

# APPLICAZIONE DEL MODELLO CERES -WHEAT PER LA VALUTAZIONE DEGLI IMPATTI DEI CAMBIAMENTI CLIMATICI SULLA FENOLOGIA E SULLA RESA DEL FRUMENTO DURO IN MAROCCO

Carla Cesaraccio<sup>1</sup>, Pierpaolo Duce<sup>1</sup>, Donatella Spano<sup>2</sup>, Valentina Mereu<sup>2</sup>, Andrea Motroni<sup>3</sup>, Gianluca Carboni<sup>4</sup>, Marco Dettori<sup>4</sup>, Hassan Benaouda<sup>5</sup>, Rachid Dahan<sup>5</sup>, Sliman El Hani<sup>5</sup>, Nasserlehaq Nsarellah<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Istituto di Biometeorologia, CNR-IBIMET, Sassari, [cesaraccio@ibimet.cnr.it](mailto:cesaraccio@ibimet.cnr.it), [duce@ibimet.cnr.it](mailto:duce@ibimet.cnr.it)

<sup>2</sup> Dipartimento di Economia e Sistemi Arborei, Università di Sassari, [spano@uniss.it](mailto:spano@uniss.it), [vmereu@uniss.it](mailto:vmereu@uniss.it)

<sup>3</sup> ARPA Sardegna - Dipartimento Specialistico Regionale Idrometeorologico, Sassari, [amotroni@arpa.sardegna.it](mailto:amotroni@arpa.sardegna.it)

<sup>4</sup> AGRIS Sardegna, Dip. Ricerca nelle Prod. Vegetali, Cagliari, [mdettori@agrisricerca.it](mailto:mdettori@agrisricerca.it), [gcarboni@agrisricerca.it](mailto:gcarboni@agrisricerca.it)

<sup>5</sup> INRA, Centre Régional de la Recherche Agronomique, Settat, Marocco, [arido@menara.ma](mailto:arido@menara.ma)

## Abstract

In questo lavoro è stato applicato il pacchetto software DSSAT versione 4.0.2 (Jones et al., 2003), che integra al suo interno il modello *CERES-Wheat* sviluppato per il frumento. Gli obiettivi del lavoro sono: (1) la calibrazione del modello *CERES-Wheat* per alcune aree test del Marocco e (2) la sua applicazione come strumento di analisi per la valutazione degli effetti dei cambiamenti climatici sulla produttività del frumento duro in Marocco.

Sono stati considerati gli scenari climatici futuri SRES A2 e A1B (IPCC, 2007). Per produrre serie di dati climatici futuri (proiezioni per il 2025, 2050 e 2100) a scala locale è stata applicata la *Pattern Scaling Technique* (Dubrovský et al., 2005). L'analisi ha evidenziato una progressiva riduzione dei livelli di produzione e una contrazione del ciclo di produzione passando dalle proiezioni al 2025 a quelle al 2050 e al 2100, con risultati più drastici per lo scenario A2 rispetto allo scenario A1B.

## Introduzione

I modelli di simulazione per la previsione del ciclo di sviluppo delle colture agrarie sono applicati largamente come strumento operativo per la simulazione dei processi di crescita e sviluppo delle colture agrarie e delle risposte che si ottengono coltivando le diverse specie e varietà in condizioni pedo-climatiche differenti. Esiste un'ampia letteratura che descrive e analizza l'applicazione di tali modelli per realizzare obiettivi specifici, tra i quali: la valutazione dell'impatto dei cambiamenti climatici, delle tecniche di miglioramento genetico e di gestione colturale e altri ancora (Rinaldi, 2004, Ludwig e Asseng, 2006).

In questo lavoro è stato applicato il pacchetto software DSSAT versione 4.0.2 (Jones et al., 2003), che integra al suo interno il modello *CERES-Wheat* specificatamente sviluppato per la coltura del grano (Ritchie e Otter-Nacke, 1985). Gli obiettivi principali del lavoro sono: (1) calibrare il modello di simulazione dello sviluppo e della resa del frumento duro *CERES-Wheat* per alcune aree test del Marocco e validarlo utilizzando serie storiche indipendenti, e (2) applicare il modello calibrato come strumento di analisi per la valutazione degli effetti dei cambiamenti climatici futuri sulla produttività del frumento duro in Marocco.

## Materiali e metodi

Il modello è stato calibrato relativamente alle variabili: (1) resa in granella ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) come indicatore della produzione di biomassa, e (2) data di fioritura (numero di giorni a partire dalla semina) per quanto riguarda lo sviluppo fenologico. Per la sua valutazione sono stati calcolati alcuni indici statistici: *Root Mean Square Error* (RMSE), *General Standard Deviation* (GSD), *Coefficient of*

*Residual Mass* (CRM), e *Index of Agreement* (D-index) (Wilmott 1981; Savage 1993).

I dati agronomici e varietali provengono dalle sperimentazioni dell'INRA (Institut National de la Recherche Agronomique, Marocco). In particolare, sono state considerati sei siti: Sidi el Aidi (Lat 33°07' N, Long 7°37' W, 80 m a.s.l.); Merchouch (Lat 33°43' N, Long 6°18' W, 114 m a.s.l.); Afouer (Lat 32°12' N, Long 6°32' W); Jemaa Shaim (Lat 32°20' N, Long 8°50' W); Khemis Zemamra (Lat 32°37' N, Long 8°42' W); Tessaout (Lat 31°27' N, Long 6°53' W).

La calibrazione è stata riferita alla cultivar *Karim* e a due stagioni di crescita: 2005-2006 e 2006-2007, per le stazioni di Sidi el Aidi e Merchouch. Gli esperimenti sono stati condotti in irriguo e in asciutto e per ciascuna condizione sono state effettuate ripetizioni con diversi livelli di apporto dei fertilizzanti azotati. Per validare il modello, è stato utilizzato un set di dati indipendente per il periodo 2001-2005.

Il modello di simulazione *CERES-Wheat*, è stato infine applicato per la valutazione degli effetti dei cambiamenti climatici sulla produttività della coltura del grano duro in Marocco. Sono stati utilizzati gli scenari climatici A1B e A2 (IPCC, 2007) e il modello di circolazione generale dell'atmosfera dell'Hadley Centre (UK) version 3 (HadCM3). Per produrre serie di dati climatici futuri a scala locale (proiezioni per il 2025, 2050 e 2100) è stata applicata la *Pattern Scaling Technique* (Dubrovský et al., 2005).

## Risultati

L'andamento delle rese simulate è stato piuttosto consistente con le rese osservate in tutti i casi sperimentali

da noi esaminati, con correlazioni altamente significative sia nel caso delle rese (Figura 1) sia nel caso delle date di fioritura (dati non mostrati).

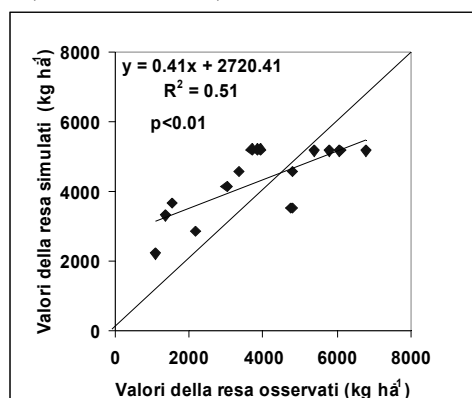


Fig. 1 - Confronto fra i dati di resa del frumento duro osservati e simulati durante la fase di calibrazione.

Gli ottimi risultati ottenuti durante la fase di calibrazione sono stati confermati anche dalla validazione (Tabella 1). Tutti gli indici indicano errori piuttosto contenuti, con una leggera tendenza alla sovrastima (valori di CRM negativi). Infine, l'indice di valutazione globale del modello D-index restituisce valori molto elevati per la resa (0.77) e valori medi per l'antesi (0.48), indicando una capacità previsionale del modello piuttosto elevata.

Tab. - 1. Validazione del modello: risultati dell'analisi statistica. Nella tabella sono riportati: il coefficiente di correlazione ( $r$ ), la significatività, il Root Mean Square Error (RMSE), la General Standard Deviation (GSD), il Coefficient of Residual Mass (CRM), e l'indice di valutazione globale D-Index.

	RESA (kg ha <sup>-1</sup> )	FIORITURA (dap)
$r$	0.67	0.76
	$p < 0.001$	$p < 0.001$
RMSE	1136	24
GSD	36	23
CRM	-0.12	-0.22
D-index	0.77	0.48

Le rese stimate utilizzando i dati meteorologici sintetici sono state confrontate con quelle ottenute dai dati climatici delle proiezioni future. Il confronto ha consentito di valutare i possibili effetti degli scenari climatici futuri sulla produzione di frumento duro nelle principali aree di produzione del Marocco.

Per quanto riguarda la produzione, per entrambi gli scenari di emissione applicati, è stata evidenziata una generale e progressiva riduzione delle rese, passando dalle proiezioni al 2025, al 2050 e infine al 2100. L'applicazione dello scenario A2, scenario più drastico, ha mostrato una più marcata riduzione delle produzioni (Figura 2).

Nello scenario di emissione A2, l'impatto dei cambiamenti climatici determina una riduzione della resa

del frumento duro in Marocco fino a valori medi del 35% e massimi del 52% nel lungo periodo (2100).

Inoltre, è stato osservato nel breve periodo (proiezione al 2025 un anticipo della data di fioritura tra 2-4 giorni

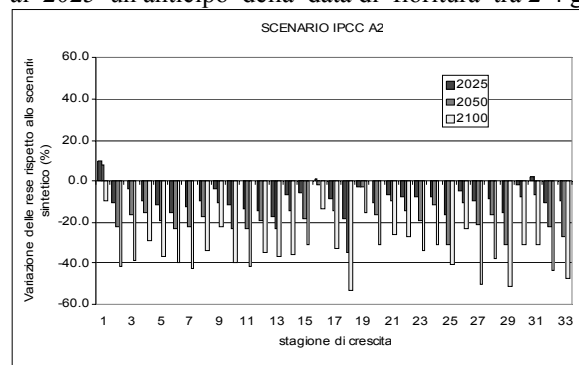


Fig. - 2. Variazioni percentuali delle rese rispetto allo scenario di riferimento nello scenario futuro A2 dell'IPCC con proiezioni al 2025, 2050 e 2100.

rispetto allo scenario sintetico di riferimento) con un anticipo delle date di fioritura tra 4 e 9 giorni per le proiezioni nel medio (2050) e lungo (2100) periodo.

## Conclusioni

I risultati di questo lavoro mostrano le buone potenzialità applicative del modello *CERES-Wheat* nella determinazione degli scenari produttivi futuri della cerealicoltura in Marocco. L'applicazione di tale strumento può, pertanto, contribuire allo sviluppo di linee guida per la messa a punto di strategie di adattamento ai futuri cambiamenti climatici.

## Ringraziamenti

Questo lavoro è stato realizzato nell'ambito del progetto di cooperazione internazionale CLIMED – *Operational tools to assess climatic risk of Mediterranean agricultural areas*, cofinanziato dalla Regione Autonoma della Sardegna (L.R. n. 19/96, "Norme in materia di cooperazione con i Paesi in via di sviluppo e di collaborazione internazionale").

## Bibliografia

- Dubrovský M., Nemesova I., Kalvova J., 2005. Uncertainties in climate change scenarios for the Czech Republic. *Clim. Res.*, 29: 139-156.
- IPCC 2007. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Working Group I Contribution to the Fourth Assessment Report.*
- Jones J.W., Hoogenboom G., Porter C., Boote K., Batchelor W., Hunt L.A., Singh U., Gijsman A., Ritchie J., 2003. *The DSSAT cropping system model.* *Europ. J. Agron.*, 18: 235-265.
- Ludwig F., Asseng S., 2006. *Climate change impacts on wheat production in a Mediterranean environment in Western Australia.* *Agr. Syst.*, 90(1-3): 159-179.
- Rinaldi M., 2004. *Water availability at sowing and nitrogen management of durum wheat: a seasonal analysis with the CERES-Wheat model.* *Field Crop Res.*, 89: 27-37.
- Ritchie J.T., Otter-Nacke S., 1985. *Description and performance of CERES-Wheat: use-oriented wheat yield model.* In: *ARS wheat yield project. ARS-38 Natl. Tech. Inf. Serv., Springfield, VA*, pp. 159-175.
- Savage M.J., 1993. *Statistical aspects of model validation. Workshop on the field water balance in the modeling of cropping systems.* University of Pretoria, South Africa.
- Willmott C.J., 1981. *On the validation of models.* *Physical Geography*, 2: 184-194.