



PSR
2014 2020
LOMBARDIA
L'INNOVAZIONE
METTERADICI

 Regione
Lombardia



Fondo Europeo Agricolo per lo Sviluppo Rurale: l'Europa investe nelle zone rurali

WEBINAR: OTTIMIZZAZIONE DELLA CONCIMAZIONE ORGANICA ASSISTITA DA SENSORI AL SUOLO

10 gennaio 2021

La mappatura elettromagnetica degli appezzamenti: caratteristiche del sensore e risultati sui campi prova

Giovanni Cabassi, Nicolò Pricca – Consiglio per la Ricerca e l'analisi dell'Economia Agraria – Centro Zootecnia e Acquacoltura



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI MILANO

CONDIFESA
LOMBARDIA NORD EST



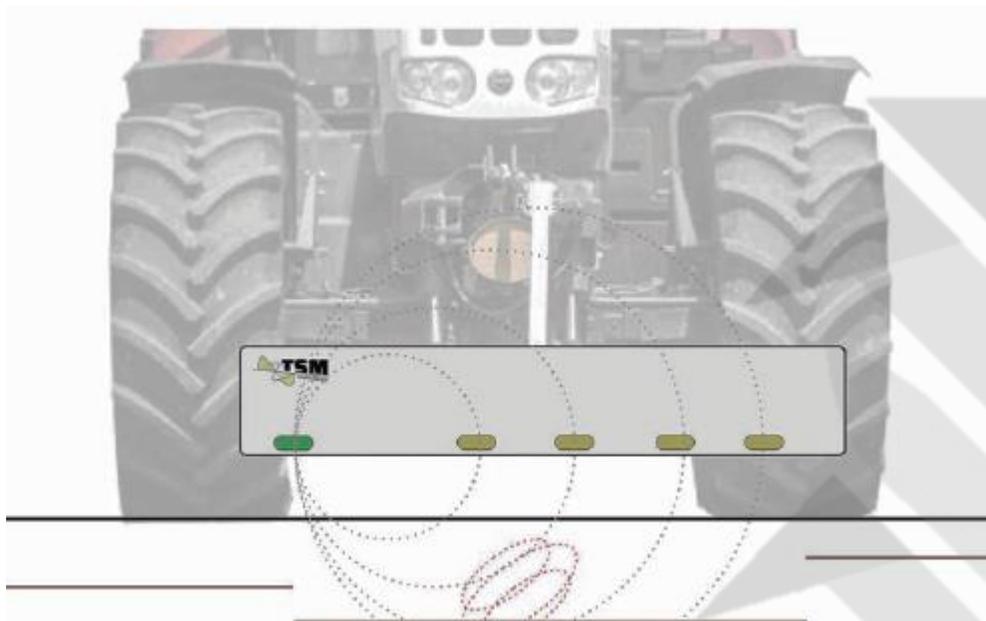
**SOCIETÀ
AGRICOLA
BONETTI**
DI ALESSANDRO E GIACOMO BONETTI

**SOCIETÀ
AGRICOLA**
Penati Luigi & Co

**AZIENDA
Agricola
MOTTI**

EVERGREEN
ITALIA
FRATELLI VISCONTI

Sensore elettromagnetico, TopSoilMapper



Sensore elettromagnetico, i vantaggi



- Il sistema mette a disposizione i dati grezzi (formato .xml o .tdsm)
- È possibile effettuare l'elaborazione anche con software OpenSource
- Non vi è necessità di appoggiarsi a servizi esterni
- Lo strumento dispone di comunicazione ISOBUS

WORKING PROCESSES COMPARED			
With the SoilXplorer soil maps are ready within one day			
SOILXPLORER	  		
EM 38		 	External Service
VERIS		 	 

Legend:  Data Collection  Data Analysis  Ready Soil Maps (agricultural soil maps)

Sensore elettromagnetico, le mappe



- 4 strati informativi

*profondità indicative

Strato	Profondità (cm)*
ECa1	0 – 25
ECa2	0 – 60
ECa3	0 – 95
ECa4	0 - 115

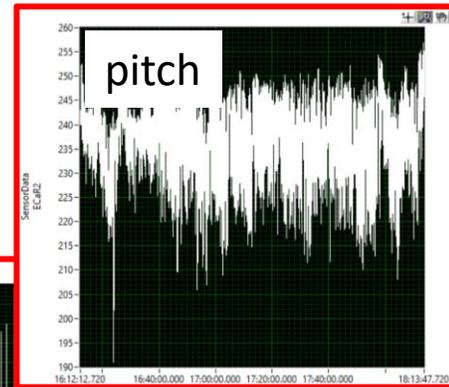
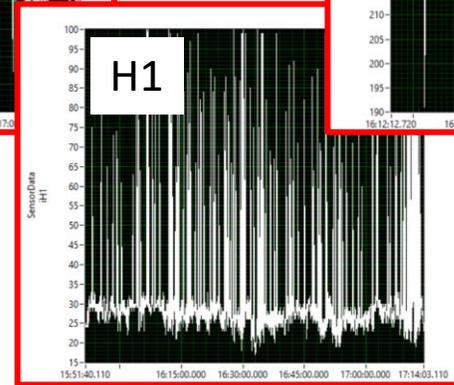
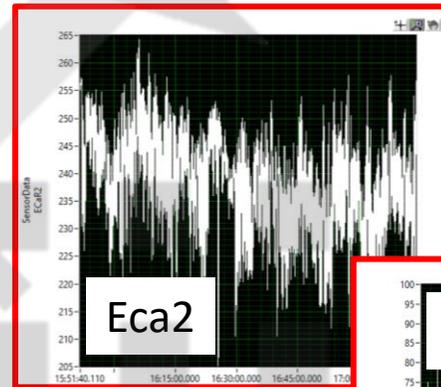
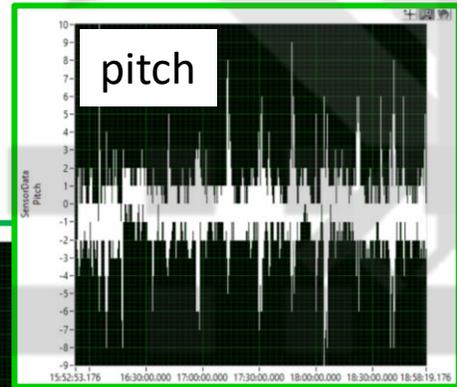
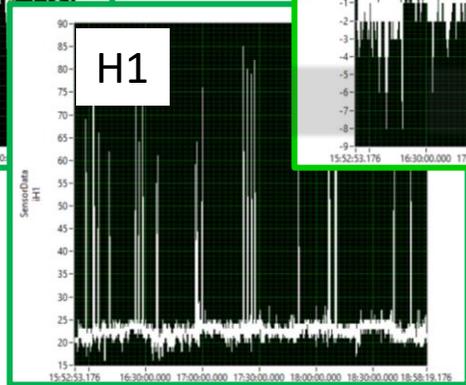
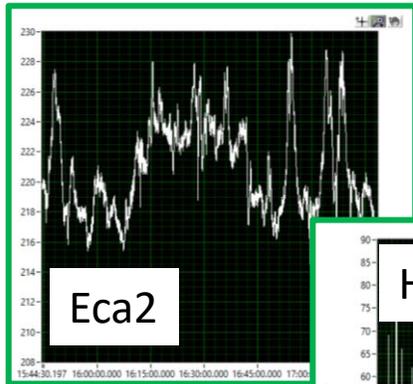
- 4 mappe tematiche disponibili da software

Mappa	
rWTC	Contenuto d'acqua relativo
D2I	Profondità di lavorazione
Soil Zones	Zonazione di aree omogenee
Tillage Map	Densità di semina

Sensori ausiliari

Il sistema è provvisto di sensori di distanza ausiliari per la rilevazione dei movimenti del sensore elettromagnetico rispetto alla superficie del terreno per la **correzione dei valori di conducibilità elettrica** durante l'acquisizione o come controllo delle elaborazioni in post.

Il sensore elettromagnetico raccoglie molte **più letture del necessario** per permettere di escludere le letture associate a dati di movimento anomali (decimazione).

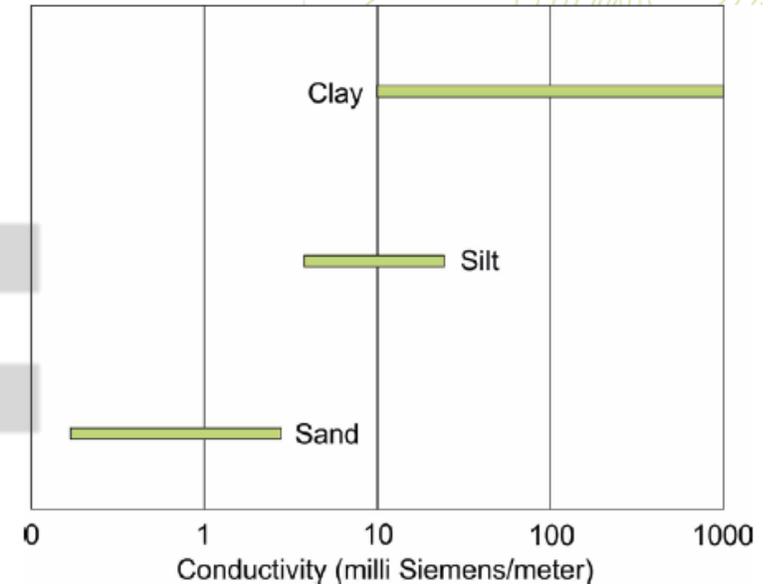


Sensore elettromagnetico, le correlazioni



Il sensore è sensibile alla **densità** di cariche elettriche per unità di volume di suolo.

A parità di condizioni di compattamento, lavorazione e residui vegetali in superficie, **tale grandezza fisica è influenzata maggiormente dalla granulometria** (e non dalla sola tessitura) come mostrato in figura. Nelle nostre condizioni di campo il contenuto di sostanza organica è troppo ridotto per influenzare la conducibilità.



Test effettuati: direzione di scansione



Effettuando l'acquisizione mantenendo direzioni ortogonali tra loro, i risultati sono comparabili



Test effettuati: distanza del sensore dal suolo



Effettuando l'acquisizione ponendo il sensore ad altezze diverse rispetto il suolo, i dati raccolti sono ripetibili, ma oltre i 30cm di altezza si riduce la sensibilità del sensore ed il range dei valori raccolti



Test effettuati: l'influenza dell'umidità del terreno



Sono state effettuate 3 scansioni del medesimo campo in 3 giorni differenti e con 3 differenti condizioni di umidità, variano i valori assoluti dei dati grezzi ma non il range



	Eca1			ECa4		
	12-mag	21-mag	29-mag	12-mag	21-mag	29-mag
perc 5	8	9	26	15	15	40
perc95	15	17	34	24	26	50
range	7	8	8	9	11	10

Dati esportabili dal sistema



- Dati liberi:
- Estensione .TDSM, leggibile con foglio elettronico, contiene le registrazioni GPS e i dati grezzi del sensore

Root Name	Title	Author	Date/Time	Groups	Description								
BONETTI_BIS-20_11_06_11_39_24				2									
4	Channels	Description											
5	NavigationData			7									
6	SensorData			16									
8	NavigationData												
9	Channel	Datatype	Unit	Length	Minimum	Maximum	Description	wf_increment	wf_samples	wf_start_offset	wf_start_time		Start index
10	CounterTime	DT_DOUBLE		3275					1	3275	0	06/11/2020 11:39:36.147 AM	
11	iTime	DT_DOUBLE		3275					1	3275	0	06/11/2020 11:39:36.147 AM	
12	Northing	DT_DOUBLE		3275					1	3275	0	06/11/2020 11:39:36.147 AM	
13	Easting	DT_DOUBLE		3275					1	3275	0	06/11/2020 11:39:36.147 AM	
14	Speed	DT_DOUBLE		3275					1	3275	0	06/11/2020 11:39:36.147 AM	
15	Heading	DT_DOUBLE		3275					1	3275	0	06/11/2020 11:39:36.147 AM	
16	Altitude	DT_DOUBLE		3275					1	3275	0	06/11/2020 11:39:36.147 AM	
17													
18	SensorData												
19	Channel	Datatype	Unit	Length	Minimum	Maximum	Description	wf_increment	wf_samples	wf_start_offset	wf_start_time		Start index
20	Counter Time	DT_DOUBLE		16357					1	16357	0	06/11/2020 12:35:40.492 PM	
21	iTime	DT_DOUBLE		16357					1	16357	0	06/11/2020 12:35:40.492 PM	
22	ECaR1	DT_DOUBLE		16357					1	16357	0	06/11/2020 12:35:40.493 PM	
23	iPR1	DT_DOUBLE		16357					1	16357	0	06/11/2020 12:35:40.493 PM	
24	ECaR2	DT_DOUBLE		16357					1	16357	0	06/11/2020 12:35:40.493 PM	
25	iPR2	DT_DOUBLE		16357					1	16357	0	06/11/2020 12:35:40.494 PM	
26	ECaR3	DT_DOUBLE		16357					1	16357	0	06/11/2020 12:35:40.494 PM	
27	iPR3	DT_DOUBLE		16357					1	16357	0	06/11/2020 12:35:40.494 PM	
28	ECaR4	DT_DOUBLE		16357					1	16357	0	06/11/2020 12:35:40.494 PM	
29	iPR4	DT_DOUBLE		16357					1	16357	0	06/11/2020 12:35:40.494 PM	

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	CounterTime	iTime	Northing	Easting	Speed	Heading	Altitude	
197	114251.1	104335	45.3886485	9.24965067	0.898	34.7	96	
198	114252.1	104336	45.3886573	9.24965433	2.488	15.03	96	
199	114253.1	104337	45.3886663	9.24965767	1.853	12.2	96	
200	114254.1	104338	45.3886758	9.2496625	2.44	16.85	96.1	
201	114255.1	104339	45.3886872	9.24966717	2.723	12.73	96.2	
202	114256.1	104340	45.388699	9.2496705	2.674	9.39	96.3	
203	114257.1	104341	45.3887132	9.24967367	3.379	6.12	96.4	
204	114258.1	104342	45.388728	9.24967483	3.305	0.76	96.5	
205	114259.1	104343	45.3887428	9.24967467	3.405	358.26	96.6	
206	114300.1	104344	45.388758	9.24967367	3.417	355.8	96.7	
207	114301.1	104345	45.3887723	9.24967233	3.191	354.6	96.8	
208	114302.1	104346	45.3887867	9.249671	3.264	354.99	96.9	
209	114303.1	104347	45.3888013	9.24967017	3.331	356.87	97	
210	114304.1	104348	45.3888163	9.2496705	3.405	0.68	97.1	

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
1	Counter Time	iTime	ECaR1	iPR1	ECaR2	iPR2	ECaR3	iPR3	ECaR4	iPR4	Roll	Pitch	Temperature	Voltage	iH1	iH2
2	113937	64907.58	255.2	3.2	240	5.7	225.9	8.6	194.5	11.1	5	2	20	12	29	59
3	113938	64907.78	254.9	3.2	239.4	5.7	224.9	8.6	193.4	11.2	5	2	20	12	28	36
4	113938	64907.98	254	3.2	239	5.7	224.5	8.6	193.4	11.1	5	2	20	12	28	30
5	113938	64908.18	254.4	3.2	239.6	5.7	225	8.6	194	11.1	5	2	20	12	28	28
6	113938	64908.38	254.2	3.2	239.2	5.7	224.2	8.6	192.2	11.1	5	2	20	12	28	27
7	113938	64908.58	253.7	3.2	239	5.7	224.3	8.6	192.3	11.1	5	2	20	12	28	26
8	113939	64908.78	254.3	3.2	239.5	5.7	225.3	8.6	192.8	11.2	5	2	20	12	28	26
9	113939	64908.98	254.5	3.2	239.3	5.7	225	8.6	193.1	11.1	5	2	20	12	28	26
10	113939	64909.18	254.1	3.2	238.6	5.7	224.1	8.6	191.8	11.1	5	2	20	12	29	26
11	113939	64909.38	254.3	3.2	238.7	5.7	224.1	8.6	191.1	11.1	5	2	20	12	30	77
12	113939	64909.58	254.9	3.2	239.9	5.7	225.1	8.6	193.2	11.1	5	2	20	12	31	95
13	113940	64909.78	256.1	3.2	241.2	5.7	227.1	8.6	195.3	11.1	5	2	20	12	31	100
14	113940	64909.98	255.2	3.2	239.6	5.7	226	8.6	195.3	11.1	5	2	20	12	32	99
15	113940	64910.18	254.3	3.2	238.8	5.7	225.5	8.6	192.8	11.1	5	2	20	12	32	99

Dati esportabili dal sistema



- Dati proprietari:
 - Vettoriale del percorso (a)
 - Vettoriale dei valori di conducibilità spazializzati su una griglia 3m x 3m (b)
 - Vettoriale delle mappe delle zone omogenee per contenuto idrico, profondità di lavorazione e densità di semina (c)



a

	Eca1	Eca2	Eca3	Eca4
1	12	13	15	18
2	12	14	16	18
3	12	14	16	18
4	12	13	15	18
5	12	13	15	18

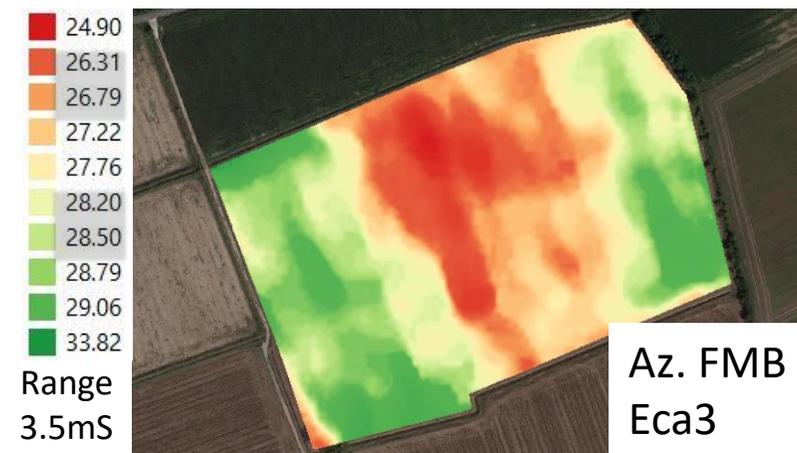
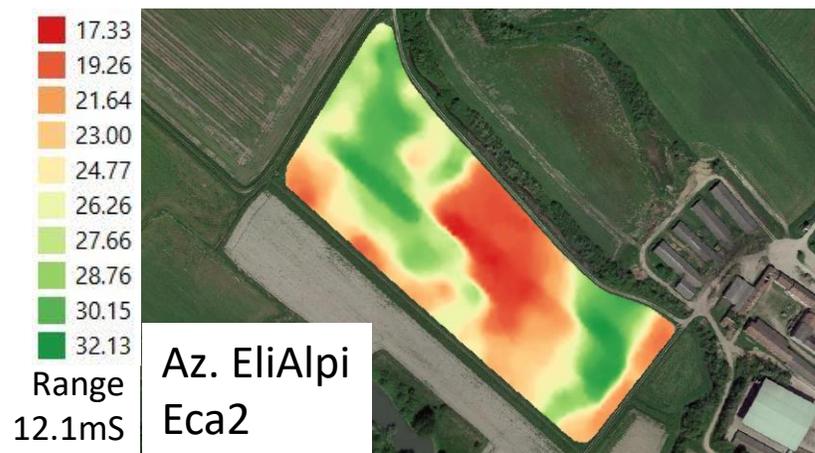
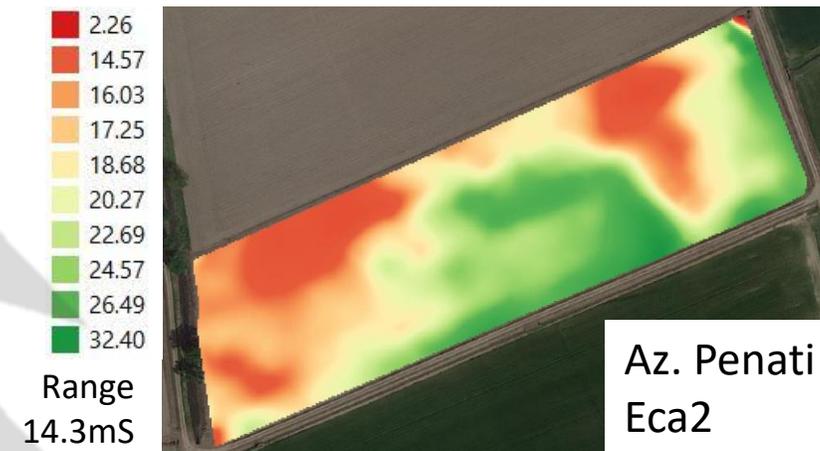


c



b

Mappe di variabilità geoelettrica

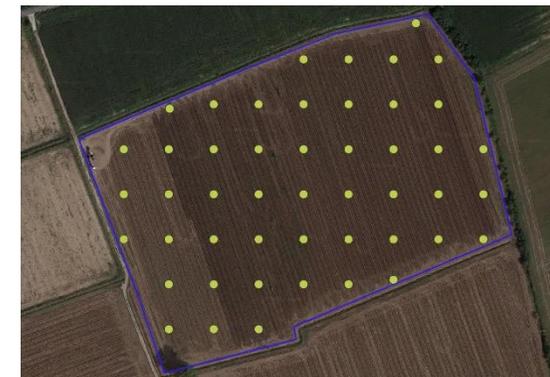


Campionamenti del suolo: Griglie di validazione



Az. Penati
42 punti

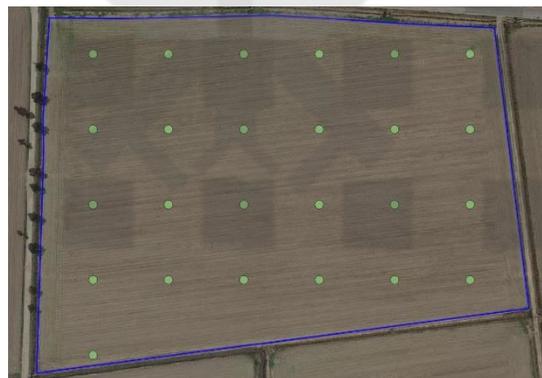
- 183 campioni di suolo 0-30cm
- I punti sono posti su griglia regolare con una maglia di circa 50 metri
- **Raccolti circa 4-6 Kg per punto di campionamento per stimare correttamente lo scheletro**



Az. Fondazione Bolognini
48 punti



Az. Motti
43 punti



Az. Bonetti
25 punti



Az. EliAlpi
25 punti

Caratteristiche dei suoli mappati

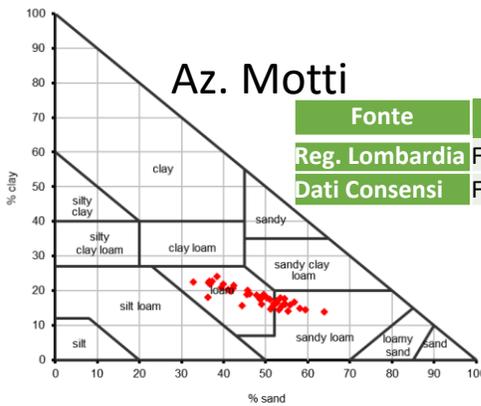


Azienda	Scheletro (%)		Argilla (%)*		Sabbia (%)*		Limo F (%)**		Limo G (%)**		OC (%)*	
	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max
Motti	4	61.8	13.8	24.1	32.9	63.4	16.5	33.8	2.7	17.2	1.4	2.4
Penati	4.2	45.5	10.4	27.2	35.0	69.4	12.2	33.9	1.3	13.0	1.3	2.3
FMB	0	2.4	11.6	20.2	32.6	56.2	16.7	30.9	13.8	23.5	0.9	1.4
EliAlpi	0.6	3.6	2.2	15.5	52.3	77.5	10.6	20.9	4.0	19.1	1.6	2.2
Bonetti	8.4	27	8.2	16.3	42.8	64.8	12.3	24.9	4.2	18.0	1.0	2.0

*analisi NIR su terra fine

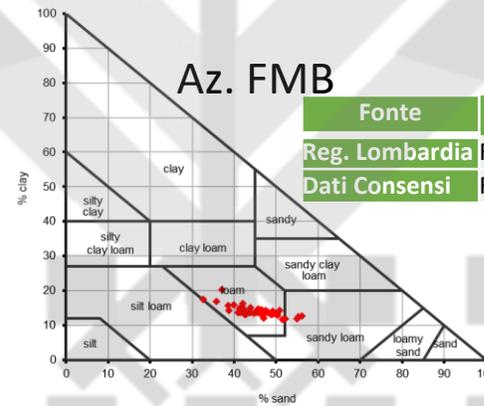
** analisi NIR,

- Limo grossolano \varnothing compreso tra 50 μ m e 20 μ m
- Limo fine \varnothing compreso tra 20 μ m e 2 μ m



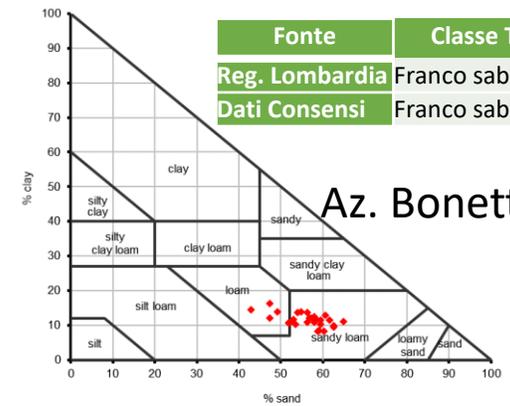
Az. Motti

Fonte	Classe TXT
Reg. Lombardia	Franco sabbiosa
Dati Consensi	Franco - franco sabbiosa



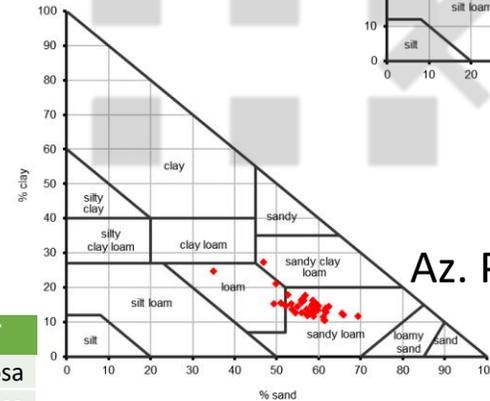
Az. FMB

Fonte	Classe TXT
Reg. Lombardia	Franco sabbiosa
Dati Consensi	Franco



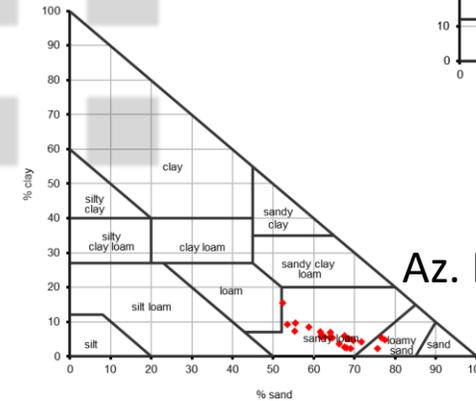
Az. Bonetti

Fonte	Classe TXT
Reg. Lombardia	Franco sabbiosa
Dati Consensi	Franco sabbiosa



Az. Penati

Fonte	Classe TXT
Reg. Lombardia	Franco sabbiosa
Dati Consensi	Franco sabbiosa

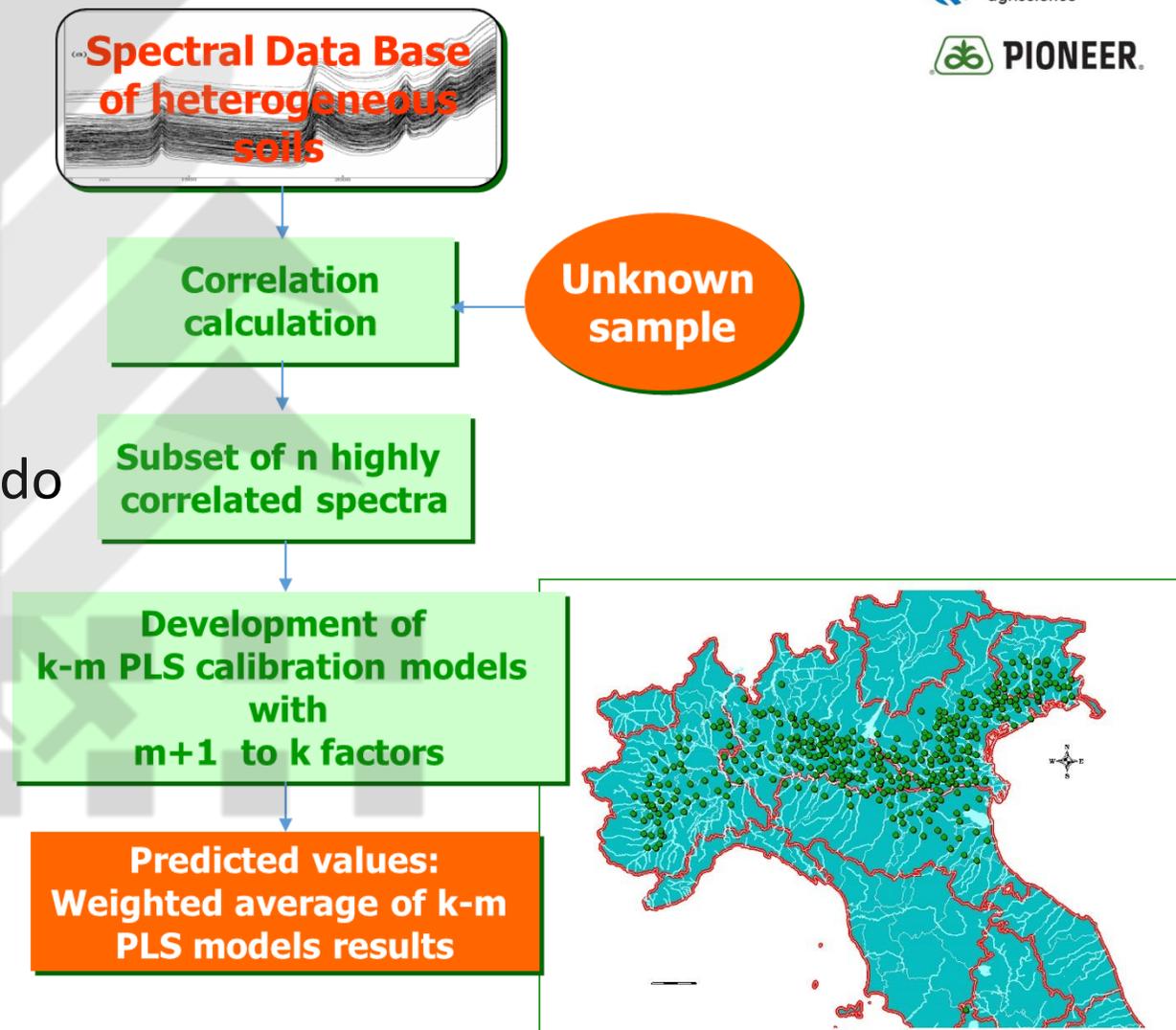


Az. EliAlpi

Fonte	Classe TXT
Reg. Lombardia	Franco sabbiosa
Dati Consensi	Franco sabbiosa

La curva di calibrazione NIR – Procedura di calibrazione Local (patent#5798526)

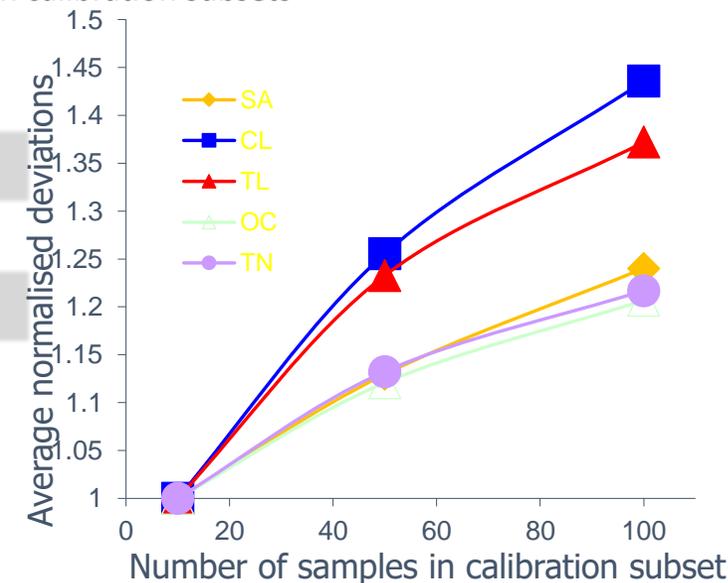
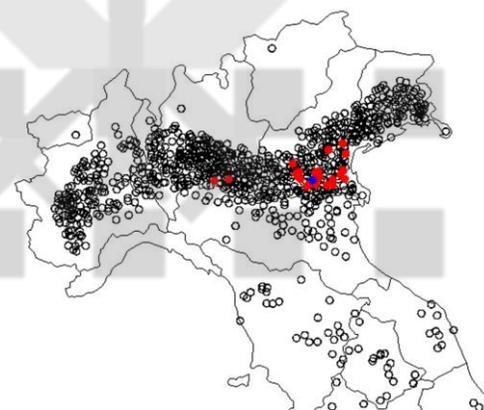
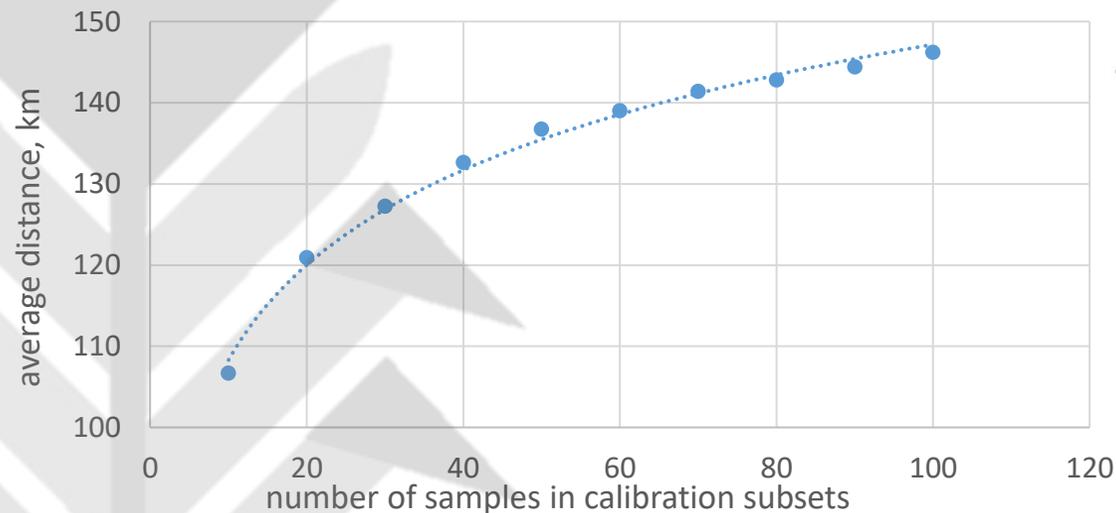
- Dal data set degli spettri viene automaticamente selezionato un sottoinsieme di spettri maggiormente correlati allo spettro incognito
- Utilizzando il sub-set spettrale, viene creata una serie di modelli PLS utilizzando un numero crescente di componenti principali fino ad un numero massimo stabilito dall'utente
- La predizione finale è la media pesata delle diverse predizioni



La curva di calibrazione NIR – Procedura di calibrazione Local (patent#5798526)



- L'algoritmo seleziona gli spettri vagliando la similarità spettrale, è stato evidenziato che vi è una correlazione spaziale tra gli spettri «incogniti» e il sub-set selezionato per la calibrazione
- Minore è il numero di spettri del sub-set e minore è la distanza media tra i campioni selezionati e minore è la dev.std.



Costruzione delle correlazioni

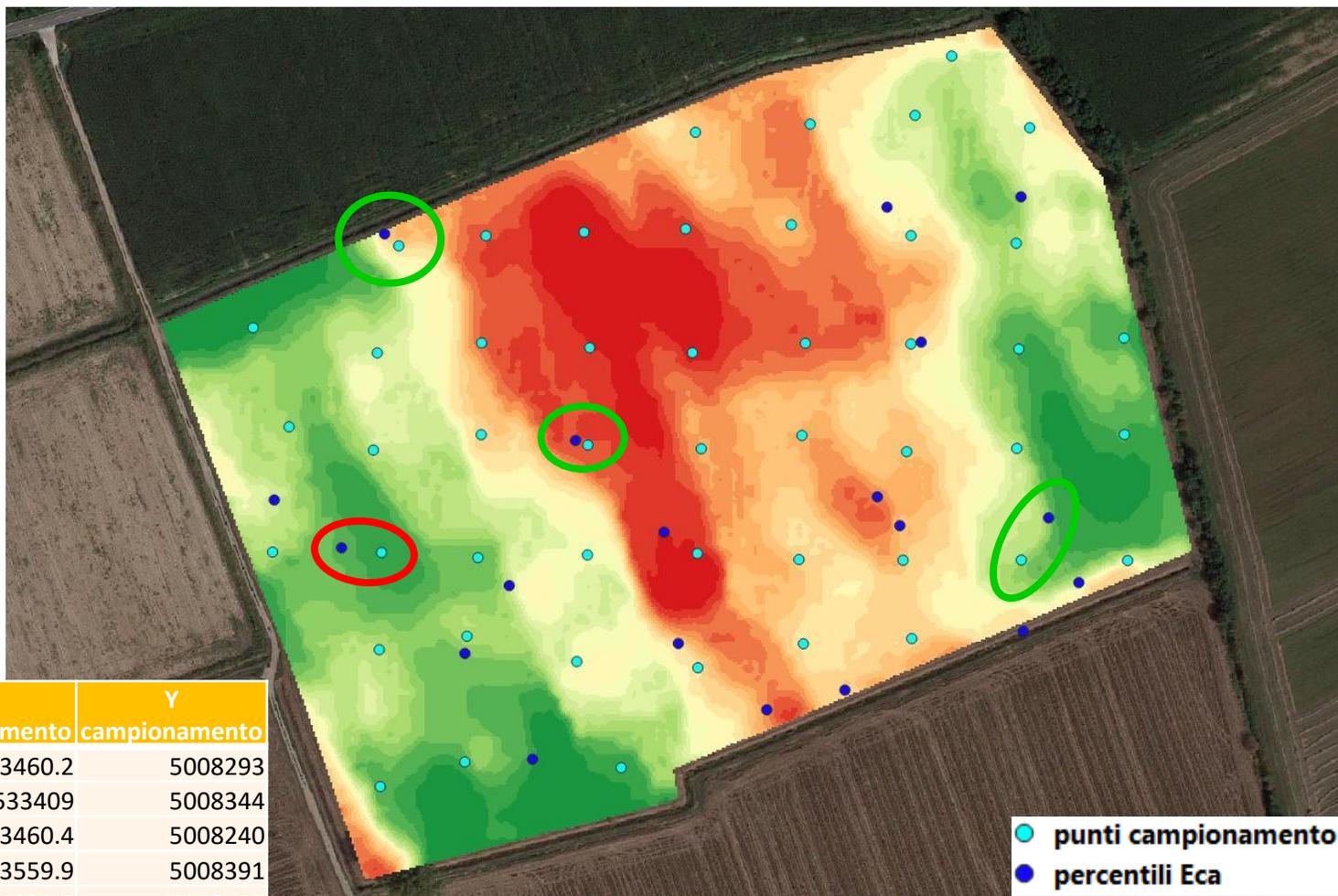


Obiettivo:

- Ridurre il numero di campionamenti da effettuare
- Simulare l'algoritmo da sviluppare su rover automatico

Dati utilizzati:

- Suddivisione dei valori di Eca in percentili
- Associazione dei valori di Eca con i dati di riferimento dei punti di campionamento



Percentile	Eca_perc	X_perc	Y_perc	ID campionamento	X campionamento	Y campionamento
5	26	533445.2	5008306	66	533460.2	5008293
10	26.3	533403.3	5008346	61	533409	5008344
25	26.9	533461.1	5008251	65	533460.4	5008240
40	27.5	533564.7	5008392	80	533559.9	5008391
55	28.2	533308.9	5008445	47	533320.8	5008437
80	28.9	533351.6	5008246	54	533352.6	5008254
90	29.2	533627.7	5008311	88	533611.4	5008290



Esempi di correlazioni

Sono state sviluppati modelli di correlazione tra i valori di conducibilità elettrica e le caratteristiche tessiturali dei terreni dopo **correzione per il valore di scheletro**.

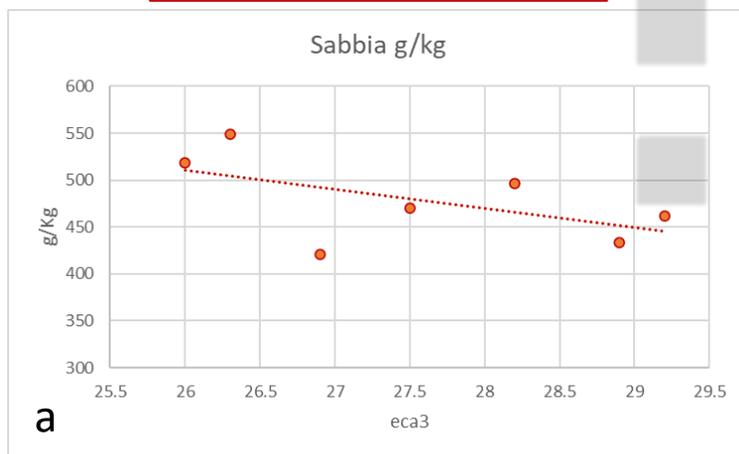
Suddividendo i valori di conducibilità in 6/8 classi e campionando il suolo in un punto rappresentativo di ogni classe è possibile ridurre il numero di campioni a 1 ogni 1-2 ha.

La correlazione basata sulle classi tessiturali convenzionali, spesso non è sufficientemente elevata perchè non riflette le caratteristiche geoelettriche del suolo(a).

Considerando, invece, combinazioni di classi tessiturali (scheletro+sabbia, limo o limo fine +argilla) sono stati ottenuti buoni risultati per ogni azienda partner (b).

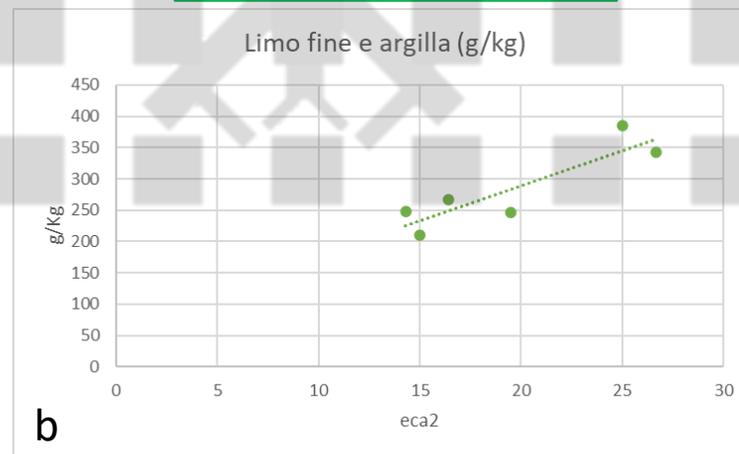
$$y = -20.303x + 1038.5$$

$$R^2 = 0.3051$$



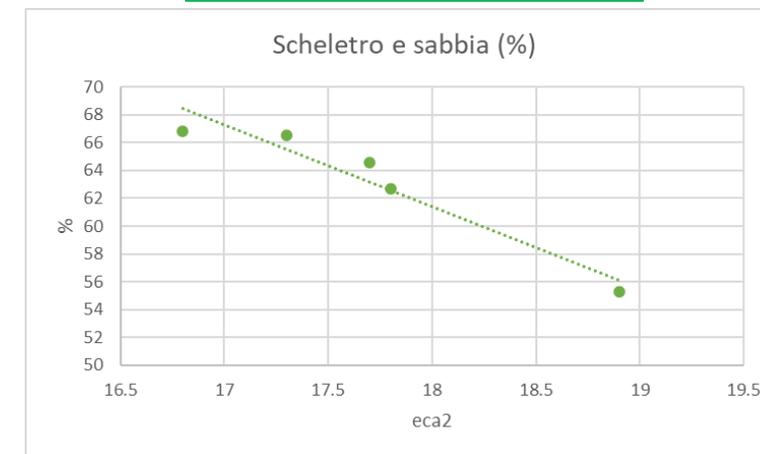
$$y = 11.234x + 64.536$$

$$R^2 = 0.7853$$



$$y = -5.8772x + 167.22$$

$$R^2 = 0.9295$$

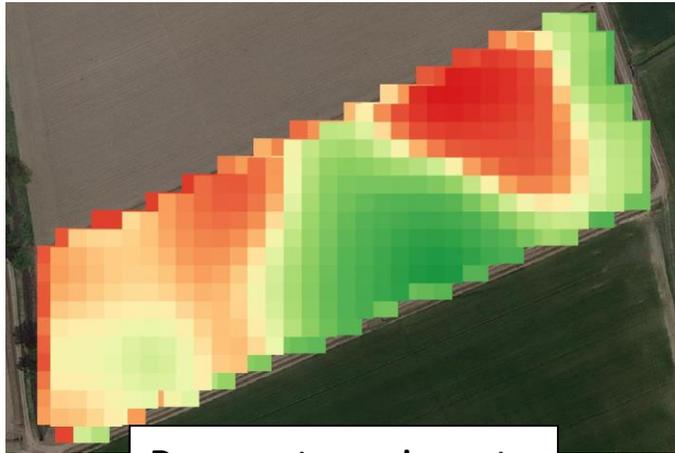


Mappe di variabilità tessiturale stimata

Az. Penati



- 174
- 245
- 267
- 275
- 281
- 290
- 306
- 330
- 387
- 572

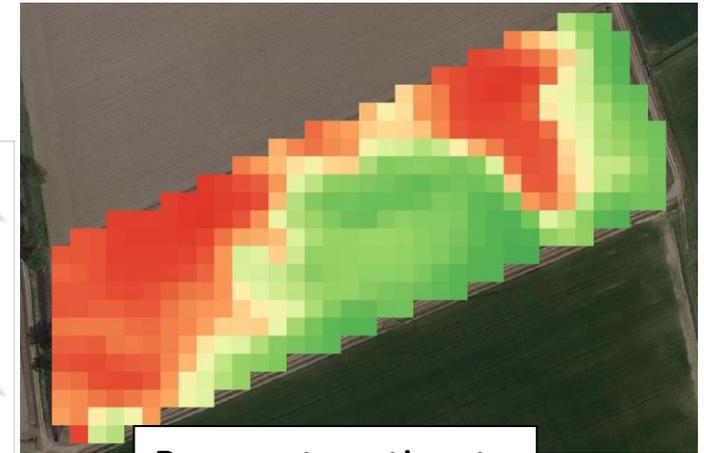
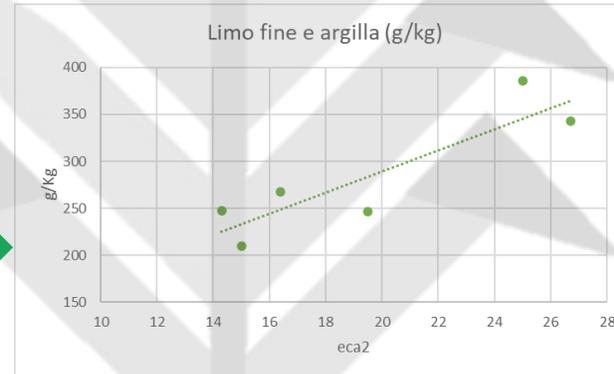


Parametro misurato

Calibrazione su punti selezionati

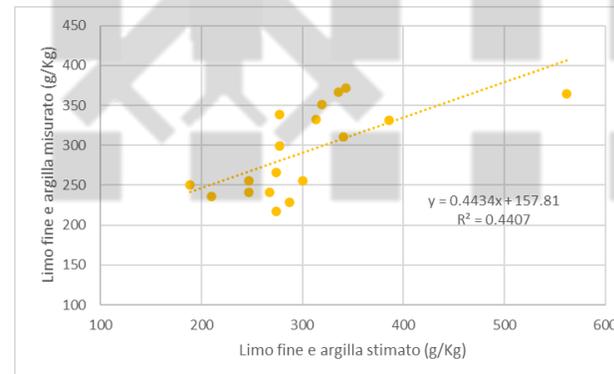
Limo fine* e argilla (g/Kg)

$$y = 8.4598x - 21.708$$
$$R^2 = 0.77$$



Parametro stimato

Validazione su griglia



*Limo fine \emptyset compreso tra 20 μ m e 2 μ m

Mappe di variabilità tessiturale stimata

Az. Bonetti

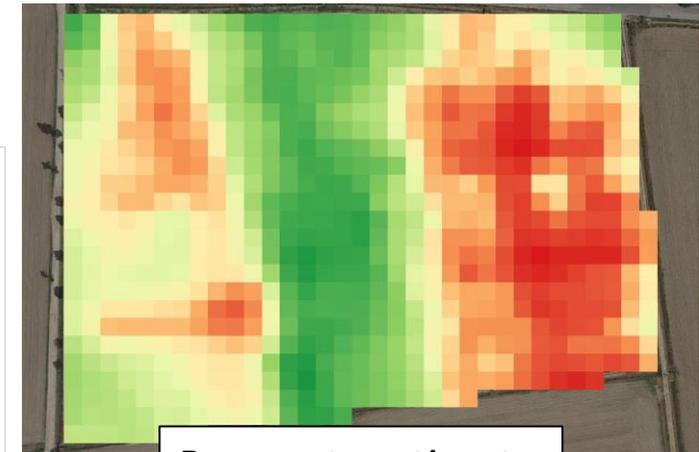
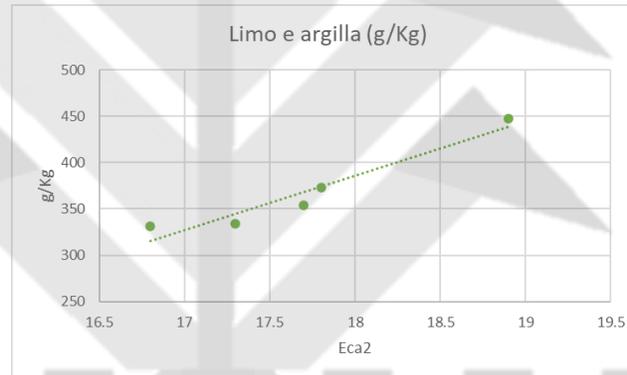


Parametro misurato

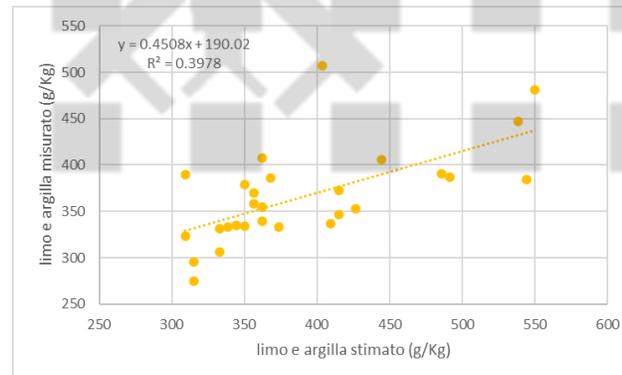
Calibrazione su punti selezionati

Limo* e argilla (g/Kg)

$$y = 58.772x - 672.16$$
$$R^2 = 0.92$$



Parametro stimato

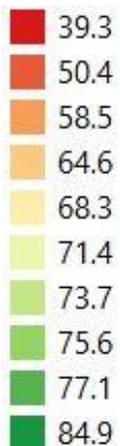


*Limo totale \emptyset compreso tra 50 μ m e 2 μ m

Mappe di variabilità tessiturale stimata



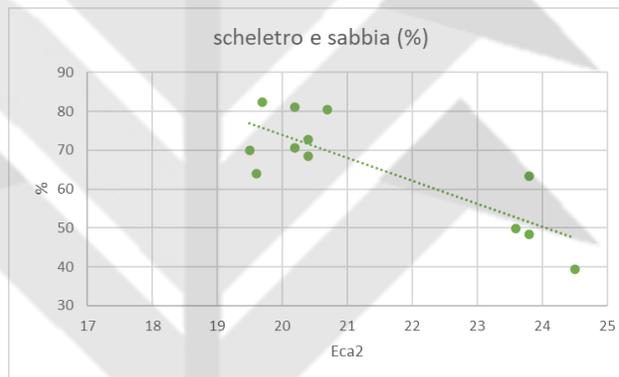
Az. Motti



Parametro misurato

Scheletro + sabbia (%)

$$y = -5.9088x + 192.14$$
$$R^2 = 0.684$$



Parametro stimato



1954



1975



1998



2003

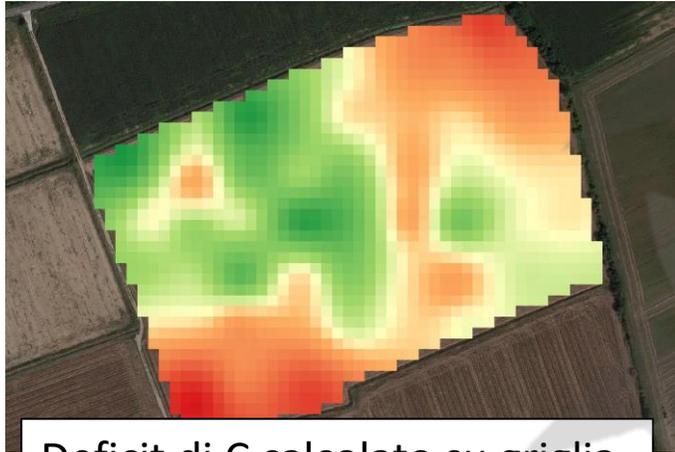
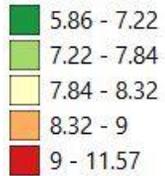
Fonte:
Ortofoto GeoPortale
Regione Lombardia

Mappe di parametri derivati

Az. FMB

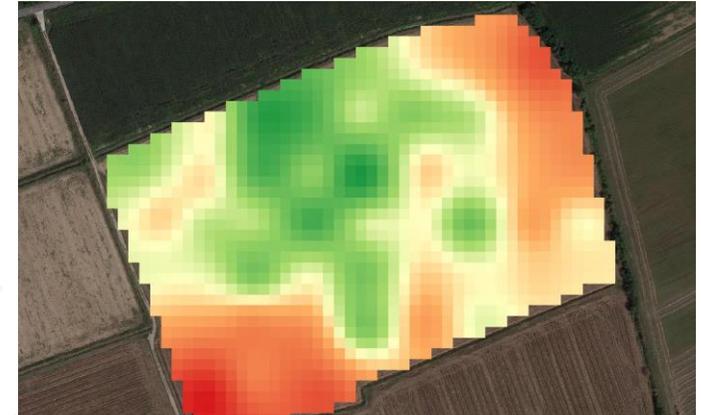
Deficit di carbonio (g/Kg)

$C_def = f(\text{silt+clay}, C_{org})$

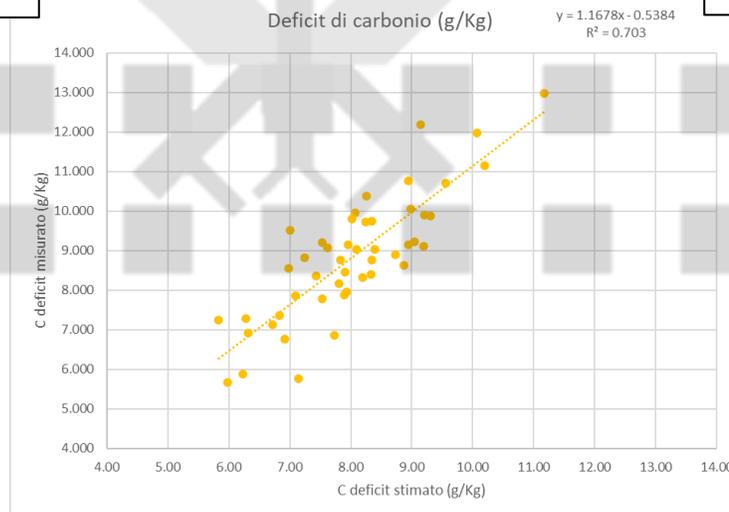


Deficit di C calcolato su griglia di validazione

Validazione su griglia



Deficit di C stimato su mappa tessiturale stimata



$y = 1.1678x - 0.5384$
 $R^2 = 0.703$

GRAZIE PER L'ATTENZIONE