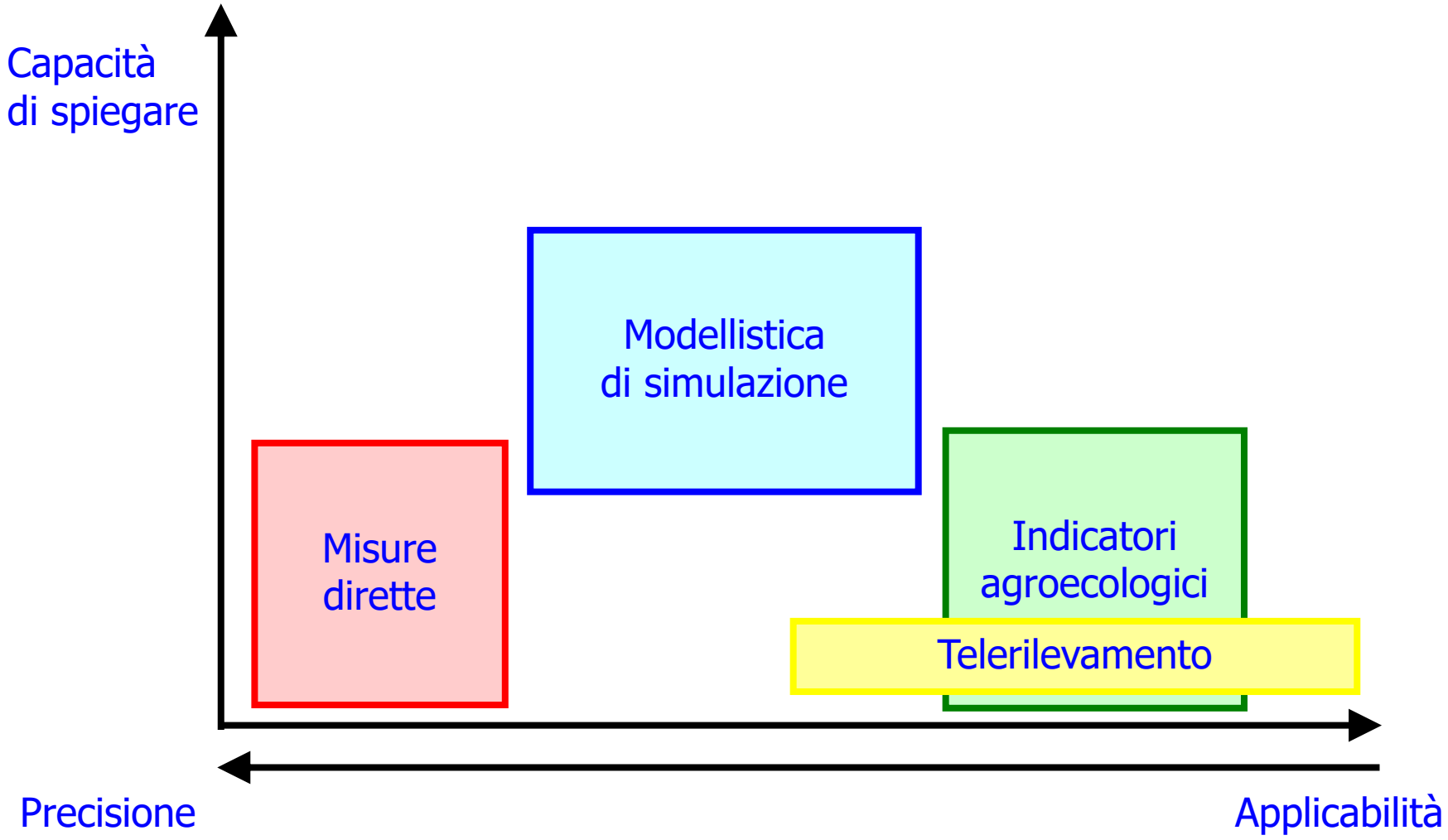
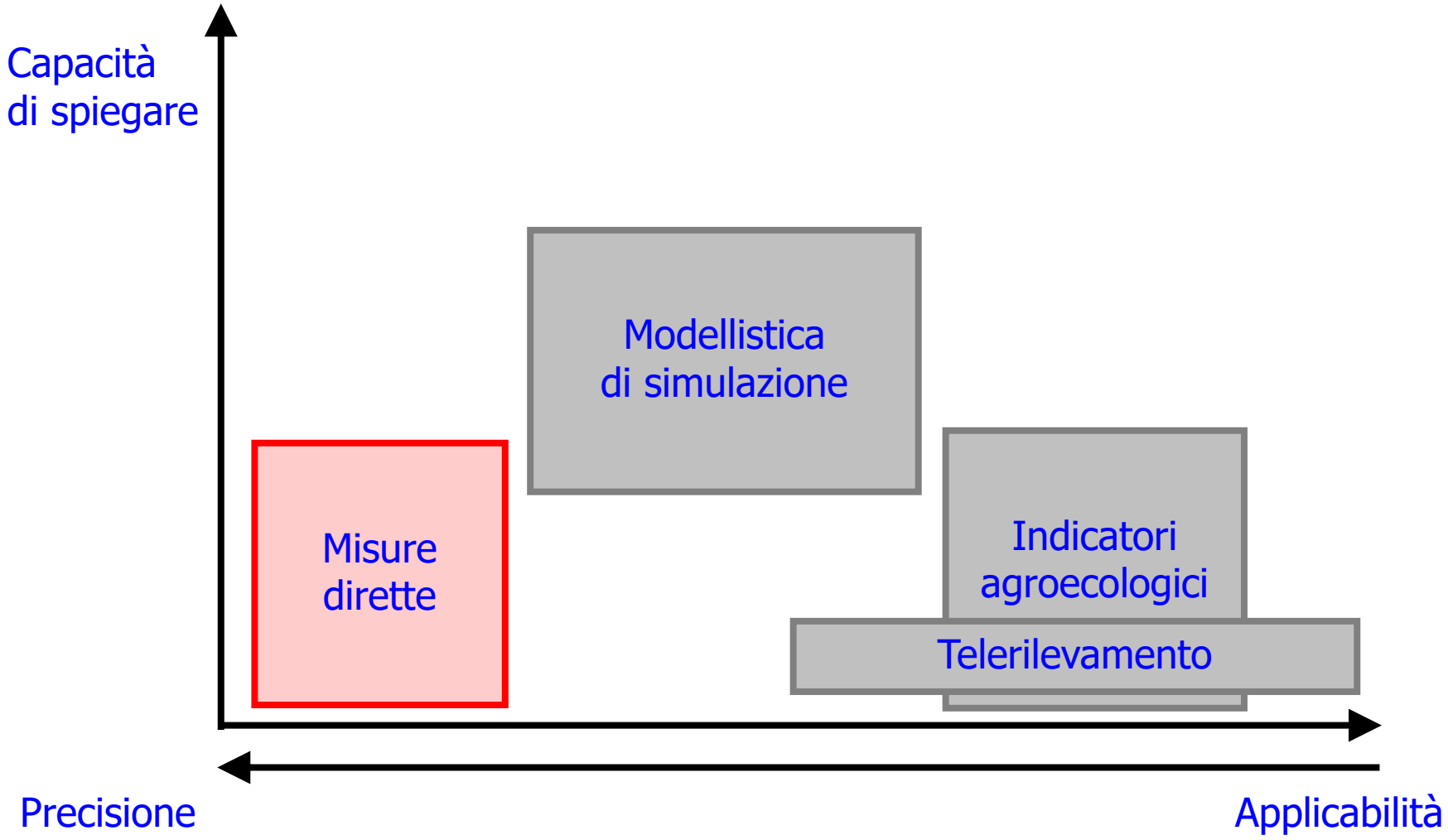
Analizzare e gestire sistemi colturali attraverso misure dirette

1. Sviluppare strumenti/**N in copertura**

Analisi di sistemi colturali attraverso Misure dirette



Analisi di sistemi colturali attraverso Misure dirette



Indice di area fogliare
Leaf area index (LAI)

"Area della superficie fogliare che insiste sulla superficie unitaria di suolo"

E' una variabile fondamentale per analizzare le interazioni tra le piante e l'atmosfera

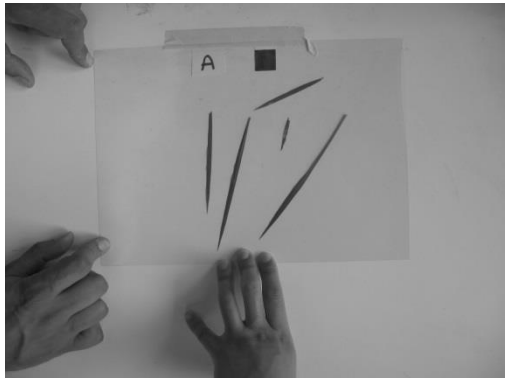
- Quantità di radiazione intercettata
- Stima richieste idriche
- CO_2 sequestration
- Assimilazione in modelli di simulazione
- Previsioni di resa
- …stima N_{crit}!

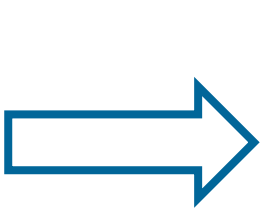
Indice di area fogliare
Leaf area index (LAI)

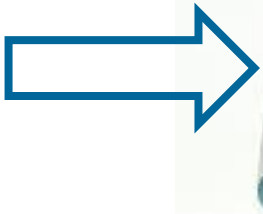
Come misurarlo …o stimarlo?

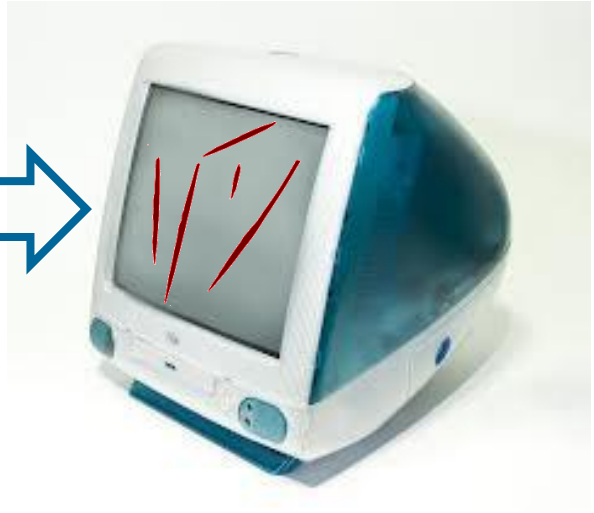
Può essere **misurato**

1. Raccogliendo le foglie
2. Misurando la loro superficie
   - Con strumenti dedicati
   - Acquisendo e processando immagini









Come misurarlo …o stimarlo?

E’ una "misura"…

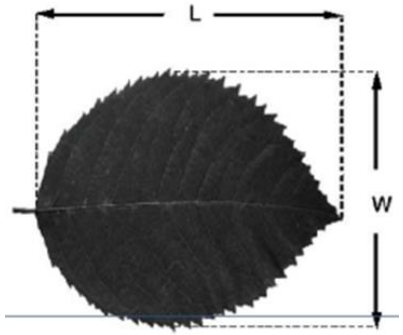
…ma ha alcune controindicazioni:

- Molto onerosa
- Conservazione (accartocciamento foglie)
- Sovrapposizione foglie
- Calibrazione area meter
- È una misura distruttiva
- …con canopy arboree?

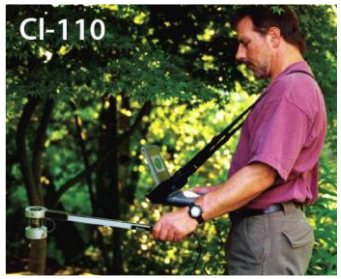
Come misurarlo …o stimarlo?

Può essere **stimato** (metodi indiretti)

- Relazioni allometriche
- Inversione di modelli di trasferimento radiativo
  - LAI-2000, LAI-2200
  - Ceptometri (AccuPAR, SUNSCAN)
  - CI-100
  - Camera emisferica

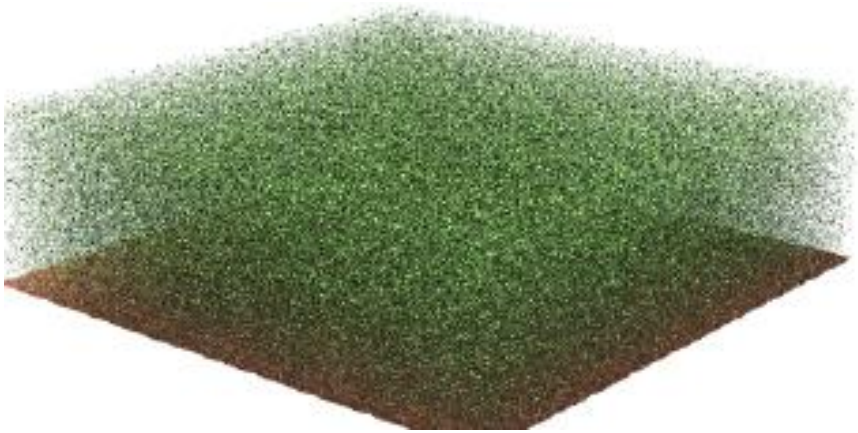


Adatti nel caso sia necessario fare molte misure



Come misurarlo ...o stimarlo?

Metodi indiretti per la stima del LAI



Modello di Poisson per foglie **infinitamente piccole distribuite casualmente**:

$$P_0(\theta_v) = e^{-k(\theta_v)\cdot LAI}$$

P_0: gap fraction
θ_v: angolo di misura
k: coefficiente di estinzione, funzione di θ_v e di x (distribuzione ellissoidale di Campbell dell'angolazione delle foglie)

$$k(x,\theta) = \frac{\sqrt{x^2 + \tan(\theta)^2}}{x + 1.702\cdot(x+1.12)^{-0.708}}$$

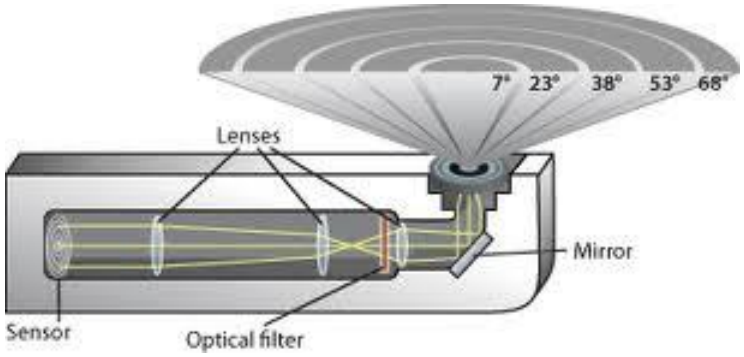
Come misurarlo ...o stimarlo?

Li-Cor LAI-2000 PCA

$$P_0(\theta_v, \varphi_v) = \exp\left[\frac{-G(\theta_v, \varphi_v) \cdot LAI}{\cos(\theta_v)}\right]$$

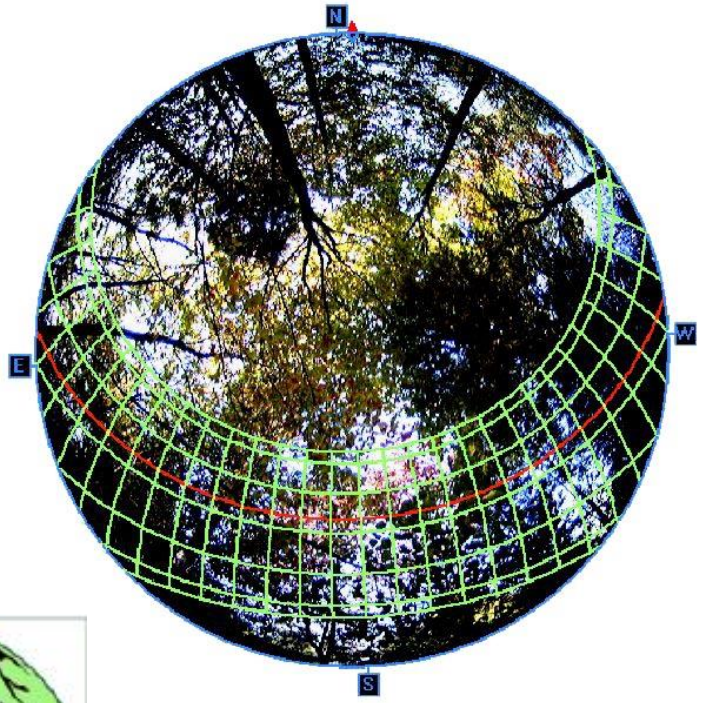
[+] con più angoli non è necessario conoscere G!

[-] qualche problema con radiazione diretta



Come misurarlo …o stimarlo?

Fotografia emisferica (obiettivo fisheye)



Come misurarlo …o stimarlo?

57.5°: L'angolo magico…

Warren-Wilson (1963)!!!

Agricultural and Forest Meteorology 150 (2010) 1393–1401

Contents lists available at ScienceDirect

Agricultural and Forest Meteorology

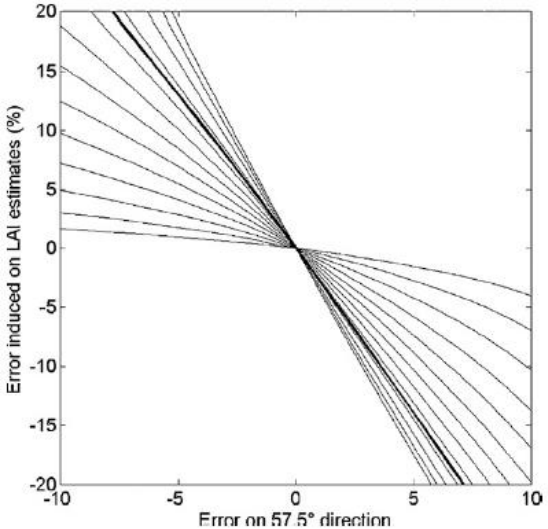
journal homepage: www.elsevier.com/locate/agrformet

ELSEVIER

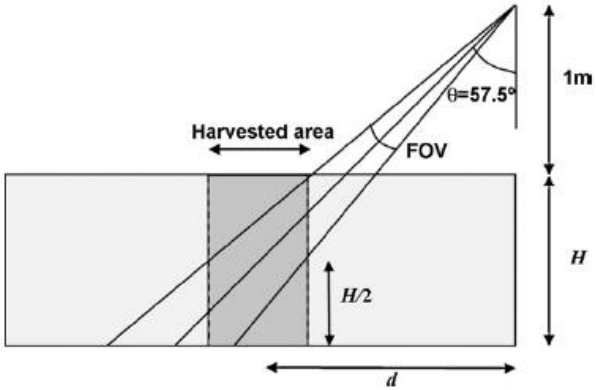
GAI estimates of row crops from downward looking digital photos taken perpendicular to rows at 57.5° zenith angle: Theoretical considerations based on 3D architecture models and application to wheat crops

F. Baret[a,*], B. de Solan[a,b], R. Lopez-Lozano[a], Kai Ma[a], M. Weiss[a]

[a] INRA EMMAH UMR1114, Domaine Saint-Paul, Site Agroparc, 84914 Avignon Cedex 9, France
[b] ARVALIS – Institut du végétal, Station expérimentale, 91720 Boigneville, France



$$LAI = -\left(\frac{\cos(57.5°)}{0.5}\right)\log(P_0(57.5°))$$



Come misurarlo …o stimarlo?

Alcuni degli strumenti che abbiamo visto sono

- Piuttosto onerosi… (costano molto o richiedono molto tempo)
- Caratterizzati da una ridotta portabilità
- Richiedono misure "sopra la canopy" (…)
- In caso di guasto, gli interventi di manutenzione possono essere molto lunghi e costosi

…le campagne di misura possono essere interrotte

Il contesto: c'è nuova tecnologia disponibile

Smartphone:

- Volumi di produzione diversi da quelli di LAI-2000 e ceptometri…
- La pressione competitiva sta spingendo i produttori a montare sui telefoni hardware sempre più incredibile
- Sensori di qualità e grande capacità di calcolo a basso costo
- …Il fatto che i telefoni permettano di fare e ricevere telefonate sta diventando quasi secondario

Il contesto: c'è nuova tecnologia disponibile

Computers and Electronics in Agriculture 96 (2013) 67–74

Contents lists available at SciVerse ScienceDirect

Computers and Electronics in Agriculture

journal homepage: www.elsevier.com/locate/compag

Development of an app for estimating leaf area index using a smartphone. Trueness and precision determination and comparison with other indirect methods

R. Confalonieri [a,*], M. Foi [b], R. Casa [c], S. Aquaro [d], E. Tona [d], M. Peterle [d], A. Boldini [d], G. De Carli [d], A. Ferrari [d], G. Finotto [d], T. Guarneri [d], V. Manzoni [d], E. Movedi [d], A. Nisoli [d], L. Paleari [d], I. Radici [d], M. Suardi [d], D. Veronesi [d], S. Bregaglio [a], G. Cappelli [a], M.E. Chiodini [a], P. Dominoni [a], C. Francone [a], N. Frasso [a], T. Stella [a], M. Acutis [a]

[a] *Università degli Studi di Milano, Department of Agricultural and Environmental Sciences – Production, Landscape, Agroenergy, Cassandra lab, via Celoria 2, I-20133 Milan, Italy*
[b] *Università degli Studi di Milano, Ardito Desio Earth Sciences Department, via Mangiagalli 34, I-20133 Milan, Italy*
[c] *Università degli Studi della Tuscia, Department of Sciences and Technologies for Agriculture, Forests, Nature and Energy, via San Camillo de Lellis, I-01100 Viterbo, Italy*
[d] *Università degli Studi di Milano, Students of the Cropping Systems Ms course, via Celoria 2, I-20133 Milan, Italy*

Abbiamo visto quanto sia importante l'angolo (o gli angoli!) di acquisizione.

La posizione perfettamente orizzontale dello strumento è fondamentale, altrimenti gli angoli…

E' possibile fare di meglio…

Abbiamo usato l'accelerometro del telefono per derivare un inclinometro (metodo dei 57.5°)

$$G_p = \begin{pmatrix} G_{px} \\ G_{py} \\ G_{pz} \end{pmatrix} = Rg = R\begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix}$$

$$R_x(\phi) = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\phi & \sin\phi \\ 0 & -\sin\phi & \cos\phi \end{pmatrix} \quad R_y(\theta) = \begin{pmatrix} \cos\theta & 0 & -\sin\theta \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin\theta & 0 & \cos\theta \end{pmatrix} \quad R_z(\psi) = \begin{pmatrix} \cos\psi & \sin\psi & 0 \\ -\sin\psi & \cos\psi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$\tan\theta_{xyz} = \left(\frac{-G_{px}}{G_{py}\sin\phi + G_{pz}\cos\phi} \right) = \frac{-G_{px}}{\sqrt{G_{py}^{\ 2} + G_{pz}^{\ 2}}}$$

$$\tan\phi_{xyz} = \frac{G_{py}}{G_{pz}}$$

PocketLAI

La gap fraction (P_0) è stata stimata utilizzando due metodi:

- rapporto tra luminanza sopra e sotto la canopy
- processamento automatico dell'immagine (segmentazione)

$$L = \frac{N^2 \cdot k}{t \cdot S}$$

$$P_0 = \frac{L_{below}}{L_{above}}$$

L (candele m-2) è la luminanza

N è l'f-number (rapporto focale)

t è il tempo d'esposizione

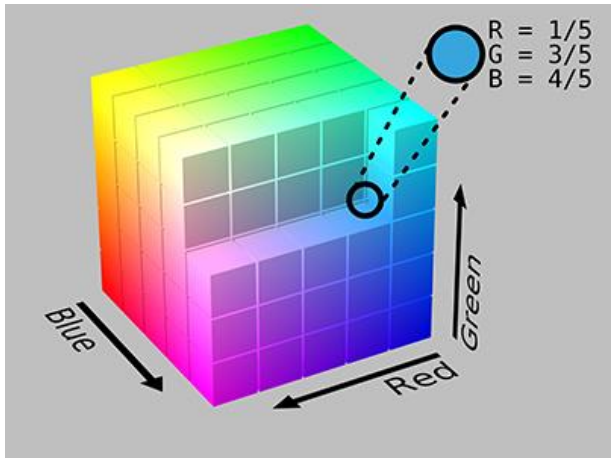
S sono gli ISO (sensibilità sensore)

k è una costante

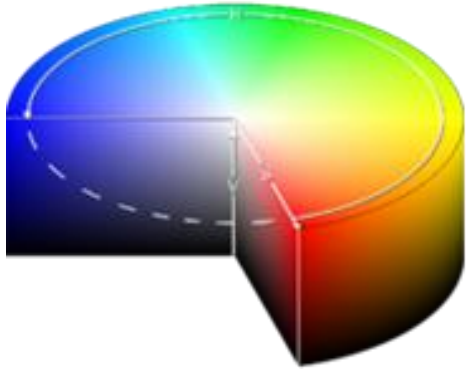
La gap fraction (P_0) è stata stimata utilizzando due metodi:

- rapporto tra luminanza sopra e sotto la canopy
- processamento automatico dell'immagine (segmentazione)

Gap fraction: spazi colore utilizzati per identificare i pixel «di cielo»

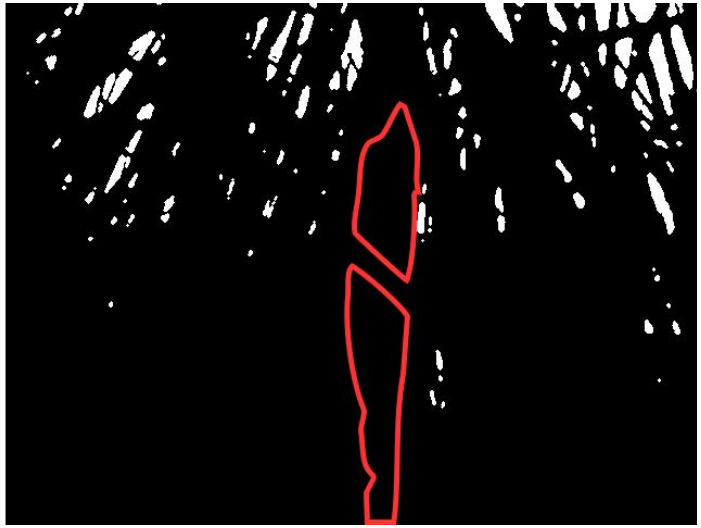


spazio colore RGB (Red Green Blue)



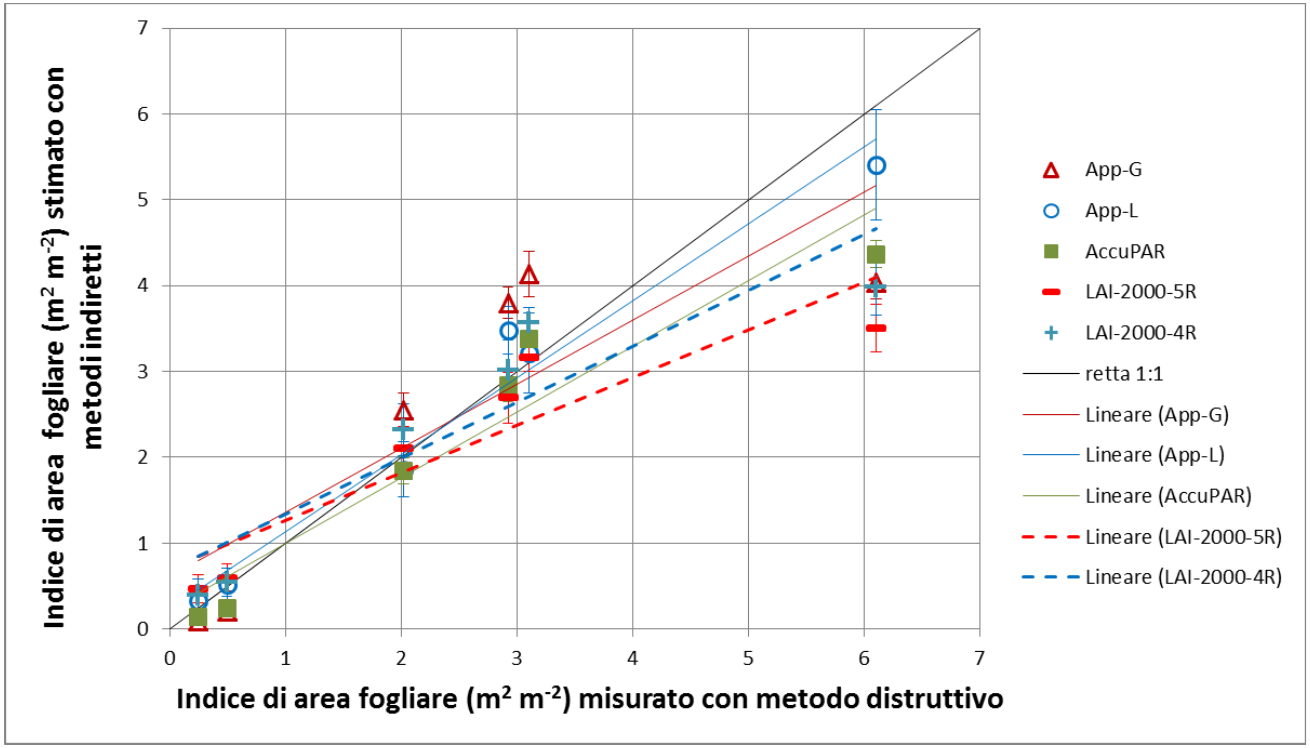
spazio colore HSB (Hue Saturation Brightness)

Gap fraction: processamento automatico delle immagini per identificare i pixel di cielo



PocketLAI

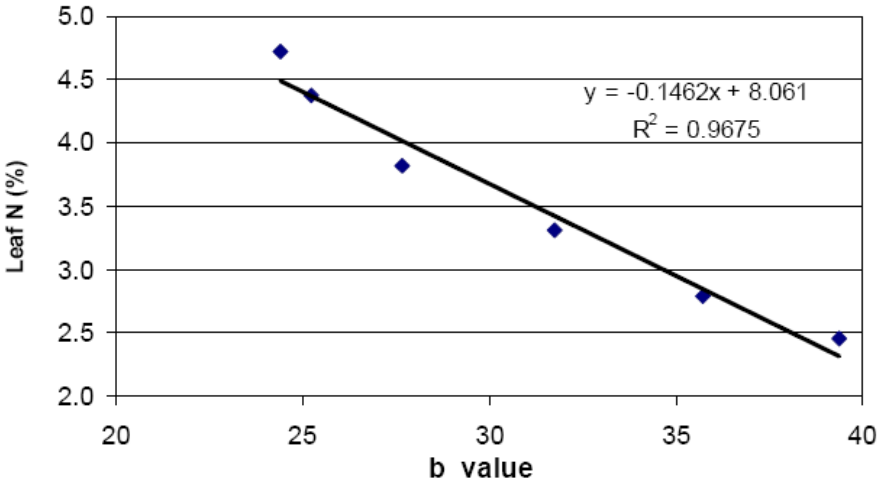
Sistemi Colturali

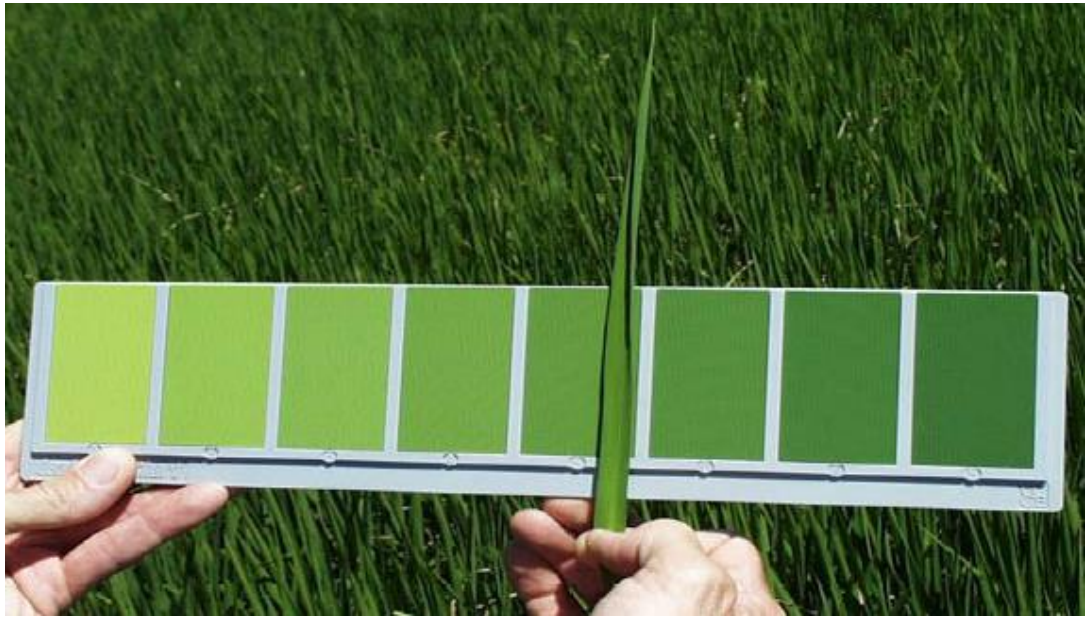


Method	Root mean square error (RMSE)	Modelling efficiency	Coefficient of residual mass
App-G	1.04	0.72	0.01
App-L	0.37	0.96	0.01
AccuPAR	0.73	0.86	0.14
5R	1.07	0.70	0.16
4R	0.90	0.79	0.07

Strumenti diagnostici per N
LCC (semplici)

LCC (Leaf Color Chart)





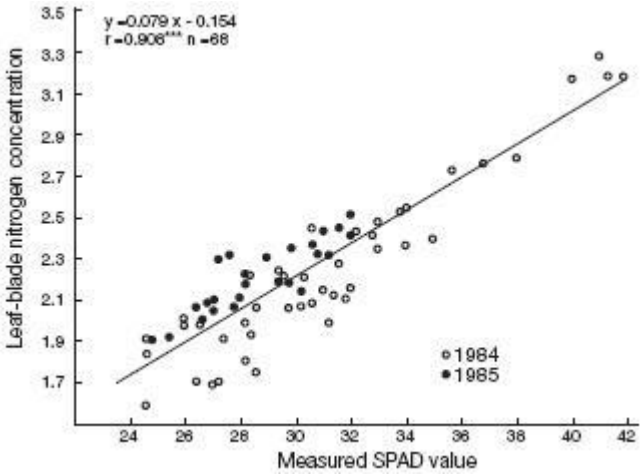
Strumenti diagnostici per N LCC (semplici)

- È molto economico
- La sensibilità a scale di colori è diversa da persona a persona…

Strumenti diagnostici per N SPAD (medi)

KONICA MINOLTA SPAD-502

- Misura il contenuto in clorofilla direttamente sulle foglie "vive" in modo non distruttivo
- Il contenuto in clorofilla è un indicatore che può essere utilizzato per valutare lo stato nutrizionale della pianta
- Misura l'assorbanza della foglia in due regioni dello spettro (rosso e vicino infrarosso)



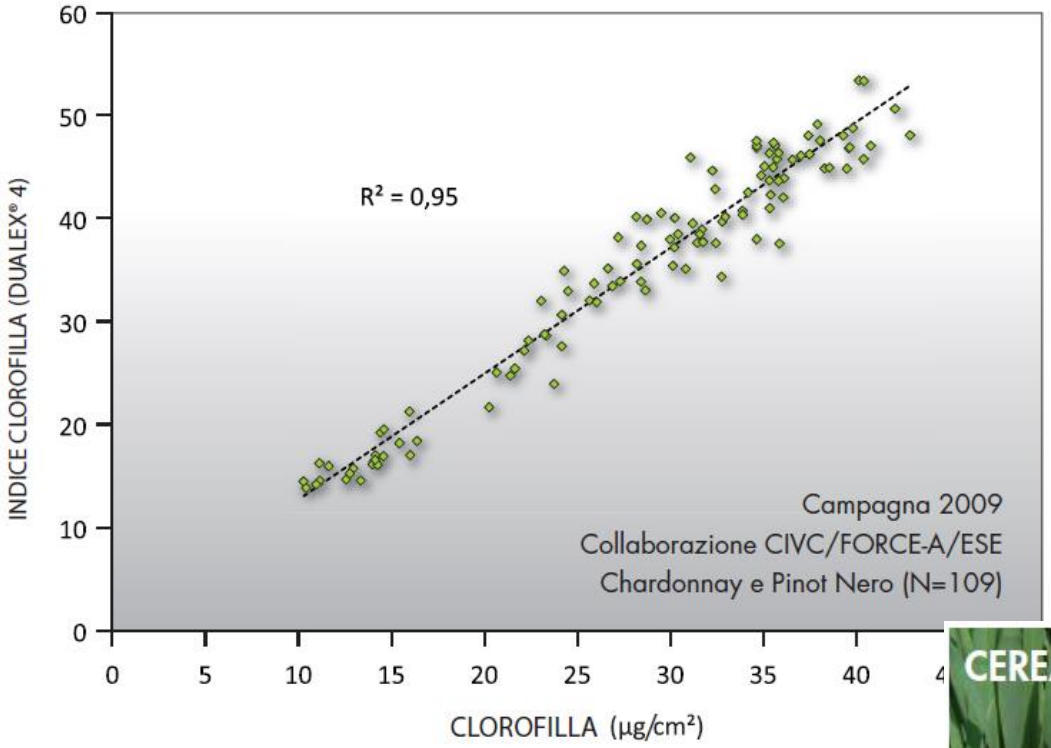
Strumenti diagnostici per N SPAD (medi)

- Non costa proprio poco…
- Ha forse un po’ tradito le aspettative…

Strumenti diagnostici per N
Dualex 4 (flavonoidi e clorofille)

- Fornisce stime del contenuto in azoto sulla base del contenuto relativo in N e C
- Lo fa utilizzando – come variabili surrogate – i contenuti di:
  - ✓ clorofille (ricche in azoto, **metabolismo primario**) e
  - ✓ flavonoidi (ricchi in carbonio, **metabolismo secondario**)
- L'assunto dell'indice (NBI = Chl/Flv) è che:
  - ✓ quando una pianta cresce in condizioni ottimali, favorisce il metabolismo primario e la sintetizza molte molecole ricche in azoto come le clorofille e pochi flavonoidi
  - ✓ quando è invece in condizioni limitate da insufficiente disponibilità di N, indirizza il suo metabolismo verso un'aumentata produzione di flavonoidi

Strumenti diagnostici per N
Dualex 4 (flavonoidi e clorofille)



PocketN…

Sistemi Colturali

BIOSYSTEMS ENGINEERING 135 (2015) 21–30

ELSEVIER

Available online at www.sciencedirect.com

ScienceDirect

journal homepage: www.elsevier.com/locate/issn/15375110

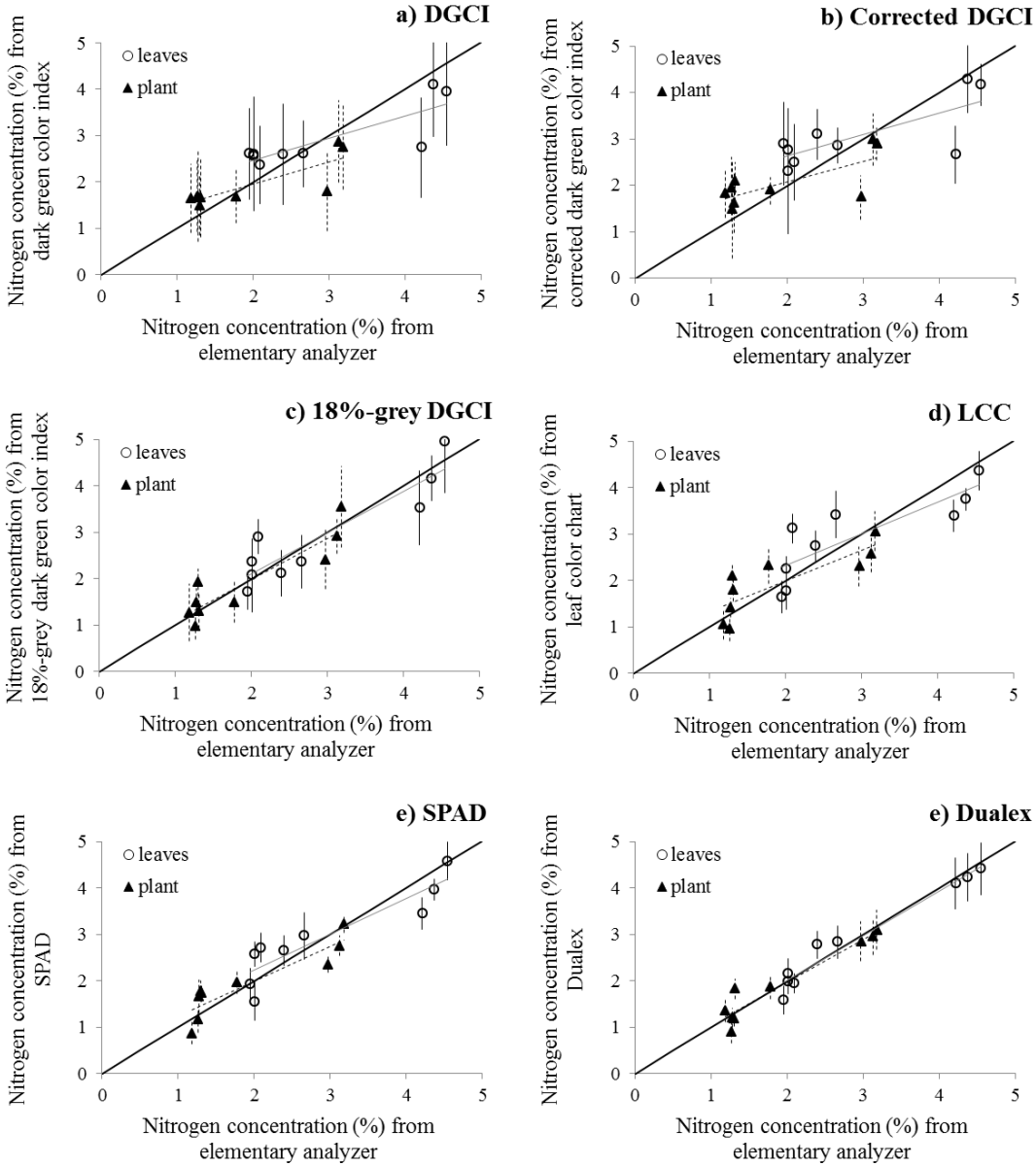
Research Paper

Improving *in vivo* plant nitrogen content estimates from digital images: Trueness and precision of a new approach as compared to other methods and commercial devices

CrossMark

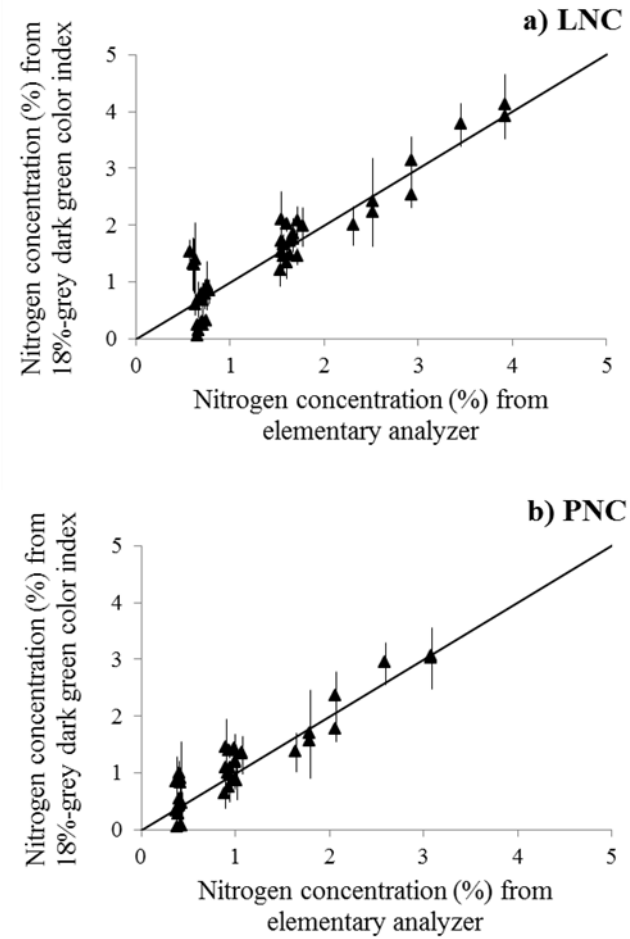
Roberto Confalonieri [a,*], *Livia Paleari* [a], *Ermes Movedi* [a], *Valentina Pagani* [a], *Francesca Orlando* [a], *Marco Foi* [b], *Michela Barbieri* [c], *Michele Pesenti* [c], *Oliver Cairati* [c], *Marco S. La Sala* [c], *Riccardo Besana* [c], *Sara Minoli* [c], *Eleonora Bellocchio* [c], *Silvia Croci* [c], *Silvia Mocchi* [c], *Francesca Lampugnani* [c], *Alberto Lubatti* [c], *Andrea Quarteroni* [c], *Daniele De Min* [c], *Alessandro Signorelli* [c], *Alessandro Ferri* [c], *Giordano Ruggeri* [c], *Simone Locatelli* [d], *Matteo Bertoglio* [a], *Paolo Dominoni* [a], *Stefano Bocchi* [a], *Gian Attilio Sacchi* [a], *Marco Acutis* [a]

PocketN…



2013 – Volano, Gaggiano

2014 – Selenio, Rosasco



Il problema

Domanda crescente di strumenti per ottimizzare la gestione dell'azoto in molti sistemi colturali

- massimizzare le produzioni
- ridurre l'impatto ambientale
- rispettare standard qualitativi richiesti dal mercato (contenuto in proteina)
- aumentare la redditività dei sistemi colturali
- suscettibilità a malattie e allettamento per via del consumo di lusso di azoto

Il problema

Tre categorie di soluzioni tecniche:

- genetica (medio/lungo termine)
- simulatori (analisi di scenari, strategici)
- sistemi diagnostici (tattici)

Sistemi diagnostici (inclusi quelli che mirano a VRT)

- informazioni statiche derivate da analisi del suolo, telerilevamento o mappe di resa degli anni precedenti
- monitoraggio dinamico usando informazioni in real-time
  - ✓ sensori montati sui trattori
  - ✓ telerilevamento
  - ✓ strumenti diagnostici portatili

Indice di stato nutrizionale

Gli approcci più quantitativi per monitorare dinamicamente lo stato nutrizionale sono basati sull'integrazione di:

- telerilevamento satellitare e
- poche misure a terra guidate dal satellite

→ L'obiettivo è derivare stime spazialmente distribuite dell'indice di stato nutrizionale (NNI)

$$NNI = \frac{PNC}{Ncrit}$$

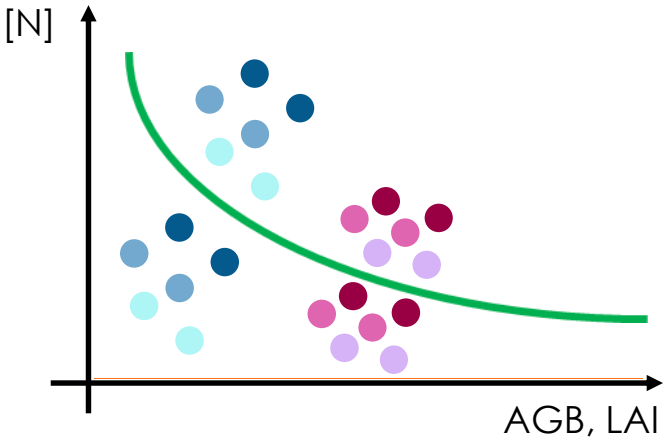
PNC e $Ncrit$ sono il contenuto di azoto rilevato nella pianta e il contenuto critico

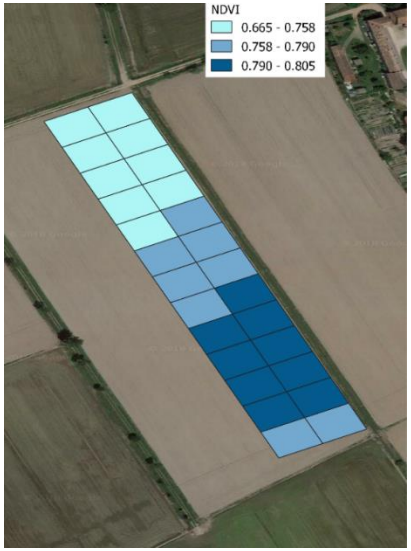
Indice di stato nutrizionale

Perché i dati satellitari – da soli – non sono sufficienti?

…catturano la variabilità spaziale in termini relativi

- Il campo potrebbe essere
  - ✓ tutto in stress (di più in alto, meno in basso)
  - ✓ tutto in consumo di lusso (di più in basso, meno in alto)





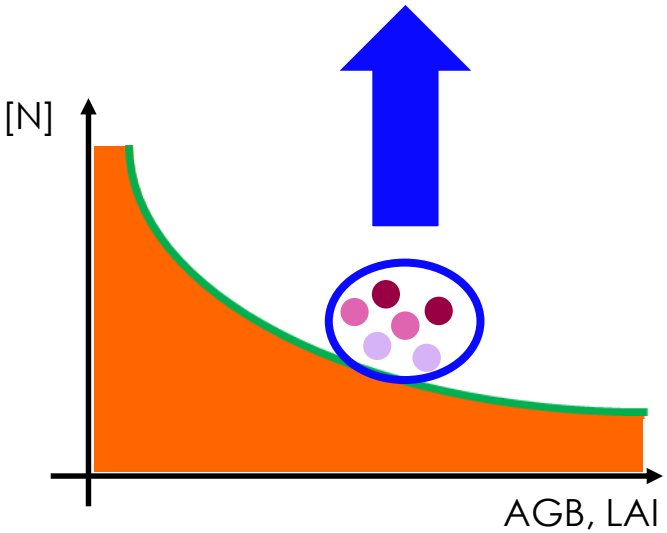
Indice di stato nutrizionale

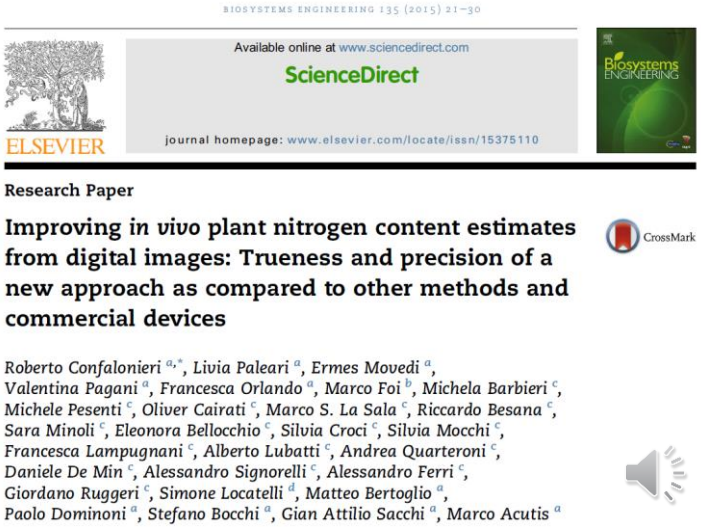
PocketN

Gradazione di verde delle foglie

Curve di calibrazione specifiche per varietà/ibridi

Contenuto di azoto nella pianta (PNC)





BIOSYSTEMS ENGINEERING 135 (2015) 21–30

Available online at www.sciencedirect.com

ScienceDirect

journal homepage: www.elsevier.com/locate/issn/15375110

ELSEVIER

Research Paper

Improving *in vivo* plant nitrogen content estimates from digital images: Trueness and precision of a new approach as compared to other methods and commercial devices

Roberto Confalonieri [a,], Livia Paleari [a], Ermes Movedi [a], Valentina Pagani [a], Francesca Orlando [a], Marco Foi [b], Michela Barbieri [c], Michele Pesenti [c], Oliver Cairati [c], Marco S. La Sala [c], Riccardo Besana [c], Sara Minoli [c], Eleonora Bellocchio [c], Silvia Croci [c], Silvia Mocchi [c], Francesca Lampugnani [c], Alberto Lubatti [c], Andrea Quarteroni [c], Daniele De Min [c], Alessandro Signorelli [c], Alessandro Ferri [c], Giordano Ruggeri [c], Simone Locatelli [d], Matteo Bertoglio [a], Paolo Dominoni [a], Stefano Bocchi [a], Gian Attilio Sacchi [a], Marco Acutis [a]*

Indice di stato nutrizionale

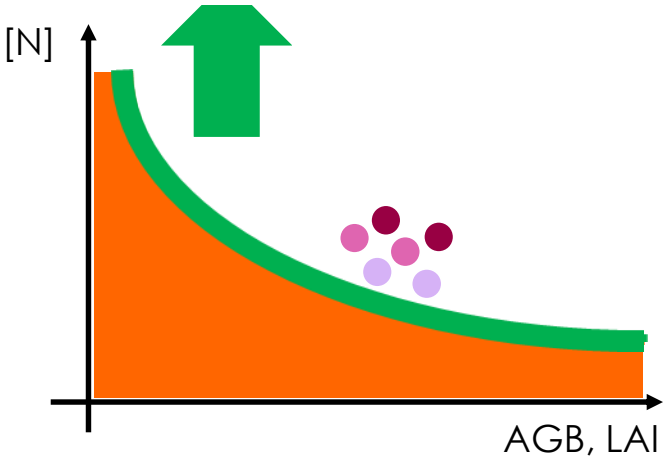
Sistemi Colturali

PocketLAI

Stime dell'indice di area fogliare (LAI) (m^2 foglie / m^2 suolo)

Approccio MAZINGA

Contenuto critico di azoto nella pianta (Ncrit)



Computers and Electronics in Agriculture 96 (2013) 67–74

Contents lists available at SciVerse ScienceDirect

Computers and Electronics in Agriculture

journal homepage: www.elsevier.com/locate/compag

ELSEVIER

Development of an app for estimating leaf area index using a smartphone. Trueness and precision determination and comparison with other indirect methods

R. Confalonieri [a,*], M. Foi [b], R. Casa [c], S. Aquaro [d], E. Tona [d], M. Peterle [d], A. Boldini [d], G. De Carli [d], A. Ferrari [d], G. Finotto [d], T. Guarneri [d], V. Manzoni [d], E. Movedi [d], A. Nisoli [d], L. Paleari [d], I. Radici [d], M. Suardi [d], D. Veronesi [d], S. Bregaglio [a], G. Cappelli [a], M.E. Chiodini [a], P. Dominoni [a], C. Francone [a], N. Frasso [a], T. Stella [a], M. Acutis [a]

Indice di stato nutrizionale

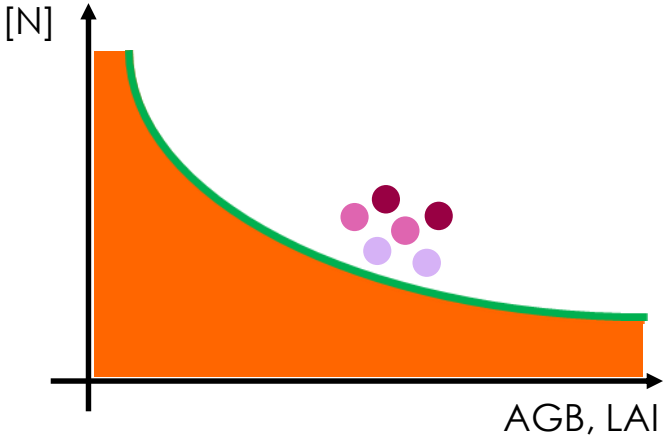
Sistemi Colturali

+

+

Curve di calibrazione

Indice di stato nutrizionale (NNI)



sensors

MDPI

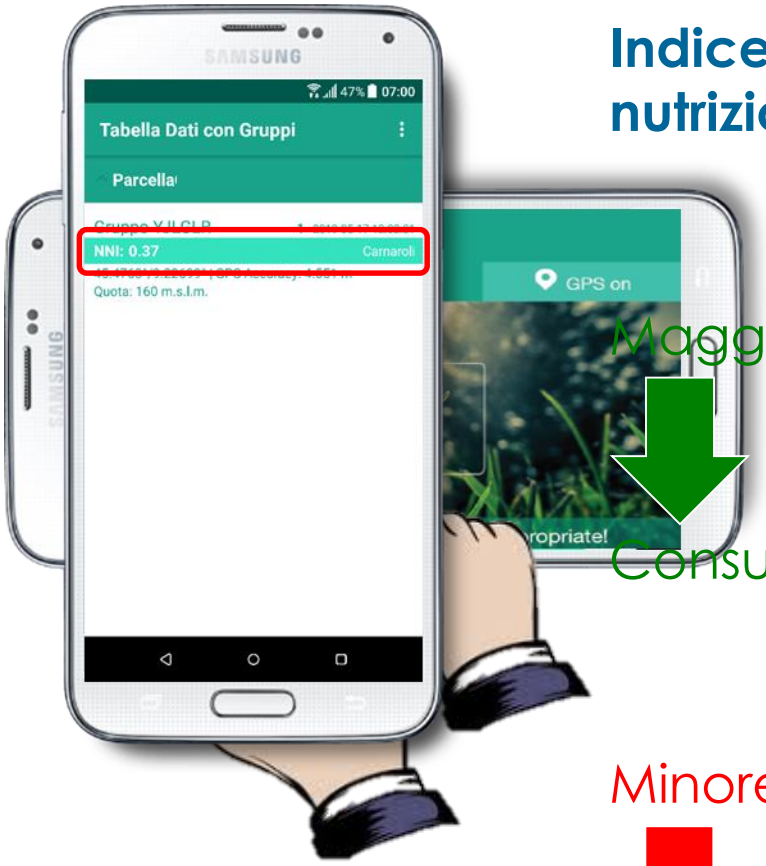
Article

Estimating Crop Nutritional Status Using Smart Apps to Support Nitrogen Fertilization. A Case Study on Paddy Rice

Livia Paleari [1,*], Ermes Movedi [1], Fosco M. Vesely [1], William Thoelke [1], Sofia Tartarini [1], Marco Foi [1], Mirco Boschetti [2], Francesco Nutini [2] and Roberto Confalonieri [1,*]

Integrazione → PocketNNI

Sistemi Colturali



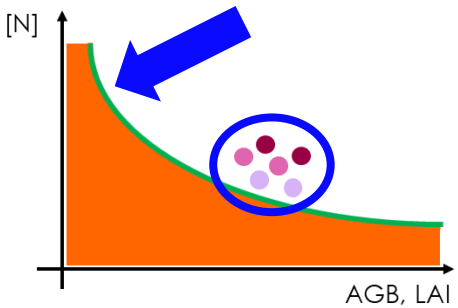
Indice di stato nutrizionale (NNI)

Maggiore di 1

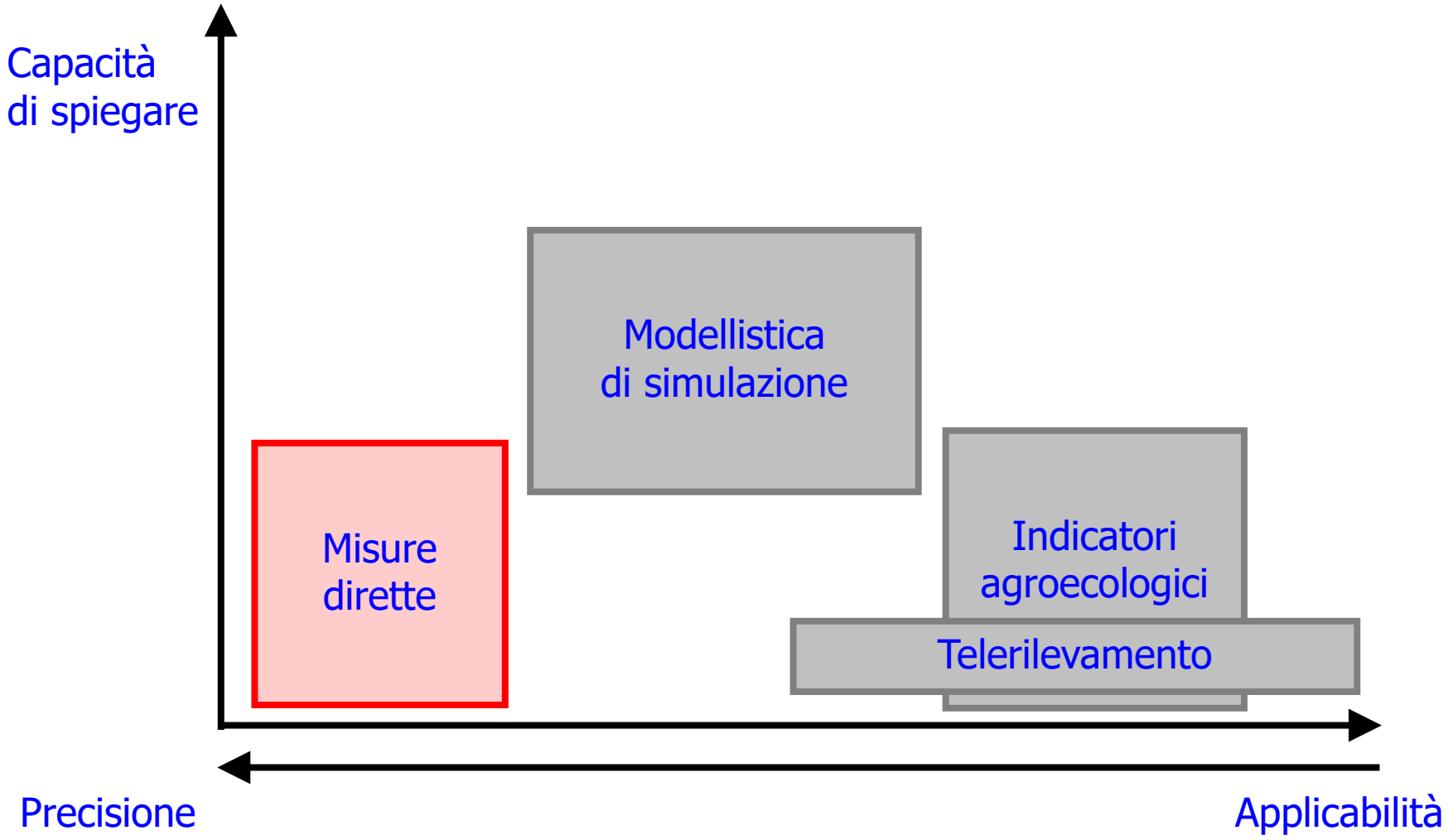
Consumo di lusso

Minore di 1

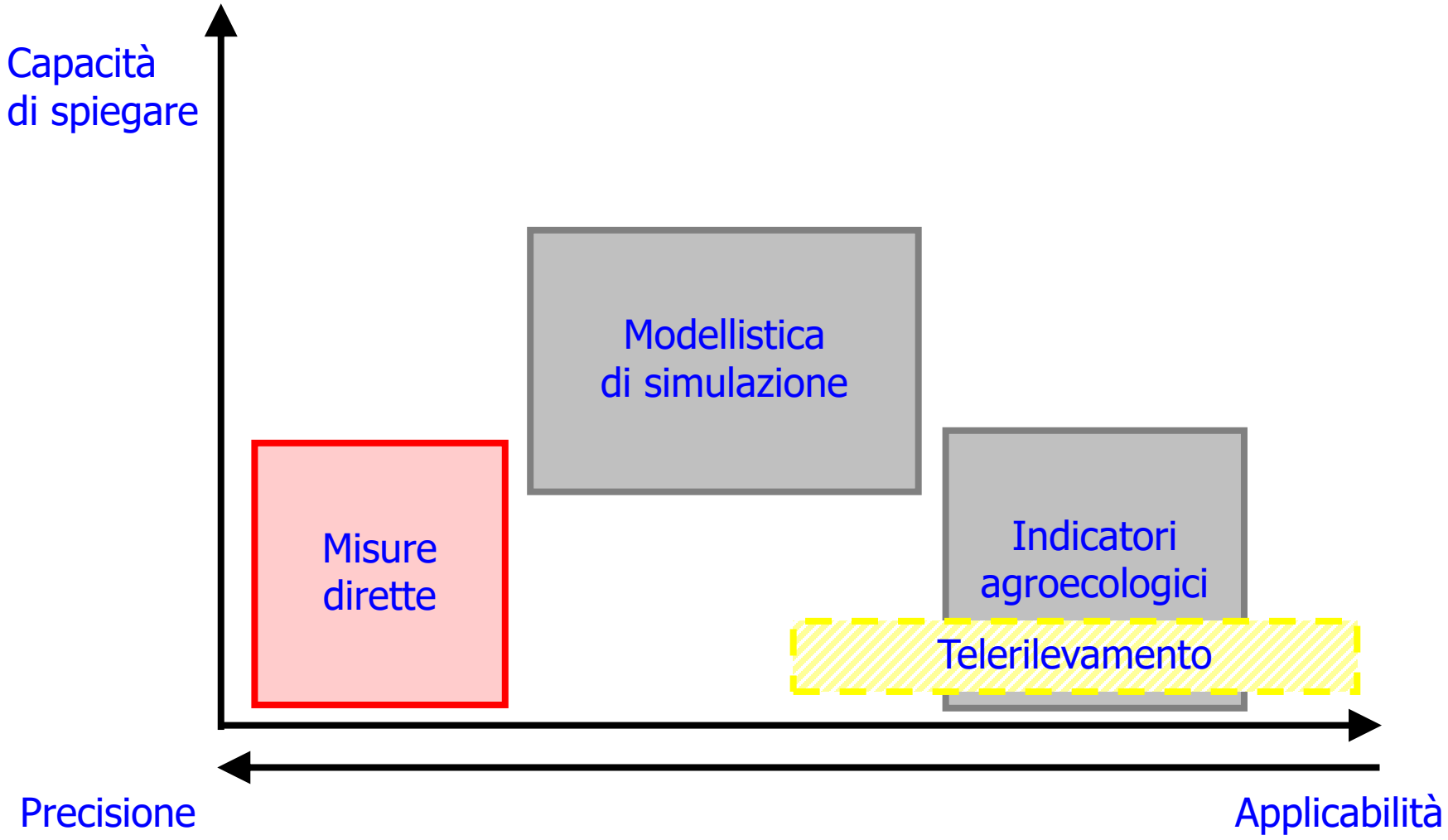
Stress



Analisi di sistemi colturali attraverso Misure dirette



Analisi di sistemi colturali attraverso Misure dirette



PocketNNI e i satelliti

- Telerilevamento non valuta realmente lo stato nutrizionale
- Strumenti di campo non adatti per analisi spaziali (VRT)

→ Abbiamo sviluppato una nuova app che integra le due tecnologie

Computers and Electronics in Agriculture 154 (2018) 80–92

Contents lists available at ScienceDirect

Computers and Electronics in Agriculture

journal homepage: www.elsevier.com/locate/compag

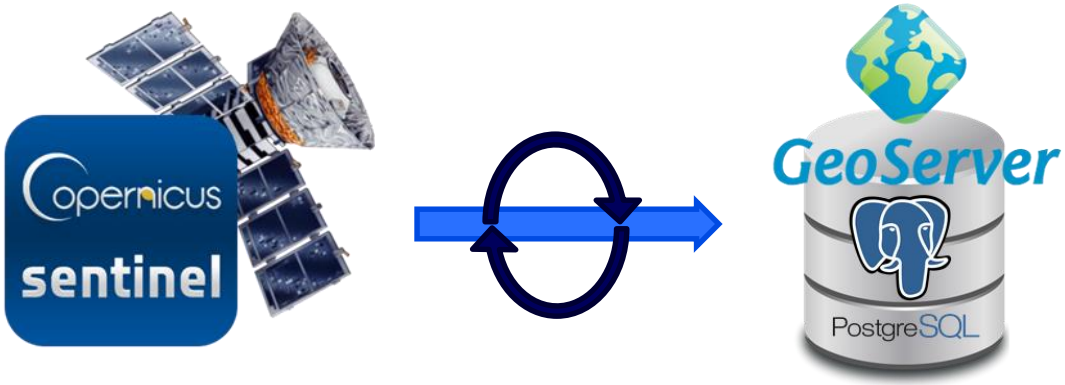
Original papers

An operational workflow to assess rice nutritional status based on satellite imagery and smartphone apps

Francesco Nutini[a,*], Roberto Confalonieri[b], Alberto Crema[a], Ermes Movedi[b], Livia Paleari[b], Dimitris Stavrakoudis[c], Mirco Boschetti[a,*]

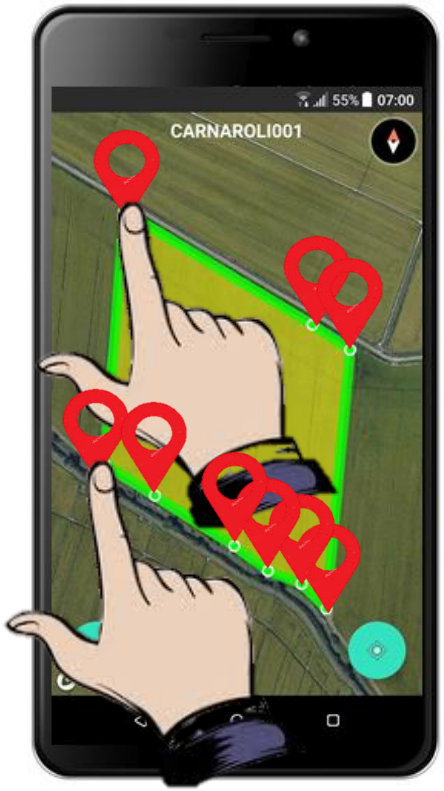
Integrazione → PocketNNI-sat

Sistemi Colturali



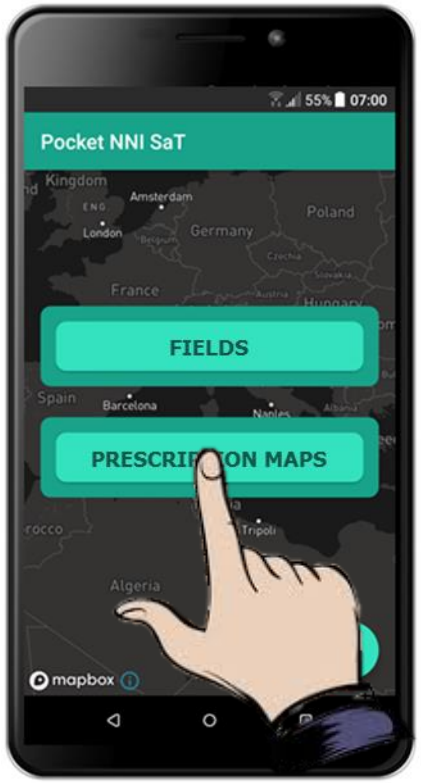
Integrazione → PocketNNI-sat

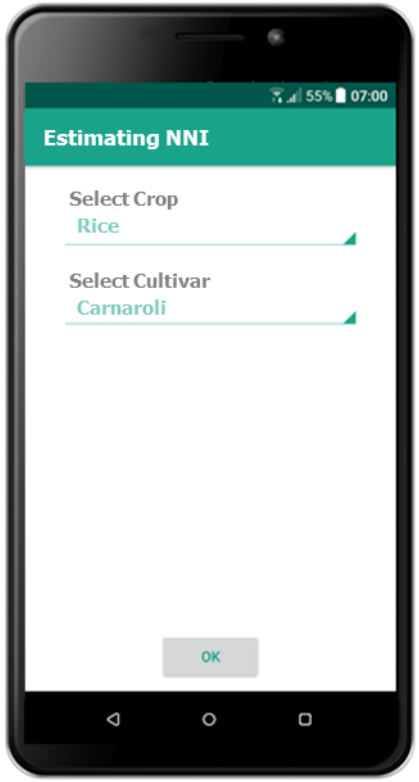
1. Georeferenziare i confini degli appezzamenti



Integrazione → PocketNNI-sat

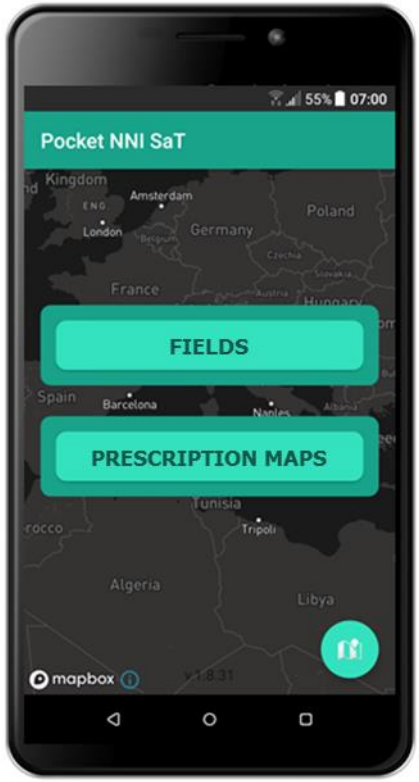
2. Selezionare la coltura e la varietà (o ibrido)

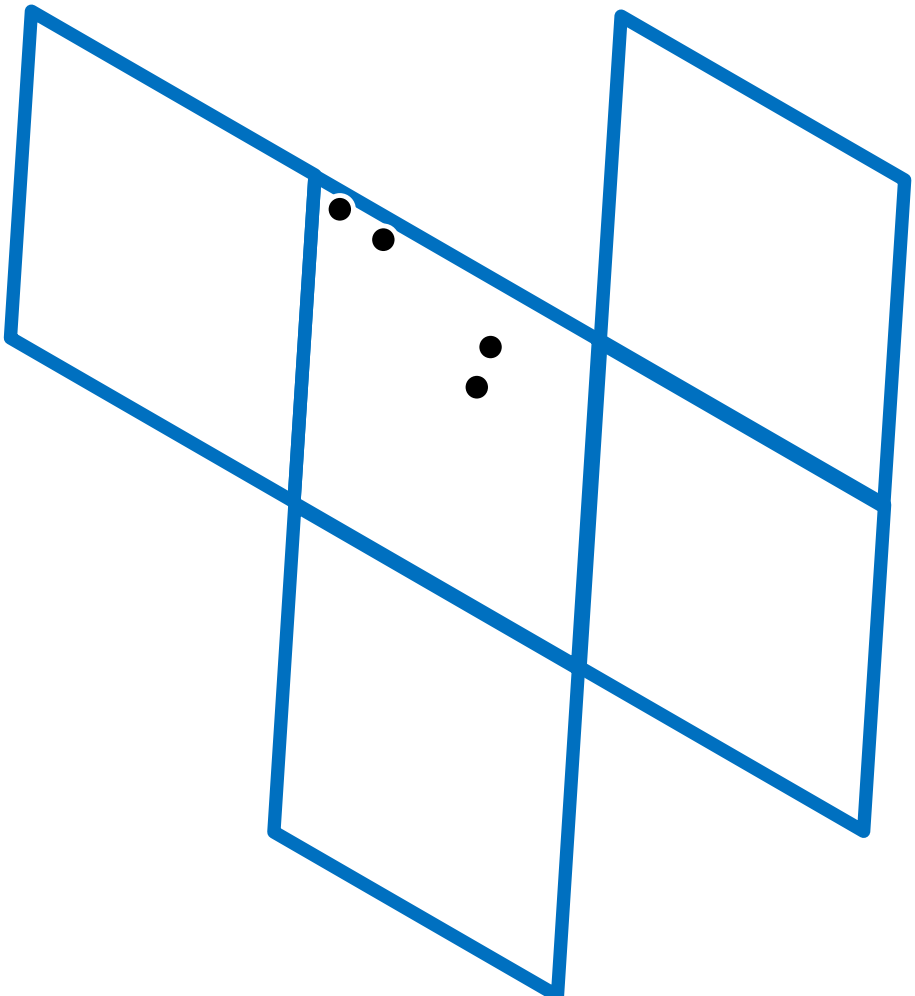




Integrazione → PocketNNI-sat

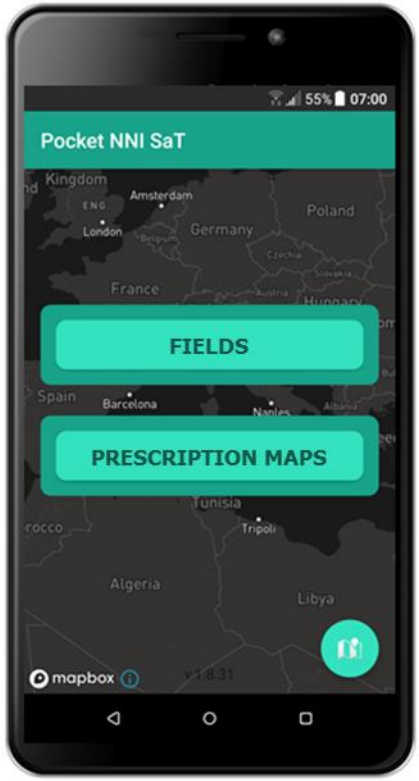
3. Satelliti → Smart scouting





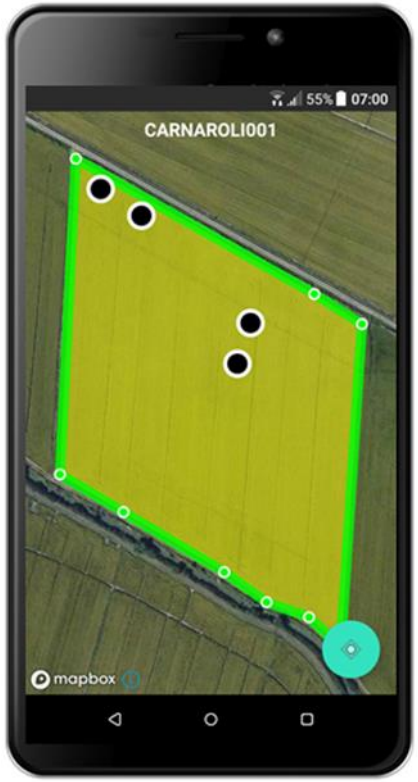
Integrazione → PocketNNI-sat

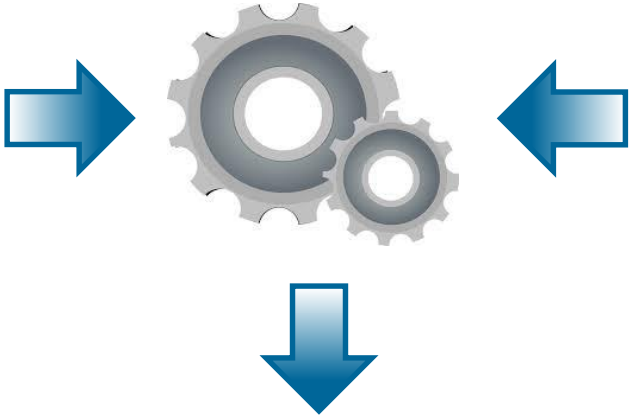
4. Misure in campo (smart scouting)

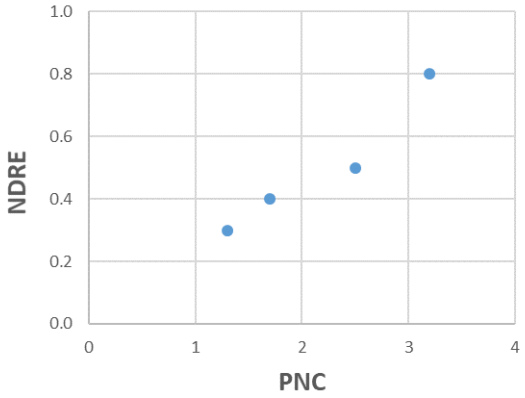


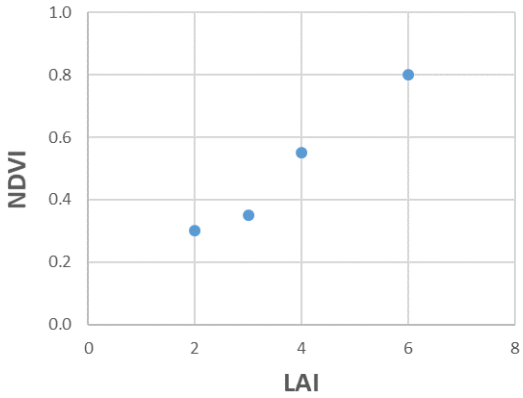
Integrazione → PocketNNI-sat

5. Relazioni tra misure a terra e indici di vegetazione (satelliti)



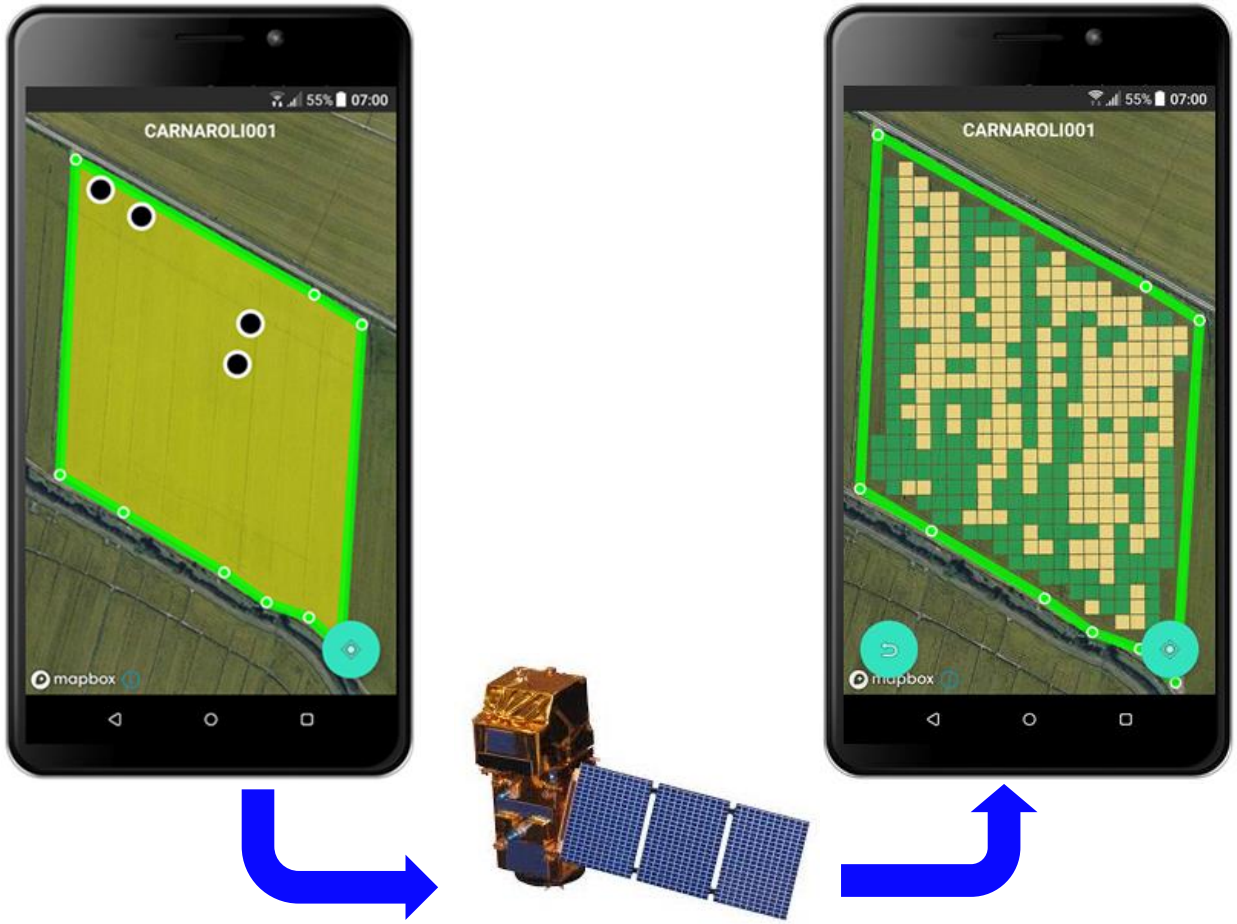




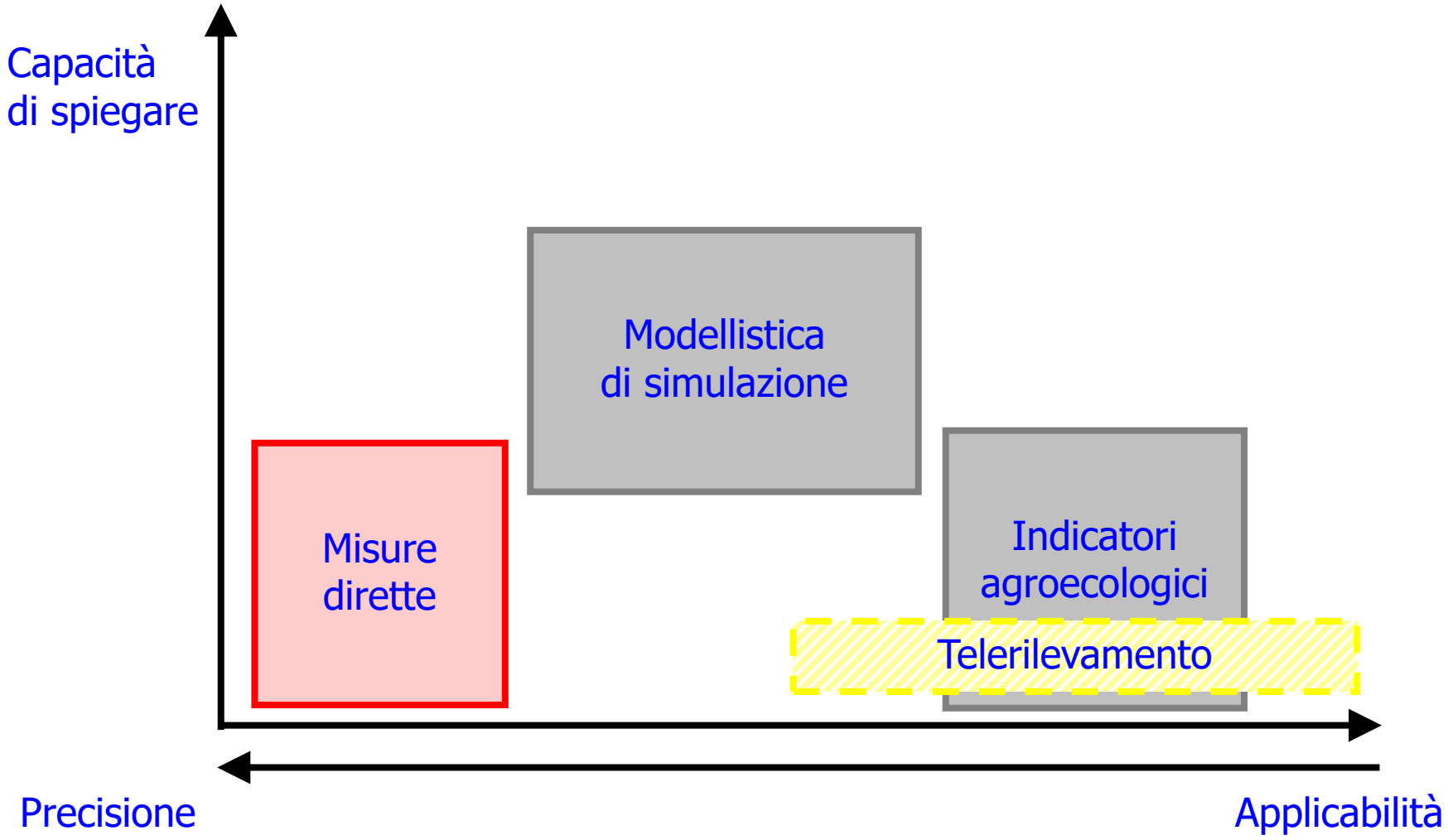


Integrazione → PocketNNI-sat

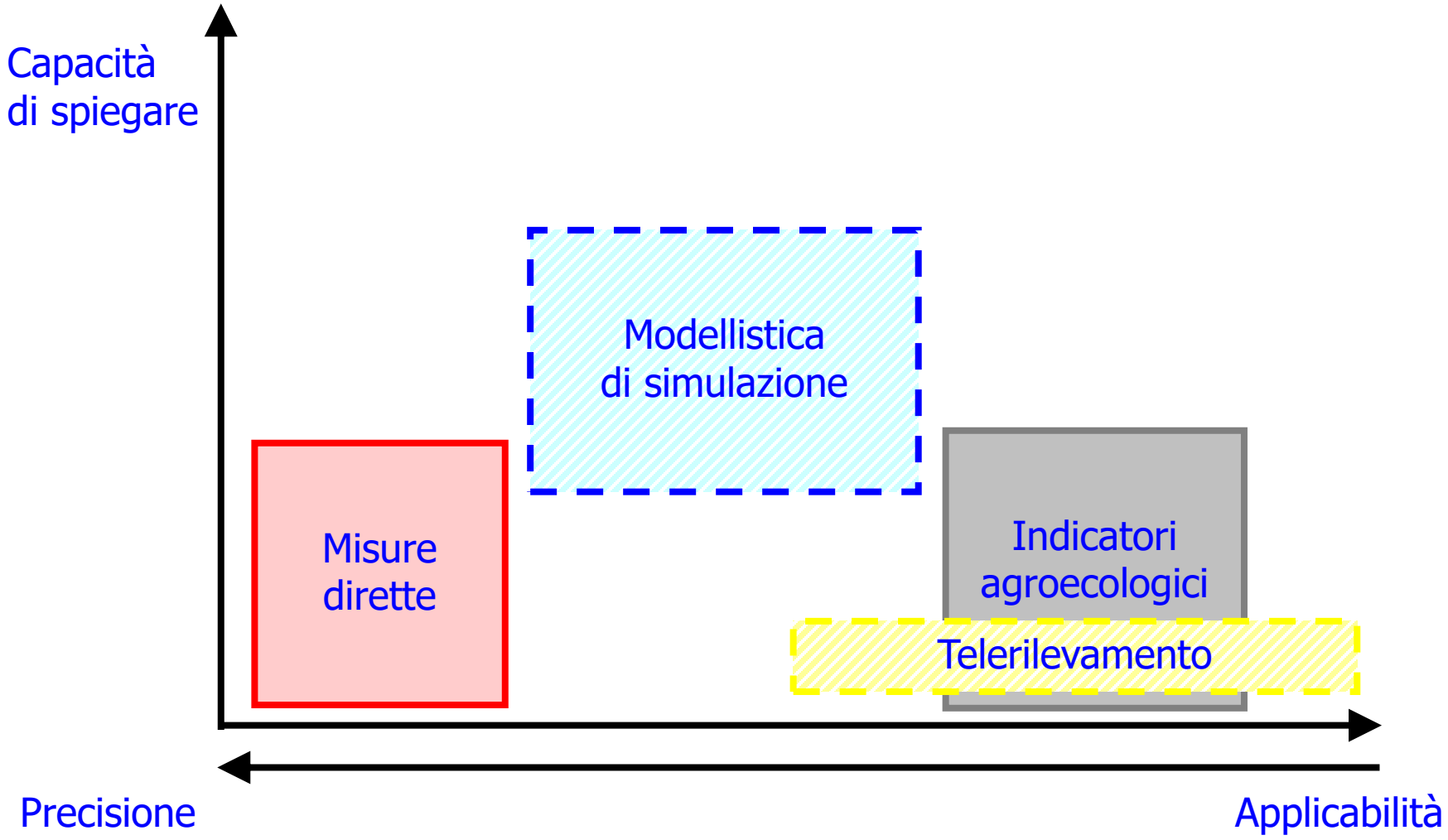
6. Satelliti → mappe di stato nutrizionale a 10 m di risoluzione



Analisi di sistemi colturali attraverso Misure dirette

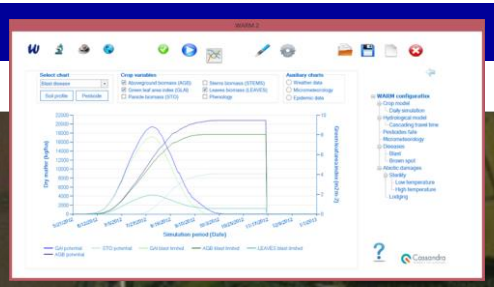


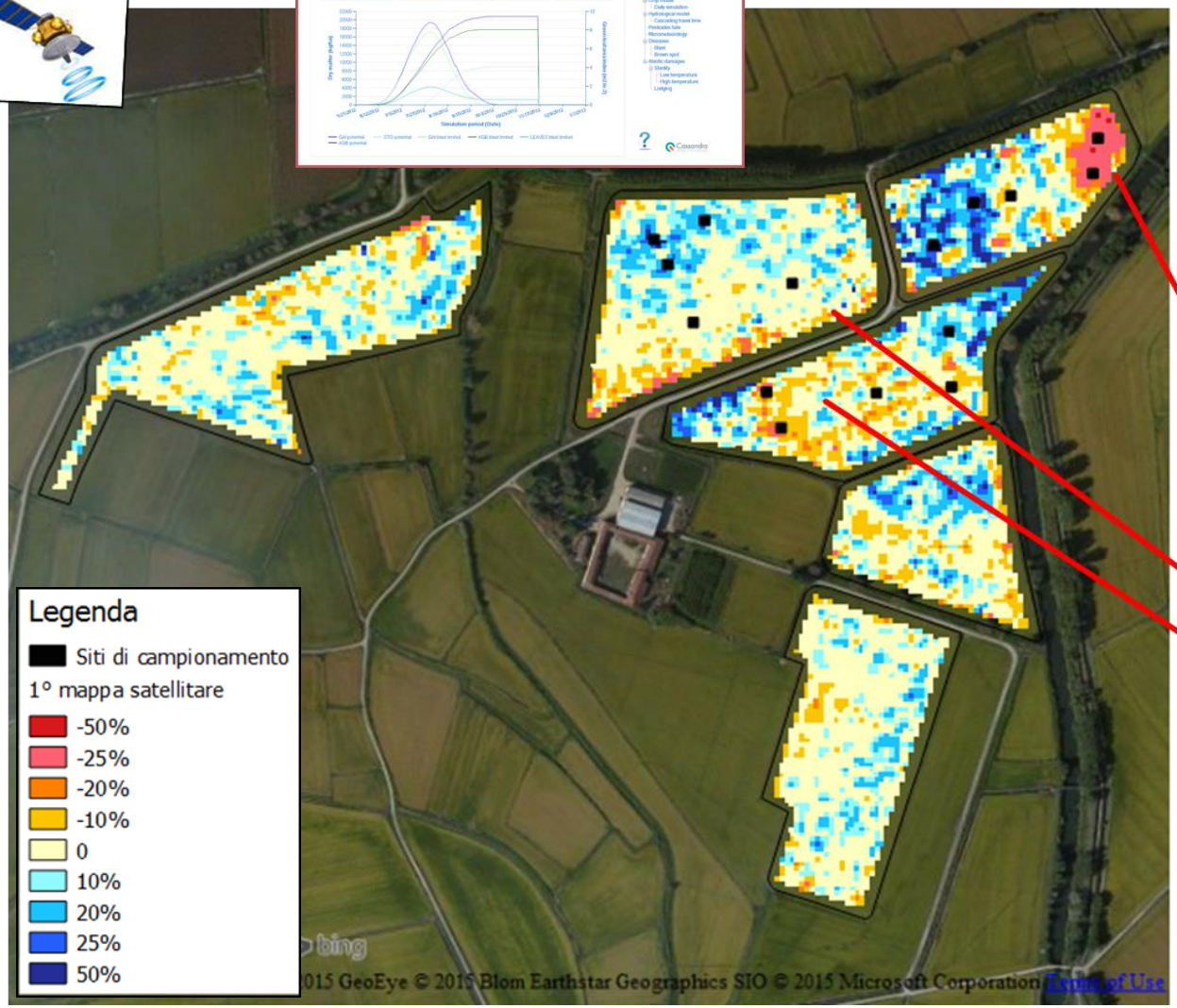
Analisi di sistemi colturali attraverso Misure dirette



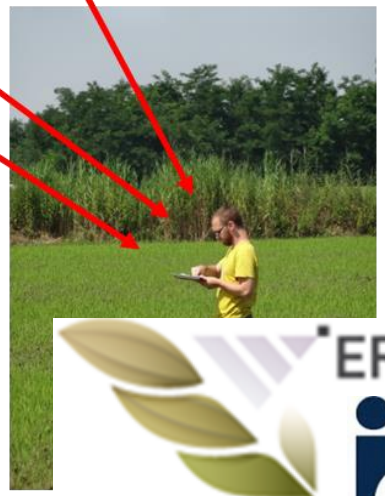
N in copertura *f* (stato nutrizionale)

Sistemi Colturali

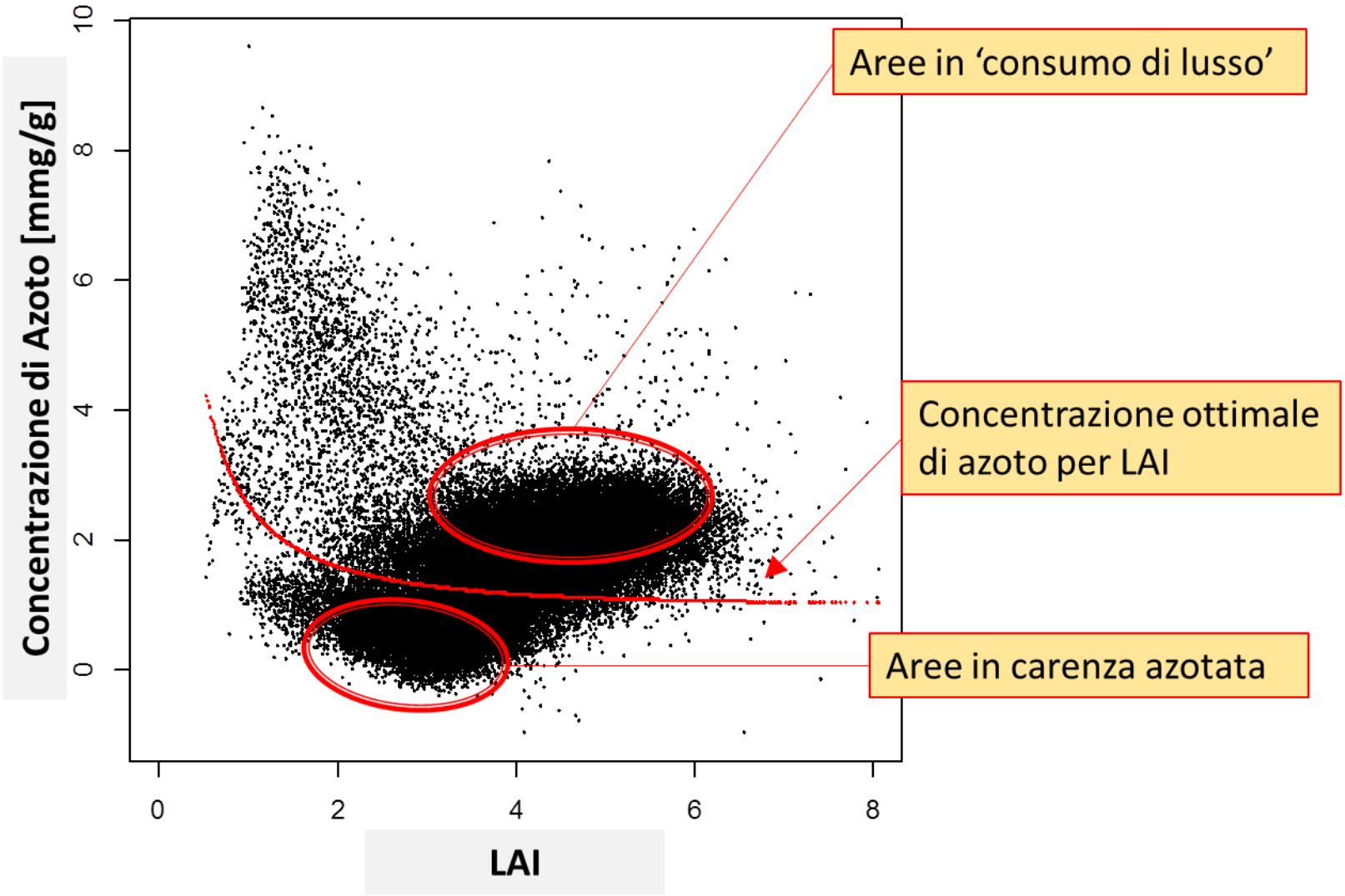




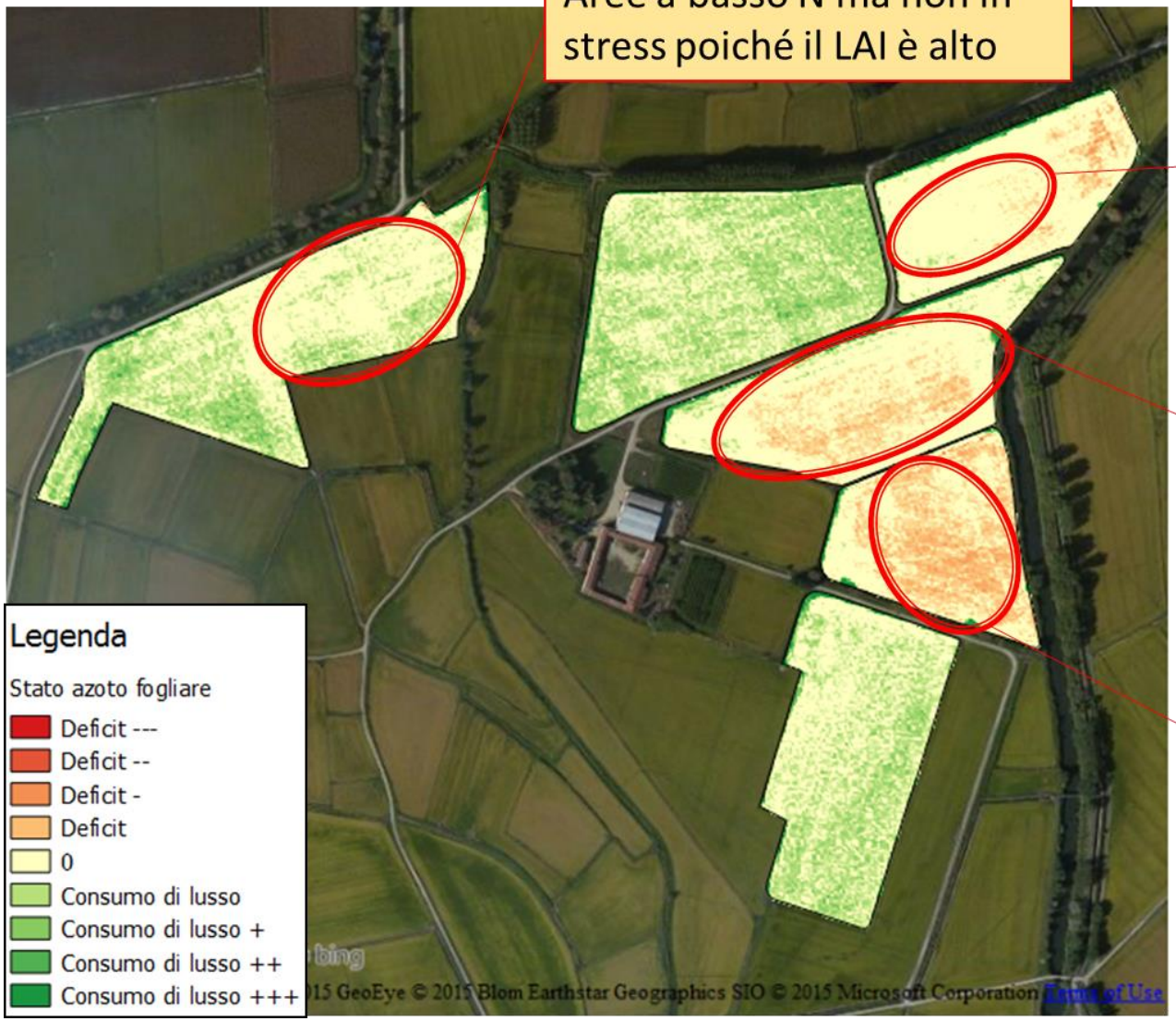
Campionamento di LAI e azoto fogliare 'guidato' dalla 1° immagine satellitare



N in copertura *f* (stato nutrizionale)



N in copertura *f* (stato nutrizionale)



Aree a basso N ma non in stress poiché il LAI è alto

Concentrazione di azoto al suo livello ottimale

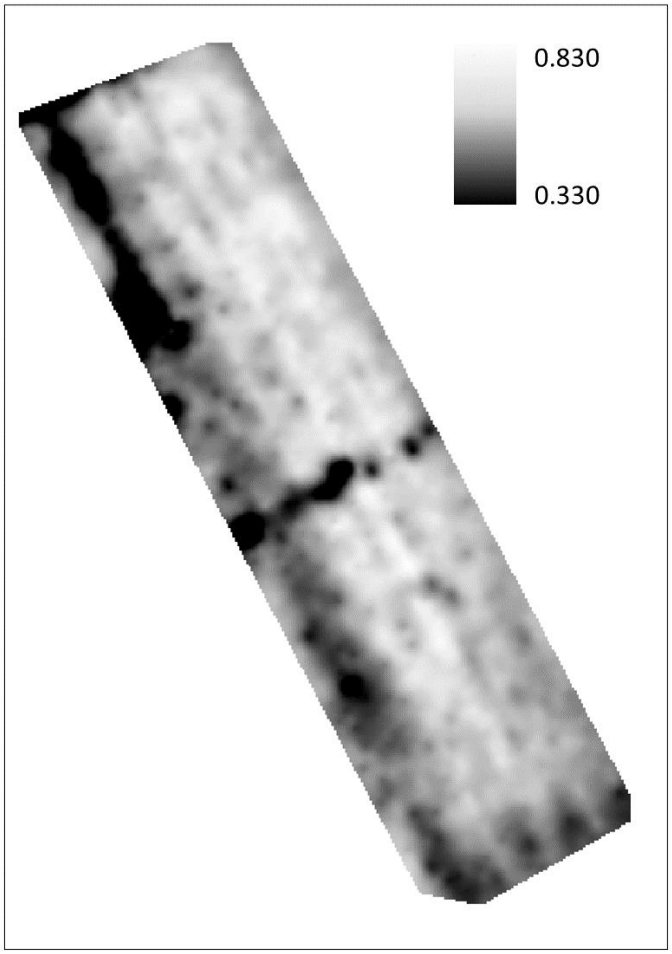
In questo campo necessaria una fertilizzazione a rateo variabile

Qui necessario intervenire durante la seconda fertilizzazione di copertura

Agricoltura di precisione
…non solo azoto

Mappa di NDVI da drone (o quad o drone…)

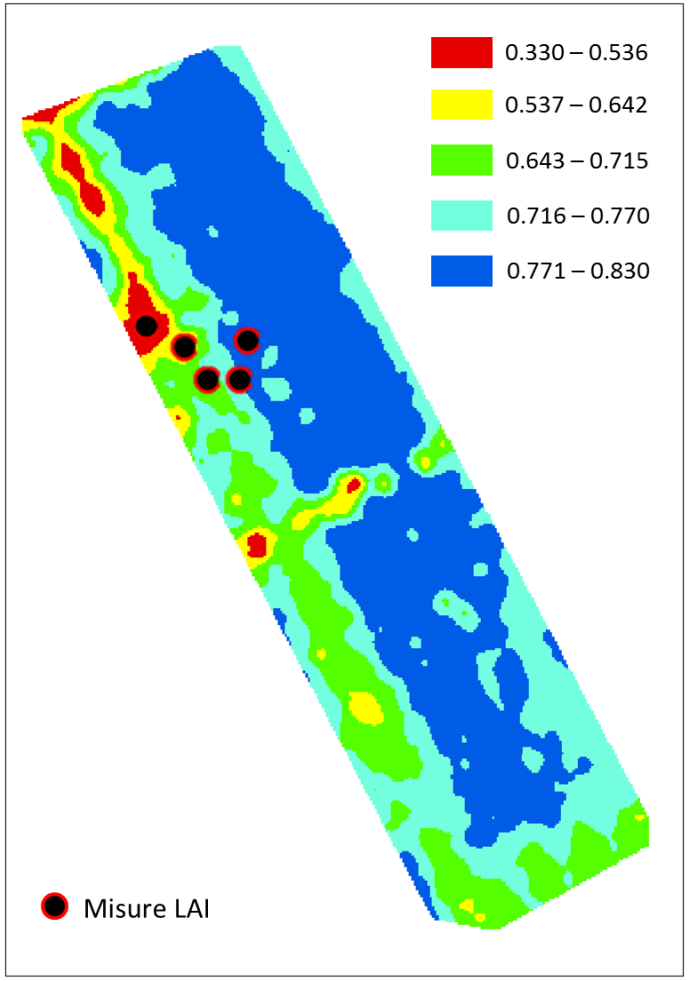
1



Agricoltura di precisione ...non solo azoto

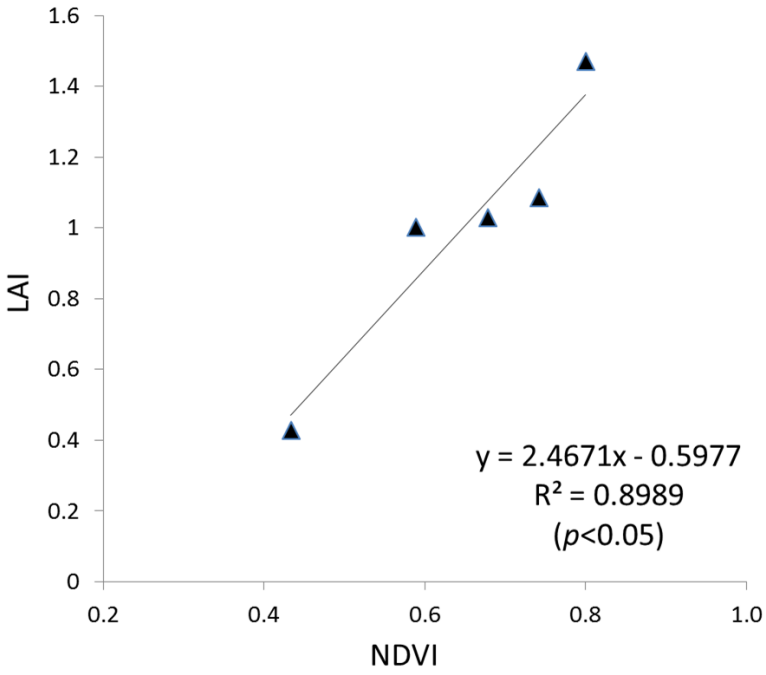
Smart scouting: rilievi con PocketLAI in soli 5 punti

2



Regressione tra NDVI e LAI (da PocketLAI)

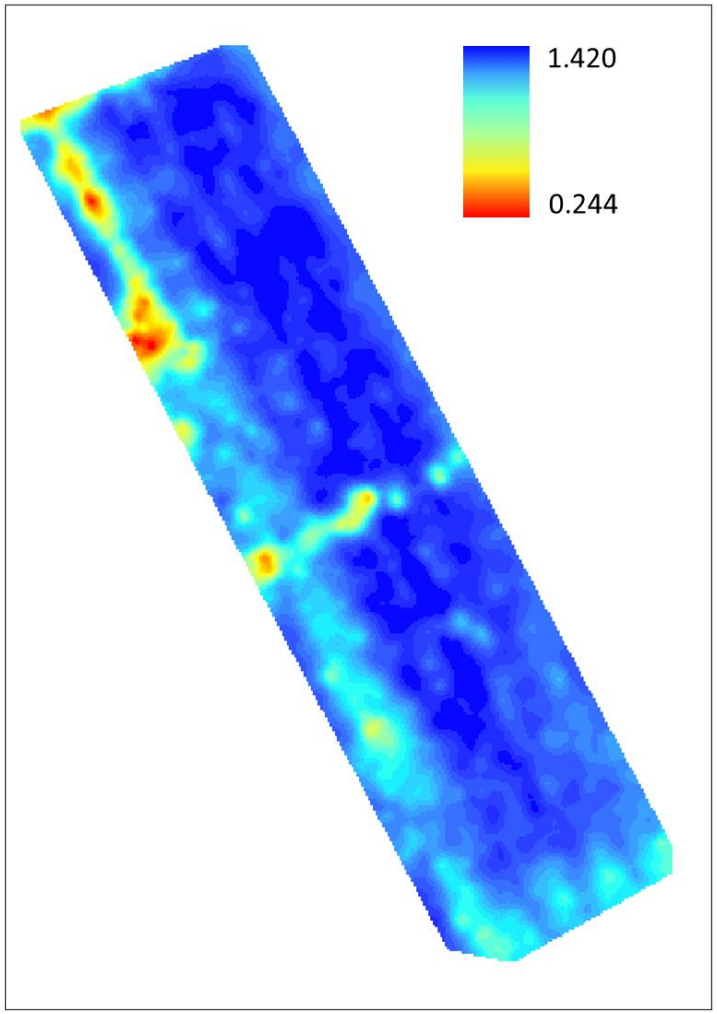
3



Agricoltura di precisione
…non solo azoto

Mappa di LAI

4



sensors

MDPI

Article

Estimating Crop Nutritional Status Using Smart Apps to Support Nitrogen Fertilization. A Case Study on Paddy Rice

Livia Paleari [1,*], Ermes Movedi [1], Fosco M. Vesely [1], William Thoelke [1], Sofia Tartarini [1], Marco Foi [1], Mirco Boschetti [2], Francesco Nutini [2] and Roberto Confalonieri [1,*]

Sensors 2019, *19*, 981; doi:10.3390/s19040981 www.mdpi.com/journal/sensors

Agricoltura di precisione
Concimazione azotata

Sistemi Colturali

Computers and Electronics in Agriculture 154 (2018) 80–92

Contents lists available at ScienceDirect

Computers and Electronics in Agriculture

journal homepage: www.elsevier.com/locate/compag

Original papers

An operational workflow to assess rice nutritional status based on satellite imagery and smartphone apps

Francesco Nutini[a,*], Roberto Confalonieri[b], Alberto Crema[a], Ermes Movedi[b], Livia Paleari[b], Dimitris Stavrakoudis[c], Mirco Boschetti[a,*]

Agricoltura di precisione
Concimazione azotata

Sistemi Colturali

Precision Agriculture
https://doi.org/10.1007/s11119-021-09784-0

Supporting operational site-specific fertilization in rice cropping systems with infield smartphone measurements and Sentinel-2 observations

Francesco Nutini[1] · Roberto Confalonieri[2] · Livia Paleari[2] · Monica Pepe[1] · Laura Criscuolo[1] · Francesco Porta[1] · Luigi Ranghetti[1] · Lorenzo Busetto[1] · Mirco Boschetti[1]

Agricoltura di precisione
Concimazione azotata

Sistemi Colturali

Science of the Total Environment 715 (2020) 136956

Contents lists available at ScienceDirect

Science of the Total Environment

journal homepage: www.elsevier.com/locate/scitotenv

May smart technologies reduce the environmental impact of nitrogen fertilization? A case study for paddy rice

Jacopo Bacenetti [a,*], Livia Paleari [a,b,**], Sofia Tartarini [a,b], Fosco M. Vesely [a,b], Marco Foi [a,b], Ermes Movedi [a,b], Riccardo A. Ravasi [a,b], Valeria Bellopede [c], Stefano Durello [c], Carlo Ceravolo [c], Francesca Amicizia [c], Roberto Confalonieri [a,b]

[a] *Università degli Studi di Milano, Department of Environmental Science and Policy, Via Celoria 2, Milan 20133, Italy*
[b] *Cassandra Lab., Via Celoria 2, Milan 20133, Italy*
[c] *Università degli Studi di Milano, Cropping Systems MS course, Via Celoria 2, Milan 20133, Italy*