

Il telerilevamento: aspetti teorici e applicazioni agronomiche

## Precision Farming & Telerilevamento



<http://www.citimap.it/>

Regionali:  
stima della  
produzione

Locali:  
Precision  
Farming

Supporto alla  
fertilizzazione  
di copertura

**Citimap** Nasce dall'Associazione di Centri di Ricerca e Imprese che collaborano al fine di promuovere il trasferimento delle **tecnologie relative al telerilevamento** come **base informativa per la tecnologia VRT** (Variable Rate Technology) nell'agricoltura di precisione.

Gli obiettivi sono perseguiti sulla base di un articolato programma di **attività sperimentali, divulgative e formative**;

In questo contesto presso l'azienda sperimentale Tadini è stato avviato un **piano pluriennale di applicazione del telerilevamento all'agricoltura di precisione** mediante uno specifico programma di acquisizioni di immagini della superficie aziendale e di raccolta dei parametri agronomici e biofisici delle colture.

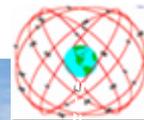
20 novembre 2006

[boschetti.m@irea.cnr.it](mailto:boschetti.m@irea.cnr.it)

Il telerilevamento: aspetti teorici e applicazioni agronomiche

## Precision Farming & Telerilevamento

Tra le tecnologie più innovative che **l'agricoltura di precisione applica** ai processi produttivi vi sono le tecnologie di distribuzione degli input a rateo variabile - **Variable Rate Technology (VRT)** - mediante le quali è possibile **concimare, irrigare e diserbare** in maniera mirata e variabile all'interno dei singoli appezzamenti.



DGPS



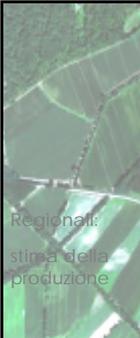
Regionali:  
stima della  
produzione

Locali:  
Precision  
Farming

Supporto alla  
fertilizzazione  
di copertura

20 novembre 2006

[boschetti.m@irea.cnr.it](mailto:boschetti.m@irea.cnr.it)



Regionali:  
stima della  
produzione

Locali:

Precision  
Farming

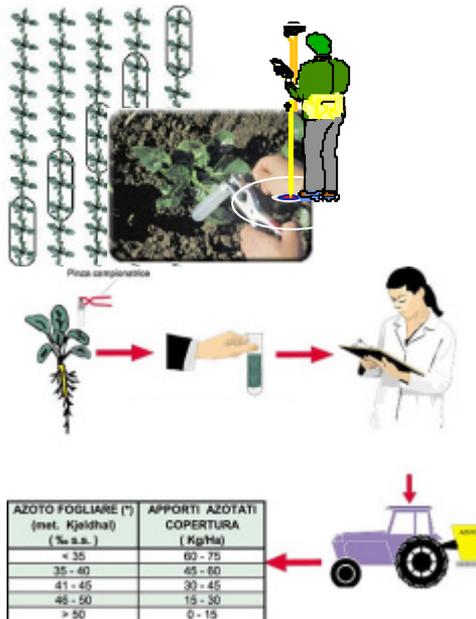
Supporto alla  
fertilizzazione  
di copertura



20 novembre 2006

Il telerilevamento: aspetti teorici e applicazioni agronomiche

### Precision Farming & Telerilevamento



Il **telerilevamento** sta **rimuovendo** l'**ostacolo principale** all'**applicazione su larga scala** delle **tecniche VTR**, l'**onerosità** delle basi informative georeferenziate (mappe) che devono guidare la distribuzione variabile degli input. L'**elaborazione** delle **mappe di fabbisogno con metodi tradizionali** richiede infatti un **numero elevato di analisi su campioni georeferenziati**.

boschetti.m@irea.cnr.it



Regionali:  
stima della  
produzione

Locali:

Precision  
Farming

Supporto alla  
fertilizzazione  
di copertura



20 novembre 2006

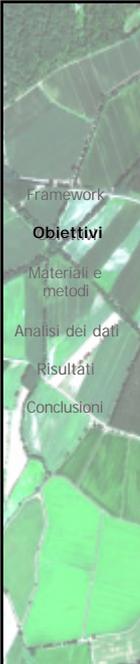
Il telerilevamento: aspetti teorici e applicazioni agronomiche

### Precision Farming & RS: supporto ai piani di fertilizzazione

Il **piano sperimentale** ed il programma di **acquisizioni di dati telerilevati** 2005 sono stati definiti ai fini della **determinazione del fabbisogno di concimazione** ed **irriguo** mediante telerilevamento su colture a rilevante importanza regionale quali bietola e mais;

In particolare il **primo anno di attività** sperimentale si è posto l'obbiettivo di **verificare**, nelle condizioni regionali, il **grado di accuratezza con cui è possibile determinare tali fabbisogni** mediante la tecnologia del telerilevamento corrente, per cui cioè esiste già **un'offerta commerciale consolidata, ed innovativa** (con sensori iperspettrali aereotrasportati e satelliti sperimentali).

boschetti.m@irea.cnr.it



Framework  
**Obiettivi**  
 Materiali e metodi  
 Analisi dei dati  
 Risultati  
 Conclusioni

Il telerilevamento: aspetti teorici e applicazioni agronomiche

## Obiettivi

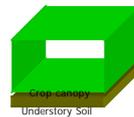
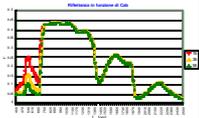
### Sperimentazione CITIMAP 2005: nutrizione azotata bietola

Il principale obiettivo dello studio è l'analisi delle relazioni tra indici spettrali e concentrazioni di clorofilla fogliare, per valutare le potenzialità dei dati iperspettrali

Studio preliminare per la successiva analisi di dati AISA e QuickBird

Acquisizione in campo di due famiglie di spettri:

- **fogliare**, mediante sonda di contatto per lo studio delle regioni spettrali più idonee alla stima della concentrazione di clorofilla.
- **Sopra chioma** (canopy) per valutare le potenzialità di indici spettrali sviluppati ad hoc per minimizzare l'influenza del background e delle caratteristiche strutturali della coltura.



20 novembre 2006

boschetti.m@irea.cnr.it

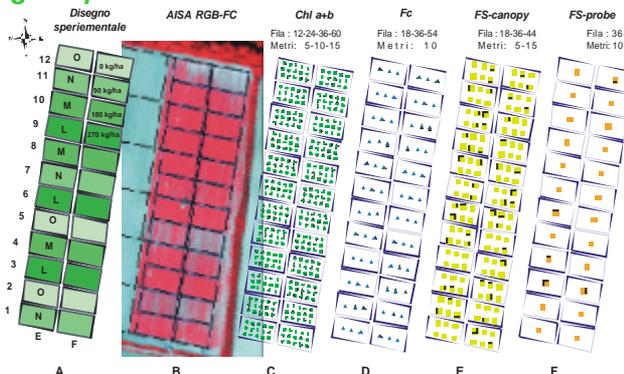


Framework  
 Obiettivi  
**Materiali e metodi**  
 Analisi dei dati  
 Risultati  
 Conclusioni

Il telerilevamento: aspetti teorici e applicazioni agronomiche

## Materiali e metodi

### Disegno sperimentale bietola



Variabilità controllata generata a seguito di fertilizzazioni differenziate:

- 4 livelli N (0-90-180-270 kg/ha) randomizzati
- 2 livelli irrigui (blocchi E, F)
- 3 repliche
- tot 24 parcelle 0.06 ha

Densità semina bietola: interfile di 45 cm, 60 file per parcella

20 novembre 2006

boschetti.m@irea.cnr.it

## Materiali e metodi

Misure agronomiche: 26/05/05 (ripresa QuickBird)

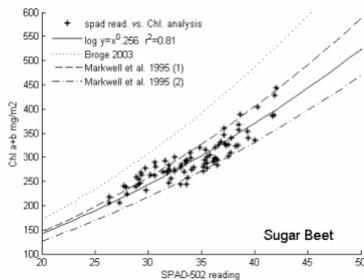
Chl *a+b* (stimato da misure di SPAD)

Fila : 12-24-36-48-60

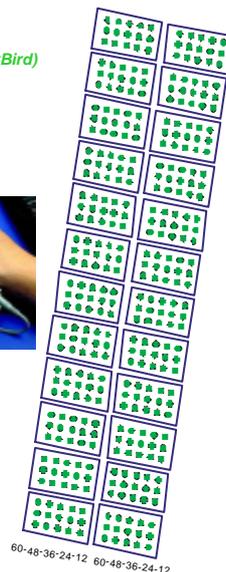
Metri: 5-10-15

Tot. 360

Media di *due misure* delle 6 foglie più sviluppate delle 6 piante più vicine (*bulking*) per ogni punto di campionamento della griglia



Curva di *calibrazione* ottenuta sperimentalmente da *rilevi multi-temporali* stagionali. Su due punti della griglia di campionamento per parcella, (totale 48 analisi per data), prelievo 6 rondelle fogliari di 18mm diametro



Framework

Obiettivi

Materiali e metodi

Analisi dei dati

Risultati

Conclusioni

20 novembre 2006

boschetti.m@irea.cnr.it

## Materiali e metodi

Misure agronomiche: 26/05/05

FC (Fotografia Digitale nadirale)

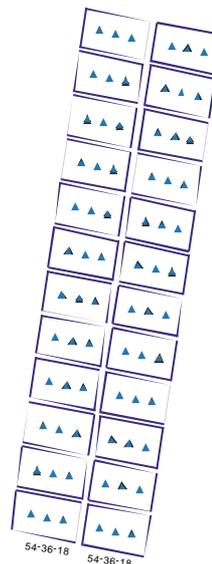
Fila : 18-36-54

Metri: 10

Tot. 72



Fc stimato mediante analisi *object-oriented* di fotografie digitali



Framework

Obiettivi

Materiali e metodi

Analisi dei dati

Risultati

Conclusioni

20 novembre 2006

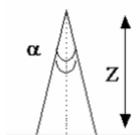
boschetti.m@irea.cnr.it

## Materiali e metodi

**Misure radiometriche: 06/04/05**  
*ASD-FS-PRO (SOIL) per definizione della Soil Line*

*Misure dopo lavorazione del suolo*  
*Lungo 3 file per ogni parcella*  
*Misure ogni 10 metri* **Tot. 144**

Specifications	ASD- FR
Spectral Range	350 - 2500 nm
Spectral resolution	3 nm@700 nm, 10 nm@1500 nm, and 10 nm@2100 nm
Sampling interval	1.4 nm for 350-1000 nm, 2 nm for 1000-2500 nm
Spectral Accuracy	± 1 nm
Digital Resolution	14 bit
Field of View	5°, 25°, RCR, 5° UW, RCR UW (with 10m UW probe)
Size	400 mm L x 300 mm W x 180 mm H
Weight (approx.)	5.7 kg + 2.5 kg battery pack



**Ottica**  
 25°  
**Altezza ripresa**  
 1.5 m  
**Superficie campionata**  
 0.6 m (diametro)

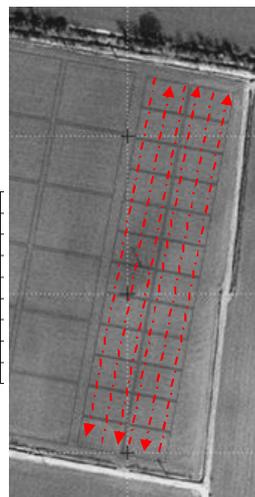


Immagine pancromatica QuickBird degli appezzamenti in cui verranno ospitate le colture sperimentali 2005



Framework

Obiettivi

**Materiali e metodi**

Analisi dei dati

Risultati

Conclusioni

20 novembre 2006

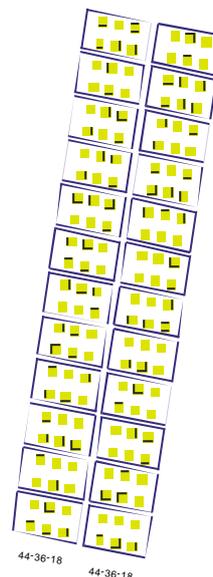
boschetti.m@irea.cnr.it

## Materiali e metodi

**Misure radiometriche: 27/05/05 (sorso AISA)**

*ASD-FS-PRO (Canopy)*

*Fila : 18-36-44*  
*Metri: 10* **Tot. 144**



Framework

Obiettivi

**Materiali e metodi**

Analisi dei dati

Risultati

Conclusioni

20 novembre 2006

boschetti.m@irea.cnr.it

## Materiali e metodi

Misure 27/05/05

ASD\_ FS-PRO (Leaf)

Fila : 36

Metri: 10

Tot. 24

Framework

Obiettivi

Materiali e metodi

Analisi dei dati

Risultati

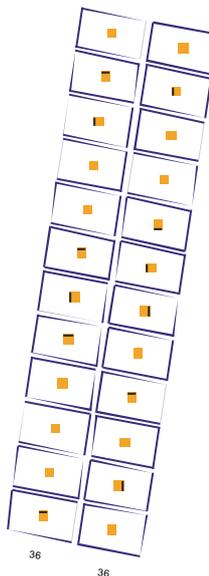
Conclusioni



Conctactprobe accoppiato a FS  
3 misure spettrali per ogni foglia



Campionamenti di rondelle  
fogliari di 18mm diametro  
in corrispondenza delle  
misure per estrazione  
analitica di Chl a+b



20 novembre 2006

boschetti.m@irea.cnr.it



Framework

Obiettivi

Materiali e metodi

Analisi dei dati

Risultati

Conclusioni



due acquisizione  
iperspettrali AISA  
Eagle 1K fra i 400  
ed i 1000 nm di cui  
una a 126 ed una a  
252 bande contigue  
e risoluzione metrica  
al suolo



Geofisica Della Litoranea



Acquisizioni 2005

AISA Eagle - May 27th

boschetti.m@irea.cnr.it

20 novembre 2006

## Analisi

### Data set

Il dataset finale per lo studio dei VI utilizzato

- analisi a **livello fogliare 24 spettri** e corrispondenti misure analitiche di Chl a+b
- analisi a livello di **canopy 48 spettri** con corrispondenti valori stimati di Chl a+b e Fc



### Metodo

Per ogni firma sono stati calcolati diversi **indici di vegetazione** e da mettere in relazione alle concentrazioni di clorofilla.

Le relazioni sono state sviluppate con tecniche di **regressione lineare (OLS)**, in cui la variabile indipendente è data dall'indici di vegetazione

20 novembre 2006

boschetti.m@irea.cnr.it



## Materiali e metodi

### Analisi: indici di vegetazione

	Indice	Formula	Referenza
Strutturali	Simple Ratio	SR = R800/R670	Rouse et al. (1974)
	Normalized Difference Vegetation Index	NDVI = (R800 - R670)/(R800 + R670)	Rouse et al. (1974)
Razio	RATIO1 (700/670)	R1 = R700/R670	Kim et al. (1994)
	RATIO2 (750/550)	R2 = R750/R550	Gitelson and Merzyak (1996)
	RATIO3 (750/700)	R3 = R750/R710	Zarco-Tejada et al. (2001)
Triangolari	Triangular Vegetation Index	TVI = 0.5 [120(R <sub>750</sub> - R <sub>550</sub> ) - 200(R <sub>670</sub> - R <sub>550</sub> )]	Broge and Leblanc (2000)
	Modified Triangular Vegetation Index	MTVI2 = $\frac{1.5 [1.2(R_{800} - R_{550}) - 2.5(R_{670} - R_{550})]}{\sqrt{(2R_{800} + 1)^2 - (6R_{800} - 5\sqrt{R_{670}}) - 0.5}}$	Haboudane et al. (2004)

20 novembre 2006

boschetti.m@irea.cnr.it

## Materiali e metodi

### Analisi: indici di vegetazione

	Indice	Formula	Referenza
CARI	Modified Chlorophyll Absorption in Reflectance Index	$MCARI = [(R_{800} - R_{670}) - 0.2(R_{700} - R_{550})] R_{700} / R_{670}$	Daughtry et al. (2000)
	Transformed CARI	$TCARI = 3[(R_{700} - R_{670}) - 0.2(R_{700} - R_{550})(R_{700} / R_{670})]$	Haboudane et al (2002)
REP	REIP_Lin	Modello semplificato lineare	Jongschaap and Booi (2004)
	REIP_Lagr	Modello di interpolazione Lagrangiano	Dawson and Curran (1998)
Soil adjust	Optimized Soil Adjusted Vegetation Index	$OSAVI = (1 + 0.16)(R_{800} - R_{670}) / (R_{800} + R_{670} + 0.16)$	Rondeaux et al. (1996)
	Transformed Adjusted Vegetation Index	$TSAVI = a[(R_{800} - (a * R_{670}) - b)] / [(R_{670} + (a * R_{800}) - (a * b))^3]$	Baret et al. (1989)
Ottim.	TCARI/OSAVI	TCARI/OSAVI	Haboudane et al (2002)

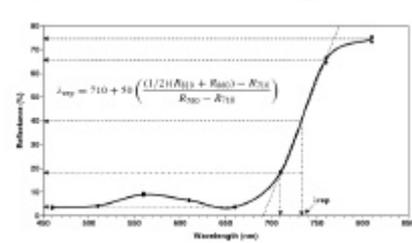
20 novembre 2006

boschetti.m@irea.cnr.it

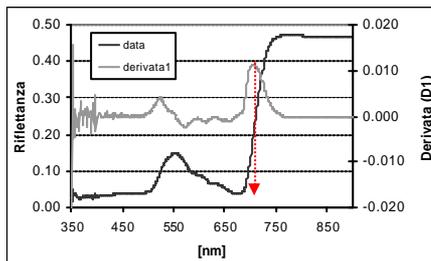


## Materiali e metodi

### Risultati: Calcolo del REP



**REIP\_Lin** uso **relazione lineare** che identifica la metà tra la spalla di massima riflessione e quella di minimo assorbimento



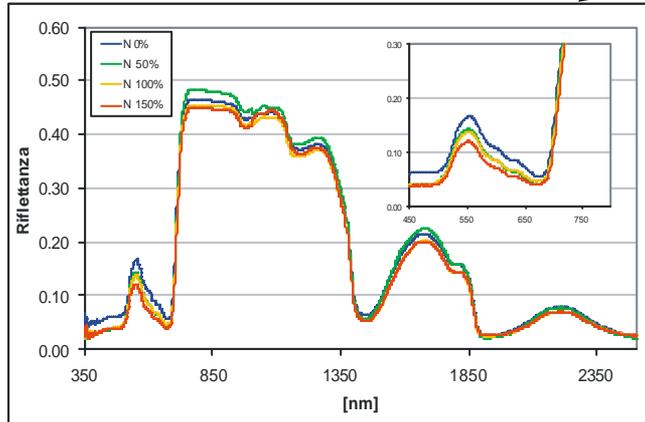
**REIP\_Lagr**: analizza la **derivata prima** della **firma spettrale interpolata con un modello lagrangiano** per trovarne il valore massimo in un intorno di  $\lambda=720$  nm. Per il procesamiento dei dati relativi a quest'ultimo metodo è stato utilizzata la versione **6.0 di IDL**. Gli

20 novembre 2006

boschetti.m@irea.cnr.it

## Risultati

### Leaf



Esempi di firme spettrali acquisite con il contact probe su piante di a diversi livelli di fertilizzazione. Effetti nella regione del visibile.

20 novembre 2006

boschetti.m@irea.cnr.it

Il telerilevamento: aspetti teorici e applicazioni agronomiche

## Risultati

### Leaf VIs vs Chl a+b: correlazione

	SR	NDVI	R1	R2	R3	TVI
Chl a+b	ns	ns	0.49	0.55	0.63	0.21
MTVI2		MCARI	TCARI	REIP_lagr	REIP_lin	-
Chl a+b	0.32	0.61	0.64	0.68	0.74	-

20 novembre 2006

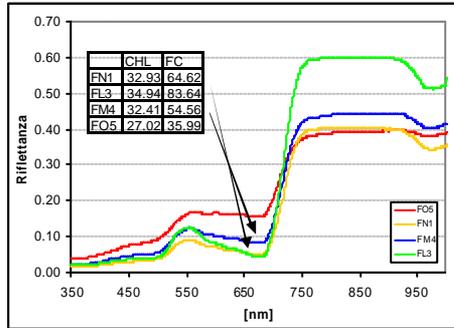
boschetti.m@irea.cnr.it

## Risultati

### Canopy VIs vs Chl-a+b



Canopy



Esempi di firme spettrali su piante di diversi livelli di fertilizzazione. Effetti maggiori nella regione del REP e NIR. Significativo contributo del suolo

•R<sup>2</sup> indici di vegetazione

	SR	NDVI	R1	R2	R3	TVI	MTVI2
Chl a+b	0.62	0.69	0.56	0.65	0.66	0.65	0.67
FC	0.80	0.84	0.6	0.70	0.70	0.62	0.63

	MTVI2	MCARI	TCARI	REIP lin	OSAVI	TSAVI	TCARI/OSAVI
Chl a+b	0.67	0.60	0.6	0.64	0.66	0.64	0.35
FC	0.63	0.46	0.46	0.88	0.72	0.73	0.26

20 novembre 2006

boschetti.m@irea.cnr.it



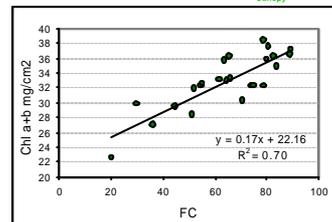
## Risultati

### Analisi Canopy VIs: FC -Chl



Canopy

- Fc e Chl risultano fortemente correlati
- Effetto delle fertilizzazioni più evidente nella struttura della canopy, crescita della pianta, piuttosto che nel contenuto di clorofille.
- Effetto si ripercuote sugli spettri di canopy.
  - VI che utilizzano bande nel NIR sono perciò più influenzati dal Fc che dal contenuto di Chl a+b



Esempio per REP: regressione multipla

R (coefficiente di correlazione)	0.896
R <sup>2</sup> (coefficiente di determinazione)	0.803
R <sup>2</sup> aj (coefficiente di determinazione corretto)	0.784

Fonte	DF	SS	MS	F	Pr > F
Modello	2	164.961	82.481	42.860	< 0.0001
Residui	21	40.413	1.924		
Totale	23	205.374			

Fonte	DF	SS	MS	F	Pr > F
FC	1	161.617	161.617	83.982	< 0.0001
chl	1	3.345	3.345	1.738	0.202

•Varianza dei dati è spiegata principalmente dal Fc

20 novembre 2006

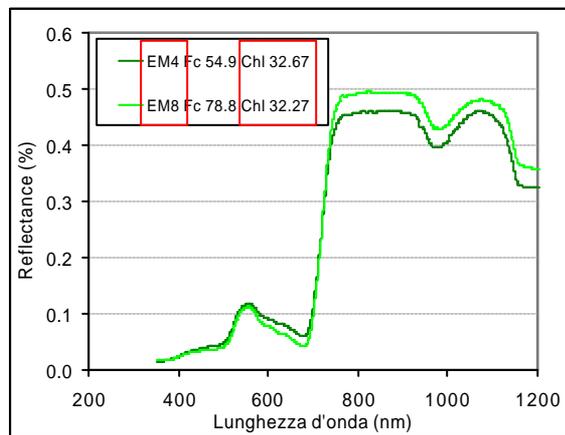
boschetti.m@irea.cnr.it

## Risultati

### Analisi Leaf-Canopy VIs: FC



Canopy



20 novembre 2006

boschetti.m@irea.cnr.it



## Risultati

### Leaf

- Analisi iperspettrale di firme di foglia conferma la possibilità di monitorare il contenuto di clorofilla di colture di barbabietola come indicatore di condizioni di carenze nutrizionali
- REP è risultato il VI più predittivo
  - Modello lineare ha mostrato migliori performance, problemi nella ricerca automatica analizzando derivata prima dello spettro con interpolazione

- MCARI (TCARI) buon indice

### Canopy

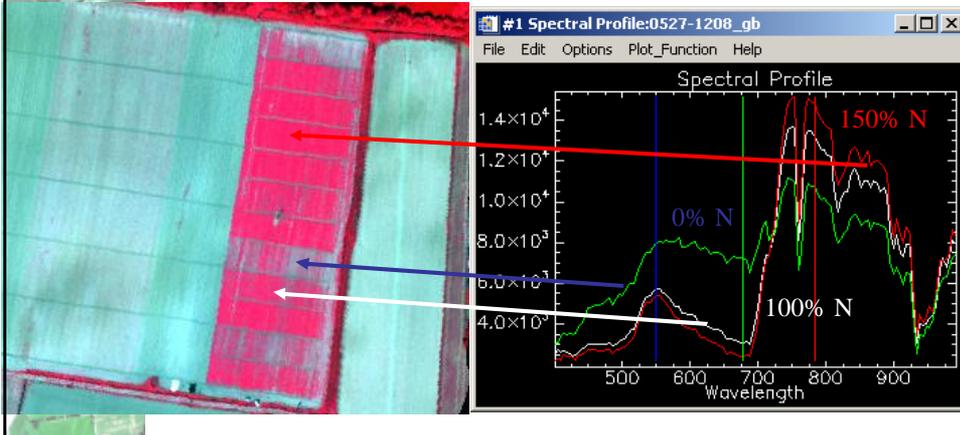
- Disegno sperimentale ha portato ad avere forte relazione tra Fc (i.e. acatteristiche strutturali della pianta) e contenuto in Chl fogliare.
- Gli indici di vegetazione specificamente proposti per la stima della concentrazione di pigmento risultano correlati ai valori di Fc (che spiega maggiormente la varianza dei dati)
- Problemi principali in condizioni di bassa copertura dove effetto del suolo è preponderante e non si può minimizzare anche con indici appositi (rapporto TCARI/OSAVI)

20 novembre 2006

boschetti.m@irea.cnr.it

Il telerilevamento: aspetti teorici e applicazioni agronomiche

**AISA: risoluzione spaziale e spettrale adatta** alla produzione degli indici e derivate spettrali correlati **alla quantità di pigmento clorofilliano per area fogliare** (nutrizione azotata - concimazione a rateo variabile)



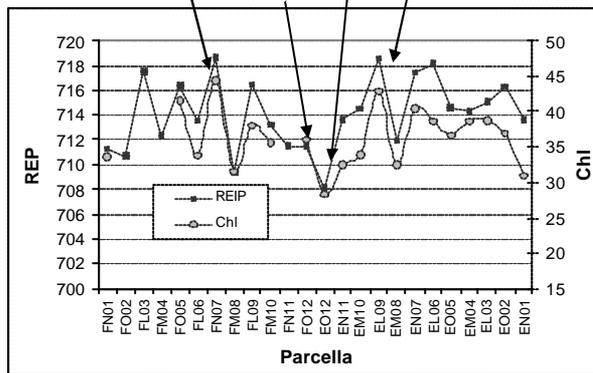
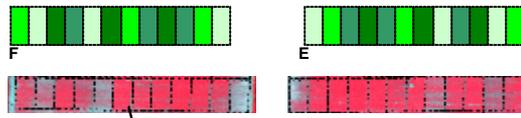
20 novembre 2006

boschetti.m@irea.cnr.it

Il telerilevamento: aspetti teorici e applicazioni agronomiche

**REP vs Chl-a+b**

Monitoraggio vegetazione  
Telerilevamento  
Progetto dottorato  
Approccio Empirico: Pascoli  
Approccio modellistico: Risate



20 novembre 2006

boschetti.m@irea.cnr.it

## Conclusioni

### RS per VRT

⊖ Determinazione della concentrazione delle clorofille (Chl a+b) da dati spettrali di *canopy* (sensori remoti) **non può ancora considerarsi una tecnologia acquisita.**

☹ In letteratura ciò è dimostrato dalla **continua ricerca di indici empirici a sensibilità differenziata** rispetto a parametri strutturali

☺ **mappe di Fc/Chl prodotte** da dati ad alta risoluzione (i.e. AISA) danno un'utile informazione circa la variabilità spaziale in campo non identificabile altrimenti **rappresentando perciò un supporto alle VRT**



Framework  
Obiettivi  
Materiali e metodi  
Analisi dei dati  
Risultati  
Conclusioni

## Approccio operativo

### Mappe di fertilizzazione

LAI (strutturale) x concentrazione di pigmento per area fogliare (biochem.)

↓ ↓ =  
Canopy Chlorophyll Density

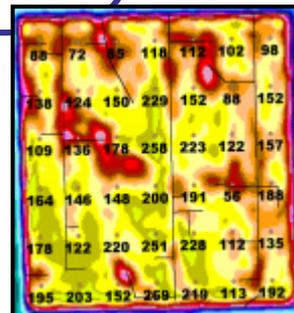
Misurazione diretta della concentrazione di pigmento tramite "Narrow Band" VIs

↓  
VIs (o RTM)

Indici sensibili alla variazione della concentrazione di pigmento fogliare sono di solito anche sensibili alla variazione di LAI

↓  
dati accessori (coltura, data di semina, suoli....)

↓  
*consiglio di concimazione*  
*In forma di MAPPA*



## Approccio operativo

### Mappe di fertilizzazione

La scelta Citimap (sperimentale/strategica) è di privilegiare in un primo momento l'approccio empirico (Vis) che riteniamo possa essere più facilmente reso operativo in tempi brevi

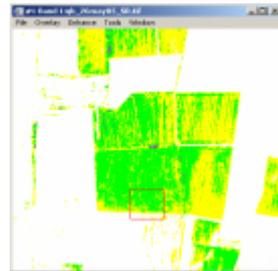
Mappa VI



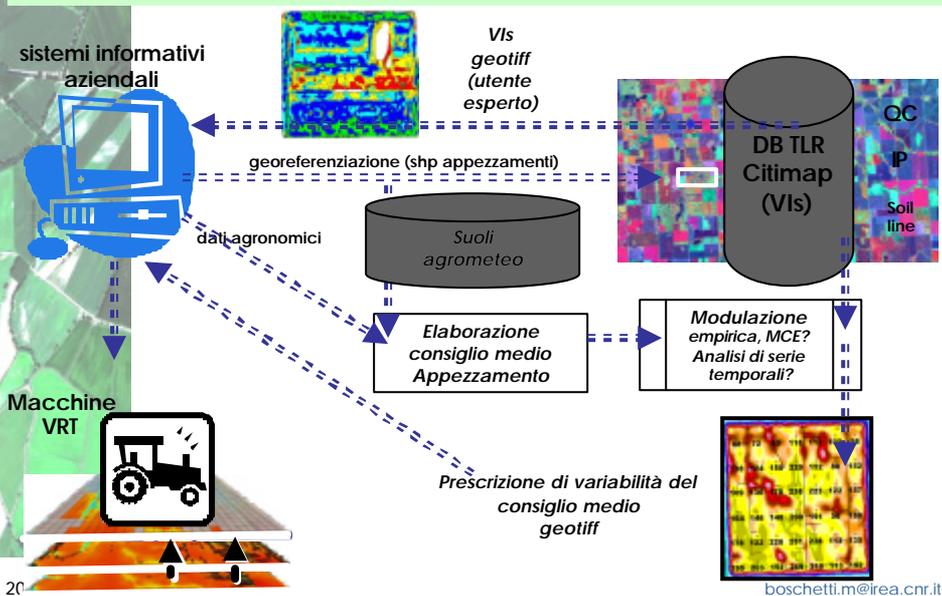
"smart scouting"



Mappa VRT

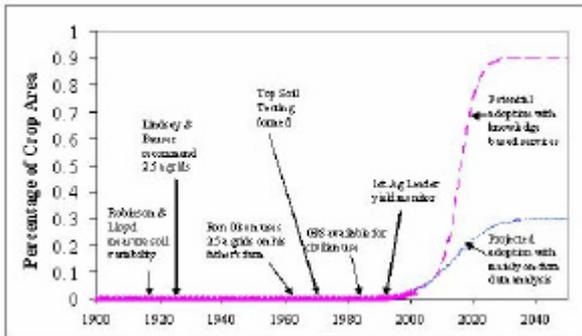


**Prototipo** di un sistema di servizio informativo georeferenziato per l'applicazione delle immagini satellitari a concimazione ed irrigazione a rateo variabile



## Il telerilevamento: aspetti teorici e applicazioni agronomiche

Il Telerilevamento è destinato a diventare una fonte efficace ed economica per l'elaborazione di mappe di fabbisogno per le tecniche VRT. Il lasso di tempo necessario ed il grado di adozione di questa tecnologia innovativa dipenderà largamente dalla **capacità di fornitura di servizi informativi** alle imprese intese sia come produttori di macchine agricole che come aziende agricole utenti di tali macchine.



**Proiezione del grado di adozione della tecnologia VRT su dati telerilevati,**

Site Specific Management Center,  
Purdue University

[boschetti.m@irea.cnr.it](mailto:boschetti.m@irea.cnr.it)