

## **Irrigazione di mais da granella a rateo variabile mediante mappe indice di stress idrico da acquisizioni SPOT HRG**

Massimo Vincini, Ermes Frazzi, Ferdinando Calegari

CRAST, Centro Ricerca Analisi Spaziale e Telerilevamento, Università Cattolica del Sacro Cuore  
Via Emilia Parmense 84, 29100 Piacenza, massimo.vincini@unicatt.it,  
ermes.frazzi@unicatt.it, ferdinando.calegari@unicatt.it

### **Riassunto**

In una prova di irrigazione a rateo variabile (VRI), svolta su mais nel 2008 presso l'azienda sperimentale Tadini (Piacenza), è stata ottenuta una mappa di Riserva Idrica Utile (RIU) dell'appezzamento a partire dall'elaborazione dell'indice MSI (*Moisture Stress Index*) ottenuta da un'acquisizione SPOT HRG del 2005 mediante l'integrazione con misure georeferenziate della tensione dell'acqua nel terreno e della tessitura in alcuni punti dell'appezzamento. Sulla base dei valori di restituzione idrica sono stati calcolati due bilanci idrici, al netto di eventuali precipitazioni, per i due valori estremi di riserva idrica utile stimati con turni e volumi che assicurassero il mantenimento di un minimo attorno al 20% della riserva idrica utilizzabile ed il non superamento della capacità di campo ad tutte le condizioni di riserva idrica. Le mappe di prescrizione irrigua a rateo variabile sono state ottenute da una interpolazione lineare, sulla base spaziale della mappa di riserva idrica stimata, della delle due dosi irrigue attribuite per le posizioni a massima e minima riserva stimata in ciascun turno irriguo. Il turno è stato stabilito sulle aree a minor riserva idrica. L'irrigazione VRI è stata realizzata mediante un irrigatore per aspersione sviluppato dalla ditta Casella in grado di modificare velocità di recupero e velocità angolare del getto in funzione della posizione GPS. A parità di volumi irrigui per ogni singolo turno la resa produttiva nella parte di appezzamento irrigato in maniera variabile è stata del 20% in più rispetto alla parte irrigata con rateo costante.

### **Abstract**

An open field Variable Rate Irrigation (VRI) experiment was carried out on corn at the Vittorio Tadini experimental farm (Piacenza, Italy) on 2008. An Available Water Capacity (AWC) map of the experimental field was estimated using geo-referred measures of soil texture and water potential and using a MSI (*Moisture Stress Index*) map obtained from a SPOT HRG corn reflectance data collected on 2005 over the same field. Two irrigation water balances, based on standard local crop water requirements for each crop stage and rainfall, were calculated during the growing season for the two estimated extreme AWC values in the field. Variable rate irrigation prescription maps, aimed to maintain a minimum of 20% of AWC and to avoid to exceed the Field Capacity (FC) for each location in the field, were calculated by spatial linear interpolation based on the estimated AWC map of the two irrigation rates assigned for each irrigation turn to maximum and minimum AWC locations. Irrigation turns were set according to estimated minimum AWC depletion (i.e. aimed to maintain a minimum of 20% of AWC in locations with smallest AWC. VRI was carried out in part of the field by GPS-driven traveling sprinkler varying travel speed and gun angular speed to achieve desired rate within management zones, whereas in the other part of the field irrigation was carried out with constant rates corresponding to the spatial average of the VRI area (i.e. the same amounts of water were given to VRI and test –constant rate– areas in each irrigation turn). Grain production of VRI-irrigated corn outperformed that of test area by 20%.

## Introduzione

Mediante l'utilizzo integrato delle mappe indice di vegetazione telerilevate e dei risultati dei controlli al suolo è possibile produrre mappe di prescrizione degli input (fertilizzanti, acqua irrigua) a rateo variabile in agricoltura di precisione ottimizzate rispetto ai fabbisogni delle singole posizioni dell'appezzamento. Nelle operazioni di irrigazione a rateo variabile lo stato di stress idrico della coltura può essere caratterizzato mediante dati telerivati ad alta risoluzione spettrale nel visibile-infrarosso vicino con indici di efficienza fotosintetica istantanea quali quelli basati sulla fluorescenza, mediante dati multi-spettrali nell'infrarosso medio (SWIR) caratterizzanti la quantità di acqua liquida contenuta nella vegetazione o, mediante termocamere aerotrasportate, nel termico (TIR) mediante la stima della temperatura della vegetazione (stress idrico istantaneo). Con questi approcci la mappa di prescrizione della dose irrigua a rateo variabile può essere prodotta a partire da acquisizioni della riflettanza o emissione nel termico della coltura di cui si vuole ottenere la dose variabile per la successiva irrigazione, ed in questo caso necessita di un grado di tempestività nella fornitura ed elaborazione del dato telerilevato non ancora praticamente disponibile a livello applicativo, oppure le mappe di stress idrico, anche multi-temporali, possono essere utilizzate per inferire mappe di "fabbisogno" diversificato nell'ambito dei singoli appezzamenti da usarsi magari nella successiva stagione colturale. Gli indici di status idrico delle colture che utilizzano la riflettanza di bande SWIR, da lungo tempo disponibile con risoluzioni spaziali adeguate nei dati multi-spettrali satellitari, sono basati sull'assorbimento della radiazione a queste lunghezze d'onda da parte dell'acqua liquida presente nella vegetazione. Tali indici sono stati basati su rapporti tra bande le bande SWIR e NIR di Landsat TM (Gao, 1996) o SPOT (Ceccato et al., 2002a, 2002b) e si sono dimostrati sensibili alla quantità totale di acqua liquida contenuta nella vegetazione presente e non al tenore di umidità della medesima. Il presente lavoro descrive una prova di irrigazione a rateo variabile svolta su mais condotta mediante la stima di una mappa di riserva idrica utile dell'appezzamento a partire dall'elaborazione dell'indice MSI (*Moisture Stress Index*) ottenuta da un'acquisizione SPOT HRG del 2005.

## Materiali e metodi

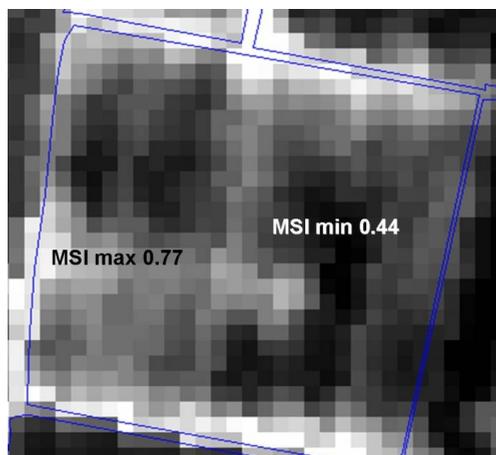
In una prova di irrigazione per aspersione a rateo variabile, svolta su mais nel 2008 presso l'azienda sperimentale Tadini (Piacenza) mediante irrigatori per aspersione a tecnologia VRI, è stata ottenuta una mappa di riserva idrica utile dell'appezzamento a partire dall'elaborazione dell'indice MSI (*Moisture Stress Index*) ottenuto da un'acquisizione SPOT HRG del 2005 mediante l'integrazione con misure georeferenziate della tensione dell'acqua nel terreno e della tessitura in alcuni punti dell'appezzamento. Ai fini di calibrare i bilanci idrico stimati alle reali condizioni del terreno in sei punti georeferenziate nell'appezzamento sono state interrate a 30 cm di profondità delle sonde Watermark® per la misura del potenziale idrico nel terreno.

L'indice di status idrico utilizzato è stato il *Moisture Stress Index* (Miller et al., 1990) ovvero il rapporto tra la riflettanza della coltura tra le bande dell'infrarosso medio (SWIR) e quelle dell'infrarosso vicino (NIR).

$$MSI = \frac{\rho_{SWIR}}{\rho_{NIR}} \quad [1]$$

L'indice aumenta al diminuire dell'acqua liquida contenuta nella vegetazione per area di coltura e si può quindi configurare come un indice di stress idrico. Come accennato precedentemente, gli indici basti sul contrasto delle bande dell'infrarosso medio e vicino si sono dimostrati sensibili alla quantità totale di acqua liquida contenuta nella vegetazione più che al tenore di umidità della medesima, per cui occorre, nella loro utilizzazione per la mappatura dello status idrico delle colture, tenere in considerazioni eventuali marcate differenze di biomassa nelle diverse zone dell'appezzamento.

La mappa-indice MSI dell'appezzamento, riportata in Figura 1, è stata ricavata dall'acquisizione, ancora su mais, del sensore SPOT HRG2 del 16 luglio 2005 (bande spettrali NIR tra 0.79 e 0.89  $\mu\text{m}$  e SWIR tra 1.58 e 1.75  $\mu\text{m}$ ). Tale acquisizione è stata raccolta a distanza da eventi piovosi o irrigazioni.



*Figura 1 – Indice MSI ottenuto dall'acquisizione SPOT HRG2 del 16 luglio 2005 (valori crescenti di stress idrico stimato dal nero- MSI=.44- al bianco - MSI=.77).*

Le condizioni di variabilità dell'indice di stress idrico descritte dall'acquisizione SPOT per l'appezzamento scelto dell'azienda sperimentale V. Tadini sono dovute ad effettive eterogeneità tessiturali (caso tipico di utilizzo delle immagini di stress idrico da telerilevamento) e tendono quindi a ripetersi nelle diverse stagioni vegetative. Un'indagine mirata a determinarne le cause ha riscontrato come tratto distintivo della zona a più alto stress una marcata presenza di scheletro rimescolato in tutto lo strato attivo e come strato ghiaioso al di sotto di esso (Figura 2). Tale osservazione sembra indicare, unitamente ai valori dei parametri analitici del terreno, che le basse rese in quella zona sono probabilmente dovute a stress idrico e probabili concomitanti carenze nutrizionali dovute ai bassi, localmente molto bassi, tenori di sostanza organica riscontrati nel terreno dell'appezzamento. La presenza della zona ghiaiosa, non fedelmente descritta dalle analisi tessiturali, ma individuabile nelle immagini satellitari, sicuramente costituisce un fattore non prevedibile in grado di influenzare l'efficacia delle mappe di prescrizione prodotte a partire dai dati granulometrici ma che invece le immagini telerilevate colgono efficacemente.



*Figura 2 – Presenza di scheletro rimescolato in tutto lo strato attivo in corrispondenza delle zone a maggior stress idrico per l'appezzamento sperimentale nelle immagini telerilevate.*

La variabilità nelle condizioni della vegetazione evidenziata in Figura 1 è quindi stata attribuita, mediante controlli mirati (*smart scouting*) nelle aree a maggior differenziazione dell'indice nell'appezzamento, a variazioni locali delle condizioni soprattutto tessiturali caratteristiche dei suoli.

Mediante le misure di tensione dell'acqua nel terreno e mediante i dati tessiturali delle posizioni estreme alle posizioni meno favorite (MSI massimo) è stata attribuita empiricamente una riserva idrica utile pari a 45 mm mentre a quelle più favorite una riserva idrica utile pari a 75 mm. Sulla base dei valori di restituzione idrica giornaliera indicati dal disciplinare di produzione del mais della regione Emilia Romagna sono stati calcolati due bilanci idrici, al netto di eventuali precipitazioni, per i due valori estremi (45 e 75 mm) con turni e volumi che assicurassero il mantenimento di un minimo attorno al 20% della riserva idrica utilizzabile ad entrambe le condizioni di riserva idrica.

Le mappe di prescrizione irrigua a rateo variabile sono state ottenute da una interpolazione lineare, sulla base spaziale della mappa di riserva idrica stimata, della delle due dosi irrigue attribuite per le posizioni a massima e minima riserva stimata in ciascun turno irriguo. Il turno di irrigazione è stato stabilito sulle aree a minor riserva idrica che naturalmente, a parità di restituzioni giornaliere, raggiungono la condizione critiche della riserva idrica utilizzabile più velocemente, mentre i volumi irrigui sono calcolati in funzione della diversa capacità stimata di riempimento della riserva idrica utile. In questo modo i volumi maggiori possono essere di volta in volta attribuiti alle posizioni a più alta riserva idrica stimata o a quelle a più bassa in funzione del grado stimato di riempimento della riserva stessa e delle capacità di ritenzione dell'acqua delle diverse posizioni.

La prescrizione irrigua a rateo variabile calcolata, in altre parole, tende ad assicurare alla vegetazione condizioni sempre favorevoli di tensione dell'acqua nel terreno mediante volumi irrigui che in nessuna posizione eccedano la capacità di immagazzinamento stimata (tesaurizzazione della risorsa idrica ed ottimizzazione del suo utilizzo).

L'eccezionale piovosità registrata per l'azienda sperimentale nei mesi di maggio e giugno ha notevolmente "accorciato" la stagione irrigua con una forte diminuzione dei volumi irrigui stagionali. L'irrigazione a rateo variabile è stata realizzata mediante il sistema di irrigazione per aspersione a rateo variabile realizzato dalla ditta Casella in grado di modificare velocità di recupero dell'irrigatore e velocità angolare del getto in funzione della posizione GPS. Come visibile in Figura 3 dove è riportata una composita RGB a falsi colori del campo sperimentale da dati AISA Eagle del 25/08/2008, la parte di appezzamento irrigata a rateo variabile, di area di circa 2 ha corrispondente alla copertura dell'irrigatore, è stata affiancata una parte irrigata a rateo costante di pari area con volumi irrigui medi e totali analoghi per ciascun turno (volume irriguo a rateo costante pari alla media spaziale dei volumi a rateo variabile).

### Risultati e discussione

Si riportano in Tabella 1 i volumi irrigui in mm relativi agli estremi della variabilità della dose irrigua date alle posizioni con minima (RIU min.) e massima (RIU max.) riserva idrica stimata e la media spaziale corrispondente ai volumi irrigui forniti alla parte di appezzamento irrigato a rateo costante.

Data irrigazione	Dose a RIU min. (mm)	Dose a RIU max. (mm)	Media spaziale (mm)
1 luglio	20	10	14
7 luglio	45	45	45
14 luglio	35	45	41
21 luglio	35	20	26
4 agosto	25	45	37
<b>TOTALI</b>	<b>160</b>	<b>165</b>	<b>163</b>

*Tabella 1 – Volumi irrigui in mm relativi agli estremi della variabilità della dose irrigua date alle posizioni con minima (RIU min.) e massima (RIU max.) riserva idrica stimata e media spaziale corrispondente ai volumi irrigui forniti alla parte di appezzamento irrigato a rateo costante.*

Si osserva in Tabella 1 che il totale stagionale della media spaziale (la dose irrigua media apportata con le prescrizione rateo variabile) è pari a 163 mm mentre il totale della dosi fornite alle zone di minima e massima riserva idrica stimata poco si discosta da tale valore. Si osserva anche che l'irrigazione del 7 luglio alla zona a minima RIU stimata, pari a 45 mm e quindi al totale della minima RIU, avveniva quando ormai la riserva idrica di quelle zone era stimata esaurita (non era cioè stato rispettato in quel caso il criterio di intervenire prima dell'esaurimento della riserva idrica).



*Figura 3 – Composita RGB a falsi colori del campo sperimentale da dati AISA Eagle del 25/08/2008.*

Il trattamento a rateo variabile (VRT) su mais ha conseguito, a parità di volumi irrigui per ogni singolo turno, un notevole vantaggio produttivo rispetto al trattamento tradizionale. A parità di acqua impiegata, la resa produttiva nell'appezzamento irrigato in maniera variabile è stata di circa il

20% in più (128 contro 106 quintali di granella per ettaro). I risultati della sperimentazione suggeriscono che mediante l'utilizzo integrato delle mappe indice di vegetazione telerilevate e dei risultati dei controlli al suolo è possibile produrre mappe di prescrizione irrigua a rateo variabile in agricoltura di precisione volte alla tesaurizzazione della risorsa idrica ed all'ottimizzazione del suo utilizzo.

### **Riferimenti Bibliografici**

- Ceccato, P., Gobron, N., Flasse, S., Pinty, B., & Tarantola, S. (2002a), "Designing a spectral index to estimate vegetation water content from remote sensing data: Part 1. Theoretical approach", *Remote Sensing of Environment*, 82: 188–197.
- Ceccato, P., Flasse, S., & Gregoire, J. (2002b), "Designing a spectral index to estimate vegetation water content from remote sensing data: Part 2. Validation and applications", *Remote Sensing of Environment*, 82:198–207.
- Gao, B. (1996), "NDWI—a normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space", *Remote Sensing of Environment*, 58: 257–266.
- Miller, J. R., Elvidge, C. D., Rock, B. N., Freemantle, J. R. (1990), "An Airborne Perspective on Vegetation Phenology From the Analysis of AVIRIS Data Sets Over the Jasper Ridge Biological Preserve", in: *Proceedings of the IEEE Geosciences and Remote Sensing Society/URSI 1990 Conference*.