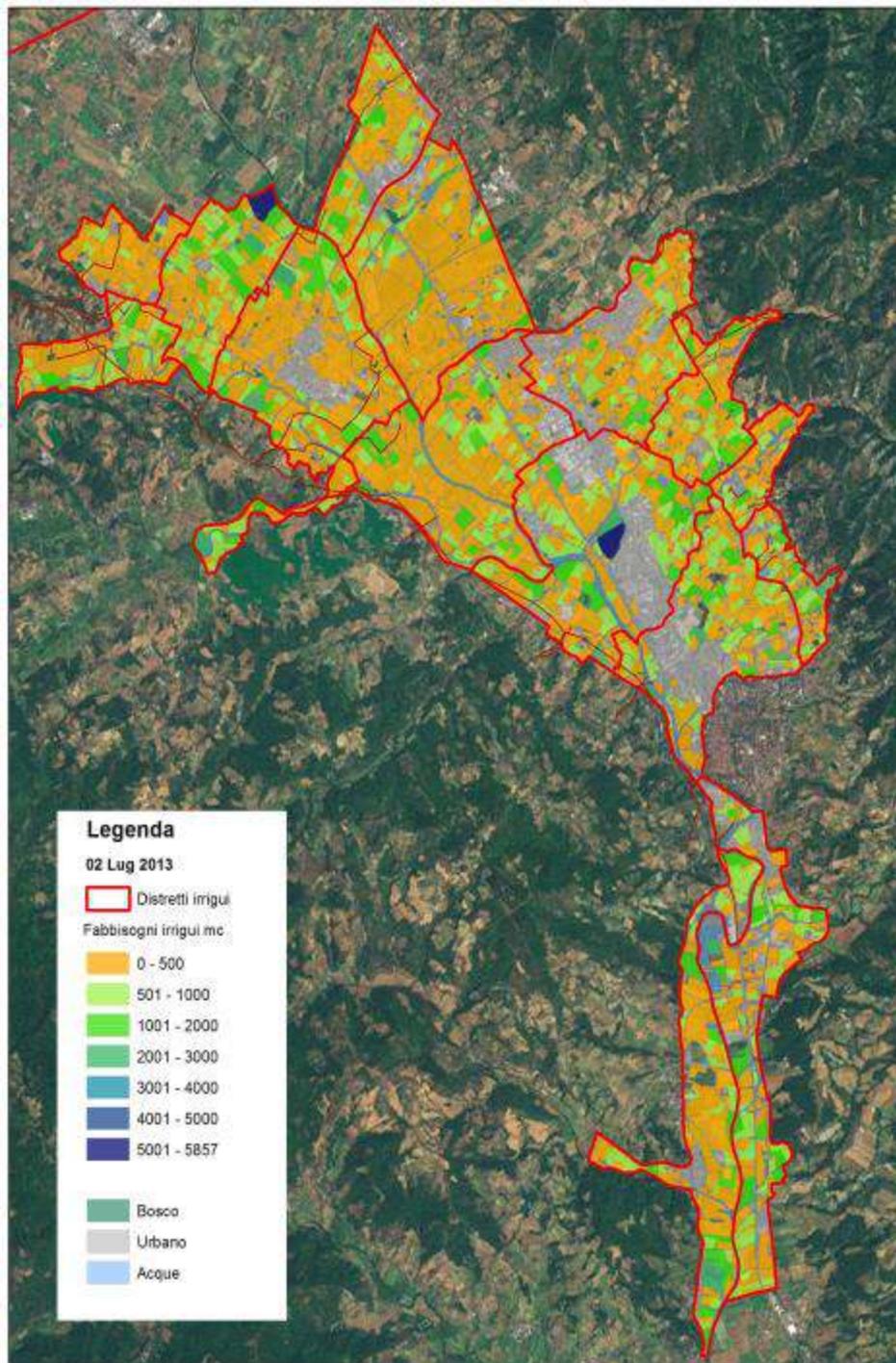


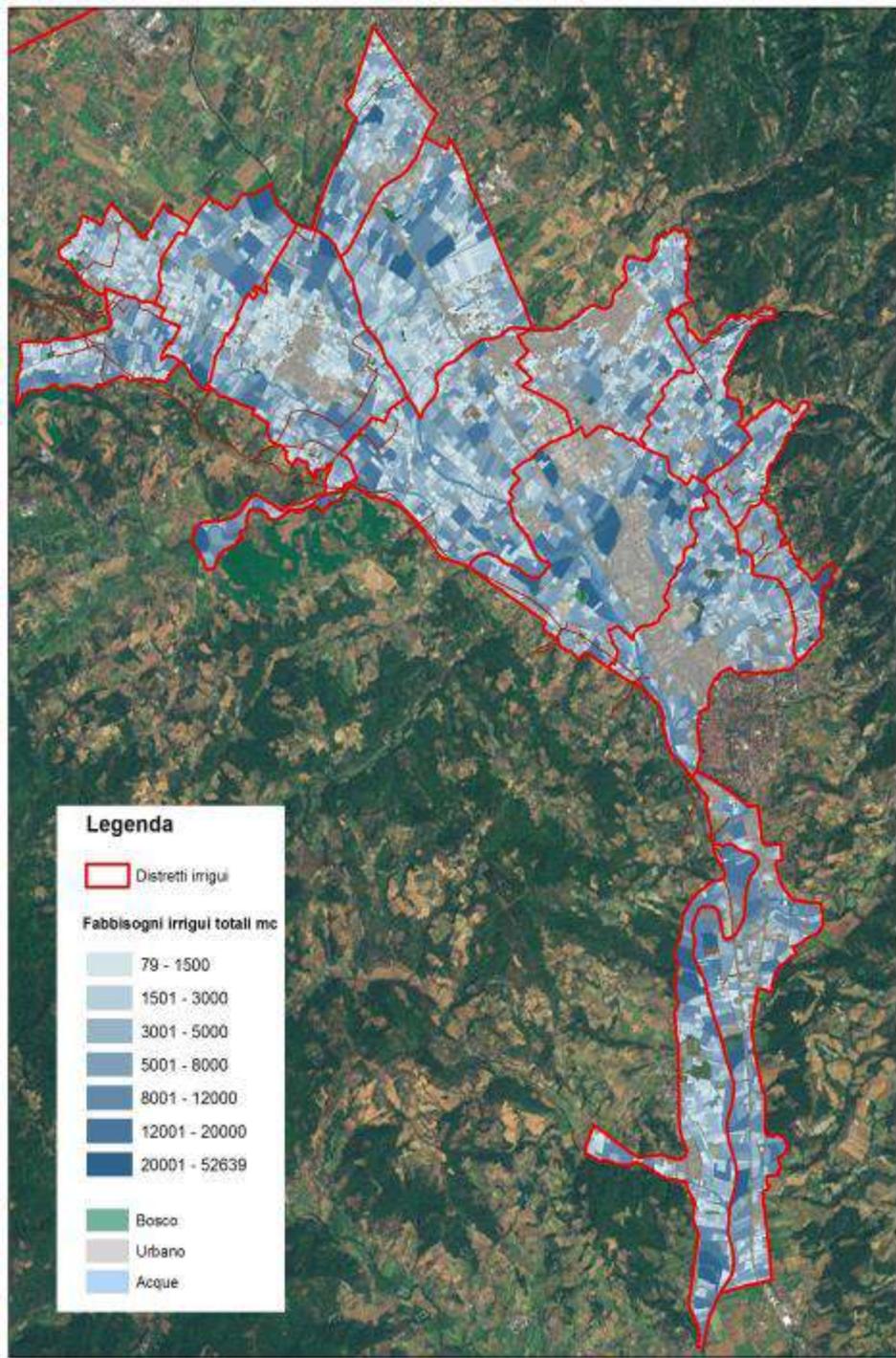
Fabbisogno irriguo -
NDVI immagine
originale (con nuvole)



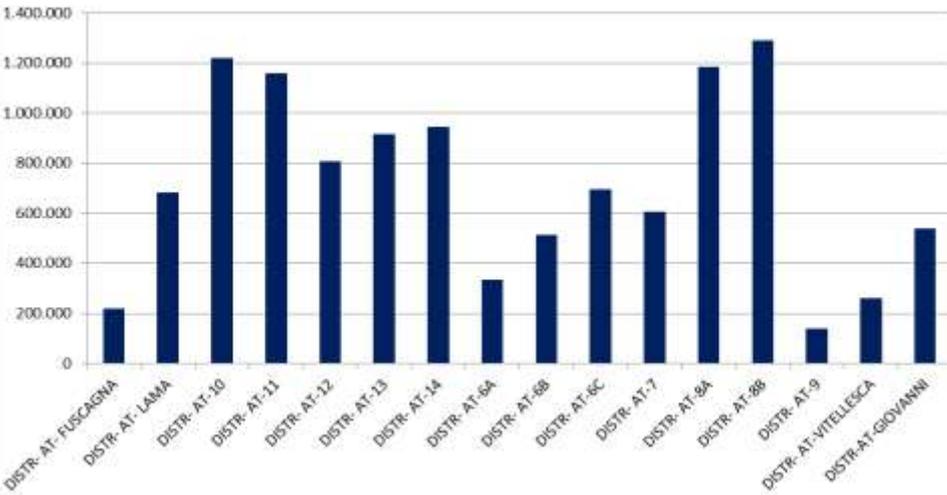
Fabbisogno irriguo -
NDVI ricalcolato
(interpolazione tra
immagine precedente
e successiva)

02 Luglio

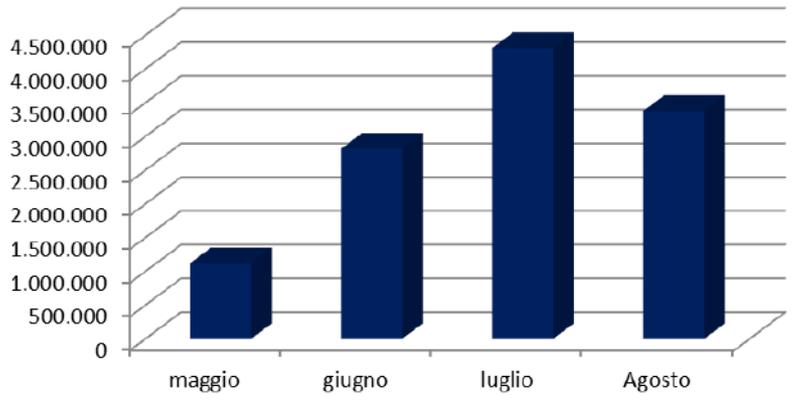




Fabbisogno Idrico cumulato distretti



Fabbisogno cumulato mensile



Principali pubblicazioni

Vanino, S.; Nino, P.; De Michele, C.; Falanga Bolognesi, S.; D'Urso, G.; Di Bene, C.; Pennelli, B.; Vuolo, F.; Farina, R.; Pulighe, G.; Napoli, R. *Capability of Sentinel-2 data for estimating maximum evapotranspiration and irrigation requirements for tomato crop in Central Italy*. Remote Sens. Environ. 2018. ISSN: 00344257, <https://doi.org/10.1016/j.rse.2018.06.035> (Codice Scopus, 2-s2.0-85049315227: Codice WOS: 000440776000032)

Vanino, S.; Pulighe, G.; Nino P.; De Michele, C.; Bolognesi, S.; D'Urso, G. *Estimation of Evapotranspiration and Crop Coefficients of Tendone Vineyards Using Multi-Sensor Remote Sensing Data in a Mediterranean Environment*. Remote Sens. 2015, 7(11), 14708-14730; ISSN: 20724292, doi: 10.3390/rs71114708.<http://www.mdpi.com/2072-4292/7/11/14708> (Codice Scopus, s2.0-84950150287: Codice WOS: 000366185200020)

S. Vanino, Nino P., C. De Michele, S. Falanga Bolognesi, G. Pulighe (2015). *Earth Observation for improving irrigation water management: a case-study from Apulia Region in Italy*. ELSEVIER, Agriculture and Agricultural Science Procedia 4 (2015) 99 – 107. <http://dx.doi.org/10.1016/j.aaspro.2015.03.012>. (Codice WOS: 000360011000011)

Nino P., Lupia F., Altobelli F., Vanino S., Namdarian I. (2011). *Tools for Crop Water Irrigation Assessment: Two Italian Examples*. Proceedings of 5th International Conference on Information and Communication Technologies in Agriculture, Food and Environment (HAICTA 2011) September 8-11, 2011, Skiathos Island, Greece. ISSN: 16130073, (Codice Scopus, 2-s2.0-84921910371)

Andrea Fais, Rosario Napoli, Nino P., Paolo Bazzoffi, Nicola Laruccia (2006) – “Irrigation sustainability in the land use/soil system in South Italy: results from a GIS simplified approach and future methodological developments”. OECD WORKSHOP ON AGRICULTURE AND WATER: SUSTAINABILITY, MARKETS AND POLICIES. Book chapter, ISBN 92-64-02256-2, 14-16 November – Adelaide Convention Centre, North Terrace, Adelaide, South Australia. DOI: 10.1787/9789264022577-22-en (Codice Scopus, 2-s2.0-84909354953)

A. Fais, Nino P., U. Minelli (2005) - “Airborne hyperspectral scanner and laser altimeter data application to water reservoirs and water use calculation: first results on two Italian case study”. Proc. SPIE 5976, Remote Sensing for Agriculture, Ecosystems, and Hydrology VII, 59760H (October 18, 2005); 19-22 September 2005 Bruges, Belgium. ISSN: 0277786X, DOI: 10.1117/12.627787 (Codice Scopus, 2-s2.0-33244457197)

Nino P. (2013). *La stima dei fabbisogni irrigui delle colture con tecniche di telerilevamento. L'esperienza del progetto SIRIUS*. Rivista Territori, n. 17/2013.

Per approfondire

- ▶ <https://eo-college.org/courses/>



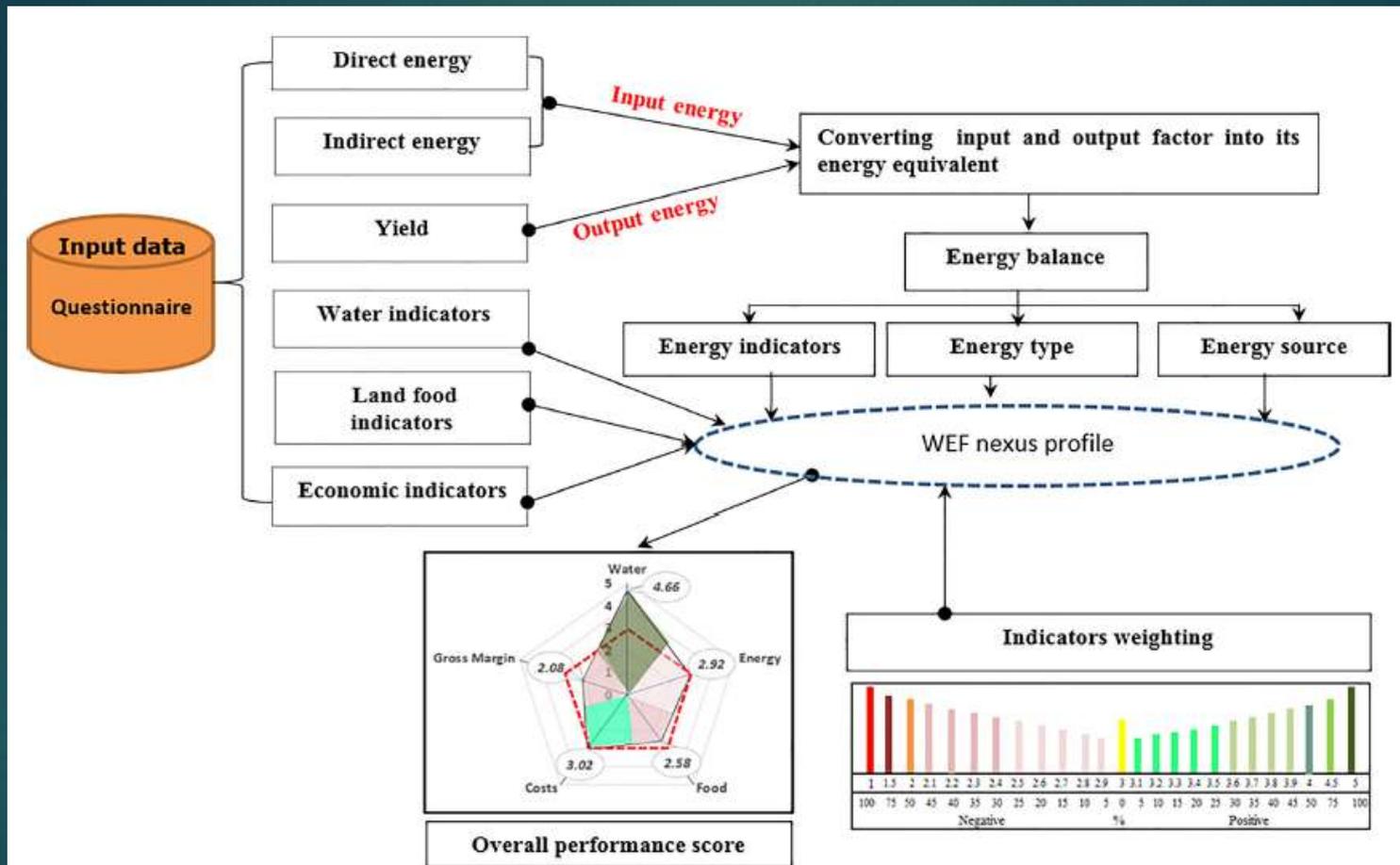
“Water Energy Food nexus” (WEF) as conceptual framework

Caso studio: diverse strategia di concimazione grano duro (Tarquinia- progetto FATIMA), impatto ambientale ed economico

Treatment	Time	Type	Quantity (kg/ha)	N %	N (Kg/ha)
SNF	Sowing	Diammonium phosphate (DAP)	220	18	39.6
	Top dressing 1	Ammonium Nitrate	200	26	52
	Top dressing 2	Ammonium Nitrate	150	26	39
	Total				130.6
SRN	Sowing	ENTEC 25/15 DMPP ^a	160	25	40
	Top dressing 1	ENTEC 26 DMPP	350	26	91
	Total				131
ORG	Sowing	Poultry manure	4.360	3	130.8



Rappresentazione schematica del flusso di lavoro



Definizione indicatori

Energy based indicators.

Indicator	Definition	Unit	Description
Energy use efficiency (EUE)	$\frac{\text{energy output} (\frac{MJ}{ha})}{\text{energy input} (\frac{MJ}{ha})}$	ratio	The output-input energy ratio is one of the indices that show the energy efficiency of agriculture system. An increase in the ratio indicates improvement in energy efficiency, and vice versa
Specific Energy (SE)	$\frac{\text{energy input} (\frac{MJ}{ha})}{\text{yield} (\frac{kg}{ha})}$	MJ/kg	Quantity of energy employed per unit of product obtained. An increase in the indicator denote low energy efficiency, and vice versa

Contribution of Type and Source of energy.

Types of energy	Unit	Categories of input
Direct energy (DE)	MJ/ha	Human labour, diesel, electricity
Indirect energy (IE)	MJ/ha	Seeds, chemical fertilizers (NPK), weed control, pesticide, fungicide and machinery
Source of energy		
Renewable energy (RE)	MJ/ha	Human labour, organic fertilizer and seeds
Non-renewable energy (NRE)	MJ/ha	Diesel, electricity, chemical fertilizers (NPK), weed control, pesticide, fungicide and machinery.

- Food land-based indicators.

Indicator	Definition	Unit	Description
Crop Production (CP)	$\frac{\text{yield}}{ha}$	kg/ha	Production capacity of land
Gross Production (GP)	$\frac{TGP}{UAA}$	€/ha	Total economic value of production. TGP: Total Gross Production, UAA: Utilised Agricultural Area

Economic indicators.

Indicator	Definition	Unit	Description
Total Direct Costs (TDC)	$\sum_i^n \epsilon * ha$	€/ha	Direct costs linked with the productive process, i...n are the productive factors (i.e. labour Cost, Fuel Cost, Input Cost etc.)
Gross Margin (GM)	$TGP - TDC$	€/ha	Gross economic value of production. TGP: Total Gross Production TDC: Total Direct Costs (do not consider the human and machinery labor costs)

Amounts of inputs and outputs in wheat production in the Italian case study of FATIMA project during crop season 2016-17.

Conversion of input/output into its energy equivalent and indicators calculation

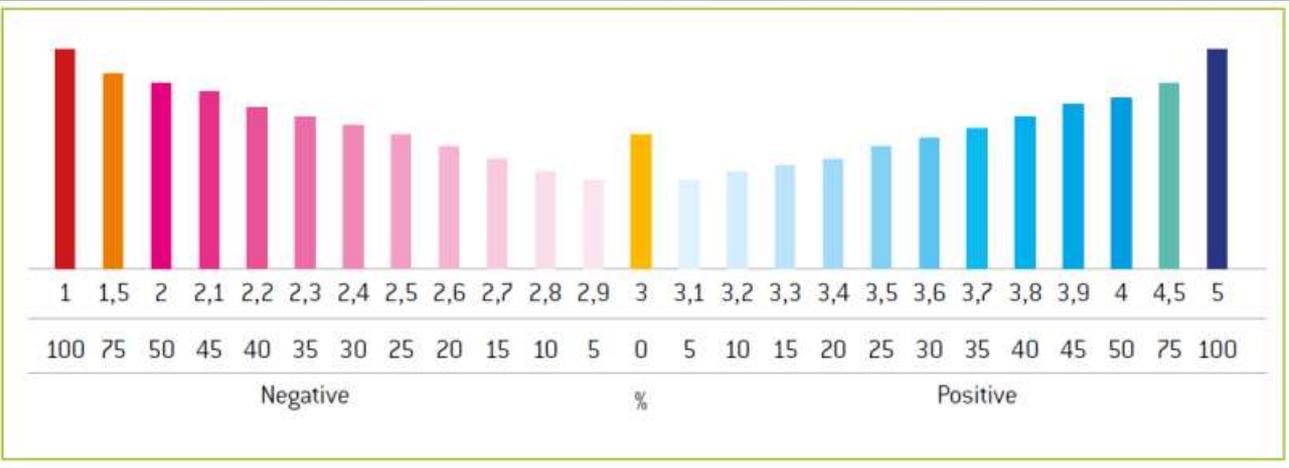
		Fertilization strategy		
		SNF	SRN	ORG
A - Input	Unit			
Human labour	h/ha	8.5	7.7	6.9
Machinery	h/ha	7.6	7.1	6.6
Diesel fuel	l/ha	191.0	184.0	147.0
N	kg/ha	131	131.0	0.0
P	kg/ha	72.3	16.9	65.1
Poultry Manure	kg/ha			4,360
Weed control	kg/ha	1.0	1.0	1.0
Seed	kg/ha	200	200	200
B - Output				
Yield	kg/ha	6,794	5344	4,338

Energy input-output relationship in wheat production and related indicators.

	SNF		SRN		ORG	
	(MJ/ha)	%	(MJ/ha)	%	(MJ/ha)	%
A - Inputs						
Human labor	17	0.09	15	0.09	14	0.11
Machinery	477	2.63	445	2.56	414	3.42
Diesel fuel	9,130	50.37	8,795	50.66	7,027	58.08
N Chemical	5,311	29.30	5,482	31.58	0	0.00
N Organic	0	0.00	0	0.00	1,526	12.61
P	745	4.11	174	1.00	671	5.54
Weed control	248	1.37	248	1.43	248	2.05
Seeds	2,200	12.14	2,200	12.67	2,200	18.18
B - Outputs (MJ/ha)						
Yield	112,095		88,180		71,577	
Total energy inputs (MJ/ha)	18,126		17,360		12,098	
Total energy outputs (MJ/ha)	112,095		88,180		71,577	
Energy Indicators						
Energy Use Efficiency (EUE)	6.18		5.08		5.92	
Specific Energy (SE)	2.67		3.25		2.79	
Energy forms						
Direct energy (DE)	9,146		8,810		7,040	
Indirect energy (IE)	8,980		8,550		5,058	
Energy source						
Renewable energy (RE)	2,217		2,215		3,740	
Non - renewable energy (NRE)	15,910		15,145		8,359	



Costruzione di un profilo WEF per ciascun tipo di concimazione, basato sui valori ottenuti dagli indicatori. Agli indicatori è stato assegnato un valore in una scala da 0 a 5, corrispondente a una variazione del $\pm 100\%$ rispetto al benchmark per ciascuno degli aspetti del WEF. I punteggi di ciascun indicatore sono stati calcolati seguendo una linea numerica continua compresa tra 1 e 5, dove il valore 3 rappresenta lo 0% (nessuna variazione tra indicatore e benchmark), 1 rappresenta $\leq 100\%$, (l'indicatore effettivo è meno sostenibile del benchmark) e 5 $\geq 100\%$, (l'indicatore attuale è più sostenibile del benchmark).



Nexus context indicators in wheat production in the Italian case study of FATIMA project during crop season 2016-17.

	SNF	SRN	ORG	Δ SRN/SNF	Score	Δ ORG/SNF	Score
Indicators	Water						
WQ	14.4	2.4	1.4	83%	4.66	90%	4.80
	Energy						
EUE	6.18	5.08	5.92	18%	2.64	4%	2.92
SE	2.67	3.25	2.79	22%	2.56	4%	2.92
DE	9,146	8,810	7,040	4%	3.08	23%	3.46
IE	8,980	8,550	5,058	5%	3.10	44%	3.88
RE	2,217	2,215	3,740	0%	3.00	69%	4.38
NRE	15,910	15,145	8,359	5%	3.10	47%	3.94
<i>Overall performance score</i>					2.91		3.58
	Food						
GP	1,291	1015	824	21%	2.58	36%	2.28
	Economic						
TDC	705	696	1,098	1%	3.02	56%	1.88
GM	586	319	-274	46%	2.08	147%	1.00

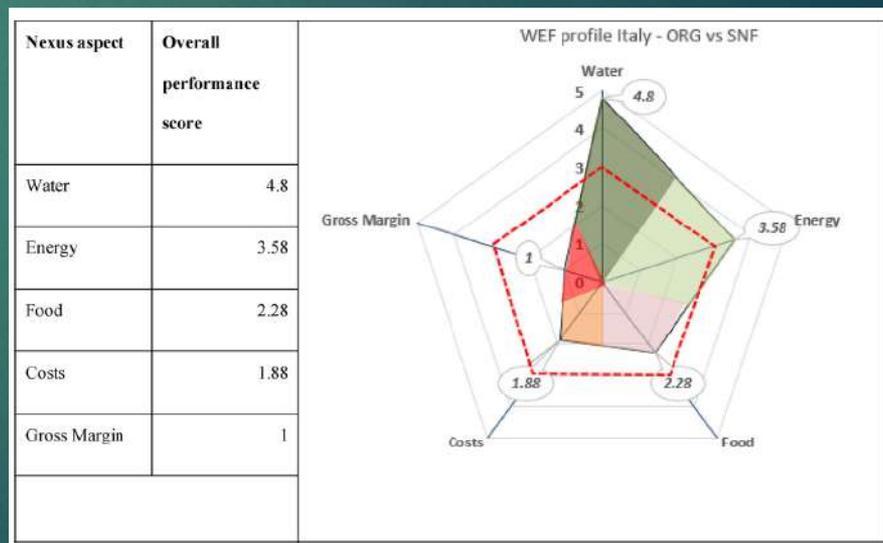
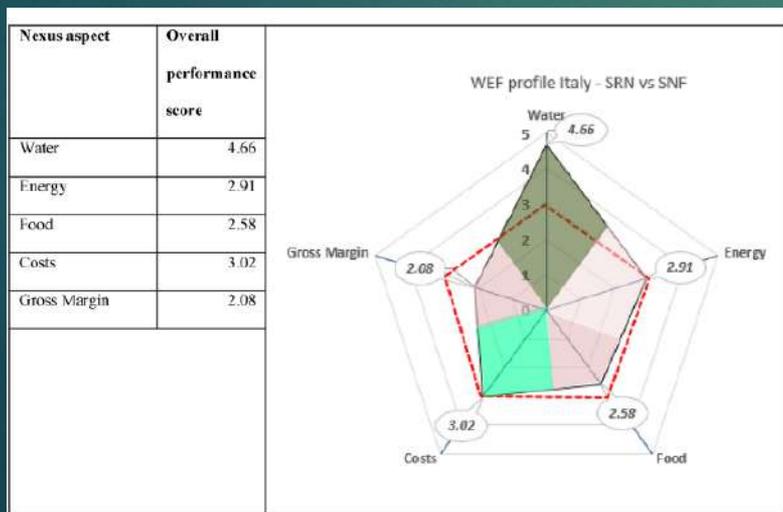


Fig. 5. Overall performance of the SRN fertilization strategies and related radar graph per nexus aspect.

Principali pubblicazioni

Fabiani S., Vanino S., Napoli R., Zajíček A., Duffková R., Evangelou E, Nino P., (2020). Assessment of the economic and environmental sustainability of Variable Rate Technology (VRT) application in different wheat intensive European agricultural areas. A Water energy food nexus approach. Environmental Science and Policy, Vol. 114, Pages 366-376, December 2020, <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2020.08.019>. (Codice Scopus: 2-s2.0-85090883104)

Fabiani S., Vanino S., Napoli R., Nino P., 2019. Water Energy Food nexus approach for sustainability assessment at farm level: an experience from an intensive agricultural area in central Italy. Environmental Science & Policy, Volume 104, February 2020, Pages 1-12. ISSN: 1462-9011, <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2019.10.008> (Codice Scopus: 2-s2.0-85074645559). Pubblicato online 12/11/2019



**Grazie per
l'attenzione**

pasquale.nino@crea.gov.it