

## Sistemi culturali erbacei

### •GDD=Tm-Tb

Tm: Temperatura media giorno

Tb: Temperatura base (10° macroterme e 0° microterme)

Accumulo gradi giorno, un determinato numero di gradi giorno corrisponde ad una fase fenologica (Es 1200 gradi giorno).

1° giorno:  $20^{\circ}-10^{\circ}=10^{\circ}$

2° giorno:  $15^{\circ}-10^{\circ}=5^{\circ}$

15 GGD in due giorni, si tratta di un modello matematico utile per pianificare la stagione.

Farm to fork: Con il biologico produco meno, però la popolazione europea aumenta, dovrei quindi importare cibo da paesi che non fanno biologico e usano prodotti banditi in UE (Es DDT).

•**Agricoltura di precisione:** Un sistema che fornisce gli strumenti per fare la cosa giusta, nel posto giusto, al momento giusto, maggiore efficienza nell'uso dei fattori di produzione, più sostenibilità (ambientale, economica, sociale).

-1.0: Preistoria

-2.0: Rivoluzione industriale, macchine, utilizzo chimica

-3.0: 20/21 secolo, quaderni di campagna digitali, sistemi di allerta

-4.0: Smart system, tecnologie per sistemi di supporto alle decisioni e Automazione per implementare principi di agricoltura di precisione.

la penetrazione in azienda di principi di agricoltura di precisione è al momento molto bassa, per vari motivi:

-Legame basso tra aziende e ricerca

-Prototipi vs prodotti

-Paura di confrontarsi con il mercato

Es: drone poco usato, un volo costa molto, per alcune funzioni posso usare il satellite che è gratis.

-Cosa c'è dentro una tecnologia? NDVI per fare le mappe di prescrizione non va bene

-Consumi? Non ci sono dati che indicano i consumi ridotti o la riduzione dell'impatto ambientale

-Agricoltura sta andando verso le grandi aziende

-Incentivi, ad esempio spandiconcime con telecamera, uso mappe fatte con NDVI, non vanno bene.

### Esempi di tecnologie sul mercato (Concimazioni)

Il ciclo dell'N, rispetto a quello di altri elementi (P, K) è molto complesso, con molti flussi in entrata e uscita nel sistema suolo-coltura e per via della grande mobilità dell'elemento. La strategia migliore appare basata su: presemina, analisi di serie storiche (almeno 5 anni) di, mappe di produzione, immagini satellitari, simulazioni con modelli culturali, copertura: monitoraggio dello stato nutrizionale in corso di stagione con sensori di telerilevamento prossimali o remoti.

NDVI: Si basa sulla vigoria cellulare, si basa sul verde, (Normalized Difference Vegetation Index) è un indice che viene utilizzato per valutare la salute e la quantità di vegetazione in una determinata area. Esso è calcolato misurando la differenza normalizzata tra la radiazione riflessa dalla vegetazione nella regione del vicino infrarosso e quella riflessa nella regione del rosso dello spettro elettromagnetico. L'NDVI è una misura non lineare che varia da -1 a +1, dove i valori più bassi (-1 a 0) indicano aree con poca o nessuna vegetazione, mentre i valori più alti (0 a +1) indicano aree con una vegetazione più densa e sana. L'NDVI viene utilizzato in molte applicazioni, tra cui la valutazione della copertura vegetale, la gestione delle risorse naturali, la valutazione della produttività agricola e la stima della biomassa vegetale. Non possono essere utilizzate mappe di prescrizione fatte con l'NDVI.

Viene fatto un monitoraggio real time con sensori ottici (greenseeker) posizionati sul trattore che misurano l'NDVI, sono sensori attivi, mandano quindi loro le radiazioni e calcolano l'indice di vegetazione, non sono efficaci, anche perché sono legati all'angolo di osservazione e posso avere interferenza con il suolo se bagnato (errore). In realtà non stimano né LAI, né biomassa, né stato nutrizionale, né altro con significato agronomico o biofisico, calcolano SOLO indici di vegetazione.

Come trovo azoto da usare partendo dall'NDVI? Vengono usati algoritmi empirici (un modello empirico mette in relazione due variabili senza sapere perché sono correlate. Es: aumento gas serra coincide con aumento altezza italiani), sono quindi poco affidabili. I modelli empirici "valgono" solo ed esclusivamente nelle condizioni pedo-climatiche e colturali (specie, varietà, ibrido) per le quali sono stati sviluppati.

#### -Algoritmo OSU:

1) Prima della concimazione di copertura viene stimata la produzione potenziale (variabile nello spazio) della coltura in assenza di concimazione di copertura (Yield Potential, YP<sub>0</sub>):

$$YP_0 = A \cdot e^{(B \cdot INSEY)}$$

A, B: coefficienti empirici, variabili con coltura e area pedo-climatica.

2) Viene poi stimata la produzione che si avrebbe con la concimazione di copertura tramite un indice di risposta (RI<sub>harvest</sub>):

$$RI_{harvest} = \frac{NDVI_{NRich}}{NDVI_{FieldRate}}$$

NDVINRich: NDVI su strisciata del campo concimata in modo che l'N sia "abbondante ma non eccessivo"

NDVIFieldRate: NDVI su aree del campo concimate con dose "normale" di azoto

3) Calcolo della produzione potenziale in caso di concimazione azotata (YP<sub>N</sub>):

$$YP_N = YP_0 \cdot NDVI_{FieldRate}$$

se: • se:  $NDVI_{FieldRate} \geq 0.25$   
•  $YP_N < YP_{max}$

YPmax: valore massimo sito-specifico per quella varietà/ibrido.

4) Calcolo della dose di concime da applicare (NRate):

### Considerazioni finali algoritmo OSU:

-Alcune equazioni sono di una debolezza concettuale disarmante (e.g., step 2, RHarvest) e spiegano pochissima variabilità ( $R^2 \sim 0.5$ ).

-Qualcuno ha idea di cosa significhi incertezza nella stima di coefficienti e propagazione degli errori?

-Qualcuno ha idea di quanto costi (e di come si faccia a) determinare tutti quei coefficientini a valenza sito- e genotipo-specifica?

-Disponibili dai primi anni 2000 e attualmente quasi inesistenti (almeno in Italia): (i) costo (~30k €) e (ii) ritorno economico non dimostrato (Orlandini et al., 2016)

### -Telerilevamento per concimazione di copertura:

A) Stessi algoritmi usati per il monitoraggio con sensori prossimali

B) Metodi "basati" su Nitrogen Nutrition Index (NNI), e.g., sistema Farmstar Expert

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

*PNC e Ncrit sono il contenuto di azoto nella pianta e il contenuto critico (sotto il quale stress, sopra il quale consumo di lusso)*

Mappe di prescrizione N in copertura a febbraio per frumento, orzo, colza

1. Immagini satellite SPOT (multispettrale, blu, verde, rosso, NIR) per derivare l'indice di area fogliare (LAI)

2. Immagini iperspettrali da aereo per correggere – mediante equazioni empiriche specifiche per varietà (???) – il contenuto in clorofilla derivato da SPOT (SPOT non ha sufficiente risoluzione spettrale)

3. Equazioni empiriche – specifiche per varietà e stadio di sviluppo – per derivare la biomassa aerea (AGB) a partire dal LAI (???)

$$AGB = a \cdot LAI + b$$

4. Derivare Ncrit dalla AGB (c e d coefficienti empirici specie/varietà-specifici)

$$Ncrit = c \cdot AGB^{-d}$$

In pratica hanno stimato AGB dal LAI per poi usare AGB per derivare Ncrit, il tutto con 4 coefficienti empirici varietà-specifici.

5. Derivare PNC da NNI ed Ncrit:

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

6. Derivare la dose di N da distribuire (Nrate):

$$Nrate = RAEI \cdot (Ncrit - PNC) \cdot AGB$$

### Stesse considerazioni finali dell'algorithmo OSU

Per questi motivi l'agricoltura di precisione è poco usata in Italia in più gli incentivi sono poco adatti, fatti per utilizzare questi metodi di concimazione non precisi.

### **Analizzare e gestire i sistemi colturali attraverso misure dirette, sviluppare strumenti N in copertura**

LAI: Area superficie fogliare sulla superficie unitaria di suolo, importante per quantificare la radiazione intercettata, le richieste idriche (Es devo fare un nuovo impianto, capisco le richieste idriche della pianta a seconda dell'evapotraspirazione).

L'acqua tra le particelle è importante, soprattutto la distanza, capacità di generare un potenziale, se l'acqua è vicino alle particelle è trattenuta. In un suolo sabbioso gli spazi sono molto grandi, acqua poco trattenuta, in un suolo argilloso l'acqua è più vicina alle particelle (piccole), trattengono tanto l'acqua. Suolo saturo-capacità di campo-punto appassimento (le particelle trattengono con più forza l'acqua rispetto alla capacità di assorbimento delle piante, con evaporazione arrivo quasi a zero. Conducibilità idraulica massima quando ho tanta acqua, fluisce meno velocemente, meno trattenuta.

Lisimetri (usati per calcolare l'evapotraspirazione): Arriva l'acqua (atmosfera o irrigazione), so quanta acqua viene ruscellata e quanta percola. So l'acqua che entra e l'acqua che esce, la differenza di queste è l'evapotraspirazione. Il lisimetro è formato da un vascone di raccolta acque, un sistema di raccolta dell'acqua che percola, un sistema di raccolta dell'acqua che ruscella e una bilancia. Usati solo nei centri di ricerca, non in campo. In campo utilizzo l'evapotraspirazione di riferimento (Et0), che fa riferimento ad un prato irrigato su cui sono stati misurati evaporazione, umidità ecc. Devo fare delle relazioni tra le variabili meteo e l'evapotraspirazione reale.

Equazione di Penman-Monteith: Tiene conto di diversi fattori, tra cui vento, umidità, canopy, servono tanti dati meteo che non sempre sono disponibili. Ci sono altre equazioni che richiedono solo temperatura e radiazione che in condizioni normali vanno bene per calcolare Et0.

$$Etc = Et0 \cdot Kc$$

Kc cambia da coltura a coltura e dipende dal LAI.

Il LAI (o tacco) inoltre è una variabile fondamentale per analizzare le interazioni tra le piante e l'atmosfera:

- Quantità di radiazione intercettata

- Stima richieste idriche
- CO2 sequestration
- Assimilazione in modelli di simulazione
- Previsioni di resa
- Stima Ncrit

### Come si misura il LAI:

•Raccolgo foglie e misuro la loro superficie con appositi strumenti, raccolgo foglie in 1m<sup>2</sup> e le metto nello strumento (planimetro) oppure posso raccogliere le foglie e acquisire e processare le immagini usando appositi software. Si tratta di misure lente, onerose, quando stacco le foglie si arrotolano (accartocciamento delle foglie), sovrapposizione foglie nel planimetro, il planimetro va spesso calibrato, misura distruttiva, difficile da fare in una foresta. Per questi motivi vengono spesso fatte delle stime.

### •Stima del LAI:

-Modelli di trasferimento radioattivo: come penetra la luce nella canopy, molto onerosi (LAI2000)

Il LAI 2000 funziona secondo il modello di Poisson, foglie infinitamente piccole distribuite casualmente:

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

P0: Gap fraction, cioè la % di cielo che vedo dal basso

$\theta_v$ : Angolo di misura

K: In funzione dell'angolo e di X (varia a seconda dell'architettura fogliare, distribuzione ellissoidale di campbell dell'angolazione delle foglie. Dispongo angoli attorno ad un ellissoide, stima di come sono disposte le foglie a seconda degli angoli, foglie erette=angoli verticali, foglie orizzontali=angoli orizzontali, devo sapere angolo e X).

LAI2000: Prende misura a 5 angol diversi, non mi serve sapere X e neanche l'inclinazione delle foglie, fa tutto lo strumento, però con la radiazione diretta non funziona bene (Faccio alba, tramonto o quando c'è nuvoloso).

Gli strumenti che non misurano X, devo farlo io (se i valori non sono riportati nel manuale), X è legato alla conduttanza stomatica, cambia angolo a seconda del turgore, a seconda dell'inclinazione delle foglie stimo lo stress.

-Camera emisferica con obiettivo fisheye su reflex (oppure telefono più obiettivo):

Faccio foto dal basso, c'è un software che mi da le foto a colori originali più le foto in bianco e nero (bianco cielo, nero foglie), regolo fino a quando l'immagine non corrisponde, ottengo così il LAI. Fino ad un LAI di 6 la misura è giusta, poi potrei avere errori, ma non è importante perché per la maggior parte dei casi i valori utili sono sotto il 4/4.5.

In foresta cosa uso? Camera emisferica, che serve solo fare la misura dal basso, con il LAI2000 dovrei fare una misura da sotto e da sopra, impossibile da fare in una foresta.

Alcuni degli strumenti che abbiamo visto sono:

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

### **POCKETLAI:**

- Volumi di produzione diversi da quelli di LAI-2000 e ceptometri
- Abbiamo usato l'accelerometro del telefono per derivare un inclinometro (metodo dei 57.5°)
- La gap fraction ( $P_0$ ) è stata stimata utilizzando due metodi: rapporto tra luminanza sopra e sotto la canopy e processamento automatico dell'immagine (segmentazione), Gap fraction: processamento automatico delle immagini per identificare i pixel di cielo

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

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

L (candele m<sup>-2</sup>) è la luminanza

N è l'f-number (rapporto focale)

t è il tempo d'esposizione

S sono gli ISO (sensibilità sensore)

k è una costante

### **Strumenti diagnostici per il calcolo dell'azoto:**

•**LCC:** Leaf colour chart, prendo una foglia e la metto in una barra in cui sono presenti vari colori (tonalità di verde) che indicano la quantità di azoto. Metodo economico, però c'è il problema della soggettività

•**SPAD:** Strumento costoso, misura contenuto in clorofilla sulle foglie in modo non distruttivo (faccio in campo), mi restituisce il grado di verde, misuro quanto una foglia è verde, se è tanto verde vuol dire che c'è tanta clorofilla e quindi tanto azoto. Misura l'assorbanza della foglia in due regioni dello spettro (rosso e vicino infrarosso) Non mi dice però quanto azoto c'è, mi dice quanto la foglia è verde, devo fare una correlazione tra quello che ho analizzato in campo (il verde) e l'azoto calcolato in laboratorio.

•**DUALEX4:** Fornisce stime del contenuto in azoto sulla base del contenuto relativo in N e C, lo fa utilizzando come variabili, le clorofille (ricche in azoto, metabolismo primario, stesso approccio dello spad, valuto il metabolismo primario quindi quanto una pianta sta bene) come lo spad e il contenuto

in flavonoidi (ricchi in carbonio, metabolismo secondario, aumenta quando ho stress), ho più informazioni rispetto allo spad.

Clorofilla/Flavonoidi: Se la pianta sta male viene un valore basso, che indica poco azoto (indice basso). Valore basso: poco azoto.

Se effettivamente ho stress per mancanza di azoto, strumento efficiente, se ad esempio ho stress idrico, la pianta fa comunque un metabolismo secondario, ma non a causa della carenza di azoto ma a causa della carenza di acqua, non funziona bene.

Problema: Ottimizzare la gestione dell'azoto in molti sistemi colturali:

- Massimizzare le produzioni
- Ridurre l'impatto ambientale
- Efficienza uso azoto: 50% dell'azoto dato, risaia anche meno, 30% o 20% più ho emissioni di metano
- Rispettare standard qualitativi richiesti dal mercato (contenuto in proteina), lattuga croccante grazie all'azoto però tanti nitrati non fanno bene.
- Aumentare la redditività dei sistemi colturali
- Susceptibilità a malattie e allettamento per via del consumo di lusso di azoto

Soluzioni:

- Genetica, varietà abili a sfruttare azoto (medio-lungo termine)
- Simulatori, capisco la gestione migliore (copertura o presemina, 1 o 2 coperture, quanto azoto dare, quanto irrigare)
- Sistemi diagnostici, gestione tattica, quanto N in questo momento? Mi servono informazioni sul suolo (analisi), telerilevamento, mappe di resa (anni precedenti)
- Monitoraggio dinamico usando informazioni real-time (sensori montati sul trattore, meteo, telerilevamento)

Obiettivo: Avere delle mappe di resa

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

- Telerilevamento satellitare
- Poche misure a terra guidate dal satellite

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

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

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

I dati satellitari catturano la variabilità spaziale in termini relativi? I dati satellitari, da soli, non sono sufficienti, catturano la variabilità spaziale in termini relativi. Il campo potrebbe essere:

-Tutto in stress (di più in alto, meno in basso)

-Tutto in consumo di lusso (di più in basso, meno in alto)

Appezamento → Parte in alto appezamento più alta → Sposto terra → Da dove la tolgo ho < fertilità

-Pixel blu: Poco stress

-Pixel azzurro: Tanto stress

NDVI mi dice quale parte del terreno sta meglio e quale sta peggio, non mi indica il contenuto di azoto. Potrebbe essere consumo di lusso, tanto azoto, dove è blu scuro tanto azoto, blu chiaro un po' meno ma comunque più di quello richiesto. NDVI mi da informazioni sullo stato nutrizionale.

### •POKETN

Calcolo contenuto in azoto, dalla gradazione di verde delle foglie calcola le curve di calibrazione specifiche per varietà/ibridi, ottengo il contenuto di azoto nella pianta.

### •PoketLAI e PoketN= Indice nutrizionale (NNI), calcolo lai e azoto.

-Maggiore di 1: Consumo di lusso

-Minore di 1: Stress

### •Poket NNI-SAT:

Telerilevamento non valuta realmente lo stato nutrizionale e gli strumenti di campo non sono adatti per analisi spaziali (VRT) Abbiamo sviluppato una nuova app che integra le due tecnologie.

-Geo referenziare confini appezamento

-Selezione coltura e varietà

-Satelliti: Mappa NDRE ritagliata per l'appezamento, capisco se appezamento omogeneo o no, faccio due classi, 2 punti in punti diversi dell'appezamento (se ho poca variabilità, se tanta faccio 6 punti). Se ho tanti appezamenti con stessa varietà e con semina vicina, li considero un campo unico, punti sparsi.

-Misuro LAI e azoto in campo con l'app in questi punti, il satellite mi dice la variabilità del campo, non lo stato nutrizionale.

-Relazione tra contenuto di azoto misurato nei punti e NDRE, trovo correlazioni, faccio la stessa cosa con il LAI e NDVI.

Contenuto azoto in un punto, relazione con valore di NDRE, faccio con tutti i punti, stessa cosa per il LAI. Per i valori che non ho campionato converto i valori di NDVI in LAI, trovo una mappa, dal LAI trovo azoto critico. Ottengo così una mappa di stato nutrizionale, ad un colore corrisponde un valore di stato nutrizionale (Non ottengo i valori di N all'Ha), il colore mi indica l'indice di stato nutrizionale, quanto azoto c'è nella pianta rispetto a quello necessario, adimensionale. Il satellite vede il verde (quindi uso per stima LAI), però non indica lo stato nutrizionale.

$$\text{LAI} = a * \text{NDVI} + b$$

Dove non ho il valore campionato metto il valore di NDVI o NDRE del satellite. Dal LAI ricavo il contenuto di azoto, il LAI usando NDVI lo ho per ogni pixel.

Ottingo così due mappe, una usando NDVI e una usando NDRE

$NNI = \text{Mappa NDRE} / \text{mappa NDVI}$  (Contenuto critico in azoto)

Come ottengo mappa di LAI:

- 1) Mappa di NDVI da drone o quad o satellite
- 2) Smart scouting: rilievi con PocketLAI in soli 5 punti
- 3) Regressione tra NDVI e LAI (da PocketLAI)
- 4) Mappa di LAI

### **Analizzare e gestire sistemi colturali attraverso misure dirette**

#### **2-Valutazione/validazione di metodi di analisi/misura**

Spesso i metodi di analisi che vengono proposti non sono associati a parole chiave come:

- precisione
- linearità
- limiti di rilevabilità
- non sono nemmeno associati a informazioni relative alle risorse per effettuare la misura

L'assenza di queste informazioni crea spesso problemi relativi a:

- mancanza di criteri per scegliere, a seconda delle situazioni (nel nostro caso, risorse disponibili, tipologia di coltura, stadio di sviluppo, ecc.), lo strumento più adatto
- interpretazione dei risultati (mancano informazioni standardizzate per fare confronti)
- dubbi sulla ragionevolezza e sulle basi tecniche e scientifiche dei vari metodi

spesso questi problemi si manifestano quando bisogna fare dei rilievi in campo, spesso c'è confusione anche sui termini utilizzati

**Validazione di un metodo:** processo attraverso il quale si determinano l'affidabilità e la credibilità di una procedura di analisi per uno specifico scopo

Sono stati proposti diversi protocolli di validazione da diversi organismi internazionali (ISO, FAO), protocolli che però sono stati pensati per metodi di analisi chimici, questo ha legittimato i non-chimici a non occuparsene, riducendo i ragionamenti per la scelta di un metodo a chiacchiere da bar.

E' invece possibile adattare i protocolli di validazione, utilizzando solo alcune delle metriche che propongono. Nel caso non esistano materiali di riferimento, ad esempio, è possibile valutare la precisione di un metodo, senza arrivare alla sua accuratezza (che richiede anche la stima della trueness)

Definire con chiarezza e rigore i limiti di quanto si propone è il modo migliore per dare credibilità a ciò che si sta proponendo

**Validazione dei metodi secondo ISO 5725, si basa su:**

- *normalità*: che i dati rispettano una curva gaussiana (al seguito della verifica della normalità e dell'omogeneità delle varianze si può procedere con l'ANOVA, analisi delle varianze)
- *identificazione di outliers*: l'outlier è il dato sperimentale che per un motivo è dovuto ad un errore, non si deve buttare a priori in quanto prima di buttarlo bisogna verificare che si tratti di un outlier
- *limite di rilevabilità*: limite sotto il quale il metodo non vede quella cosa (esempio sali disciolti in una soluzione, il limite di rilevabilità è quando il mio metodo non rileva una concentrazione piccola di sali, che c'è ma il mio metodo non lo rileva)
- *limite di quantificabilità*: limite sotto il quale il mio metodo non è più affidabile (il mio strumento vede il numero di sali disciolti ma non è una misura affidabile)
- *specificità*: se io sto usando un metodo per rilevare qualcosa nel suolo, il metodo è specifico? Riesce a cambiare per rivelare quello che c'è nel suolo correttamente?
- *linearità*: se le misure che il tuo metodo fa sono su una retta, per misurarla esiste il test di linearità (es. il ceptometro tra 0 e 4 è lineare, dopo non lo è più)
- *accuratezza*: data da trueness (veridicità) e precisione che è dovuta da ripetibilità stretta, intermedia e riproducibilità
- *robustezza*

### **Accuratezza e precisione:**

grigio → valore vero

tratteggiato → media

es. -metodo 1, la media delle misure coincide con il valore vero (metodo non preciso ma è veritiero)

-metodo 2: buona ripetibilità (prendo lo strumento e rifaccio le misure vicine nel tempo e vengono quasi uguali) poco riproducibile (se un altro lo usa viene diverso da te, effetto operatore), la veridicità è scarsa perché entrambe le medie sono lontane dal valore vero

-metodo 3, buona ripetibilità, buona riproducibilità ma sono lontane dal valore vero, il metodo è preciso ma non è accurato perché non corrisponde al valore vero

-metodo 4 buona ripetibilità, buona riproducibilità, è preciso e accurato (perché è veritiero, sia ripetibile che riproducibile)

Un valore vero è quello che si ottiene con un metodo distruttivo, es LAI distruttiva è un valore vero

Quale metodo scelgo?

- Il metodo che uno sceglie se ha tanti soldi può scegliere il metodo 4, se uno ha pochi soldi e ha tanto tempo è meglio scendere il metodo 1 e effettuare più repliche in quanto è veritiero ma non preciso (si può risolvere effettuando più repliche)
- Metodo 2 non va mai preso

### **Disegno sperimentale secondo ISO 5725: ring trail (ring test)**

- Più laboratori per determinare la riproducibilità
- Più livelli dell'analita per la linearità
- Più repliche per ciascun livello di analita
- Più operatori per ciascun laboratorio

- I campioni con vari livelli devono essere forniti come materiali di riferimento

Ovviamente noi non potremo fare tutto, dato che per molti metodi agronomici non ci sono materiali di riferimento... bisognerebbe «fare» una pianta con certe caratteristiche note e volute...

Inoltre, soprattutto per i metodi diagnostici di pieno campo, dobbiamo pensare a come trasferire il concetto dei più laboratori...

### Verificare i parametri:

1-normalità: Si applicano test per verificare se l'ipotesi nulla –  $H_0$ , dati distribuiti normalmente – è da rigettarsi o meno. La norma ISO suggerisce di usare il test di Shapiro-Wilk (è il più utilizzato), anche se per campioni molto grandi ( $n > 40$ ) è meglio usarne altri (e.g., D'Agostino-Pearson).

2-identificazione di outliers: ISO suggerisce di utilizzare il test di *Grubbs*, prima di fare ANOVA e altre analisi, i dati vanno puliti con test statistici rigorosi:

$$G = \frac{|\bar{X} - X_{SOSPETTI}|}{\sqrt{\frac{1}{p-1} \sum_{i=1}^p (X_i - \bar{X})^2}}$$

$X_i$  sono i valori da testare (medie o repliche)

$p$  è il numero di valori da testare

Se uno (o più d'uno) dei valori da testare è significativamente diverso (più alto o più basso) dagli altri ( $G$  è maggiore del valore tabulato (1%)), allora quel valore è un outlier e va scartato

Esistono diversi test per l'omogeneità delle varianze: le varianze devono essere omogenee, ISO suggerisce il test di *Cochran*:

$$C = \frac{s_{\max}^2}{\sum_{i=1}^p s_i^2}$$

calcolo della  $C$  di Cochran:

- $s_i^2$  sono le varianze da testare
- $s_{\max}^2$  è la varianza maggiore
- $p$  è il numero di varianze da testare

Se  $C$  è maggiore del suo valore tabulato all'1%, la varianza maggiore è un outlier.

•**Linearità**: Nel nostro caso, la linearità di un metodo potrebbe essere la sua capacità di dare risultati direttamente proporzionali al valore rilevato con il metodo di riferimento (all'interno di un campo di validità). Si valuterà su diversi livelli con misure replicate.

•**Accuratezza trueness**: Rappresenta la differenza tra (i) la media dei valori ottenuti ripetendo molte volte la misura e (ii) il valore vero. ISO ne suggerisce il calcolo in termini di bias percentuale. Questa informazione può essere anche corredata da altri tipi di indicatori (difference-based indices, e.g., RMSE, EF, CRM, ...) Bias=Differenza

•**Accuratezza precisione e ripetibilità (stretta)**

Concordanza tra repliche di misura ottenute

•Nello stesso laboratorio

- Dallo stesso operatore
- Usando la stessa apparecchiatura
- In intervalli di tempo brevi

Strj: Deviazione standard della ripetibilità, deriva dalle repliche fatte su una stessa foglia. Ogni misura valori diversi, perché? Strumento non funziona bene oppure operatore sbaglia, se differenza tra due misure  $>$  del limite è un problema, se differenza  $<$  va bene, fa parte dell'incertezza del metodo.

Chi valida il metodo fornisce limite di variabilità (in seguito a prove), così chi lo usa sa quanta variabilità è ammissibile.

•**Ripetibilità lunga:** Uguale solo che gli intervalli di tempo sono lunghi, Lunghi?... "diverse serie analitiche con possibilità di cambiamento del lotto dei reattivi e dei materiali di consumo" ...cosa può voler dire per noi questo?

•**Riproducibilità:** Valori diversi, operatori diversi, vedo limite di riproducibilità, differenza tra valori di due operatori diversi.

•**Robustezza:** Insensibilità a piccole variazioni (deliberate) dei parametri sperimentali.

Abbiamo alcuni problemi

- Il materiale di riferimento
- La questione intervalli di tempo non brevi
- La questione laboratori, noi lavoriamo su piante vive
- Le variazioni deliberate per la robustezza
- Teoricamente l'operatore non sa mai cosa sta esaminando
- Come quantificare le risorse necessarie per le misure effettuate con i vari metodi?

ES:

- Campioni rappresentati da parcelle piccole ( $4 \times 4$  m) (per minimizzare l'eterogeneità)
- Repliche di misura rappresentate da quadranti ( $2 \times 2$  m) all'interno della parcella-campione (per minimizzare l'effetto del calpestamento dovuto alle molte misure effettuate)
- Laboratori rappresentati da gruppi "indipendenti" di più studenti (diversi operatori per laboratorio!), dotati solo della documentazione del metodo • linearità testata effettuando le analisi in diversi momenti del ciclo culturale (o anche, e.g., diversi livelli di concimazione)
- Trueness determinata utilizzando come "materiali di riferimento" misure effettuate in laboratorio (o con metodo "di riferimento")

### Misure dirette: Problematiche relative alla raccolta dei dati

Se il campione è piccolo non va bene, non è rappresentativo, ho poche misure. Importante determinare dimensioni del campione, avere un numero di entità sufficienti, abbastanza grande per permettere di stimare le caratteristiche dell'intera popolazione, ma non di più. Come si fa?

**•Esempi da letteratura riguardanti metodi alternativi per la determinazione delle dimensioni del campione:**

**1)Wolkowski: Determinazione biomassa aerea**

-Per ogni campo determino la dimensione del campione, faccio un precampionamento per capire quante piante campionare.

-Estrazioni random su una fila 5,10,15,20 coefficiente di variazione cambia ad ogni gruppo, effetto del caso. Calcola il coefficiente di variazione (CV), guarda quando il CV è più basso (CV più basso nel suo caso = 14%).

**2)Yonezawa:**

-10 piante per ogni località

-Analizzare un rilevante numero di località o popolazioni

Tanti piccoli campioni in più località (randomici)

**Tradizionalmente il numero del campione si calcola così:**

$$S = \text{Deviazione standard campione, non popolazione}$$

-Scelgo un determinato numero di piante (20), precampionamento

-Guardo tabella t, gradi di libertà  $20-1=19$

-Errore accettabile? Non ho media popolazione, cerco biblio, guardo CV di più articoli, faccio media e trovo errore accettabile. (CV=Coefficiente di variazione=Deviazione standard campione/media)

Questi calcoli li faccio su un precampionamento, scelgo 30 piante, precampionamento abbondante, usando queste piante trovo dimensione ideale del campione.

Spesso le caratteristiche della popolazione sono sconosciute (variano da situazione a situazione) E' impossibile conoscere a priori l'errore che può essere ritenuto accettabile: può essere più o meno grande a seconda del particolare campo sperimentale in esame e della sua storia. In questi casi è meglio analizzare la variazione relativa dell'errore dovuto al campionamento al crescere delle dimensioni del campione in esame piuttosto che basarsi su criteri assoluti per l'accettazione o meno di un certo errore.

**Problemi:**

- Con un numero limitato di osservazioni a disposizione (cosa che si verifica spesso nel caso di metodi lunghi o costosi) può essere un azzardo valutare la normalità (requisito per l'applicazione dei metodi classici per la determinazione delle dimensioni del campione).

- Può succedere che le varianze non siano omogenee.

- I metodi classici non prendono in considerazione lo sforzo necessario per ottenere il dato.

## **Piano B: Statistica non parametrica**

### **Nuove metodologie per dimensionamento del campione (vedi appunti rudy)**

#### **Pro:**

- Misure dirette molto precise (se ben raccolte)
- Modelli di simulazione: “spiegano”, abbastanza precisi (se ben utilizzati), poco costosi (sia in termini di tempo che di denaro), ottimi per analisi di scenari
- Indicatori agroecologici: molto economici (sia in termini di tempo che di denaro), possono in qualche modo essere utilizzati per analisi di scenari
- Telerilevamento: molto applicabile Sistemi Colturali.

#### **Contro:**

- Misure dirette:
  - Difficoltà metodologiche (difficoltà di misurare alcune variabili)
  - Ragioni pratiche (tempo, costi, problematiche relative alla scala)
  - Impossibile valutazione di scenari
  - Non “spiegano”
- Modelli di simulazione
  - Possono richiedere molti input (variabilità parametri [scala])
- Indicatori agroecologici
  - Non “spiegano”
  - Derivano da livelli di astrazione tra i quali può succedere di tutto
- Telerilevamento
  - Non “spiega”

#### **Gli indicatori agroecologici:**

Sono delle variabili che forniscono informazioni su altre variabili alle quali è difficile accedere. Pensate ad un esempio di indicatore per valutare la biodiversità delle comunità di animali non allevati in un territorio agricolo:

(Metri lineari di siepi o filari) / ha

L'alternativa sarebbe molto più lunga e costosa.

Gli indicatori forniscono, in un tempo relativamente breve, informazioni su processi e relativi impatti a diverse scale. Sono strumenti molto utili per la valutazione e per il supporto alle decisioni in quanto forniscono indicazioni sintetiche su sistemi complessi. Possono essere utilizzati per valutare il raggiungimento di obiettivi agronomici, economici ed ambientali. Diversi indicatori forniscono informazioni analizzando il sistema da punti di vista differenti. Può essere utile ed efficace aggregare più indicatori per valutare il sistema in modo "completo". E' necessario tenere presenti alcune proprietà degli indicatori, in grado di influenzarne il funzionamento.

-Legame più o meno diretto con un livello di scala

-Accuratezza

- Responsiveness (reattività?): capacità di cogliere rapidamente gli effetti di perturbazioni sul sistema
- Misurabilità: capacità di funzionare con dati già disponibili o facilmente ottenibili
- Interpretabilità: capacità di comunicare informazioni univoche e semplici da interpretare
- Economicamente vantaggiosi: ovviamente in rapporto all'informazione derivata

A rigore, gli indicatori non forniscono valutazioni assolute ma relative (confronti tra entità diverse, confronti prima-dopo), gli input per il calcolo degli indicatori spesso sono diversi, spesso un approccio semi-quantitativo può essere necessario per integrazioni che portano:

-A singoli valori (grandezze identificabili con unità di misura)

-Per gli indicatori più classici (e forse più difficili da sviluppare) a giudizi (informazioni qualitative).

In genere, si ritiene utile convertire i risultati in scale (es. da 0 a 10) in modo da facilitare sia il confronto che la valutazione del valore ottenuto, a tal fine, sono spesso forniti dei valori di soglia per gli indicatori. Anche in Italia sono utilizzati per valutare sistemi colturali/aziendali, forniscono indicazioni facili da interpretare ed in grado di guidare il miglioramento dei sistemi agricoli.

Alcuni esempi di indicatori che saranno discussi:

- Indicatore di ripartizione (diversità) colturale (Bockstaller and Girardin, 2000)
- Indicatore di successione colturale (Bockstaller and Girardin, 2000)
- Indicatore di efficienza energetica

### **Esempi indicatori agroecologici:**

#### **•Indicatore di ripartizione colturale (CDI) (Domanda esame)**

Premia le aziende che dimostrano di avere:

-Appezamenti ridotti (bordi campi)

-Diverse specie coltivate (diverse specie=biodiversità)

-Le coltivazioni devono essere ben distribuite

$$CDI = k \times NC \times D \times T$$

$$k = \begin{cases} 2 & NC < 4 \\ 5.0587 \times NC^{-0.6757} & NC \geq 4 \end{cases}$$

$$D = \frac{\sum_{i=1}^{NC} [p_i \times \ln(p_i)]}{\ln\left(\frac{1}{NC}\right)}$$

$$p_i = \frac{S_i}{S_t}$$

$$S_t = \sum_{i=1}^{NC} S_i$$

NC=Numero di colture

K=In funzione del numero di colture, più ne ho e meglio è

D=Valori alti se ho molte colture distribuite in modo equo, valori massimi quando le colture occupano la stessa superficie.

SI= Superficie occupata dalla coltura

$$T = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{NA} (c_i \times Sa_i)}{Sa_t}$$

$$Sa_t = \sum_{i=1}^{NA} Sa_i$$

NA=Numero di appezzamenti

Sai=Superficie di un appezzamento

T è in funzione del numero di appezzamenti

$$c_i = \begin{cases} 0 & Sa_i \leq L_{inf} \\ \left(\frac{1}{L_{sup} - L_{inf}}\right) \times Sa_i - \left(\frac{L_{inf}}{L_{sup} - L_{inf}}\right) & L_{inf} < Sa_i \leq L_{sup} \\ 1 & Sa_i > L_{sup} \end{cases}$$

Lim inf=Limite sotto il quale definisco piccolo un appezzamento (Es 5ha)

Lim sup=Limite sopra il quale definisco grande un appezzamento (Es 15)

Lim inf e sup sono parametri, valori fissi che però vanno calibrati a seconda della zona, le variabili invece variano nello spazio e nel tempo.

### •Indicatore di successione colturale (CSI):

Valuta gli effetti di una coltura sulla coltura successiva e considera:

1)Effetti su:

-Struttura del suolo

-Malattie delle piante

-Parassiti

-Infestanti

-Residui di azoto

Valuto sulla coltura successiva, una coltura può essere dannosa, neutra o positiva in successiva ad un'altra.

2) Numero di colture in rotazione negli ultimi 4 anni

3) Tempi di ritorno delle colture in successione: Ogni quanti anni ritorna una coltura sullo stesso appezzamento, ad esempio, il tempo di ritorno di una monocoltura o di mais più loiessa è 1 (torna ogni anno).

$$CSI = \frac{kd \times \sum_{i=1}^{NC} (kp_i \times kr_i)}{NC}$$

-NC: Numero di colture in rotazione

-Kd: Funzione in numero delle colture

-Kr: Funzione di delta t: t-tr dove t è il tempo di ritorno della coltura e tr è il tempo di ritorno consigliato.

-Kp: Effetto coltura sulla successiva (pesa effetto della coltura precedente), uso informazioni on tabella, valuto effetto delle colture su: struttura suolo, malattie, parassiti, erbe infestanti, azoto residuo (do valori compresi tra -3 e 1, dipende dall'effetto che voglio valutare). La valutazione viene fatta da esperti.

Effect on:	Score
Soil structure	from -1 to +1
Diseases	from -3 to +1
Parasites	from -2 to +1
Weeds	from -2 to +1
Nitrogen in residues	from -1 to +1

La somma (S), di tutti i valori ottenuti utilizzando la tabella viene convertita in valori di kp (da 1 a 6) utilizzando le seguenti regole:

S	<= -4	-3	-2	-1	0	>= +1
kp	1	2	3	4	5	6

$$kd = \begin{cases} 1 & NC \leq 2 \\ 0.2 \times NC + 0.6 & 2 < NC \leq 4 \\ 1.4 & NC > 4 \end{cases}$$

$$kr = \begin{cases} 0.23 \times \text{delta}_t + 0.99 & \text{delta}_t \leq 1 \\ 1.2 & > 1 \end{cases}$$

I valori di CSI calcolati per ogni successione possono essere mediati (pesando sulle dimensioni degli appezzamenti) per ottenere il valore aziendale. Indicatore va da 1 a 10.

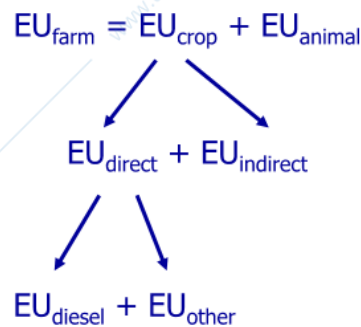
La monosuccessione del riso agronomicamente è sbagliata, però mantiene la biodiversità alta grazie alla presenza dell'acqua e con il riso sarebbe complicato non fare monosuccessione. Con la successione avrei dei vantaggi agronomici.

### • **Indicatore di efficienza energetica (IE): Esempio di indicatore poco efficace**

Problemi legati a:

- Emissioni di CO<sub>2</sub>
- Limitatezza fonti energetiche
- Costi

### **Richiesta energetica (EU; MJ)**



Con questo metodo vanno utilizzati diversi indici che però spesso non sono accurati, ad esempio I è l'indice che considera l'energia consumata per unità di volume di acqua applicata, non posso considerare un solo valore perché non è affidabile, dipende dal tipo di irrigazione, l'energia cambia.

Es: Se ho poca acqua devo tenere il trattore acceso per tanto tempo, aumento consumi, se ho un'ala gocciolante i consumi si riducono di molto perché utilizzo delle pompe piccole.

### **Sistemi colturali analizzati e gestiti con modelli di simulazione:**

#### **Modello matematico cos'è?**

- **Supporto alla gestione:** Classica domanda esame. Faccio paragoni a seconda dell'annata meteorologica. Il modello utilizzato è STICS.

(Domanda esame: Definire piani di irrigazione e concimazione specifici per il vostro sistema colturale in una specifica annata meteorologica).

Es: Meglio fare una presemina + due coperture o non fare la presemina e fare tre coperture? Oppure capire quando fare la concimazione di copertura per aumentare l'efficienza, prevedo inizio levata (del riso ad esempio) con il modello, appena prima della levata concimo.

#### • **Sistemi di allerta (Bollettini fitosanitari, quando trattare)**

- **Roggia "Acquafresca":** Causa per la gestione della roggia Acquafresca nell'estate del 2001. Nel 2001 si è aperto un contenzioso tra un importante comune lombardo e 4 (+ 3) aziende a sud di questo comune per via della gestione anomala della roggia Acquafresca. In questa parte di nord Italia, riso e

mais sono tra le colture più rappresentate. Il comune ha bloccato l'approvvigionamento idrico mentre queste colture si trovavano in fasi particolarmente critiche del loro ciclo. Gli agricoltori delle aziende coinvolte hanno intentato una causa contro il comune in questione per essere rimborsati e, attraverso il loro principale rappresentante, hanno contattato il Dipartimento di Produzione Vegetale per ottenere una perizia nella quale le perdite fossero stimate in modo quantitativo, oggettivo e trasparente. Essendo stato il 2001 un anno poco piovoso nel periodo di interesse, gli agricoltori temevano infatti che la controparte (il comune) attribuisse le colpe della mancata produzione all'annata invece che alla gestione della roggia Acquafresca. In pratica, hanno chiesto di quantificare le perdite distinguendo tra (i) quelle dovute al particolare andamento meteorologico dell'annata e (ii) quelle dovute alla gestione della roggia. I dati disponibili:

-Agrotecniche da interviste con gli agricoltori

-Dati meteo (da una stazione ERSAF)

-Dati sui profili: da agricoltori (analisi recenti dei suoli degli appezzamenti) e da carta dei suoli della regione Lombardia

-Parametri colturali (note le varietà) da calibrazioni effettuate negli anni precedenti presso il Dipartimento.

-Modello utilizzato: CropSyst

Le precipitazioni nel 2001 sono state inferiori alla media dei 30 anni e la loro distribuzione non è stata molto favorevole, questo ha fatto il paio con un maggior numero di giornate caratterizzate da scarsa nuvolosità, il fabbisogno idrico è stato superiore rispetto ad un'annata "media". Per mais si era dimostrato che: l'annata influiva solo per una piccola parte sulle perdite produttive totali; il resto era dovuto alla mancata disponibilità idrica. Essendo il riso normalmente sommerso nel territorio interessato, la tesi della controparte, ovviamente, non regge: a meno di annate catastroficamente siccitose, le riserve idriche sono in grado di assicurare la sommersione delle risaie.

• **Deroga direttiva nitrati:** Massimo 170Kg/ha in zona sensibile e 320Kg/ha in area non vulnerabile. In zona suscettibile c'è la possibilità di deroga, ad esempio dove uso cover crop, tra due colture di mais metto una cover crop, la coltura intercetta azoto e lo toglie. Faccio simulazioni per capire come distribuire più reflui per far sì che in falda finiscano sempre 20Kg in falda.

• **Gestione acqua per consorzio di bonifica:** Dare acqua a chi ne ha più bisogno, modello con GIS con tutte le risaie dell'Emilia Romagna, piattaforma in cui gli agricoltori inseriscono i dati di semina e varietà. Sistema esegue simulazioni per ogni risaia (GIS collegato a modello previsionale).

• **Sistemi di previsione di resa:** A metà stagione posso sapere la resa, UE e FAO vogliono sapere la resa in anticipo (previsione di resa) così sanno dove allocare risorse e capire chi ha la priorità nel ricevere sostegno economico oppure se so che avrò poca produzione (poca granella) mi muovo in anticipo e compro prima che il prezzo sia troppo alto. Speculazione, broker lucrano sulle comodites alimentari.

• **Impatto dei cambiamenti climatici – identificazione strategie di adattamento**

• **in silico ideotyping:** Testo le piante prima di fare il miglioramento genetico, il clima cambia progetto a PC le piante simulando un clima tra 20-30 anni, non posso testare nuove piante sul clima attuale perché si presuppone che le nuove varietà ci vuole diversi anni a farle e dureranno molti anni.

- **Assicurazioni parametriche:** Poco utilizzato in Italia, preferiti i periti, molto usato negli stati uniti, appezzamenti molto grossi.

- **Supporto alla gestione:** STICS

Possiamo concludere che i modelli di simulazione sono efficaci strumenti per l'analisi e la gestione di sistemi colturali.

**Ma ne esistono molti, quale scegliere?**

1) Tenere sempre ben presente che la qualità dell'output dipende:

- Dall'adeguatezza del modello
- Dalla sua robustezza
- Da come è stato parametrizzato
- Dalla qualità degli input

2) Per poter scegliere un modello in modo efficace bisogna:

- Avere molto chiaro il problema da risolvere
- Derivare un criterio di classificazione che tenga conto:
  - Della tipologia di problema da risolvere e
  - Delle condizioni di applicazione
- Analizzare le caratteristiche dei modelli disponibili sulla base del criterio di classificazione

E' necessario quindi definire un punto di vista (funzione del problema da risolvere e delle condizioni in cui ci troviamo ad operare) prima di tentare una classificazione dei modelli di simulazione di sistemi colturali che aiuti nella scelta. Il modello non è il sistema reale: fare sempre bene attenzione ai suoi limiti, un modello può infatti dare risultati aberranti se utilizzato senza considerare le sue caratteristiche.

### **Sistemi colturali analizzati e gestiti con modelli di simulazione**

Qualunque sia l'applicazione specifica per la quale viene richiesto l'uso di un modello di simulazione, è necessario:

- Identificare chiaramente gli obiettivi (cosa deve fare esattamente il mio modello?) e le condizioni di applicazione (es. scala, disponibilità di dati)
- Derivare un criterio quantitativo per valutare i modelli in base alla loro adeguatezza
- Utilizzare il criterio ottenuto per ordinare i modelli
- Scegliere il modello più adeguato per la specifica applicazione (il miglior modello per quell'obiettivo ed in quelle condizioni)
- Usare criticamente il modello scelto

Il criterio scelto per valutare i modelli disponibili dipende fortemente dal punto di vista.

**1) Accuratezza:** In modellistica, viene intesa come una stima dello scarto tra valori misurati e simulati. Esistono molti indici per valutarla. Confronto tra due serie di numeri (Valutazione dell'errore).

Attenzione che gli indici non danno tutti la stessa informazione: valutano aspetti diversi dell'accuratezza.

**2) Complessità:** Uso il modello più semplice, modifico leggermente parametri per adattarlo alle condizioni climatiche, adatto modello alla varietà, calibrazione modello.

-L'adeguatezza della soluzione fornita per spiegare un fenomeno

-Il fatto che quel livello di adeguatezza sia raggiunto nel modo più semplice possibile (se c'è una componente nella soluzione fornita che non ne incrementa l'adeguatezza, quella componente non spiega niente del fenomeno e quindi deve essere eliminata dalla soluzione).

**3) Robustezza:**

Un modello è robusto quando è in grado di riprodurre correttamente l'andamento nel tempo di diverse variabili di stato misurate in una gran varietà di condizioni pedoclimatiche e gestionali. E' uno degli aspetti chiave nella modellistica, dal momento che ha a che fare con l'abilità di un modello di funzionare in condizioni diverse da quelle per le quali è stato calibrato e validato (e.g., scenari climatici, gestionali, applicazioni a larga scala per uso operativo, servizi, ecc.).

La mancanza di robustezza può essere dovuta a:

- Incoerenza in alcune relazioni matematiche usate per formalizzare la conoscenza,
- Buchi di conoscenza
- Inclusione nei parametri del modello (che dovrebbero invece rappresentare solo le caratteristiche del sistema modellizzato, a prescindere dalle condizioni di applicazione) di fattori relativi a specifiche località, stagioni o agrotecniche.