



Agrometeorologia – Radiazione

Intercettazione: il LAI



Indice di area fogliare

Leaf area index (LAI)

Agronomia

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

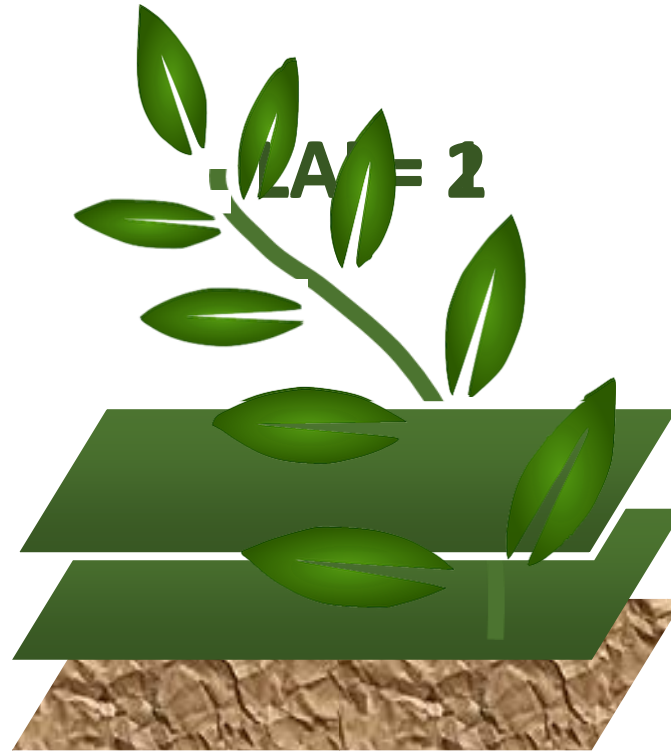
E' una variabile fondamentale per analizzare le interazioni tra le piante e l'atmosfera

- Quantità di radiazione intercettata
- Stima richieste idriche
- CO₂ sequestration
- Assimilazione in modelli di simulazione
- Previsioni di resa
- ...stima N_{crit} !



Indice di area fogliare Leaf area index (LAI)

Agronomia



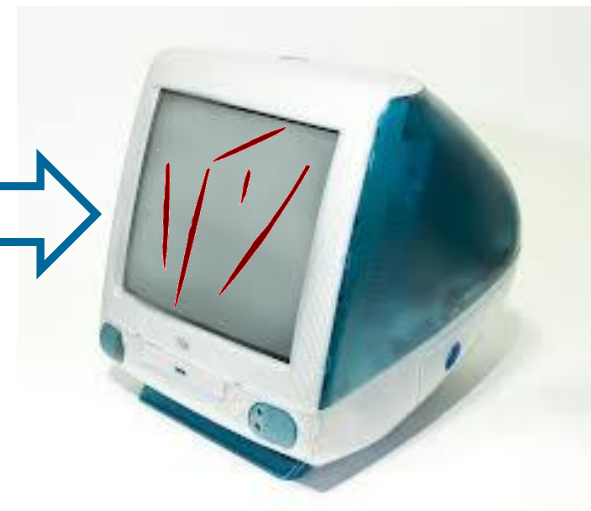
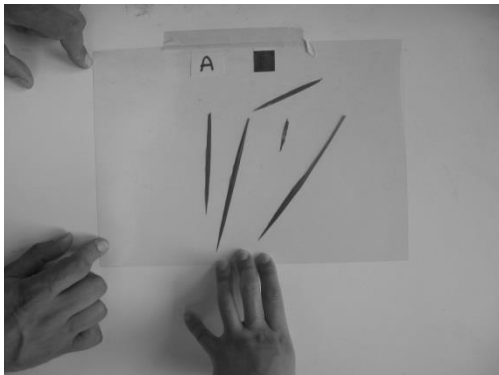


Come misurarlo ...o stimarlo?

Agronomia

Può essere **misurato**

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





Come misurarlo ...o stimarlo?

Agronomia

E' una "misura"...

...ma ha alcune controindicazioni:

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

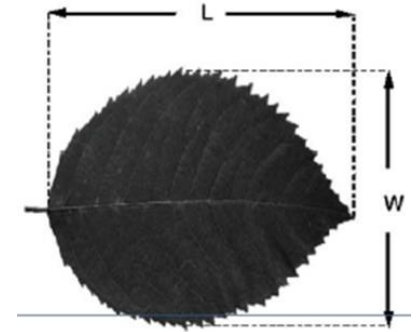


Come misurarlo ...o stimarlo?

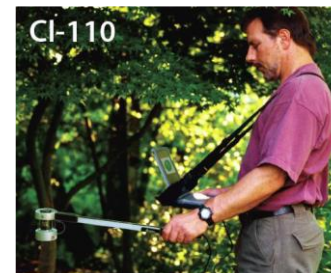
Agronomia

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?

Agronomia

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?

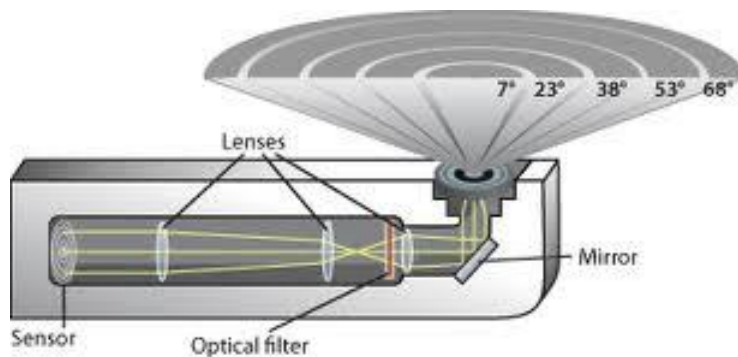
Agronomia

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

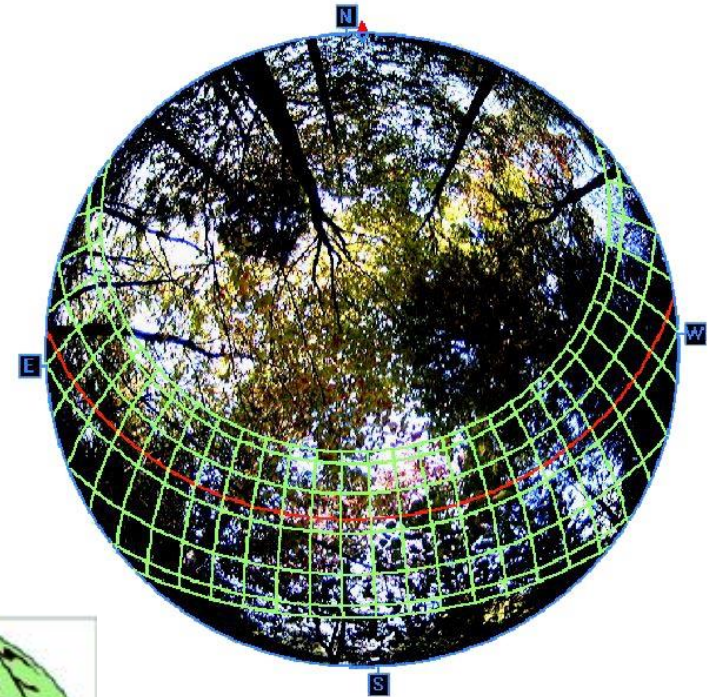




Come misurarlo ...o stimarlo?

Agronomia

Fotografia emisferica (obiettivo fisheye)





Come misurarlo ...o stimarlo?

Agronomia

57.5°: L'angolo magico...

Agricultural and Forest Meteorology 150 (2010) 1393–1401

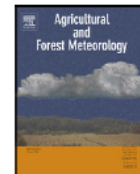
Contents lists available at ScienceDirect

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

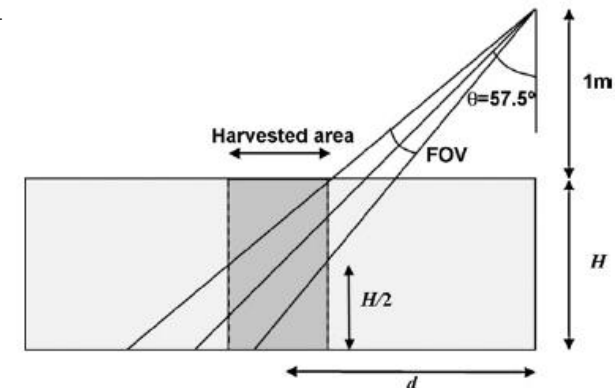
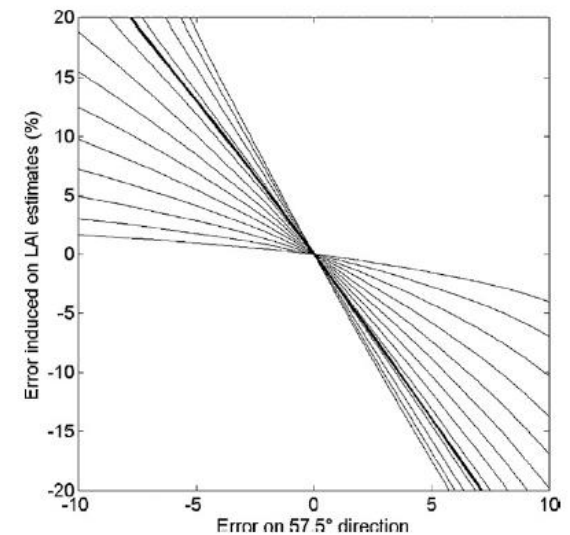
F. Baret^{a,*}, B. de Solan^{a,b}, R. Lopez-Lozano^a, Kai Ma^a, M. Weiss^a

^a INRA EMMAH UMRI 114, Domaine Saint-Paul, Site Agroparc, 84914 Avignon Cedex 9, France

^b ARVALIS – Institut du végétal, Station expérimentale, 91720 Boigneville, France

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

Warren-Wilson (1963)!!!





Come misurarlo ...o stimarlo?

Agronomia

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

Agronomia

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

Agronomia

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. Franccone ^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°)

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



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

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

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





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

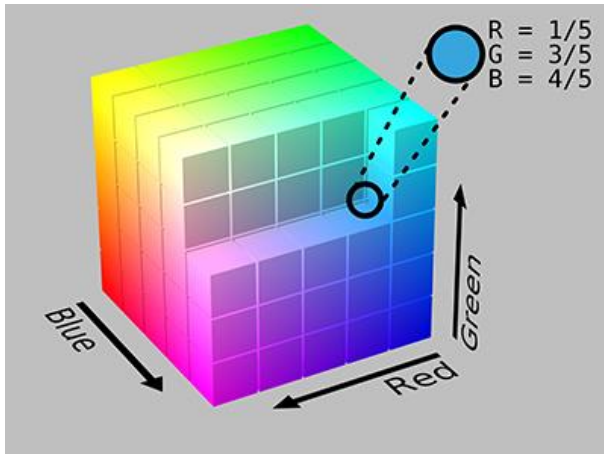


La gap fraction (P_0) è stata stimata utilizzando due metodi:

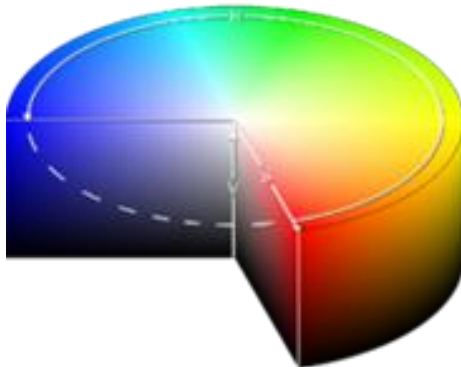
- rapporto tra luminanza sopra e sotto la canopy
- processamento automatico dell'immagine (segmentazione)



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



spazio colore RGB (Red Green Blue)

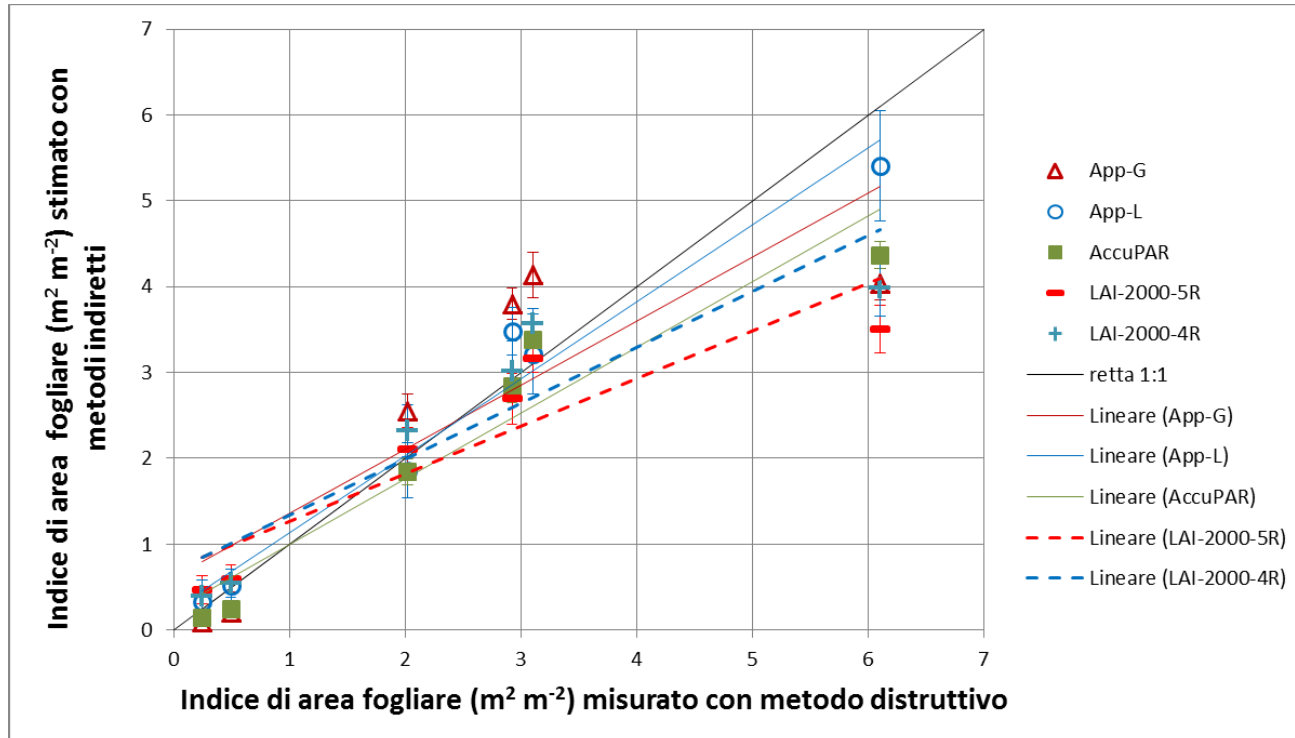


spazio colore HSB (Hue Saturation Brightness)



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





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

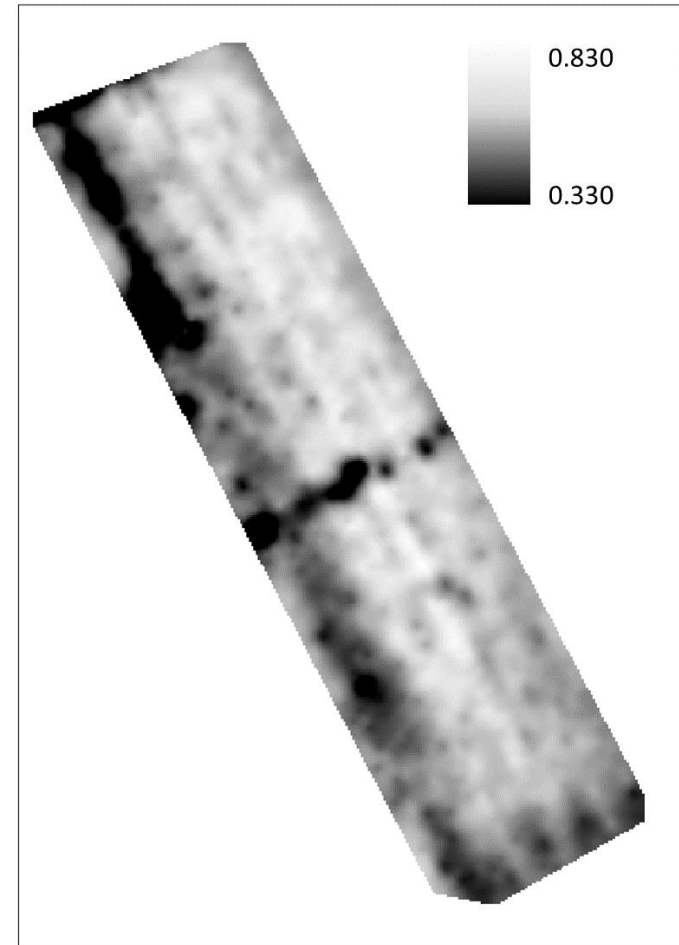


Le foglie non intercettano solo... ...radiazione

Agronomia

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

1



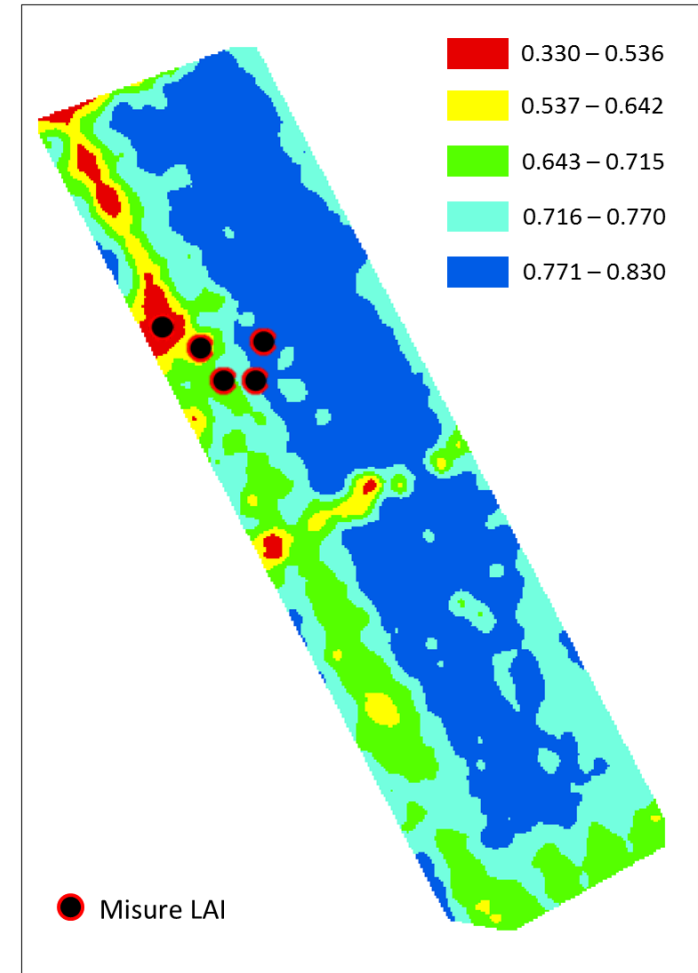


Le foglie non intercettano solo... ...radiazione

Agronomia

Smart scouting: rilievi con PocketLAI in soli 5 punti

2



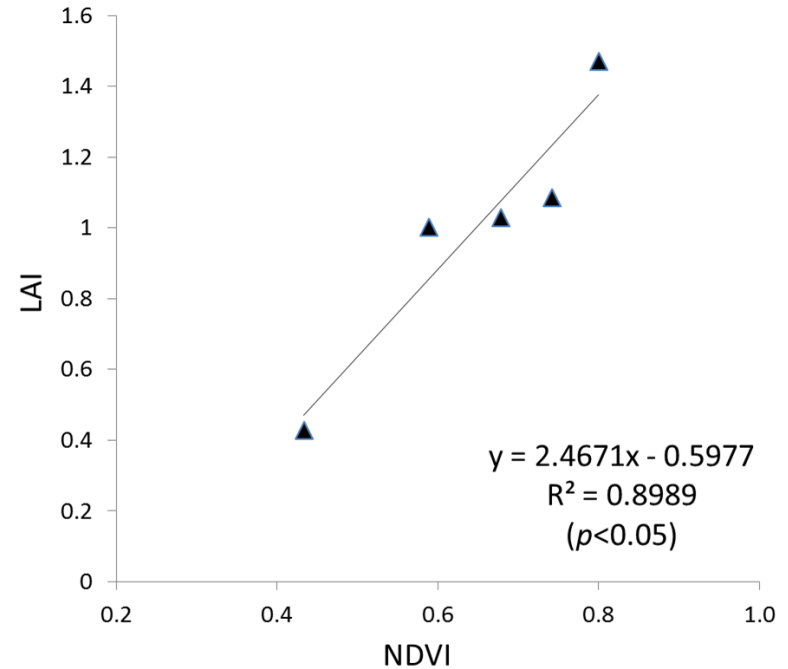


Le foglie non intercettano solo... ...radiazione

Agronomia

Regressione tra NDVI e LAI (da PocketLAI)

3



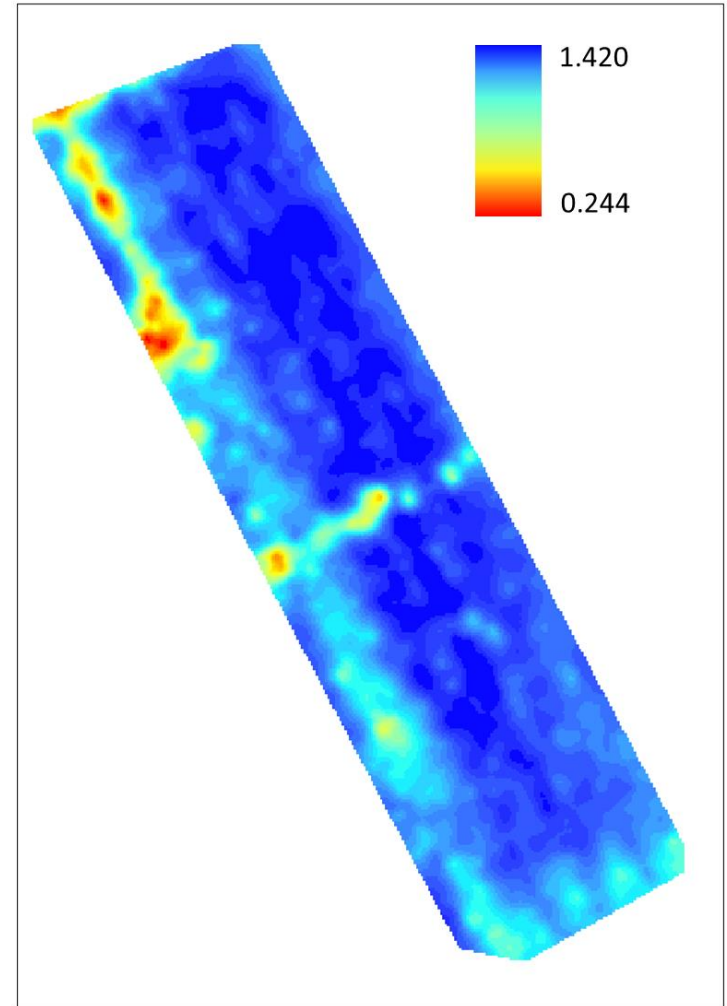


Le foglie non intercettano solo... ...radiazione

Agronomia

Mappa di LAI

4



V



5



distribuzione
fitofarmaci

