



I 5 subcampioni sono stati uniti in un'unica busta per campionamento a formare 1 campione. Il campione è stato numerato apponendo sulla superficie della busta il numero corrispondente a quello presente sulla mappa precedentemente creata.



I campioni sono stati portati al laboratorio di analisi dell'Università di Perugia per eseguire l'analisi degli elementi.

Prove su parcelle

Analisi di azoto nel terreno

Per ogni terna di parcellini sono stati effettuati due prelievi di terreno, alle due estremità, ripetuti a profondità 0-30 cm e 30-60 cm. Sono stati poi mescolati i campioni delle estremità opposte riferiti alla medesima profondità. La tecnica di prelievo è la medesima descritta per gli appezzamenti sperimentali.

A handwritten signature in blue ink, located in the bottom right corner of the page. The signature is stylized and appears to be a name or initials.

I parametri analizzati per ogni campione sono: azoto totale, azoto ammoniacale, azoto nitrico, azoto organico, umidità. Questi valori forniscono informazioni sull'azoto presente nel terreno.

Misure SPAD

Lo SPAD è uno spettrofotometro da campo che di fatto misura l'intensità di verde (o greeness) del fogliame, che dipende dal contenuto di clorofilla, a sua volta strettamente correlato con la concentrazione di azoto nel tessuto vegetale. In ogni giornata di misurazione, sono state misurate 10 foglie da 10 piante diverse per parcella scelte a caso tra le foglie giovani che avevano completato l'espansione della lamina. Dalla comparsa della foglia bandiera le misure sono state effettuate nella porzione mediana di quest'ultima.



Misure con ceptometro

Questo strumento permette di misurare la luce o radiazione fotosinteticamente attiva (PAR, dall'inglese photosynthetically active radiation) incidente al di sopra della coltura (PARi) e quella trasmessa (PART) al di sotto della coltura. Si è cercato di scegliere date coincidenti o prossime alle date di telerilevamento da drone, così da poter meglio evidenziare le possibili relazioni tra le misure effettuate. La fattibilità di esecuzione delle misurazioni con entrambi i sistemi (ceptometro e drone) è subordinata alle condizioni meteo, in particolare è necessario un cielo sereno senza passaggio di nubi e con alta quota di luce diretta. La PART è stata ottenuta effettuando 5 misurazioni per parcellina, ponendo il ceptometro sotto la coltura in posizione trasversale rispetto alla direttrice delle file di frumento.



Prelievi di piante e analisi del contenuto di azoto

L'analisi dell'azoto fogliare è uno strumento per la valutazione dello stato nutrizionale delle piante e permette di avere indicazioni sull'azoto presente nel terreno che la pianta è realmente riuscita ad assorbire.

I prelievi di piante sono stati eseguiti in tre date: prima del primo intervento di concimazione azotata, dopo il primo intervento e dopo il secondo. Ad ogni data sono state prelevate tutte le piante (radici escluse) di 6 file per una lunghezza di 0,5 m. Di ogni campione è stato misurato il peso

A large, stylized handwritten signature in blue ink, located in the bottom right corner of the page. The signature is fluid and appears to be a personal name.

fresco (FW) e il peso secco (DW) mediante essiccazione in stufa a 80 °C per 3 giorni di un subcampione di biomassa.

La concentrazione di azoto (N%) della sostanza secca è stata misurata secondo il metodo analitico dell'Azoto totale Kjeldahl (TKN, Total Kjeldahl Nitrogen), che permette la determinazione dell'azoto ammoniacale e organico contenuto nel campione analizzato.

Concimazione

Per le concimazioni è stata utilizzata urea agricola al 46% di azoto in forma granulare media. Le concimazioni sono state precedute dall'operazione di taratura delle spandiconcime utilizzate.

Concimazione Fondazione Istruzione Agraria – Casalina

Le 18 rasole (parcelle) in cui è stato suddiviso il campo sono state concimate con dosi diverse di azoto (0-40-80-120-160-200), assegnate a ciascuna parcella di ciascuno dei 3 blocchi in modo randomizzato, secondo il seguente schema:

* Rasole	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
UNITA'	0	40	80	120	160	200	120	200	80	0	160	40	160	80	0	40	200	120
AZOTO																		
Kg tot urea	0	87	174	261	348	435	261	435	174	0	348	87	348	174	0	87	435	261
Kg urea x ogni concimaz.	0	44	87	130	174	218	130	218	87	0	174	44	174	87	0	44	218	130

I valori indicati si riferiscono alle unità totali di azoto, ai kg totali di urea da somministrare ed infine ai kg di urea somministrati per ciascuna delle due concimazioni effettuate.

Concimazione Azienda Agraria Blasi Luca – Piegaro

Entrambe le concimazioni effettuate sull'appezzamento sono state eseguite utilizzando una concentrazione di 120 kg/ha di azoto.



Interpolazione dei dati di campionamento e realizzazione di mappe

Definizione del modello di interpolazione dei dati

Attraverso particolari algoritmi di interpolazione, utilizzando il software GIS, si sono costruite mappe tematiche rappresentanti la distribuzione degli elementi e parametri campionati, nel terreno dei due appezzamenti agricoli sperimentali.

La rappresentazione quantitativa di fenomeni naturali come questi richiede l'utilizzo dell'analisi statistica, in cui le variabili da indagare sono rappresentate dalla concentrazione nel terreno degli elementi (azoto, fosforo, potassio, ecc...).

Un istogramma è un utile strumento grafico di sintesi statistica, che serve a rappresentare graficamente la distribuzione di frequenza. Si ottiene semplicemente plottando il numero dei valori in ogni intervallo di classe contro l'intervallo di classe stesso. Ogni classe di frequenza è rappresentata da un rettangolo, la cui altezza è proporzionale alla corrispondente frequenza di classe. Gli istogrammi però non forniscono tutte le informazioni necessarie per una buona analisi dei dati, sono necessarie infatti anche altre misure geostatistiche.

La geostatistica è quella branca della statistica che si occupa dell'analisi di dati spaziali. La geostatistica si occupa di valutare l'autocorrelazione spaziale dei dati, cercando di verificare se osservazioni effettuate su punti vicini presentino effettivamente una minore variabilità rispetto ad osservazioni effettuate tra punti distanti. L'obiettivo è quindi valutare l'effetto della posizione del punto di misura sulla variabilità del dato osservato. Tale variabilità viene di solito elaborata con lo strumento del semivariogramma, che valuta il grado di variabilità di punti a distanze crescenti.

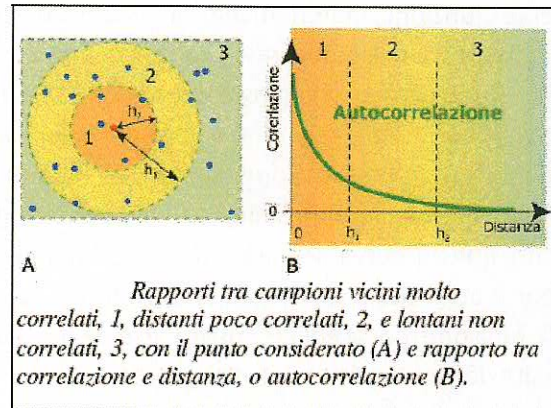
Lo studio della variabilità spaziale è necessario per la successiva fase di predizione spaziale con cui si possono fornire delle stime sul valore assunto e sugli errori commessi da una variabile in una posizione in cui la misurazione non è stata effettuata.

L'autocorrelazione definisce il grado di dipendenza spaziale tra i valori assunti da una variabile campionata.

Una caratteristica intuitiva dell'ambiente è che le sue proprietà sono in relazione fra di loro in una qualche scala, grande o piccola che sia. Questa situazione è definita autocorrelazione.

Questo significa che valori campionati in luoghi vicini tra di loro, tendono ad avere comportamenti simili, mentre valori di una stessa variabile misurati in campioni raccolti in luoghi lontani tra di loro tendono ad avere comportamenti differenti, o almeno tendono a differire dai valori medi che si riscontrano nei due luoghi stessi. In tal senso, la correlazione fra i valori della variabile tende a diminuire con l'aumentare della distanza.





Adottando il punto di vista stocastico, ogni punto dello spazio non ha un solo valore per una proprietà, ma un intero insieme di valori. In questo modo il valore osservato diventa un valore estratto a caso da un infinito numero di valori possibili, assunti da qualche distribuzione di probabilità per una qualche legge. Questo significa che in ogni punto dello spazio c'è una variazione. Così, ad ogni punto x_0 , una proprietà, $Z(x_0)$, è trattata come una variabile casuale, generalmente continua e non discreta, con una media (μ), una varianza (σ^2), momenti di ordine più alto ed una funzione di probabilità di densità cumulativa. Questa variabile ha quindi una distribuzione di probabilità da cui viene estratto il valore reale. Il set di valori reali (misurati) di Z può considerarsi come una variabile regionalizzata in quanto, è una variabile il cui valore è fortemente condizionato dalla posizione spaziale. Detta $Z(x)$ la variabile regionalizzata nella posizione x , potremmo scrivere:

$$Z(x) = a + R(x)$$

in cui a è la componente aleatoria e $R(x)$ la componente regionalizzata. Quando a è dominante rispetto a $R(x)$ si studia la variabile con i metodi classici della statistica. In caso contrario si ricade nel campo della geostatistica.

I valori delle variabili regionalizzate tendono ad essere in relazione tra loro e, come detto, due valori vicini ad un terzo tendono ad essere simili, mentre quelli più lontani lo sono meno.

Il semivariogramma è un algoritmo geostatistico che viene impiegato per valutare l'autocorrelazione spaziale di dati osservati in punti georeferiti.

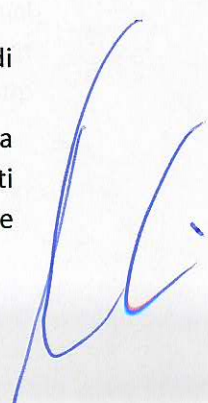
La funzione semivariogramma interpola la semivarianza dei valori osservati in gruppi di coppie di punti a determinate distanze (lag) secondo una certa direzione.

La semivarianza è pari a:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2m(h)} \sum_{i=1}^{m(h)} (Z(x_i+h) - Z(x_i))^2$$

in cui Z è il valore di una misura in un particolare punto, h è un intervallo di distanza tra punti di misurazione (lag) e $m(h)$ rappresenta il numero di coppie di osservazioni effettuate alla distanza h .

Gli assi del semivariogramma sperimentale sono distanze tra coppie di dati (asse x) e semivarianza (asse y). Il grafico ottenuto dall'applicazione della formula 6.1 è formato da una serie di punti distinti, distanti tra loro un certo lag definito. Il semivariogramma sperimentale (punti discreti) deve

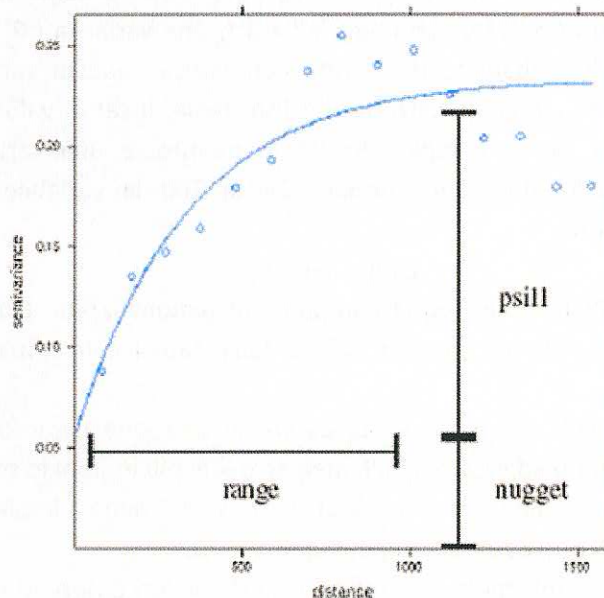


essere interpolato con diverse funzioni matematiche, in modo da determinare il tipo di autocorrelazione spaziale della variabile misurata, che saranno successivamente usate nell'interpolazione con il kriging. Nel processo di kriging è infatti richiesta una funzione continua per l'assegnamento dei pesi in tutti i punti, che è legata al valore della semivarianza. Tale modello di semivariogramma si desume a partire dall'osservazione del semivariogramma sperimentale.

Si può immaginare una funzione che meglio approssimi i punti del variogramma sperimentale; il problema è però capire quanto questa curva seguirà i dati sperimentali. Per modellare bene il variogramma bisogna quindi porre attenzione sull'andamento generale dei punti e non sulle singole fluttuazioni, quindi il tipo di funzione da scegliere dovrà essere la più semplice possibile, in relazione sempre alla complessità dell'andamento del variogramma.

I parametri stimati sono:

- Nugget: descrive il livello di variabilità casuale;
- Sill: valore massimo della semivarianza quando si ha stazionarietà (esso approssima per eccesso la varianza campionaria);
- Range: rappresenta la distanza massima entro la quale si manifesta correlazione tra semivarianza e lag.



La stima della funzione variogramma viene effettuata sulla base dei dati provenienti dal campionamento del fenomeno oggetto di studio. Se si hanno dati campionati secondo una maglia regolare il calcolo è molto semplice poiché, data la stazionarietà dell'incremento $Z(x+h) - Z(x)$, risulta immediato calcolare la funzione variogramma per una certa direzione e per un determinato lag h . Il calcolo del variogramma si basa sul considerare le differenze dei valori della variabile regionalizzata in due localizzazioni differenti, separate da una distanza h . La procedura da seguire è questa:

- 1) Si parte facendo la differenza tra i valori $z(x_1)$ e $z(x_2)$, poi tra $z(x_2)$ e $z(x_3)$, fino alla coppia $z(x_{i-1})$ e $z(x_i)$. Le differenze saranno uguali a $m(x)$, ovvero al numero di coppie di campioni per questo lag

- 2) Il risultato di ogni differenza si eleva al quadrato
- 3) Si sommano tutti i quadrati
- 4) Si divide questa somma per $2m(h)$
- 5) Si ripete la stessa procedura da 1 a 4 per il secondo lag (il doppio del primo)
- 6) Si ripete la stessa procedura da 1 a 4 per il terzo lag (tre volte il primo)
- 7) Si ripete la procedura fino all'ultima distanza di lag che si vuole

Per poter ricostruire la superficie cercata è necessario interpolare i dati disponibili per stimare i valori dove non si hanno campioni. Per l'interpolazione è stato utilizzato il kriging. Esso fa il miglior uso della conoscenza della variabile, prendendo in considerazione il modo in cui una proprietà varia nello spazio attraverso il modello del variogramma che è stato scelto e validato.

Realizzazione di mappe tematiche

Le mappe tematiche sono state realizzate utilizzando il software GIS e specifici algoritmi facenti parte del set di tools a disposizione.

I dati relativi alle misurazioni sono stati analizzati con due metodologie di interpolazione, la Inverse Distance Weighting (da qui in poi abbreviata in IDW) e l'Ordinary Kriging, (abbreviato in OK), in quanto ritenute tra le più affidabili come attendibilità del risultato.

Il metodo di interpolazione IDW, per requisito, prevede che i punti individuati abbiano una distribuzione uniforme e non formino cluster, quindi laddove si debba scegliere la distribuzione dei punti di campionamento, è meglio individuare la distribuzione a griglia piuttosto che quella random. Poiché però, durante le sperimentazioni si è verificato che la disponibilità di 32 punti (casuali e a griglia) porta a un aumento della precisione di previsione di un ordine di grandezza, per ottenere le successive mappe si sono utilizzati tutti i punti campionati.

Inoltre l>IDW, essendo un tipo di interpolazione deterministica, non permette di misurare il grado di incertezza della misurazione predetta, ma in alcuni casi si è dimostrata migliore nella rappresentazione rispetto a modelli realizzati attraverso il metodo di Kriging Ordinario, stocastico.

A seguito della fase di campionamento, si è effettuata una analisi statistica dei dati (analisi delle proprietà spaziali e statistiche dei dati, attraverso esame della distribuzione, identificazione ed eliminazione dei trend, identificazione di eventuali anisotropie) mediante il modulo Explore Data, che permette di verificare il coefficiente di skewness e Kurtosis e di valutare se trasformando i dati in Log o Box-Cox si ottenga una migliore corrispondenza dei dati con la gaussiana.

- **Stima del Variogramma sperimentale** e scelta del modello da utilizzare;
- Interpolazione **Calcolo superficie statistica** di predizione e carta degli errori (la predizione dei valori incogniti avviene attraverso il modello del variogramma, configurazione spaziale dei dati ed il valore dei punti misurati);
- **Diagnostica** (per comprendere "quanto bene" il modello predice i valori incogniti; l'analisi di errore si può effettuare attraverso: cross validation, validation points).

Solo nel caso dell'azoto vengono riportate tutte le opzioni, successivamente per brevità si riporteranno solo i dati relativi alle interpolazioni relative a tutti i punti.

Sebbene i campionamenti siano stati effettuati per misurare la concentrazione nel terreno, i valori mostrati si riferiscono (con le opportune correzioni) a kg/ha, in quanto deve essere rappresentata in maniera estensiva la quantità di elemento presente nel volume di terreno considerato.

Appezzamento sperimentale Azienda Agricola Blasi Luca

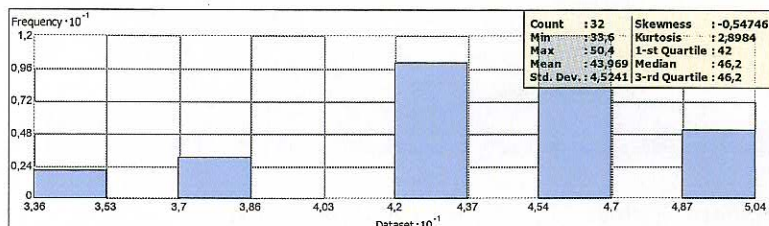
I campionamenti effettuati:

ID	pH	Azoto Totale_kg/Ha	FosforoAss_mg_kg	PotassioSc_mg_kg
100	7,9	46,20	21	57
101	7,4	42	25	83
102	8	33,60	18	54
103	6,9	46,20	38	57
104	7	37,80	40	70
105	7,4	42	21	66
106	7,1	33,60	23	54
107	7,1	46,20	39	54
108	8	37,80	27	71
109	8,2	46,20	29	75
110	7,1	50,40	33	57
111	7,9	42	20	90
112	8	42	38	89
113	7,8	42	28	105
114	7,5	37,80	25	61
200	7,9	42	12	40
201	7,4	50,40	34	62
202	7,7	46,20	26	68
203	7	50,40	40	63
204	7,1	50,40	37	67
205	7,2	42	37	63
206	7,2	42	30	65
207	8,1	46,20	31	75
208	7,1	50,40	31	42
209	7,7	46,20	30	65
210	7,2	46,20	29	61
211	7,8	42	29	65
212	7,6	42	26	65
213	7,7	46,20	30	79
214	6,9	46,20	28	55
215	7,5	46,20	24	51
216	6,7	46,20	30	69



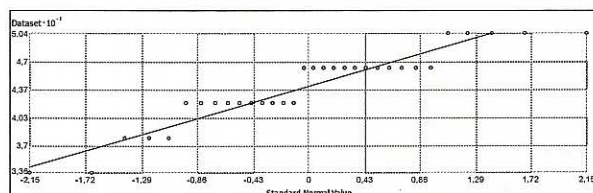
AZOTO

Histogram
 Transformation: None



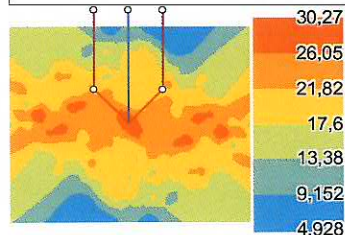
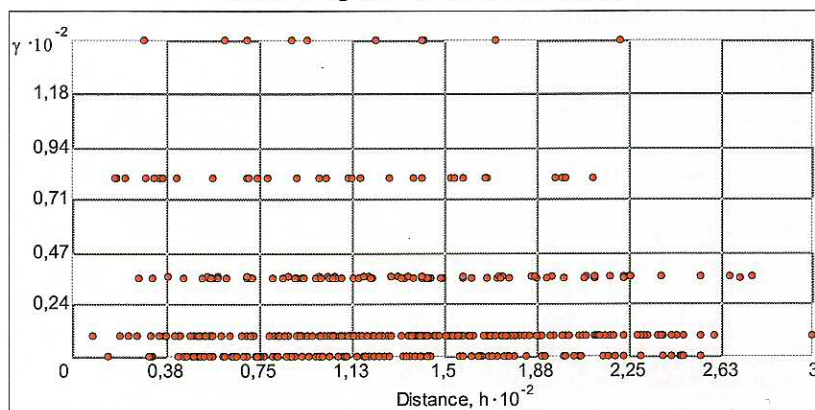
Dataset : Prelievi BLASI Piegaro Attribute: N kg ha
 Istogramma della distribuzione dei valori di azoto prelevati presso il campo di Piegaro

Normal QQPlot
 Transformation: None



Dataset : Prelievi BLASI Piegaro Attribute: N kg ha

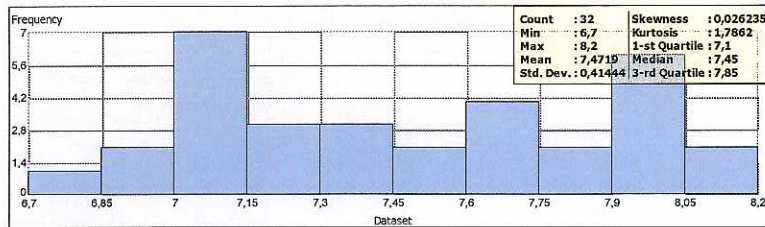
Semivariogram/Covariance Cloud



Dataset : Prelievi_BLASI_Piegaro Attribute: N_kg_ha

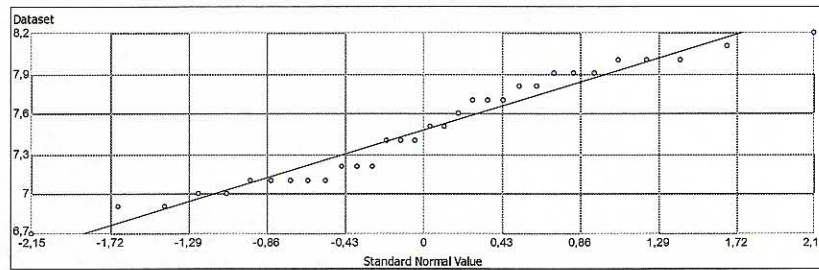
pH

Histogram
 Transformation: None



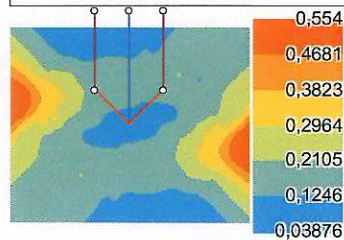
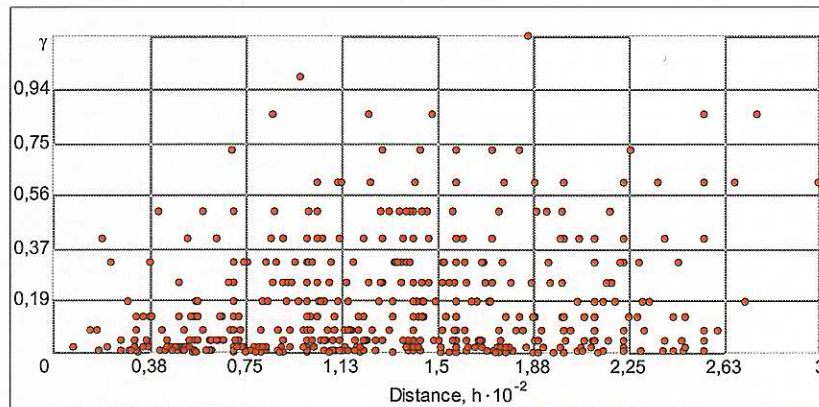
Dataset : Prelievi BLASI Piegaro Attribute: pH
 Istogramma della distribuzione dei valori di pH prelevati presso il campo di Piegaro

Normal QQPlot
 Transformation: None



Dataset : Prelievi BLASI Piegaro Attribute: pH

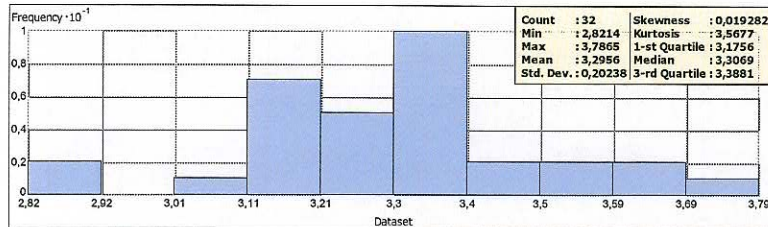
Semivariogram/Covariance Cloud



Dataset : Prelievi BLASI Piegaro Attribute: pH

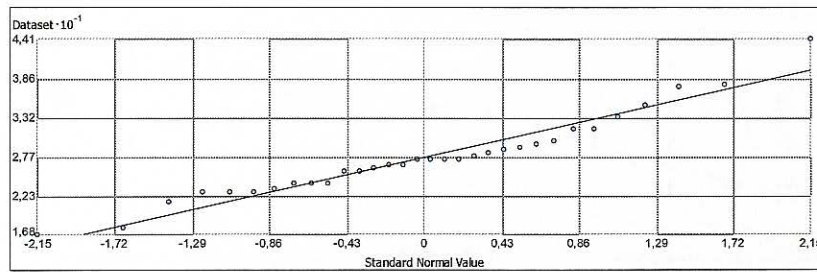
POTASSIO

Histogram
 Transformation: Log



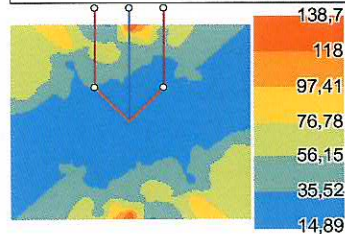
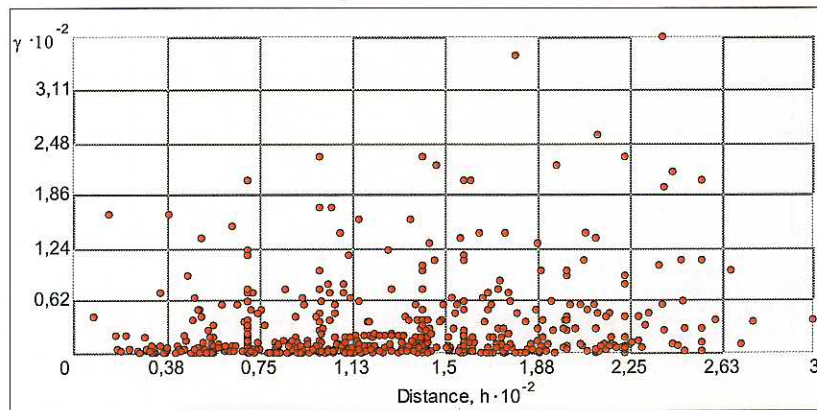
Dataset : Prelievi BLASI Piegaro Attribute: K kg ha
 Istogramma della distribuzione dei valori di Potassio prelevati presso il campo di Piegaro

Normal QQPlot
 Transformation: None

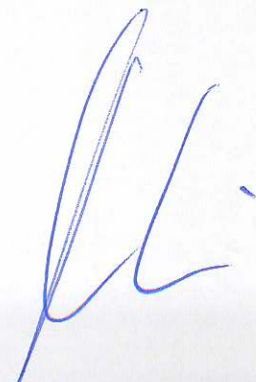


Dataset : Prelievi_BLASI_Piegaro Attribute: K_kg_ha

Semivariogram/Covariance Cloud

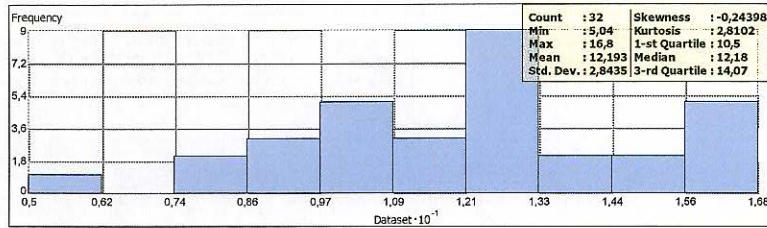


Dataset : Prelievi_BLASI_Piegaro Attribute: K_kg_ha



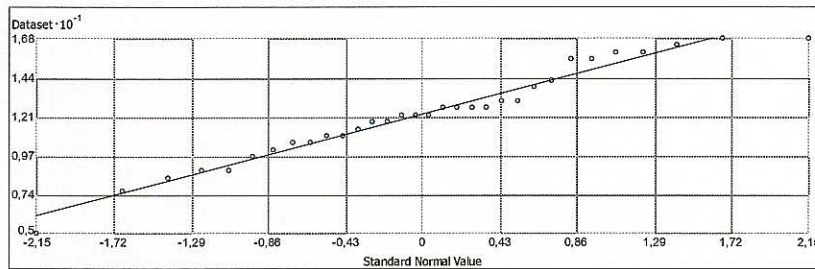
FOSFORO

Histogram
 Transformation: None



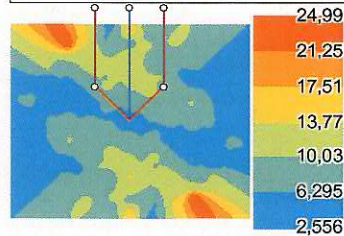
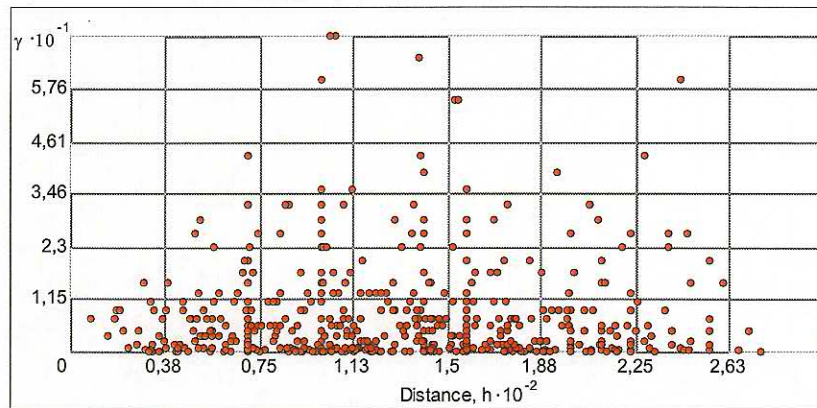
Dataset : Prelievi BLASI Piegaro Attribute: P kg ha
 Istogramma della distribuzione dei valori di Fosforo prelevati presso il campo di Piegaro

Normal QQPlot
 Transformation: None



Dataset : Prelievi_BLASI_Piegaro Attribute: P_kg_ha

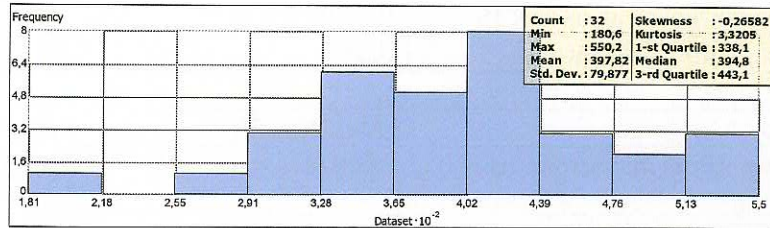
Semivariogram/Covariance Cloud



Dataset : Prelievi_BLASI_Piegaro Attribute: P_kg_ha

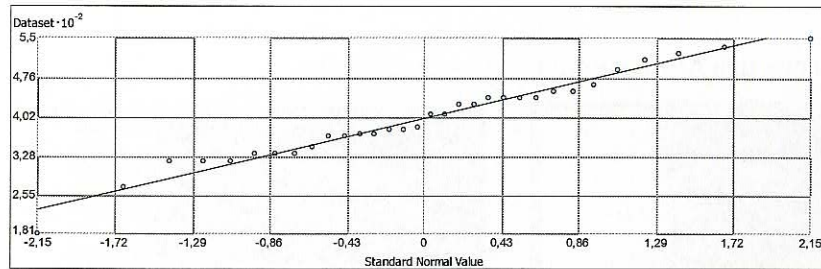
SOSTANZA ORGANICA

Histogram
 Transformation: None



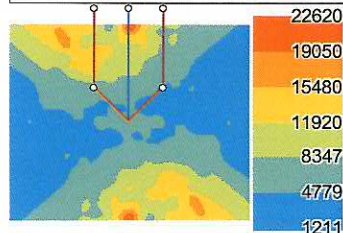
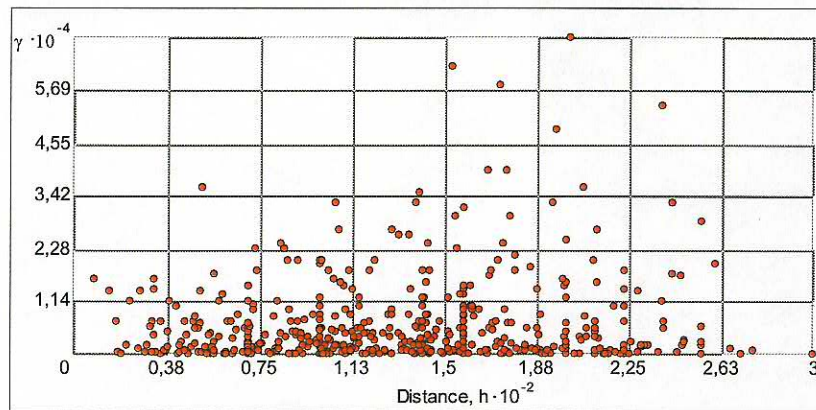
Dataset : Prelievi BLASI Piegaro Attribute: SO kg ha
 Istogramma della distribuzione dei valori di Sostanza Organica prelevati presso il campo di Piegaro

Normal QQPlot
 Transformation: None



Dataset : Prelievi BLASI Piegaro Attribute: SO kg ha

Semivariogram/Covariance Cloud



Dataset : Prelievi BLASI Piegaro Attribute: SO kg ha

Di seguito un riepilogo dei valori di media e di scarto quadratico medio (root mean square) definiti dalle differenti interpolazioni eseguite; va considerato che il valore di Media deve essere il più

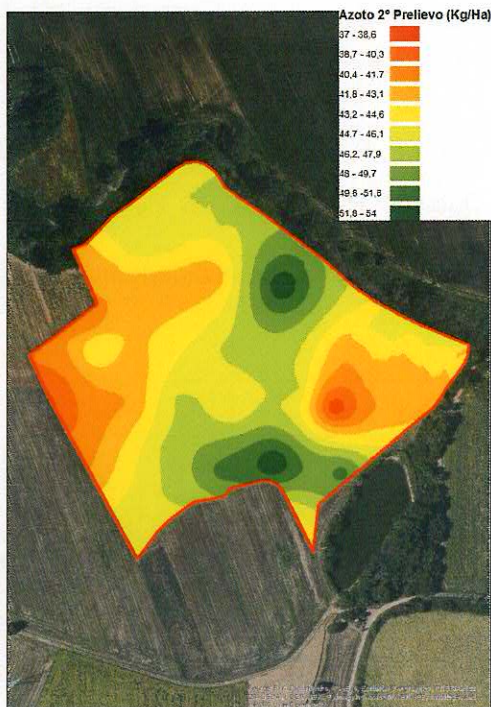


possibile prossimo allo zero, mentre l'RMS, a parità di valori di media, tanto più piccolo è, migliore è l'interpolazione.

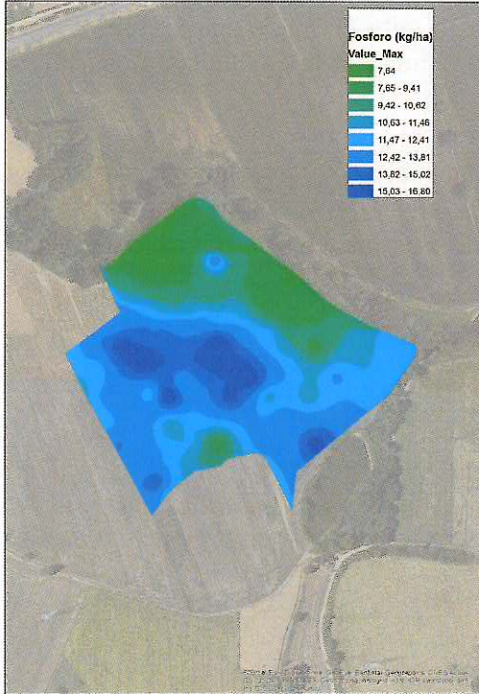
Opzione	Metodo	Media	RMS
A	IDW – Neighbors min 5/max 10	0.23	5.26
B	IDW – Neighbors min 5/max 15	0.0098	5.60
C	IDW – Neighbors min 10/max 15	0.03	5.56

Opzione	Metodo	Media	RMS	ASE	SRMSE
A	OK – Neighbors min 5/max 10	0,2974	4,7155	4,6310	1,0185
B	OK – Neighbors min 5/max 15	0.2783	4.6913	4.6176	1.0164
C	OK – Neighbors min 10/max 15	0,2689	4.6958	4.6153	1.0178

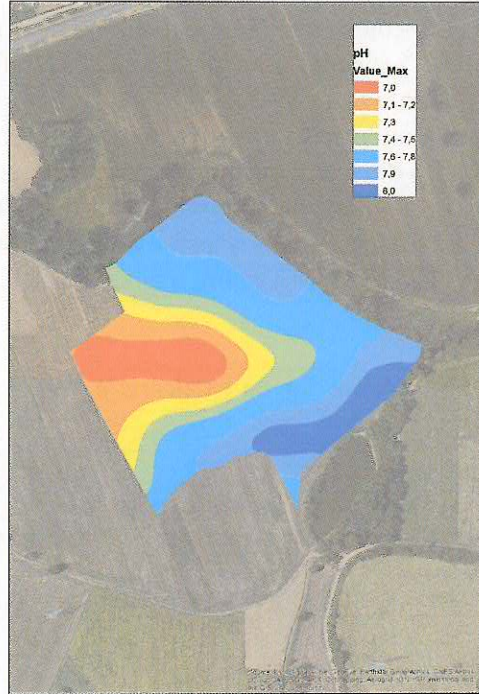
Mappa di distribuzione dell'Azoto – Primo e secondo prelievo



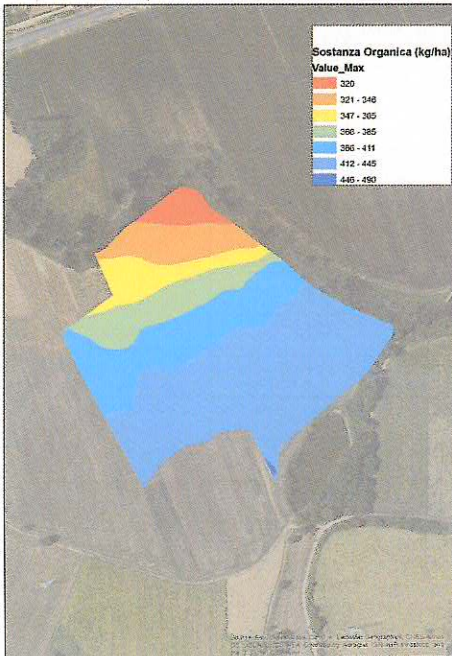

Mappa di distribuzione del Fosforo



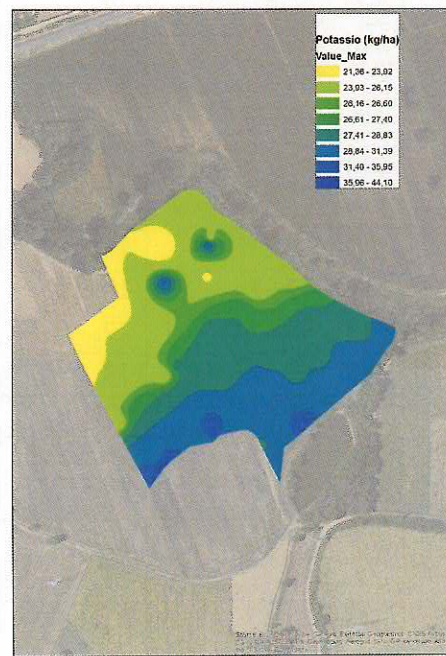
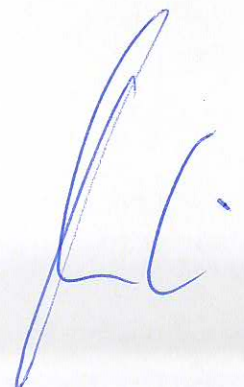
Mappa di distribuzione del pH



Mappa di distribuzione della sostanza organica



Mappa di distribuzione del Potassio

Fondazione Istruzione Agraria – Casalina

In un'area di 6 ha si sono effettuati 16 campionamenti sulla base di una griglia regolare ogni 50 m + altri 22 punti creati in maniera casuale con il tool "Create Random Point" in ArcMap.

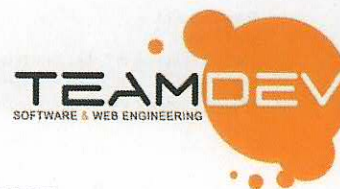
L'area principale è composta da 24 parcellone di larghezza nota (21 m, lo spazio di passaggio dello spargitore di concime) e lunghezza circa 120 m, in ognuna delle quali è stata concimata con una quantità nota di azoto.

Una seconda area più piccola è composta da parcelline di dimensioni molto ridotte, 4 x 8.5 m, sui sono state fatte differenti misurazioni. Sono 18 parcelline, con 6 campionamenti complessivi, di: tessitura (scheletro, sabbia grossa, sabbia fine, limo e argilla), pH, calcare totale, sostanza organica, azoto totale*, fosforo assimilabile, potassio scambiabile. Di questi dati, viene mostrato il dettaglio solo per il valore dell'azoto.

I prelievi effettuati:

ID	Azoto_kg_ha	Calcare_p	S.O._p	P_mg_kg	K_mg_kg
500	50,4	25	1,24	18	77
501	45,21	22	1,41	16	122
502	46,2	25	1,21	18	91
503	54	25	1,37	24	114
504	54,6	12	1,41	25	89
505	41,1	27	1,11	12	79
506	54,6	27	1,41	24	105
507	46,2	28	1,17	18	108
508	46,2	24	1,34	19	97
509	54,6	29	1,41	18	88
510	50,4	10	1,31	18	108
511	49,32	23	1,34	19	95
512	53,43	23	1,24	19	100
513	46,2	25	1,14	13	80
514	54,6	26	1,27	17	89
515	46,2	18	1,21	20	100
516	49,32	19	1,2	18	91
517	54,6	27	1,44	21	92
518	49,32	24	1,44	17	91
519	54,6	27	1,27	16	96
520	53,43	28	1,31	16	84
521	46,2	27	1,31	20	107
600	50,4	30	1,31	14	83
601	53,43	29	1,47	18	91
602	46,2	30	1,21	18	89
603	54,6	16	1,44	24	118
604	54	25	1,31	20	83
605	49,32	26	1,34	21	96

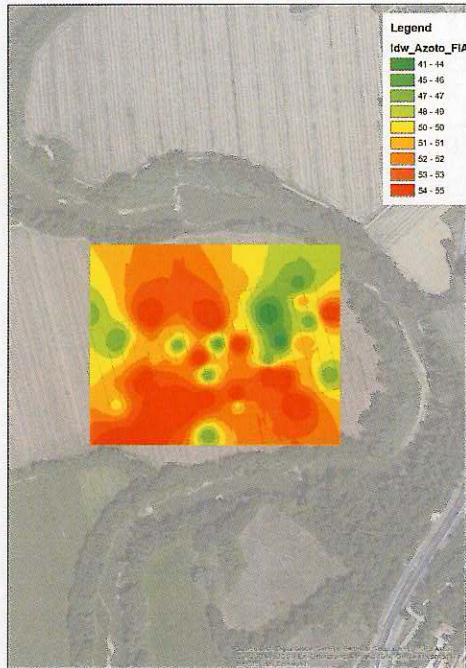




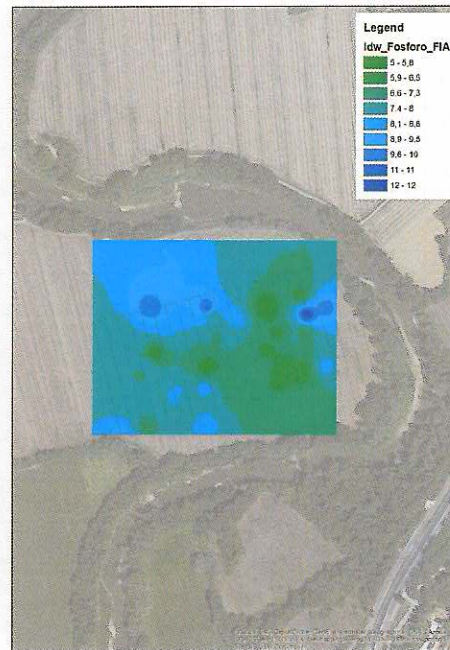
606	46,2	19	1,41	28	117
607	54,6	29	0,93	18	85
608	42	26	1,24	15	92
609	54,6	29	1,47	13	86
610	50,4	24	1,37	20	103
611	46,2	27	1,27	15	88
612	54,6	22	1,27	22	99
613	50,4	30	0,73	14	97
614	50,4	26	1,31	15	115
615	50,4	22	1,37	19	99
616	50,4	29	0,83	13	83
617	54,6	26	1,44	17	92
618	53,43	29	1,34	17	110
619	54,6	29	0,97	16	92
620	54,6	18	1,41	18	100
621	45,21	25	1,17	17	93

A handwritten signature in blue ink, consisting of several fluid, overlapping strokes, located in the bottom right corner of the page.

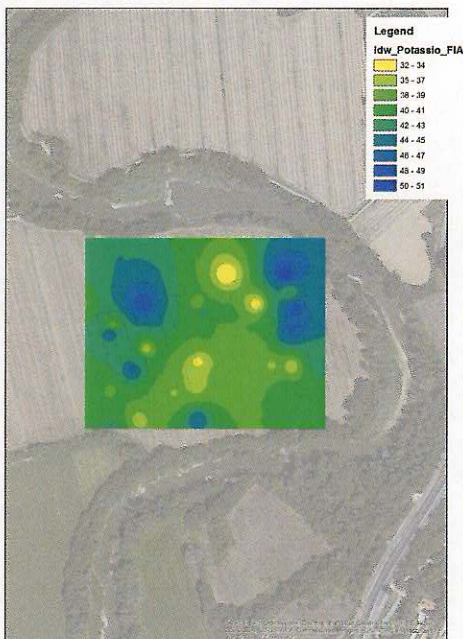
Mappa di distribuzione dell'Azoto




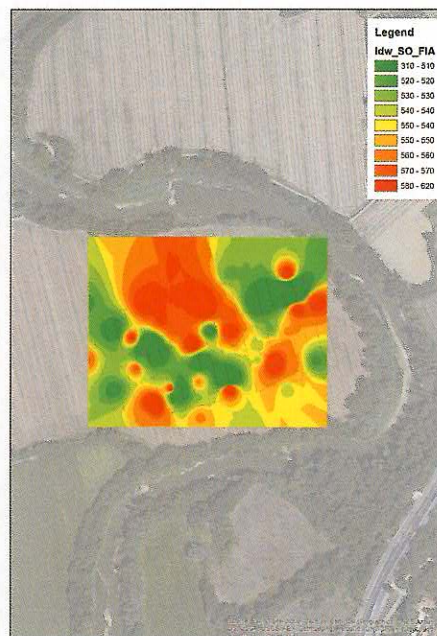
mappa di distribuzione del Fosforo



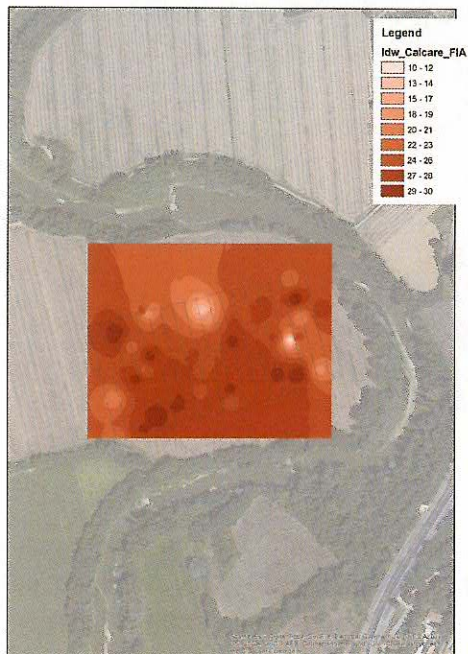
Mappa di distribuzione del Potassio



Mappa di distribuzione della Sostanza Organica



Mappa di distribuzione del Calcare



Confronti delle mappe tematiche e mappe di vigoria prima e dopo i trattamenti

Per ciascun appezzamento sperimentale sono state svolte attività di studio e comparazione delle mappe di distribuzione di parametri ed elementi derivanti dal campionamento di suolo con le mappe di vigoria della vegetazione ottenute da telerilevamento SAPR e satellitare. Verranno qui esposte alcune evidenze verificate in fase di studio, suddivise per i due appezzamenti sperimentali.

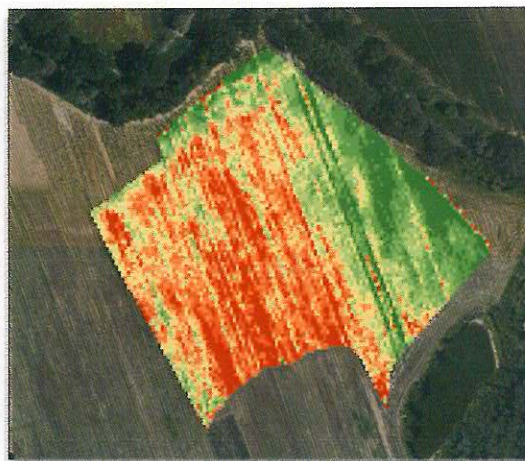
Appezzamento in località Piegaro

FASE ANTECEDENTE LA CONCIMAZIONE

- Il confronto tra le mappe relative ai campionamenti di terreno e quelle relative alla vigoria della vegetazione misurata con telerilevamento, mostra una correlazione opposta tra concentrazione di azoto nel terreno e vigoria della vegetazione: ad elevate concentrazioni di azoto nel suolo corrisponde una minore vigoria della vegetazione, in dipendenza dal fatto che vegetazione a maggiore vigoria preleva maggiori quantità di azoto dal terreno per il suo sviluppo.



Mappa di distribuzione dell'azoto



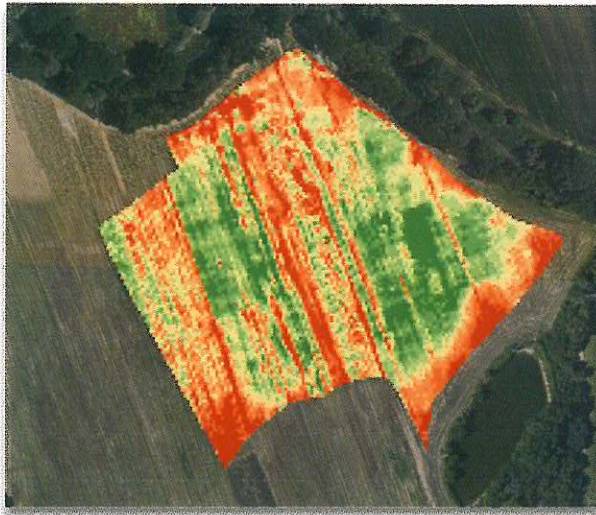
Mappa di vigoria della vegetazione

- Le mappe di vigoria mostrano fin dai primi mesi di crescita di sviluppo delle piante, ampie zone di bassa vigoria della vegetazione (vedi mappa sopra). Questo è determinato da diversi fattori:
 - 1- Epoche di semina differenziali nello stesso campo;
 - 2- Varietà di grano diverse seminate nello stesso campo (Ilaria e Aquilante)
 - 3- Ristagno idrico in alcune parti del terreno, una condizione che limita lo sviluppo della pianta, causando asfissia radicale per minore disponibilità di ossigeno nel terreno.

La mappa di vigoria della vegetazione evidenzia bene la differenza tra le due varietà di grano seminate nelle due aree a destra e sinistra della mappa.

FASE SUCCESSIVA ALLA CONCIMAZIONE

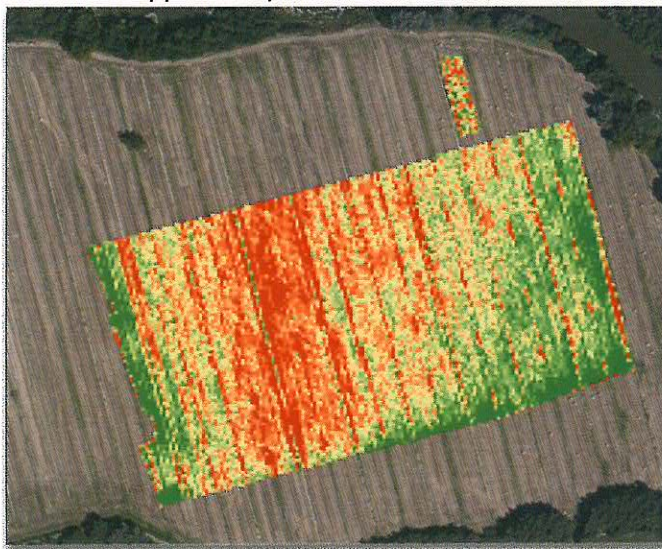
- La mappa di vigoria mostra ancora una differenza tra zone a più alta e più bassa vigoria (parte destra e sinistra del campo). Qui si evidenzia la differente crescita delle due varietà di grano seminate in epoche diverse, ma oltre a questo, alcune aree a bassa vigoria hanno evidenziato la presenza, verificata in campo, del patogeno fungino responsabile della "ruggine gialla del grano".
Il fungo ha determinato l'ingiallimento di alcune aree della coltivazione, visibili in mappa come rosse, corrispondenti ad un basso valore di NDVI, mentre la restante parte della coltura presentava piante di grano verde, corrispondenti ad elevati valori di NDVI (aree verdi nella mappa).



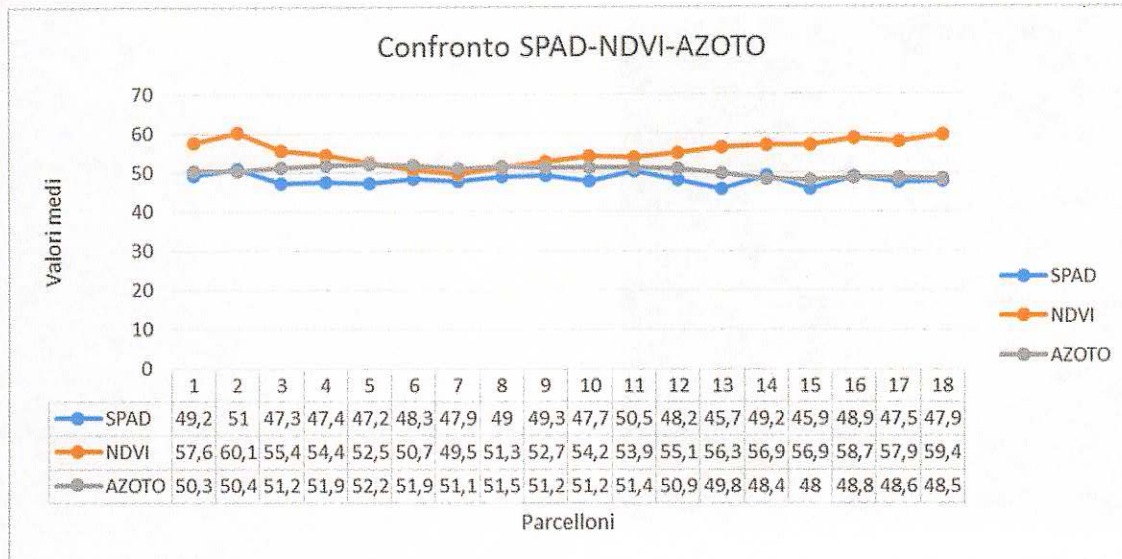
Appezamento in località Casalina

FASE ANTECEDENTE LA CONCIMAZIONE

- La mappa NDVI mostra ampie zone di bassa vigoria della vegetazione, in accordo con la fase fenologica del grano. Le piantine sono infatti ancora piccole e rimangono scoperte ampie zone di terreno. Sono inoltre evidenti le strisciate parallele corrispondenti alle scoline del campo non seminate. L'area ad NDVI basso (area rossa in mappa) potrebbe essere relacionada ad una zona di ristagno idrico, fattore che determina una diminuzione dello sviluppo delle piantine.



- Sono state messe a confronto le misure di azoto fogliare effettuate con lo SPAD, la quantità di azoto presente nel terreno e i valori di NDVI, per ciascuna parcella dell'appesamento. Il grafico sottostante mostra la correlazione di questi valori per le 18 parcelle.



Non si nota una grande correlazione tra valori di azoto nel terreno e valori di azoto nelle foglie misurato con lo SPAD. Questo potrebbe essere determinato dal fatto che nel terreno l'azoto è influenzato anche da altri fattori

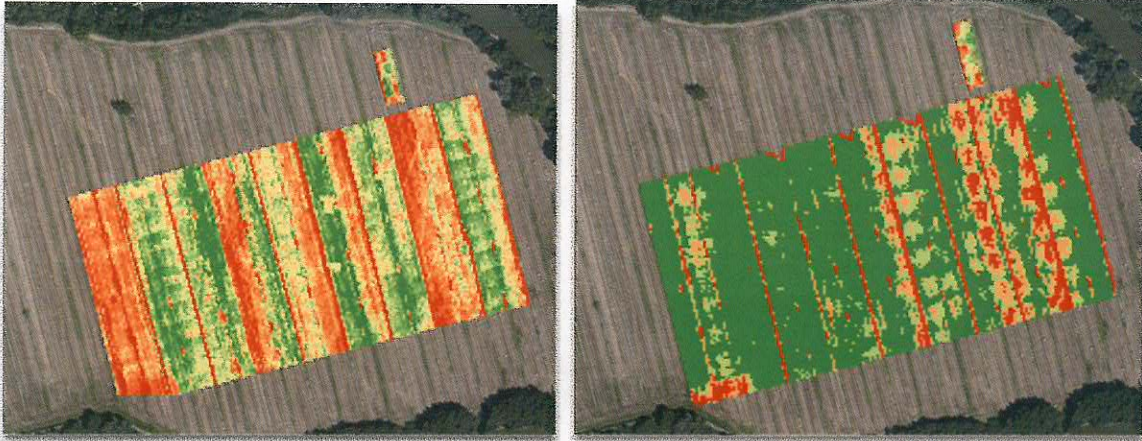
Come si può vedere, nella parcella 7 il valore di NDVI risulta particolarmente basso, nonostante l'azoto presente nel terreno e quello misurato con lo SPAD nella foglia non siano tra i più bassi. Per trovare una spiegazione si è effettuato un sopralluogo in campo durante il quale sono state notate nella parcella 7 diradamenti della vegetazione, responsabili di un basso NDVI.



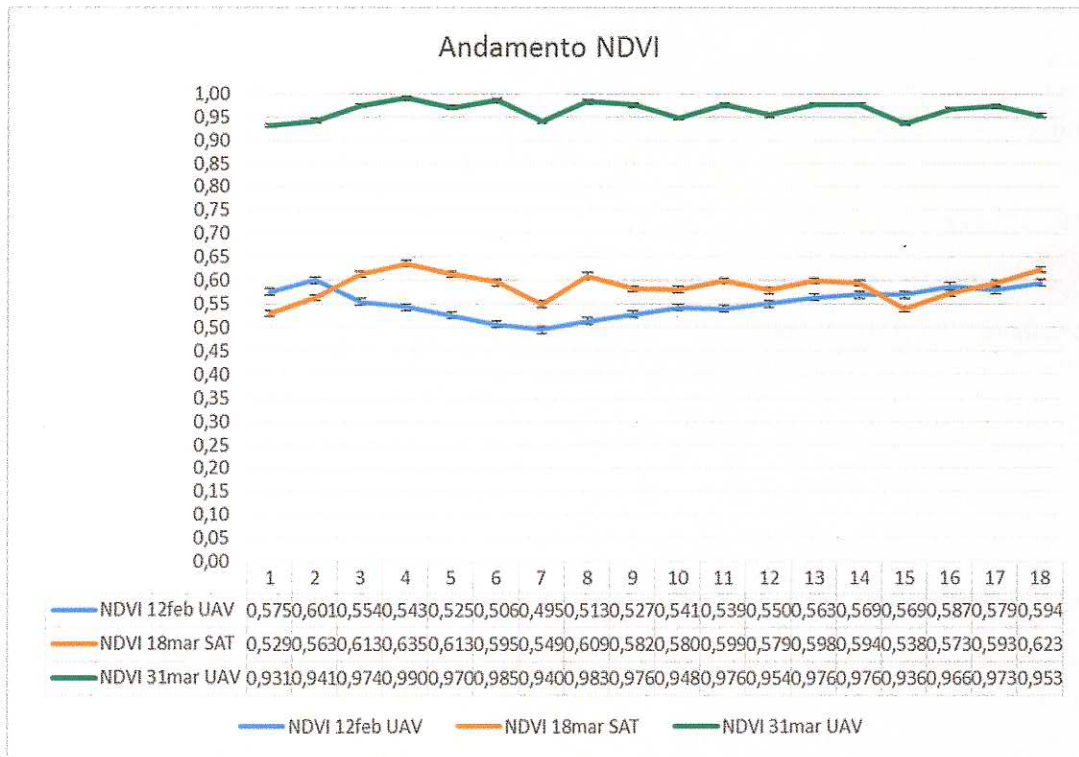
FASE SUCCESSIVA ALLA CONCIMAZIONE

- Le mappe NDVI successive alla concimazione mostrano un generale aumento dell'indice di vigoria della vegetazione dato dalla crescita delle piante nei mesi primaverili. Oltre a questo è possibile vedere chiaramente le differenze di vigoria date dalla concimazione differenziale. Nella prima mappa è però ancora possibile apprezzare zone di bassa vigoria nei parcelloni numero 7 e 15, non relazionabile con la dose di concime fornita.





- Il confronto tra valori di NDVI misurati da telerilevamento satellitare e da UAV in epoche successive alla concimazione mostrano valori più alti rispetto all'NDVI misurato antecedentemente alla concimazione. Questo ovviamente rispecchia la crescita del grano e la maggiore vigoria nel susseguirsi delle fasi fenologiche.




3 RISULTATI RAGGIUNTI

Prototipo del Sistema di Supporto alle Decisioni da utilizzare in ambito agronomico

Qui di seguito vengono riportate schermate del DSS relative ad alcune funzionalità.

Avvio del sistema



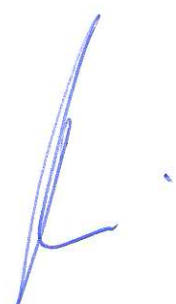
Autenticazione

Username

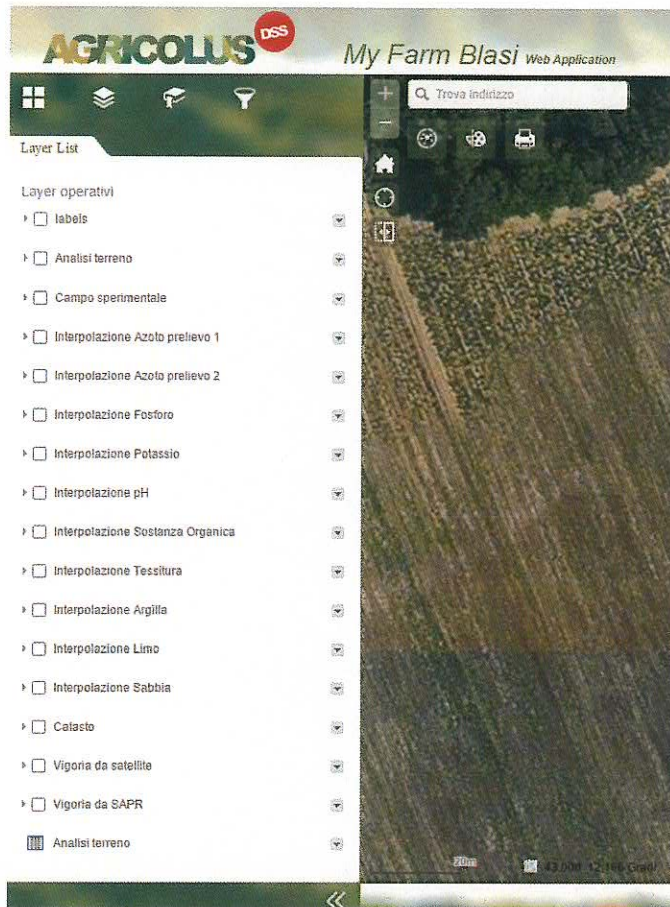
Password

Keep me signed in

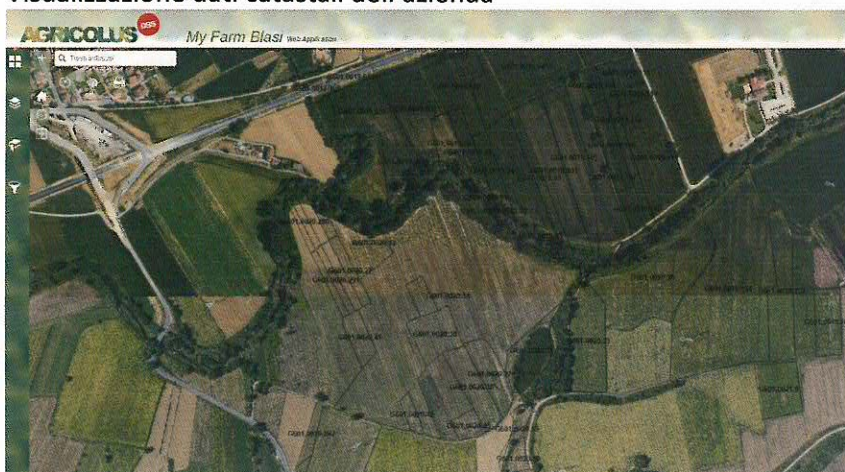
[Forgot password?](#) [Forgot username?](#)



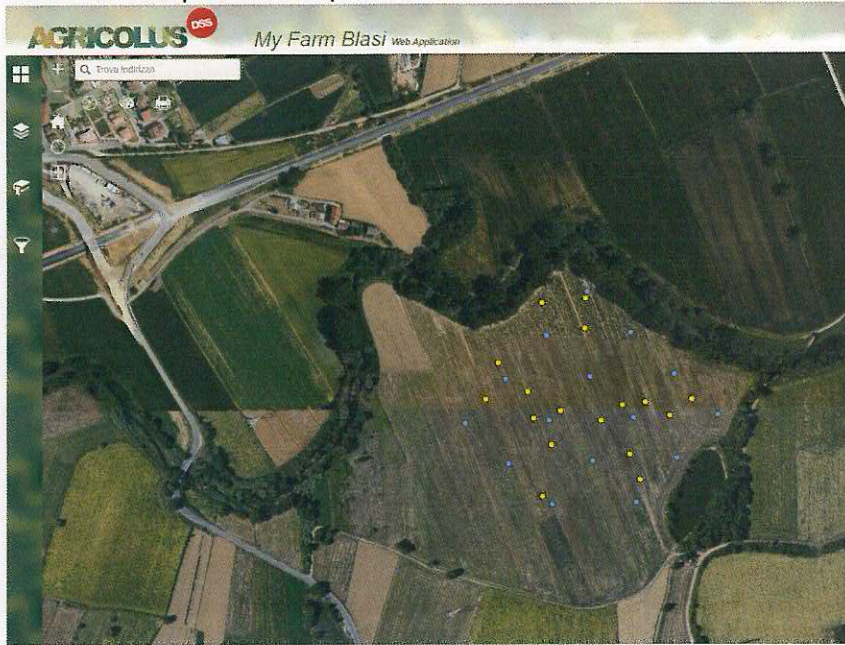
Elenco layers memorizzati



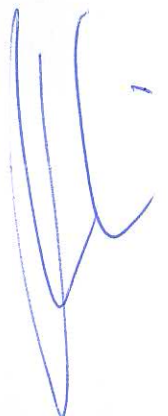
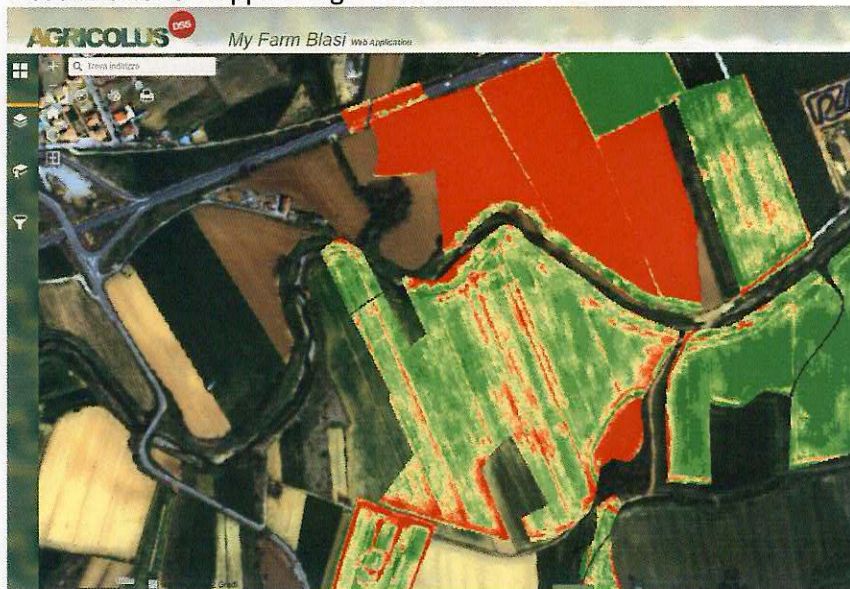
Visualizzazione dati catastali dell'azienda



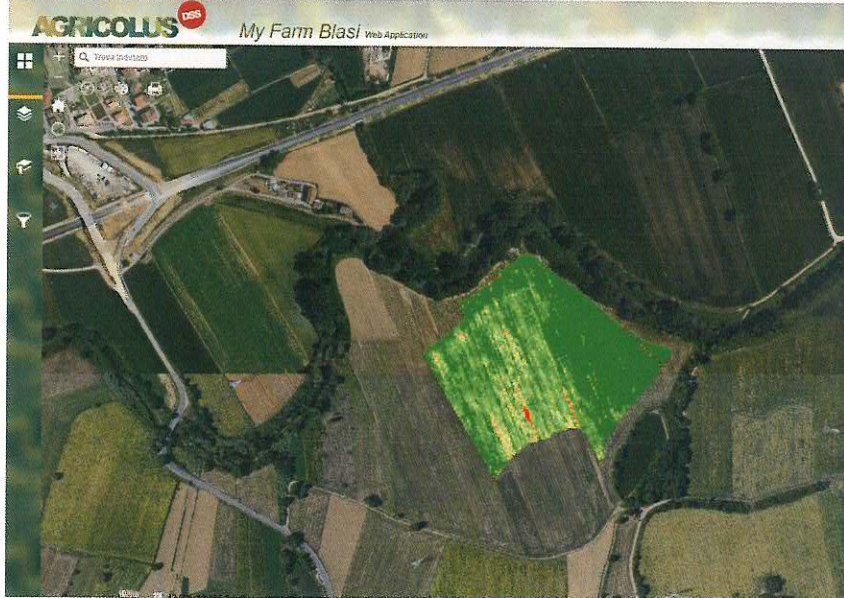
Localizzazione punti di campionamento del terreno



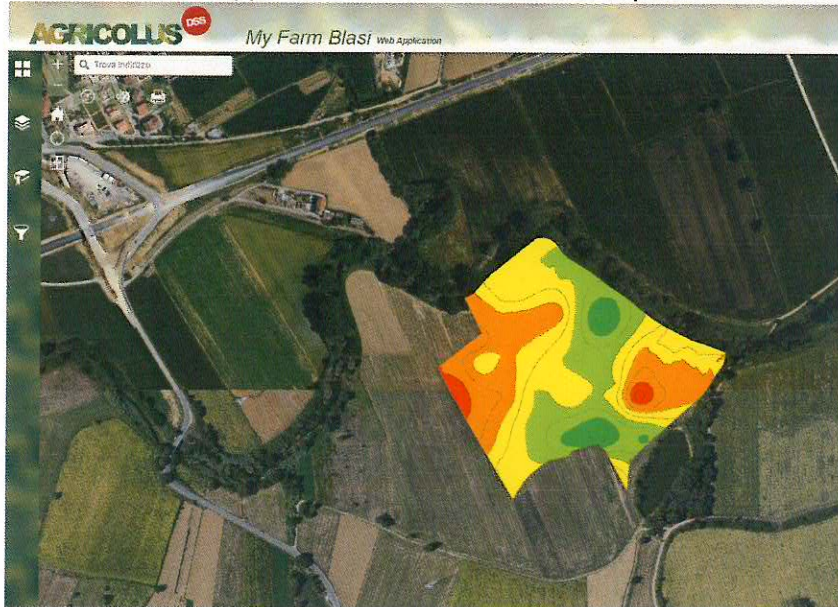
Visualizzazione mappe di vigoria da satellite



Visualizzazione mappe di vigoria da SAPR

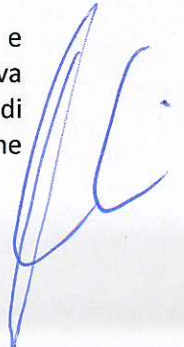


Visualizzazione mappe tematiche di distribuzione di parametri ed elementi del terreno

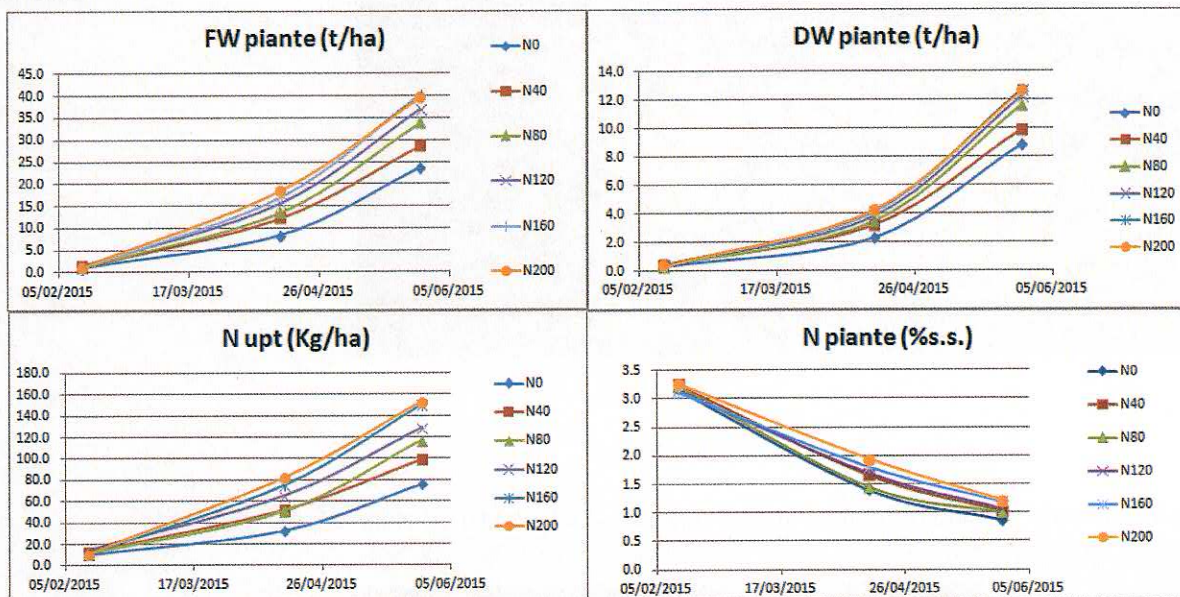


Confronto tra dati agronomici, misure a terra da telerilevamento

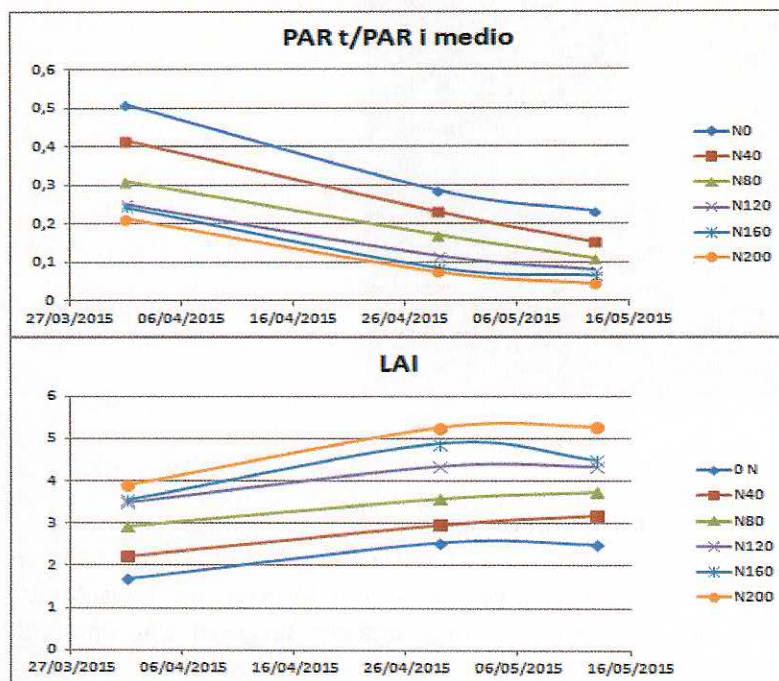
Dalle misure effettuate a terra (prelievi di piante, analisi del contenuto di azoto, SPAD e ceptometro), si evince che la differenziazione dello stato vegetativo/nutrizionale che si desiderava imporre con le diverse dosi di concimazione azotata è stata raggiunta con successo. L'accumulo di biomassa e azoto del frumento è infatti risultato crescente al crescere della dose di concimazione



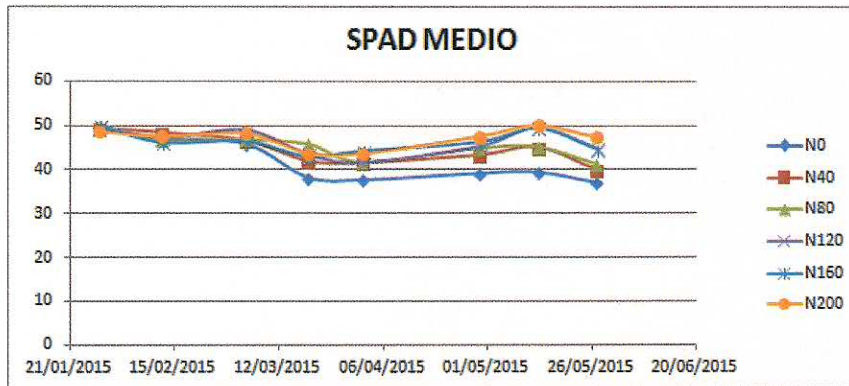
azotata. In particolare, l'accumulo crescente di azoto al crescere della dose di concimazione è frutto sia di un aumento della biomassa accumulata, che, in minor misura, della concentrazione di azoto nella stessa. Il crescere della biomassa e della fogliosità della coltura con l'avanzare del ciclo e con l'aumento della disponibilità di azoto ha comportato una riduzione molto evidente della quota di PAR incidente che risultava trasmessa al terreno sottostante la vegetazione (PART/PARI). Infine, i valori delle misure SPAD sono anch'essi risultati crescenti all'aumentare della disponibilità di azoto imposta con la concimazione azotata, sebbene le differenze osservate tra le tesi siano piuttosto limitate.



Accumulo di biomassa fresca (FW) e secca (DW), assorbimento di azoto (Nupt) e concentrazione di azoto nei tessuti durante la stagione di crescita del frumento coltivato a dosi crescenti di concimazione azotata (0, 40, 80, 120, 160, 200 kg/ha di N).

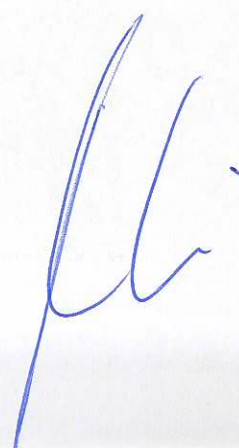


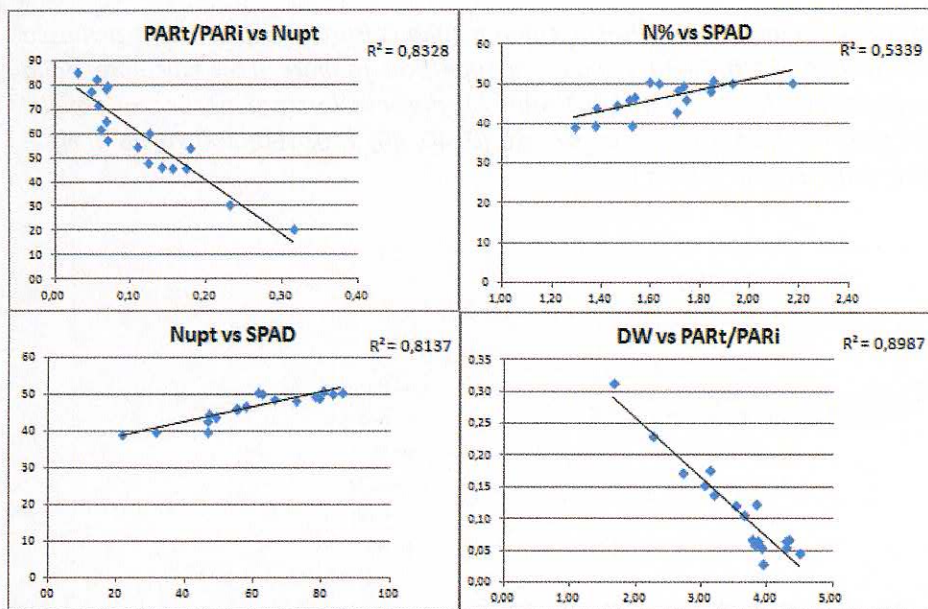
Quota di radiazione fotosinteticamente attiva (PAR) incidente sulla coltura che risultava trasmessa al suo sottostante la vegetazione (PART/PARi) e indice di superficie fogliare (LAI) calcolato dalla funzione di penetrazione della luce $[LAI = \ln (PART/PARi)/-k]$ durante la stagione di crescita del frumento coltivato a dosi crescenti di concimazione azotata (0, 40, 80, 120, 160, 200 kg/ha di N). Il valore di k per il frumento è stato assunto pari a 0,5.



Valori SPAD fogliari durante la stagione di crescita del frumento coltivato a dosi crescenti di concimazione azotata (0, 40, 80, 120, 160, 200 kg/ha di N).

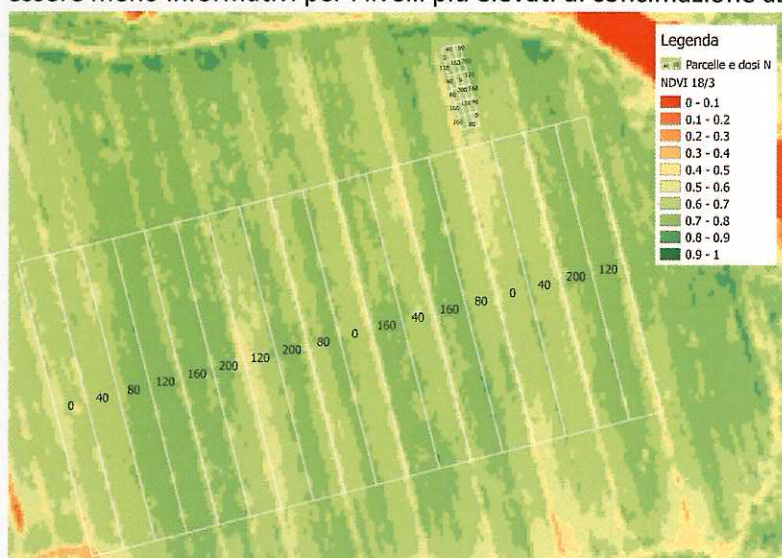
In definitiva, volendo fare una classifica tra i parametri misurati riguardo all'influenza su di essi della disponibilità di azoto si può affermare che PART/PARi è il parametro più influenzato, seguito da DW e Nupt, e per ultimi da N% e SPAD. In effetti, visto che una coltura sottoposta a una disponibilità di azoto limitante tende ad accumulare meno biomassa e ridurre l'espansione fogliare, è ovvio e noto in letteratura che la concentrazione di azoto per unità di peso della sostanza secca o per unità di superficie fogliare (perciò i valori di N% e SPAD) risultano meno variabili. In ogni caso, tutti i parametri suddetti sono risultati tra loro correlati (Figura 4). In particolare è importante evidenziare che parametri tra loro indipendenti come PART/PARi, Nupt e SPAD sono abbastanza strettamente correlati (R^2 sempre superiore a 0,8), il che significa che essi si prestano tutti, sebbene non allo stesso modo, a valutare la corrispondenza con l'indice NDVI risultante dal telerilevamento da satellite o UAV.





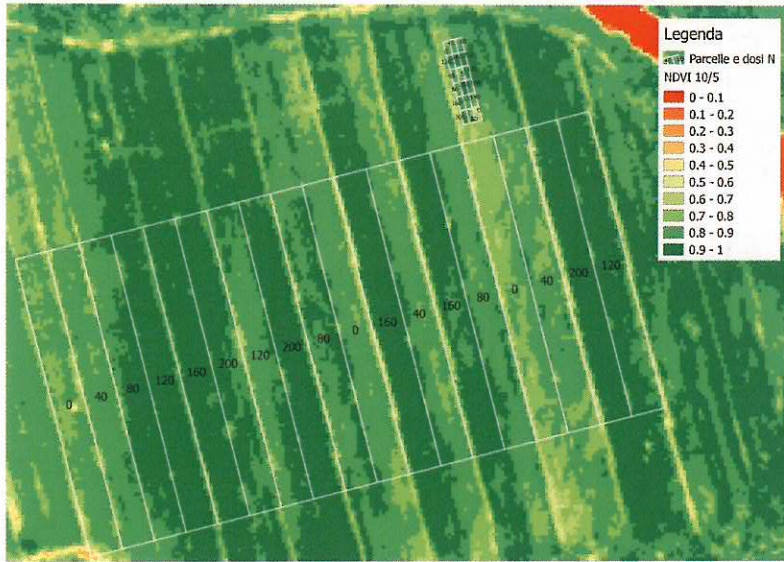
Relazioni tra i più importanti parametri vegetativo/nutrizionali della coltura di frumento coltivato a dosi crescenti di concimazione azotata (0, 40, 80, 120, 160, 200 kg/ha di N). DW: biomassa secca accumulata dalla coltura (parte epigea); N%: concentrazione di azoto nella sostanza secca della coltura; Nupt: azoto assorbito dalla coltura (parte epigea); PART/PARI; quota di radiazione fotosinteticamente attiva (PAR) incidente sulla coltura che risulta trasmessa al suolo sottostante la vegetazione; SPAD: misura che esprime il greeness del fogliame.

Come si può vedere dalle immagini e dai grafici sottostanti, in generale, l'NDVI è molto sensibile allo sviluppo vegetativo e quindi alla variazione della quantità di azoto apportato alle colture. Tuttavia le differenti distribuzioni misurate in corrispondenza delle diverse parcelle non risultano statisticamente significative nel distinguere direttamente le varie dosi di concimazione. Inoltre, come è possibile notare dai grafici, ai valori più alti di concimazione azotata corrisponde un appiattimento tendenziale piuttosto marcato dei valori di NDVI, che risultano in questo modo essere meno informativi per i livelli più elevati di concimazione azotata.

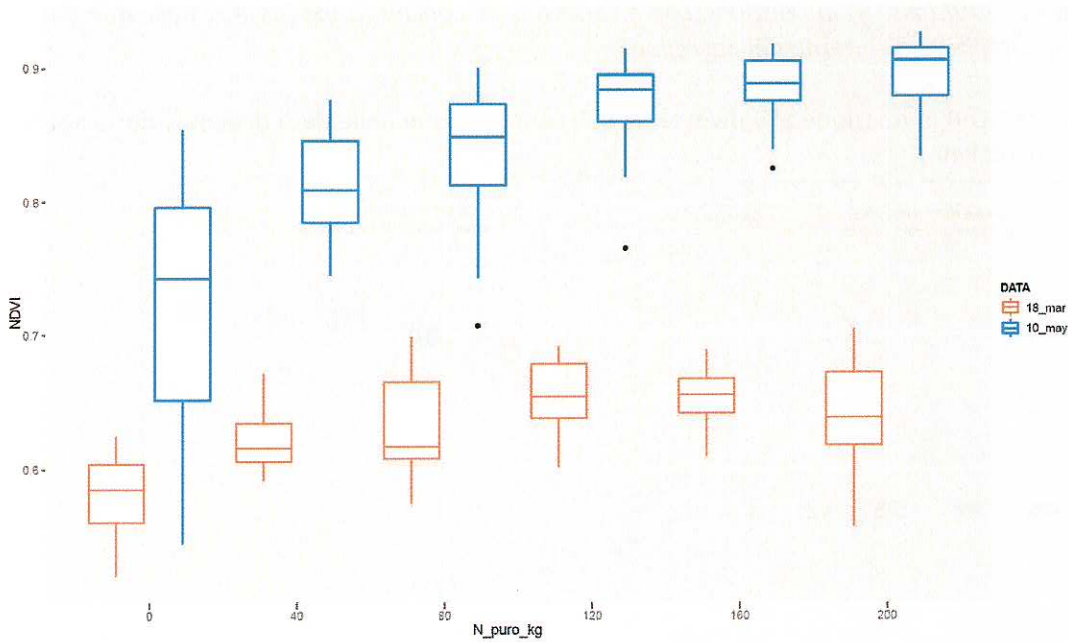


NDVI da immagine Geo-Eye1 e localizzazione delle parcelle oggetto di sperimentazione.



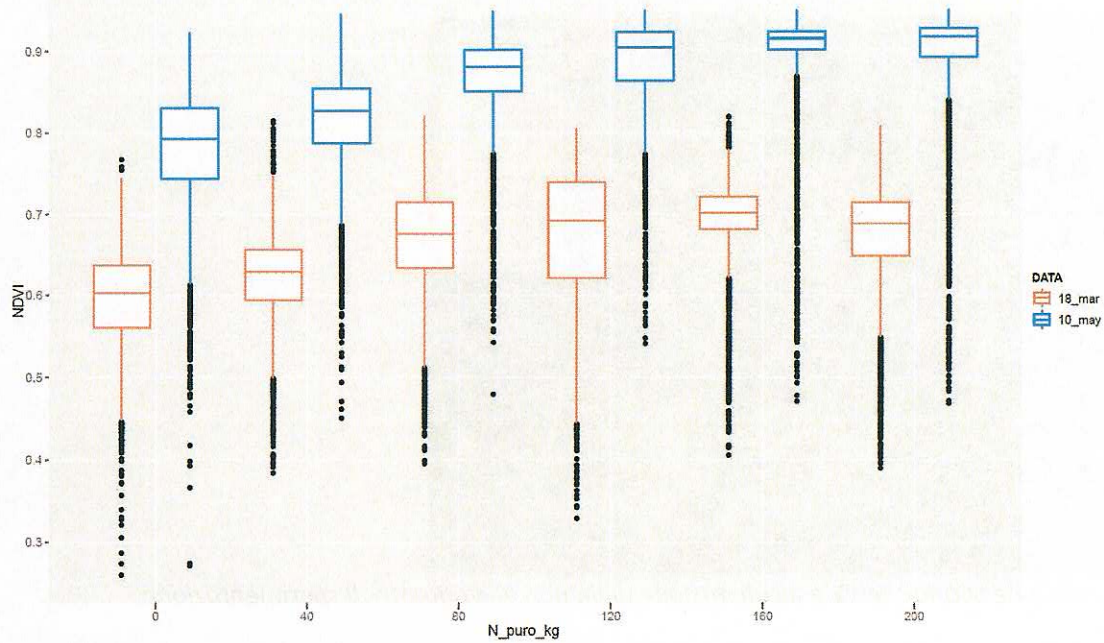


NDVI da immagine World-View2 e localizzazione delle parcelle oggetto di sperimentazione.



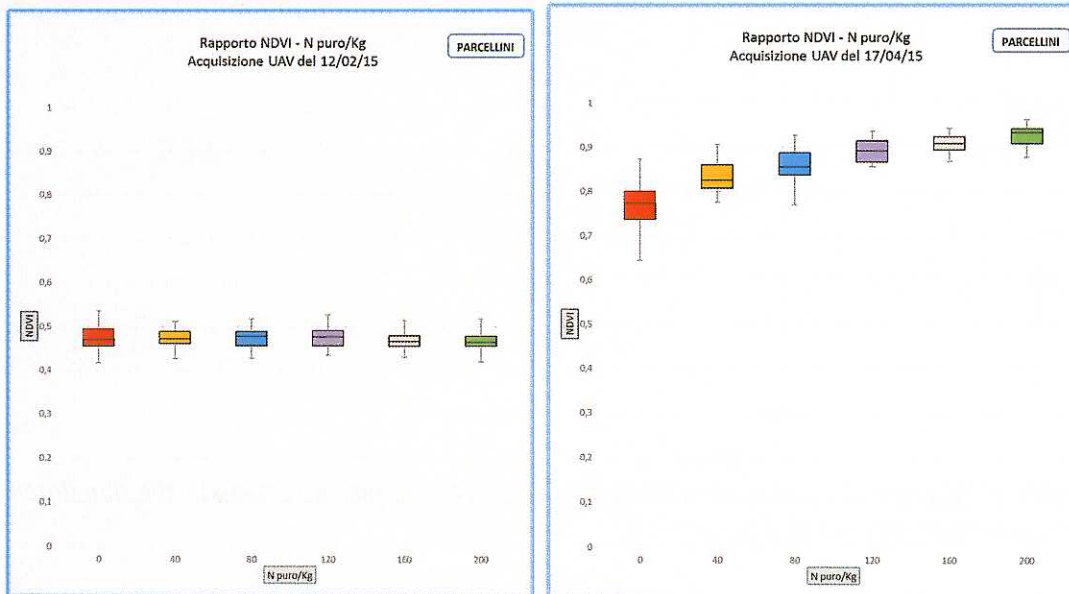
Variatione indice NDVI (asse y) in relazione alle diverse dosi di concimazione (asse x) nelle due date di acquisizione satellitare all'interno dei parcellini.

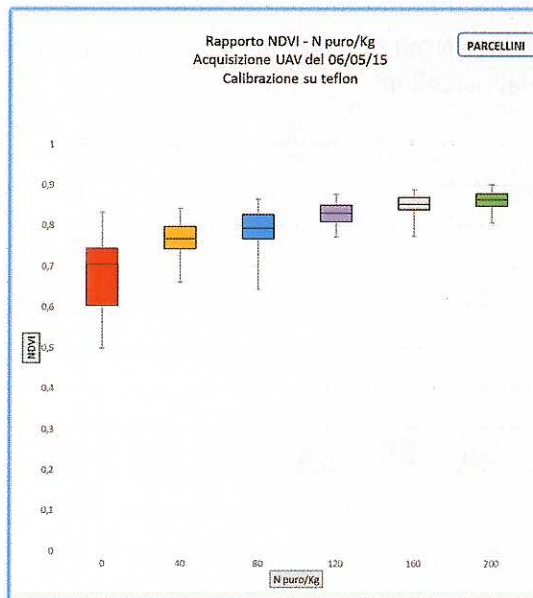
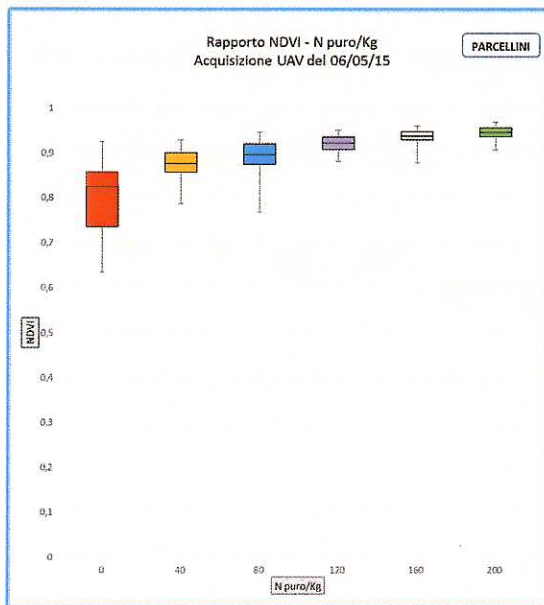
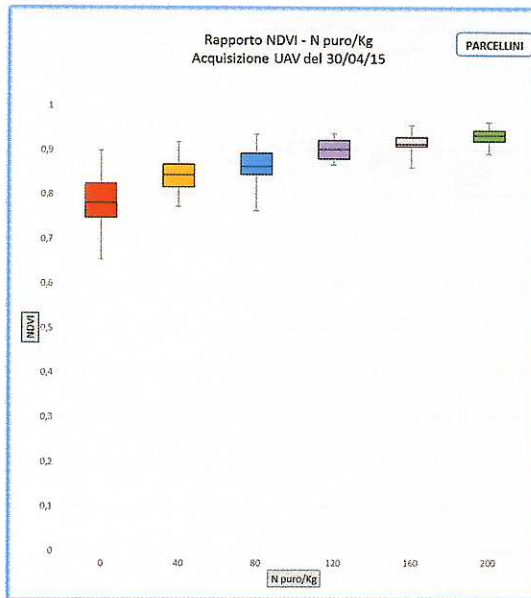
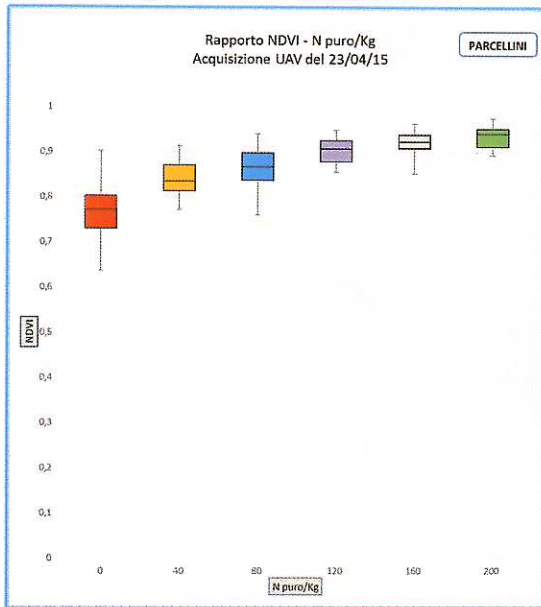


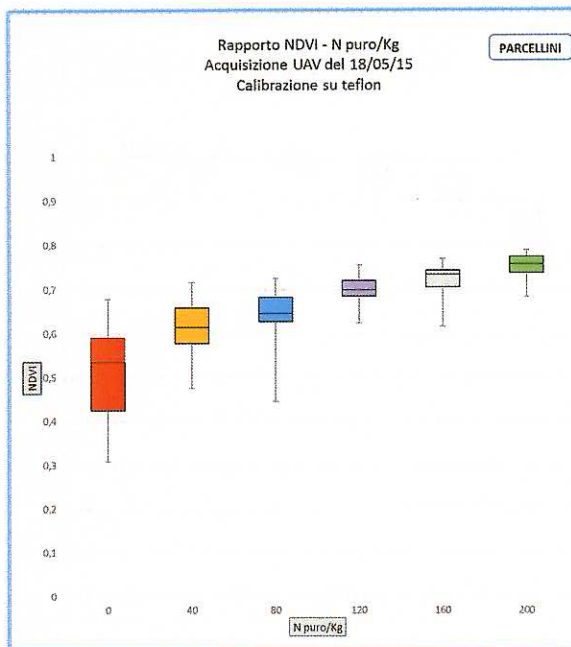
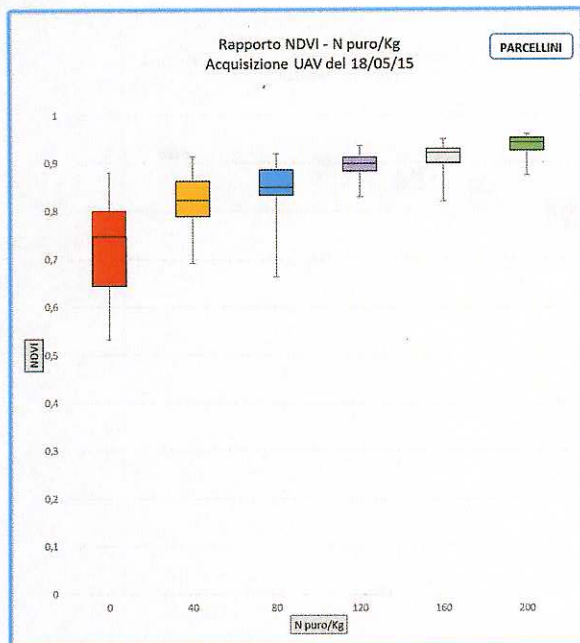


Variatione indice NDVI (asse y) in relazione alle diverse dosi di concimazione (asse x) nelle due date di acquisizione satellitare all'interno dei parcelloni.

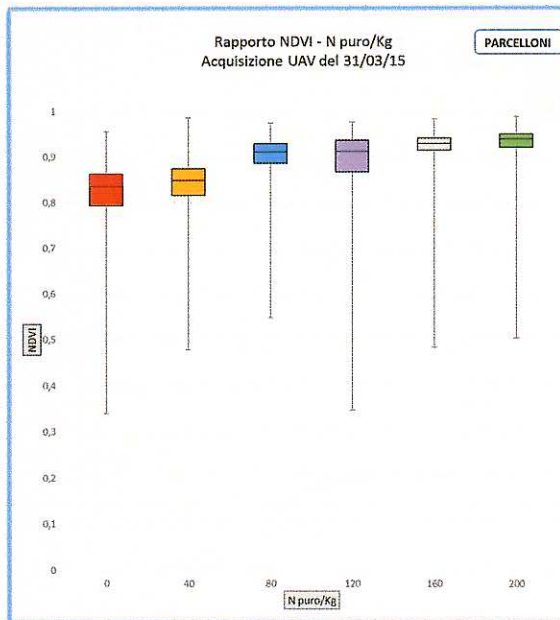
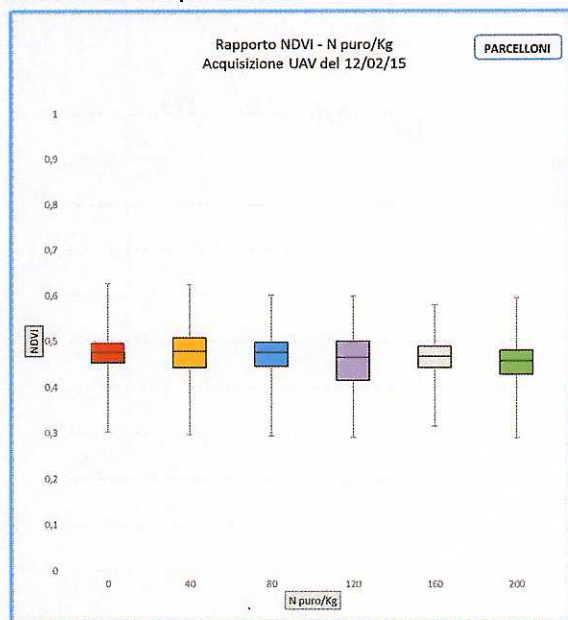
Variatione indice NDVI in relazione alle diverse dosi di concimazione nelle date di acquisizione SAPR all'interno dei parcelloni.

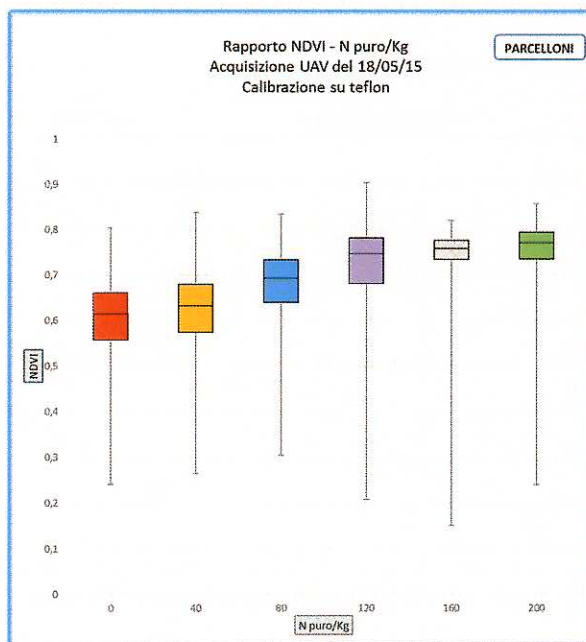
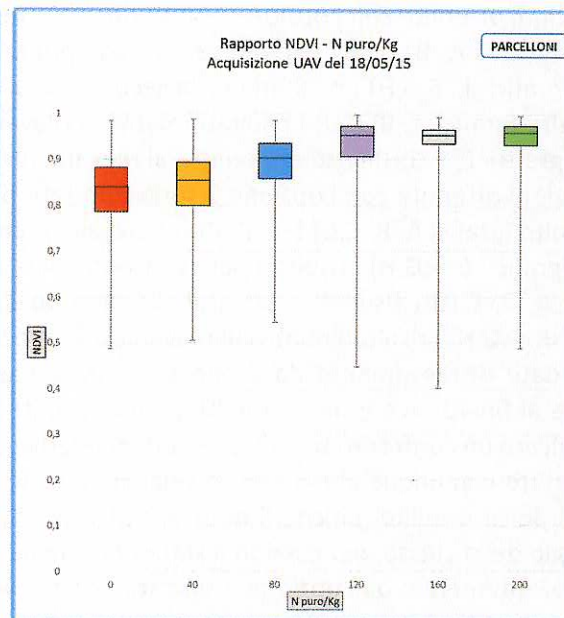
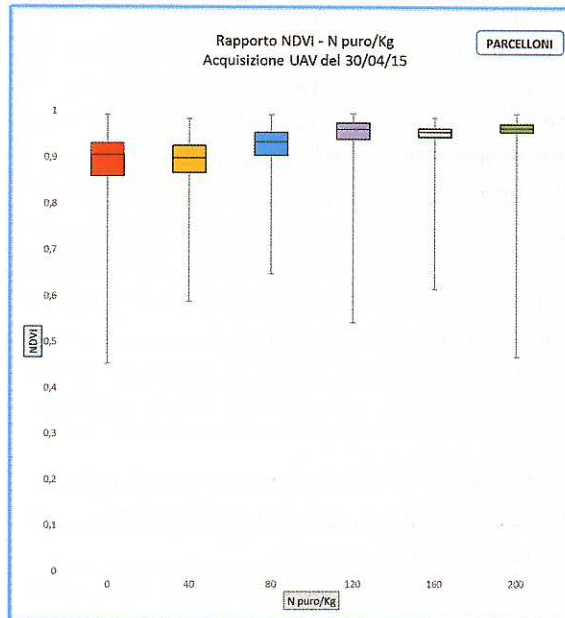






Variazione indice NDVI in relazione alle diverse dosi di concimazione nelle date di acquisizione SAPR all'interno dei parcelloni.



Per verificare la rispondenza tra le misure dei parametri indicativi dello stato vegetativo/nutrizionale “a terra” e l’NDVI da telerilevamento, è necessario considerare che le date delle misure a terra e dei telerilevamenti raramente sono risultate corrispondenti, sia per ragioni logistiche che meteorologiche. Per questo sono state prese in considerazione due possibili soluzioni:

- 1) utilizzare i dati “a terra” misurati nelle date più prossime a quelle dei telerilevamenti.
- 2) utilizzare i dati “a terra” calcolati in prima approssimazione mediante interpolazione lineare tra due date di misurazione effettive in modo da stimare i valori a terra per le date corrispondenti a quelle da telerilevamento.

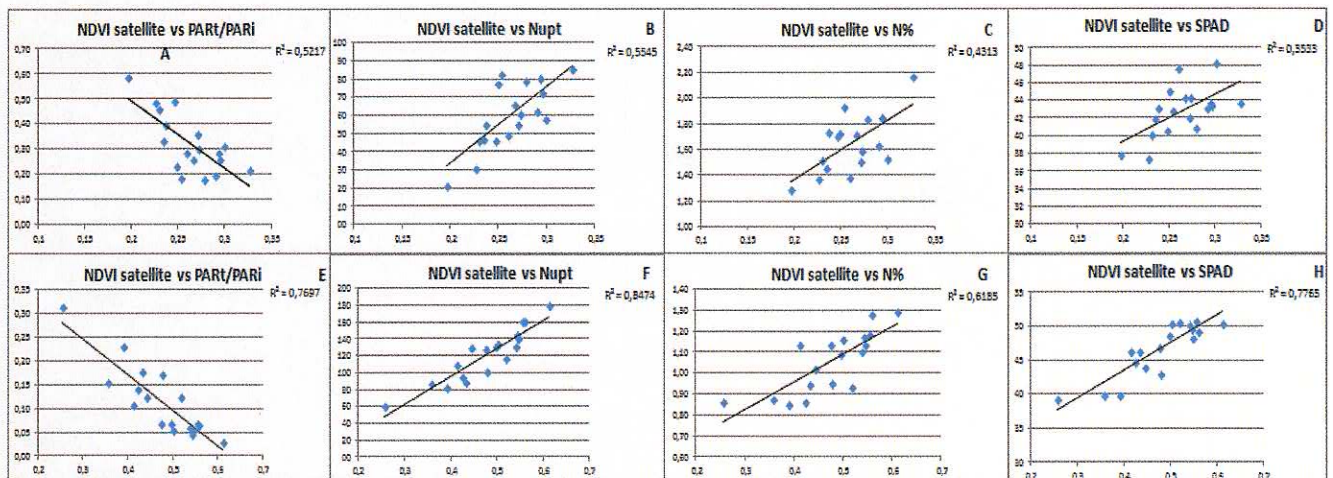
Le relazioni ottenute con l'opzione 1 sono riportate nelle figure 9 e 11. In particolare, in figura 9 con in alto (grafici A, B, C,D) i risultati relativi alla prima data di rilevamento da satellite (18/03) e in basso (grafici E, F,G,H) i risultati per la seconda data di rilevamento satellitare(10/05). In figura 11 con il alto (grafici A, B, C,D) i risultati relativi al rilevamento da drone effettuato in data 17/04 e in basso (grafici E, F,G,H) i risultati relativi al rilevamento da drone effettuato in data 06/05.

Le relazioni ottenute con l'opzione 2 sono riportate nelle figure 10 e 12. In particolare, in figura 10 con in alto (grafici A, B, C,D) i risultati relativi alla prima data di rilevamento da satellite (18/03) e in basso (grafici E, F,G,H) i risultati per la seconda data di rilevamento (10/05). In figura 12 con il alto (grafici A, B, C,D) i risultati relativi al rilevamento da drone effettuato in data 17/04 e in basso (grafici E, F,G,H) i risultati relativi al rilevamento da drone effettuato in data 06/05.


Per le date di rilevamento da drone sono state scelte quelle date più vicine al rilevamento da satellite al fine di avere da entrambi dei dati riferiti a fasi colturali il più possibile simili e dunque semplificare un confronto tra i due metodi di telerilevamento.

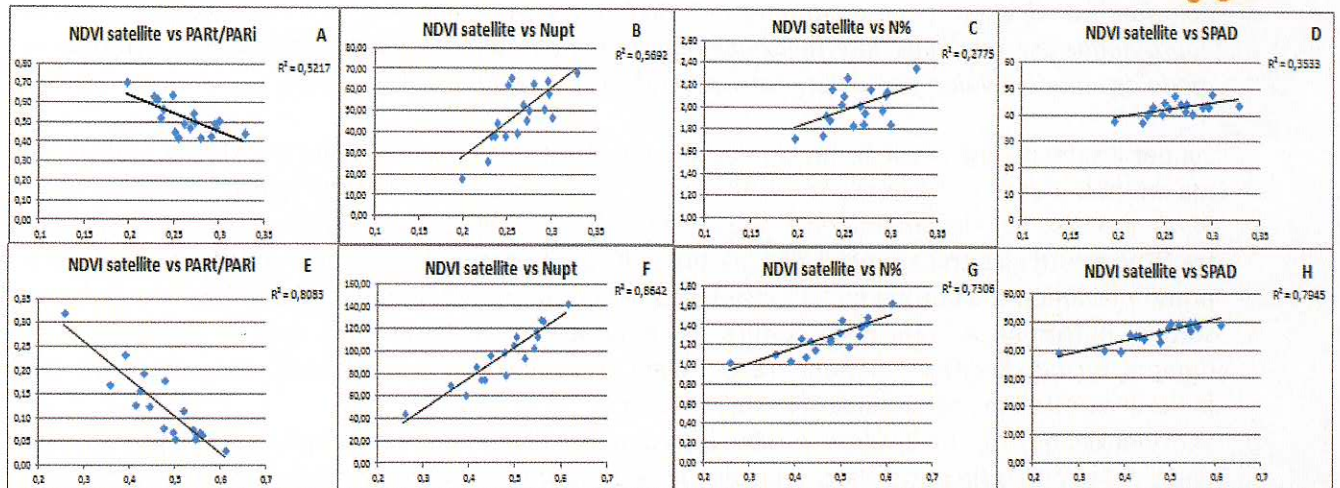
Si fa notare comunque che il grafico relativo al confronto NDVI e SPAD è lo stesso in entrambe le opzioni per il satellite, poiché il dato effettivo è stato misurato ad un solo giorno di distanza dal passaggio dello stesso, per cui non è stata ritenuta necessaria un'interpolazione.

Indipendentemente dall'opzione utilizzata, dato che gli interventi di concimazione sono stati effettuati il 13/03 e il 14/04, come è ovvio, le relazioni più strette sono quelle ottenute per la seconda data di rilevamento, quando la differenziazione tra le tesi imposta con la concimazione era maggiore.

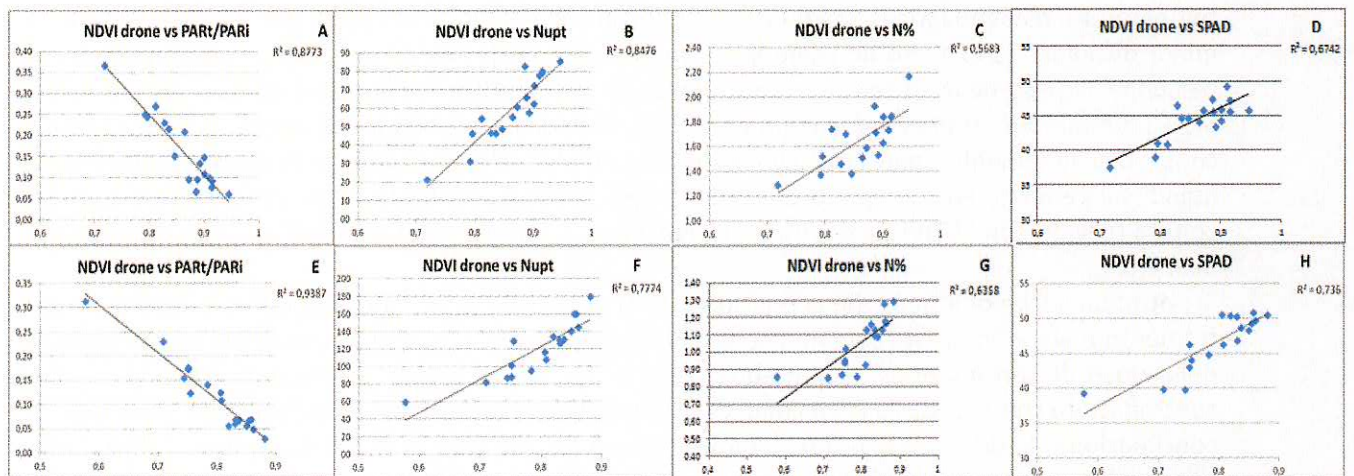


Relazioni tra NDVI da satellite e parametri (PART/PARI, Nupt, SPAD, N%) misurati a terra nelle date più prossime a quelle dei telerilevamenti.

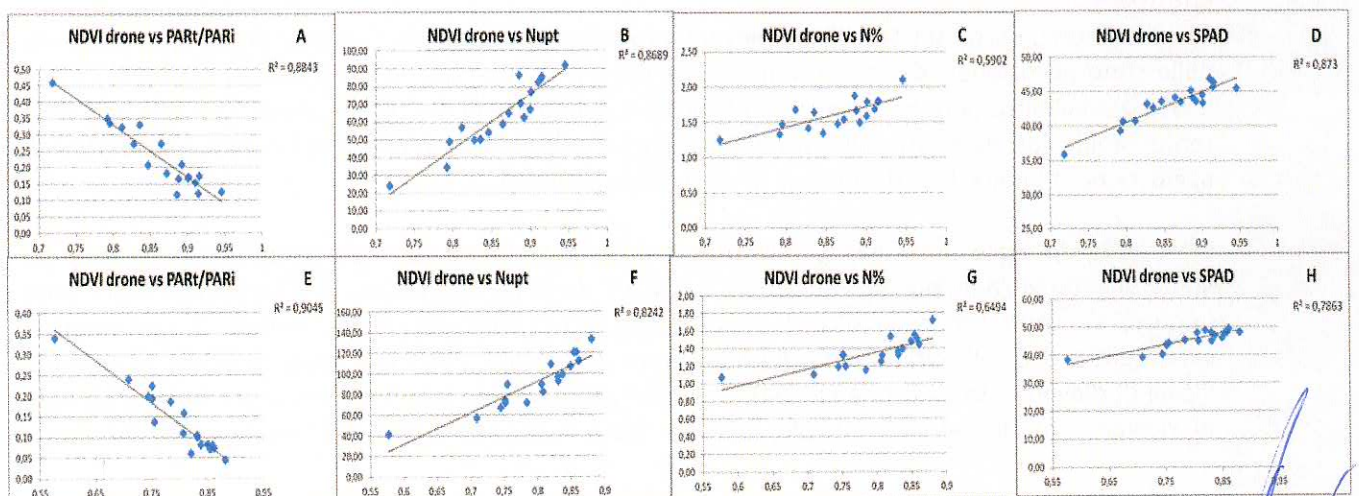




Relazioni tra NDVI da satellite e parametri (PART/PARI, Nupt, SPAD, N%) "a terra" calcolati in prima approssimazione mediante interpolazione lineare tra due date di misurazione a terra effettive in modo da stimare i valori per le date corrispondenti a quelle da telerilevamento.



Relazioni tra NDVI da drone e parametri (PART/PARI, Nupt, SPAD, N%) misurati a terra nelle date più prossime a quelle dei telerilevamenti.



Relazioni tra NDVI da drone e parametri (PART/PARI, Nupt, SPAD, N%) "a terra" calcolati in prima approssimazione mediante interpolazione lineare tra due date di misurazione a terra effettive in modo da stimare i valori per le date corrispondenti a quelle da telerilevamento.

Sia per il satellite che per il drone la relazione più stretta è quella osservata tra NDVI e PART/PARI, ma molto buona è anche quella tra NDVI e Nupt, mentre meno strette sono quelle tra NDVI e N% o SPAD. Nel caso del rilevamento da drone si evidenzia una maggiore correlazione, rispetto al satellite, tra NDVI e tutti gli altri parametri già a partire dalla prima data di rilevamento, perché come detto il primo rilevamento da drone è stato effettuato più tardivamente di quello da satellite, e quindi con stati di nutrizione azotata della coltura più differenziati. Nella seconda data di rilevamento e, dunque, quando la differenziazione tra le tesi era ormai più evidente, entrambi i metodi presentano indici di correlazione estremamente simili tra loro.

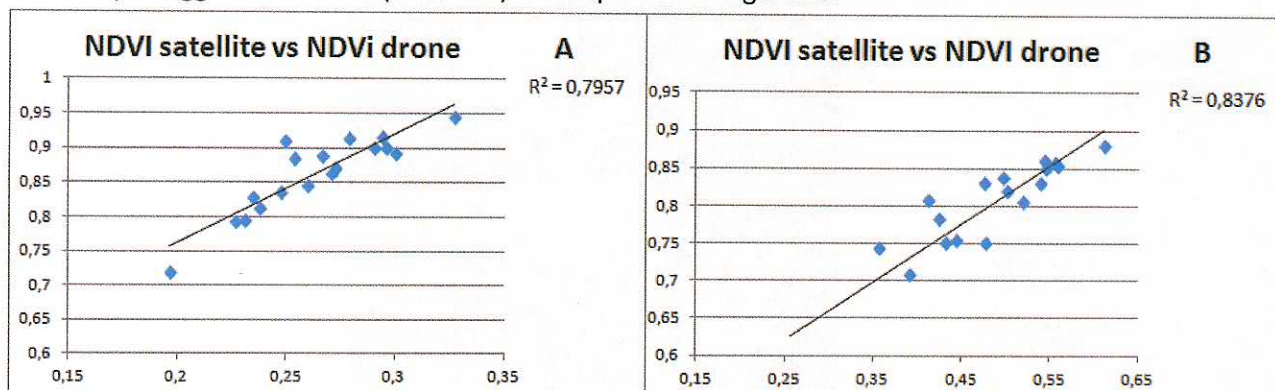
Si evidenzia, quindi, che il valore di NDVI è fortemente dipendente dal ricoprimento del terreno da parte della coltura (in particolare del fogliame) e pertanto esprime soprattutto lo stato vegetativo e di crescita della coltura piuttosto che il solo stato nutrizionale della stessa. Infatti la relazione stretta tra NDVI e Nupt, è più dovuta alla relazione stretta tra NDVI e DW che a quella con N%. In definitiva, l'NDVI sembra solo parzialmente in grado di distinguere tra una coltura in carenza di azoto e una ben nutrita di azoto ma limitata da altre condizioni ambientali sfavorevoli (es. bassa temperatura, ristagno idrico). Ma questo dipende anche dal fatto che, come detto in precedenza, la minor disponibilità di azoto non sempre si traduce in riduzioni evidenti di concentrazione di azoto per unità di peso della sostanza secca o per unità di superficie fogliare (perciò dei valori di N% e SPAD). Comunque, si presume che un agricoltore conosca il terreno in cui opera e/o sappia tenga conto dell'andamento meteorologico (piovosità, temperatura) e della precessione colturale, e quindi sia generalmente in grado di valutare caso per caso se il differente stato vegetativo della coltura rilevato con l'NDVI sia dovuto a ristagni idrici, a temperature anomale o scarsa disponibilità di azoto.

Si potrebbe anche obiettare che la relazione stretta tra l'NDVI e lo stato vegetativo/nutrizionale del frumento è stata osservata solo in fase tardiva del ciclo colturale, quando qualsiasi aggiustamento della dose di concimazione risulterebbe vano ai fini del riscontro produttivo. Tuttavia, si può controbattere che anche alla prima data di telerilevamento (ovvero prima del secondo intervento di concimazione) le differenze tra tesi molto differenti (es. N0-N80 vs N160-N200) erano abbastanza ben evidenziate dall'NDVI così che permettevano di distinguere situazioni di marcata carenza nutrizionale da situazioni di buona nutrizione azotata e quindi di decidere se e, con una certa approssimazione, quanto aggiustare la dose di concimazione in vista dell'intervento ancora da effettuare.

In conclusione, se da un lato il telerilevamento può non garantire l'elevata precisione di misura dello stato nutrizionale delle piante permessa dai sistemi puntiformi "a terra" (ad esempio, l'N% e lo SPAD), dall'altro però ha il vantaggio rispetto a questi ultimi di saggiare superfici molto estese in tempi rapidi, così da permettere di valutare se e dove è necessario eseguire interventi sostanziali di aggiustamento della dose di concimazione su scala aziendale.

Oltre ad evidenziare l'importanza delle relazioni esistenti tra le misure dei parametri indicativi dello stato vegetativo/nutrizionale "a terra" e l'NDVI da telerilevamento, è altrettanto importante imporre un confronto dell'indice di vegetazione (NDVI) tra i due diversi metodi di rilevamento: satellite e drone. Alla prima data di rilevamento da satellite (18/03) è stata associata la data più vicina di rilevamento da drone (17/04). La stessa procedura è stata mantenuta per la seconda data di rilevamento da satellite (10/05), a cui è stata associata la data di rilevamento del drone

temporalmente più vicina (06/05). I risultati delle relazioni del primo passaggio (Grafico A) e del secondo passaggio del satellite (Grafico B) sono riportate in Figura 13.



Relazione tra NDVI da satellite e NDVI da drone misurati nelle date tra loro più prossime

La relazione tra l'NDVI misurato da satellite e quello misurato da drone è risultata stretta in entrambi i grafici, anche nel primo, nonostante la differenza temporale tra la data di rilevamento da satellite e quella da drone.

Ciò permette di dire che entrambi i metodi di telerilevamento sono affidabili, così che possono essere utilizzati indifferentemente, tenendo conto di volta in volta dei vantaggi e svantaggi di un metodo rispetto all'altro (costo, grado di precisione nel rilevamento, interferenze atmosferiche, flessibilità nell'uso, ecc.).

Definizione metodologie procedurali

Il progetto sperimentale ha anche permesso di definire alcuni metodi procedurali applicabili in una successiva gestione agricola sul modello del precision farming, riguardanti soprattutto metodologie di acquisizione dati dalla coltura:

- Definizione del miglior metodo di campionamento tra grid e casuale;
- Definizione del miglior metodo per ottenere punti di campionamento casuali;
- Definizione del miglior metodo di interpolazione dati per la creazione di mappe di distribuzione tra Kriging ed IDW e relativi parametri;
- Definizione del numero minimo di campionamenti per applicare i metodi di interpolazione ed avere risultati attendibili;
- Definizione del miglior metodo di acquisizione di immagini telerilevate tra UAV e Satellite;
- Definizione del periodo migliore per acquisire immagini con il telerilevamento;
- Definizione del periodo migliore (concimazione, grandezza foglia) per rilevare misure con lo spad;
- Definizione del miglior metodo di creazione di mappe di vigoria (specificare i vari step: ortorettifica immagini, ricampionamento e calcolo dell'indice);
- Definizione protocollo di volo per UAV (impostazione area di acquisizione, marker, parametri di volo).

Per illustrare i risultati ottenuti in ambito agronomico, è stata realizzata una Storymap, un'applicazione on line con contenuti multimediali (mappe GIS, foto, video):

Una Story map con i contenuti multimediali

Progetto SIG2015

S.I.G. 2015 - Sistema Informativo Geografico a supporto del Precision Farming

Il progetto SIG2015 viene finanziato nell'ambito della misura 124 del PSR Umbria 2007/2013 e il suo obiettivo è realizzare un Sistema Informativo Geografico a supporto di una gestione agricola sul modello del Precision Farming.

PSR Umbria 2007-2013
Misura 124
COOPERAZIONE PER LO SVILUPPO
DI NUOVI PRODOTTI
PROCESSI E TECNOLOGIE NEI SETTORI
AGRICOLA, ALIMENTARE E FORESTALE



Una Story map con i contenuti multimediali

Progetto SIG2015


RISULTATI

Le elaborazioni effettuate con software GIS hanno consentito di ottenere mappe di distribuzione degli elementi e di vigoria della vegetazione.

Mappe tematiche di distribuzione degli elementi e parametri nel terreno
Le mappe di distribuzione permettono di visualizzare nell'assetto del terreno, consentendo una gestione delle operazioni agricole, come la concimazione, diversificata, e permettendo così di ottenere un risparmio nell'impiego di input produttivi.

- mappa di distribuzione dell'azoto (vedi mappa a lato)
- mappa di distribuzione del fosforo
- mappa di distribuzione del potassio
- mappa di distribuzione dei valori di pH
- mappa di distribuzione della produzione organica

Mappe di vigoria della vegetazione
Consentono di ottenere informazioni circa la vigoria della vegetazione nelle varie aree dell'assetto. La vigoria viene calcolata in base all'indice NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) ottenuto rielaborando le immagini satellitari dal telerilevamento.
I sensori utilizzati per il telerilevamento rilevano la radiazione riflessa dalle piante a diverse lunghezze d'onda.



La Storymap è visibile al seguente link:

<http://www.arcgis.com/apps/MapJournal/index.html?appid=2c8bb80f05744c23bd6fa51e348d632d&webmap=0ad0fbdf9dc745afb243382c24d4a866>

TeamDev srl

