

Antonella Pontrandolfi*, Giovanni Cappelli*, Fabrizio Ginaldi*

Ricerca e innovazione per la gestione del rischio in agricoltura: sviluppi metodologici e strumenti di supporto

RIASSUNTO

Il contributo illustra lo stato dell'arte nella ricerca sul rischio climatico, delineando le priorità di analisi nel settore agricolo e i possibili sviluppi degli studi in corso. L'inquadramento della tematica rispetto agli studi e agli *statement* dell'IPCC sulle calamità naturali nel contesto dei CC evidenzia la stringente necessità di studi sugli eventi estremi a scale adeguate, approfondendo aspetti quali l'impatto sulle produzioni, la riduzione del rischio nelle aziende e la definizione di strumenti efficaci per gestire il post-calamità. Sono poi descritte le banche dati disponibili, esempi metodologici di analisi meteo-climatiche e i modelli di impatto in uso, nonché le loro prospettive di applicazione a supporto del contesto agricolo italiano (progetto CREA AgroModelli, obiettivi e risultati attesi). Il contributo si conclude con riflessioni su ulteriori necessità di innovazione, quali studi di impatto su diverse colture di interesse nazionale (vite, altre arboree), sviluppo di modelli previsionali stagionali, integrazione tra dati storici, geostatistica e *remote sensing*.

ABSTRACT

The paper illustrates the state of the art of research on climate risk assessment, by outlining the priorities in the analysis of the agricultural sector. According to the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), the steadily increasing frequency and magnitude of natural disasters highlights the urgent need for studies on the impact of extreme weather events on crop productivity at a proper scale (minimizing the farmers' and companies' risk exposure, definition of effective tools to manage the post-disaster phase). In this context, available databases, methodological examples of weather-climate analysis and statistical/processed-based impact models are described in light of the potential for their combined application within the Italian agricultural compartment (CREA AgroModelli project, objectives and expected results). The last section of the paper deals with further research questions to be tackled: studies on most

* Consiglio per la ricerca in agricoltura e l'analisi dell'economia agraria CREA – Centro di ricerca Agricoltura e Ambiente

relevant Italian crops, e.g. grapevine, early forecasting and warning systems, the integration between historical data, geostatistics and remote sensing approaches.

INTRODUZIONE

La dipendenza delle attività agricole dalla variabilità delle condizioni meteo-climatiche e il rischio di produzione associato rappresentano da sempre fattori di criticità determinanti per l'agricoltura italiana, tanto da portare alla definizione di provvedimenti legislativi *ad hoc* per garantire la conservazione del patrimonio produttivo e di promuoverne il ripristino. Proprio a questo scopo è stato istituito, a partire dagli anni '70, il Fondo nazionale di solidarietà per le calamità naturali in agricoltura, che si basa fundamentalmente sull'utilizzo di assicurazioni agevolate come strumento di gestione del rischio in Italia.

Negli ultimi decenni, tuttavia, i cambiamenti climatici (CC) in corso hanno messo in luce i limiti dei provvedimenti in uso, a causa del rapido aumento dell'incertezza delle condizioni ambientali che influenzano direttamente la produzione agricola. Il settore primario è, in effetti, il più esposto e vulnerabile ai CC, con proiezioni correnti che includono: aumento delle temperature medie, modifica dei *pattern* delle precipitazioni, aumento dei fenomeni meteorologici estremi che portano a calamità (IPCC, 2013). Le condizioni ambientali e climatiche dei Paesi Mediterranei, in particolare della penisola italiana, sono molto eterogenee, fattore che rende le produzioni più variegata e ricche, ma al contempo più soggette a rischi per le produzioni tipiche locali.

In base a tali considerazioni, la gestione del rischio assume una rilevanza strategica nella gestione aziendale e, in alcuni casi, un fattore decisivo per la sopravvivenza stessa delle aziende. Emerge, quindi, l'esigenza di migliorare le conoscenze, le metodologie di analisi e gli strumenti di supporto nel settore.

Il fabbisogno maggiore di conoscenza riguarda gli assunti di base dell'attuale gestione del rischio, che andrebbero adeguati ai nuovi scenari, con definizioni e analisi riviste nel contesto dei CC (Jones e Mearns, 2015).

METODOLOGIE E MODELLI DI SUPPORTO

Analisi del rischio climatico

Con riferimento ai rischi connessi a eventi meteorologici, nella valutazione del rischio in agricoltura è ormai determinante introdurre il concetto di rischio "climatico", inteso

come rischio derivante dai nuovi assetti dovuti ai CC (IPCC, 2012). L'introduzione del concetto di "*climate extremes*", in particolare, è importante per l'analisi del rischio perché l'aumento degli estremi climatici probabilmente porterà ad un aumento delle "calamità" (Alexander, 2016), definite come gravi alterazioni nel normale funzionamento dei sistemi produttivi umani per eventi fisici che interagiscono con condizioni vulnerabili e che richiedono una risposta immediata all'emergenza. In questo nuovo quadro concettuale, il rischio è influenzato non solo dal pericolo (*hazard*), ma anche dall'esposizione e dalla vulnerabilità dei sistemi umani e/o naturali colpiti. L'esposizione al rischio si riferisce alla presenza di sistemi in cui possono verificarsi gli eventi, mentre la vulnerabilità è la predisposizione a subire impatti negativi (danni economici dovuti alla predisposizione/propensione a subire impatti avversi, alla ridotta resilienza di sistema e/o incapacità di risposta nel fronteggiare e adattarsi). La vulnerabilità è una qualità del sistema (IPCC, 2012). Ciò significa che la calamità non è strettamente associata al verificarsi di condizioni meteorologiche estreme (cioè statisticamente fuori norma), ma può verificarsi anche in presenza di un evento non estremo in sistemi più vulnerabili (Lavell et al., 2012).

È, quindi, importante disporre di dati oggettivi, stime attendibili e modelli di analisi solidi sui trend meteo-climatici e sull'occorrenza e l'intensità degli eventi estremi (IPCC, 2012), definendo la diversa vulnerabilità delle aree agricole al rischio climatico. Ciò porterebbe ad estendere ai sistemi agricoli un filone di indagine sulla quantificazione della vulnerabilità molto attivo negli ultimi anni (Gilard, 2016), ma che riguarda, ad oggi, principalmente le aree urbane e le coste (IPCC, 2012).

Inoltre, la letteratura scientifica di settore sottolinea chiaramente come la gestione del rischio climatico abbia due componenti: la riduzione del rischio (azioni di prevenzione e riduzione dei possibili danni) e la gestione della calamità (risposta immediata post evento) (Burton et al., 2012). Negli attuali e più diffusi schemi di gestione del rischio a livello internazionale, invece, solo la seconda componente è diffusa e si basa fondamentalmente su strumenti economici, principalmente assicurazioni, supportate da politiche pubbliche di supporto (Mahul e Stutley, 2010; CEIGRAM, 2016). Paragonati agli investimenti strutturali, sono considerati più efficaci grazie alla loro adattabilità alle condizioni esterne e alla flessibilità di applicazione (i contratti assicurativi o i regolamenti dei fondi di mutualità, ad esempio, hanno oggetto e parametri modificabili anche annualmente). In Italia, l'uso quasi esclusivo delle assicurazioni nella gestione del

rischio ha presentato negli anni limiti di sviluppo (Pontrandolfi et al., 2016a). Inoltre, da recenti studi sulle principali direzioni in cui gli agricoltori italiani si muovono per affrontare il rischio, l'approccio aziendale appare ancora fortemente orientato alla preferenza di mezzi tecnici (pratiche agricole, pesticidi, fertilizzanti e irrigazione), piuttosto che di strumenti economici (assicurazioni, accesso al credito, risparmio, ecc.) e di gestione (consulenza, innovazione, ecc.) (Pontrandolfi et al., 2016b). A livello europeo, con il regolamento n. 1305/2013 sul sostegno allo sviluppo rurale per il periodo 2014-2020, la Commissione ha introdotto specifiche misure, ma gli strumenti non sembrano decollare, confermando le riflessioni sulla necessità di rivedere la gestione del rischio e le politiche collegate (CEIGRAM, 2016).

Sulla base di tali considerazioni, è importante valutare il contributo che gli strumenti economici di gestione del rischio possono dare in relazione ai CC, perché, per essere realmente efficaci, necessitano di una forte integrazione in un più generale quadro di politiche e azioni di adattamento (Stahel, 2009). Su questo fronte, appaiono promettenti le assicurazioni parametriche, basate su indici meteo-climatici e valori soglia anziché sul danno subito (Kapphan et al., 2012; Hudson et al., 2016), ma necessitano di analisi meteo-climatiche solide e correlazioni tra variabili affidabili (Conradt et al., 2015).

In questo contesto, sono stati svolti alcuni primi studi specifici per le aree agricole italiane, incentrati al momento sulla definizione degli indicatori di esposizione e vulnerabilità delle aree agricole (Pontrandolfi et al., 2016a). In Italia, è attualmente disponibile un geodatabase CREA-AA contenente dati storici sulle calamità in agricoltura, realizzato da ex-INEA (ora CREA) con finanziamento del Ministero delle politiche agricole alimentari e forestali tra il 2010 e il 2016. Il DB riporta le informazioni contenute nei decreti di riconoscimento dello stato di calamità naturale[†] dagli anni novanta. Gli eventi estremi e i danni associati definiti nei decreti inclusi nel database sono quelli oggetto di fondi compensativi, in accordo con la legge italiana di riferimento, il decreto legislativo n. 102/04 sul Fondo di solidarietà per le calamità

[†] Usando come riferimento la Commissione europea, il Capitolo V degli Orientamenti comunitari per gli aiuti di stato nel settore agricolo e forestale 2007-2013 "Gestione dei rischi e delle crisi" distingue le tipologie di aiuto a seconda che i danni da indennizzare siano arrecati da: calamità naturali, avverse condizioni climatiche, epizootie, fitopatie. Tra le calamità naturali sono annoverati: i terremoti, le valanghe, le frane e le inondazioni. La Commissione non riconosce generalmente l'insorgere di malattie animali o vegetali come calamità naturali o eventi eccezionali, a meno che non si tratti di eventi particolarmente disastrosi (per diffusione) di cui lo Stato membro dimostri e giustifichi il carattere di eccezionalità.

naturali in agricoltura. I decreti riportano la data e il tipo di evento (siccità, ondate di calore, grandine, piogge alluvionali, piogge persistenti, gelate, forti venti, ecc.), il periodo di occorrenza (numero di giorni), i comuni e la relativa SAU coinvolti (o le intere province), i danni economici riconosciuti. Queste informazioni necessitano di essere implementate. Il livello di dettaglio necessario per poter definire adeguatamente i livelli di rischio climatico deve comprendere le colture e i sistemi produttivi. Inoltre, manca un'interpolazione con analisi agrometeorologiche per le verifiche del livello di "eccezionalità" statistica degli eventi. Infine, andrebbero inseriti anche i risarcimenti assicurativi e le relative specifiche per colture coinvolte, aspetti importanti per l'approfondimento della simulazione tecnico finanziaria volta a mettere a punto strumenti innovativi quali le assicurazioni parametriche.

Modellistica di simulazione degli impatti

Un filone di ricerca in fase di grande sviluppo che potrebbe dare un importante contributo alla gestione del rischio in agricoltura è quello della modellistica di simulazione con modelli colturali basati sui processi, strumenti comunemente utilizzati per quantificare i livelli produttivi attuali ed effettuare valutazioni previsionali in scenari pedoclimatici multipli, considerando ad esempio l'impatto del riscaldamento globale e degli eventi estremi sulla produttività (White et al., 2011; Donatelli et al., 2015). I modelli biofisici, infatti, consentono di riprodurre le complesse interazioni tra pianta, clima, suolo e pratiche agricole, attraverso simulazioni spazialmente esplicite, effettuate prevalentemente a passo temporale giornaliero. A questo proposito, l'implementazione informatica dei modelli mediante programmazione orientata ai componenti consente di comporre soluzioni di modellazione (MS) personalizzate, riutilizzabili ed estendibili, collegando set di componenti software che rappresentano sotto-domini specifici del sistema (coltura, acqua del suolo, ecc.) a basi di dati georeferenziate relative a meteorologia, proprietà del suolo e pratiche gestionali adottate nell'area di studio. Nei paragrafi successivi si riportano un esempio di costruzione di soluzione di modellazione e un esempio di metodologia integrata per applicare i modelli a supporto della gestione del rischio in agricoltura.

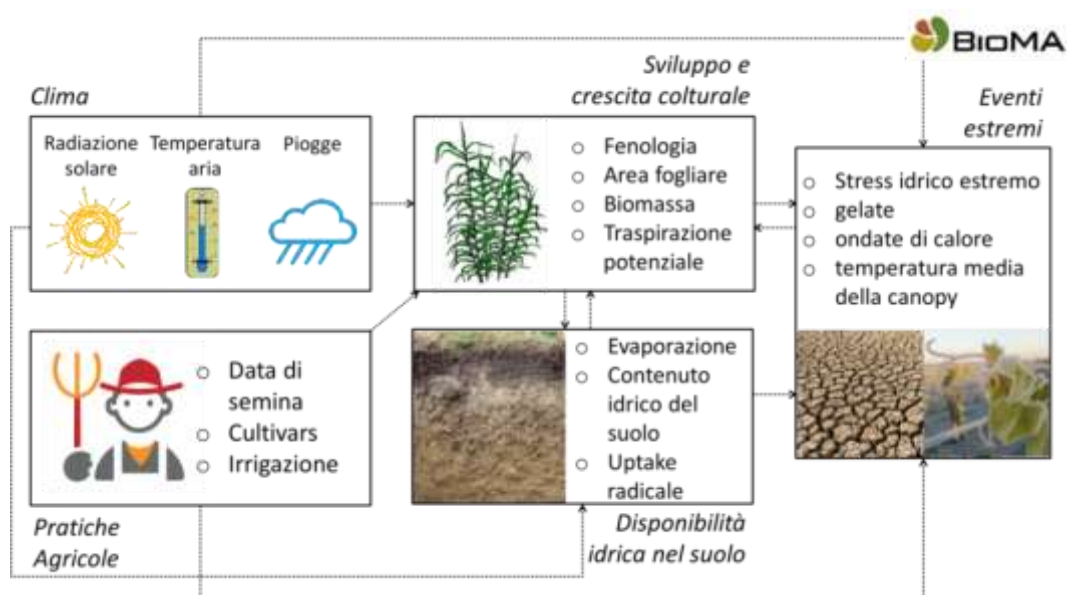
Soluzioni di modellazione

Lo sviluppo delle MS è eseguito in accordo con le linee guida della piattaforma di simulazione BioMA (<https://en.wikipedia.org/wiki/BioMA>), sviluppata dal CREA -

Centro di ricerca Agricoltura e Ambiente e correntemente in uso alla Commissione Europea per effettuare previsioni colturali a qualsivoglia orizzonte temporale (<https://ec.europa.eu/jrc/en/mars>). All'interno di questo "framework", il sistema colturale da simulare viene suddiviso in sotto-compartmenti dominio specifici (suolo, coltura, ecc.), che vengono modellizzati singolarmente ed in modo indipendente in unità software chiamate componenti. Una MS rappresenta l'aggregazione delle componenti necessarie a rappresentare in modo esauriente l'ambiente biofisico da modellare. All'interno di BioMA ogni soluzione di modellazione può essere eseguita in modo spazialmente esplicito, applicando in parallelo configurazioni di simulazione specifiche per ogni unità spaziale o reiterando la medesima configurazione su diverse unità di simulazione. La piattaforma di simulazione consente inoltre all'utente di effettuare simulazioni in modalità multi-anno, considerando diversi scenari climatici o gestionali, nonché di salvare i risultati giornalieri delle simulazioni, di interrogare le tabelle dei risultati prodotte e mappare gli output.

Un esempio di MS per la simulazione, a passo temporale giornaliero, dell'impatto di eventi estremi su una generica coltura praticata in condizioni limitate da stress idrico è rappresentato schematicamente in figura 1.

Figura 1 – Schema generale di una soluzione di modellazione per la simulazione, dell'impatto di eventi estremi su una generica coltura praticata in condizioni limitate da stress idrico.



Tale MS prevede:

- i) un componente colturale che simuli lo sviluppo fenologico e la crescita della pianta. Sono attualmente disponibili implementazioni di modelli generici (WOFOST, van Diepen et al., 1989; CropSyst, Stockle et al., 2003; AquaCrop, Raes et al., 2009; TomGro, Jones et al., 1991; Lousky et al., 2013) e specifici (WARM, Confalonieri et al., 2009; Canegro, Inman-Bamber 1991; Arungro, Stella et al., 2015) per la simulazione delle principali colture erbacee di interesse nazionale, nonché approcci per simulare pascoli (STICS-Pasture, Brisson et al., 1998) e colture arboree quali nocciolo (Hazel, Bregaglio et al., 2016), pioppo (ESRC, Facciotto et al., 2012) e vite (Leolini et al., 2018);
- ii) un componente climatico che renda disponibile al modello i dati meteorologici giornalieri sito-specifici per il periodo di interesse: il set minimo di variabili necessarie per l'effettuazione di una simulazione comprende: temperatura minima e massima dell'aria (°C), precipitazioni (mm), radiazione solare globale (MJ m^{-2}), velocità del vento (m s^{-1});
- iii) una componente suolo che simuli le dinamiche dell'acqua nel suolo, calcoli l'acqua disponibile per l'assorbimento radicale, e tenga conto delle perdite evapotraspirative ([UNIMI.SoilW, http://agsys.cra-cin.it/tools/default.aspx](http://agsys.cra-cin.it/tools/default.aspx));
- iv) un componente per la gestione delle pratiche colturali (e.g. lavorazioni, data di semina, date e volumi degli interventi irrigui) e la simulazione del loro impatto sul sistema colturale (CRA.AgroManagement, Donatelli et al., 2016a);
- v) un componente per simulare la risposta delle colture agli eventi estremi (MODEXTREME.WeatherExtremesImpact, Villalobos et al., 2015; Gilardelli et al., 2018).

Le componenti sono tra di loro legate: l'output di un componente può essere l'input di un altro. Per esempio, ad ogni passo di simulazione, il componente colturale stima il tasso di traspirazione potenziale della coltura e, se il contenuto d'acqua nel suolo soddisfa le richieste, non si verifica stress idrico. In caso contrario, l'assorbimento radicale viene limitato al contenuto idrico disponibile nel suolo.

La MS gestisce il tempo di simulazione e l'ordine di chiamata delle singole componenti all'interno di un singolo passo di simulazione.

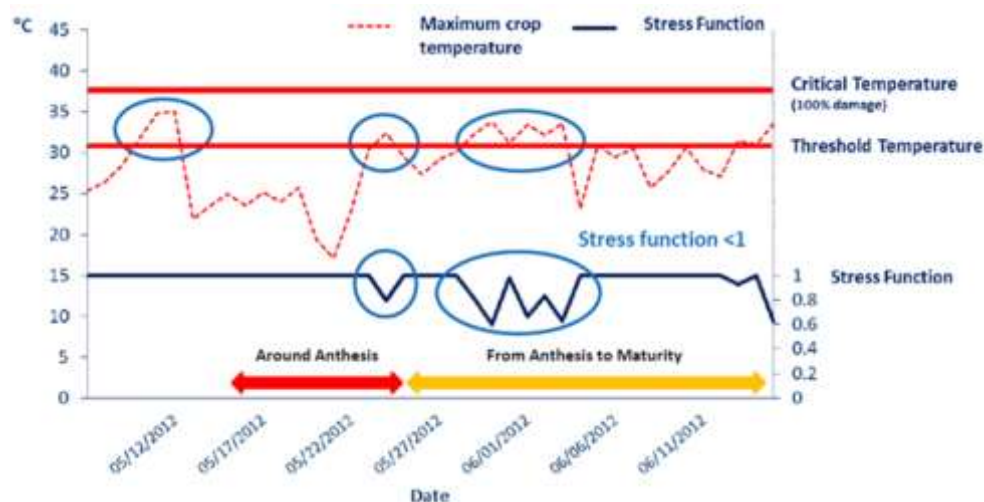
Componente per la simulazione dell'impatto degli eventi estremi sulle produzioni

Eventi estremi quali ondate di calore, shock da freddo, siccità e gelate influiscono direttamente e indirettamente sui sistemi colturali, alterando la fisiologia e il comportamento delle piante, con impatti sulla produttività, sulla stagionalità e sulla qualità delle produzioni (Lesk et al., 2016).

I modelli colturali comunemente in uso non sono tuttavia in grado di riprodurre adeguatamente l'impatto degli eventi climatici estremi sui sistemi colturali (Donatelli et al., 2016b; Gilardelli et al., 2018), limitandone fortemente le potenzialità predittive anche in aree temperate, specialmente in ottica dei cambiamenti climatici in corso. A questo preciso scopo, nell'ambito del progetto EU-FP7 MODEXTREME (<http://modextreme.org>), è stato sviluppato un componente software dedicato (la libreria C# MODEXTREME.WeatherExtremesImpact), che estende la capacità modelli disponibili di simulare la risposta delle colture agli eventi estremi.

Nel dettaglio, il componente implementa una serie di approcci che simulano, a passo temporale giornaliero, l'impatto di gelate, ondate di calore, temperature subottimali della copertura vegetale e periodi di siccità estrema sulla coltura, modificandone la dinamica di evoluzione dell'indice di area fogliare e modulando l'indice finale di raccolta (Villalobos et al., 2015; Gilardelli et al., 2018). L'impatto degli eventi per ciascuna categoria di stress è calcolato attraverso una funzione di risposta che varia in modo lineare tra 0 (massimo stress) ed 1 (assenza di stress) e definita tra due soglie: una sopra la quale il danno è massimo ed una sotto la quale non vi è risposta. L'impatto di ciascun evento dipende, oltre che dalla sua gravità, anche dalla fase fenologica in cui si è verificato, dall'impatto di eventi estremi accaduti in precedenza, dalle condizioni ambientali e dalla suscettibilità della coltura. Gli approcci implementati identificano due fasi del ciclo fenologico in cui la sensibilità della coltura è massima, con ricadute particolarmente rilevanti sulle rese ottenibili: (i) il periodo intorno alla fioritura (+/- una settimana) con effetti sulla sopravvivenza del polline, la fecondazione e la formazione della granella; (ii) il periodo che va da fioritura a maturazione fisiologica, in cui si verifica il riempimento della granella. Eventi estremi eccezionali possono addirittura portare ad una mancata resa alla fine del ciclo. Un esempio dell'impatto delle ondate di calore su frumento in Nord Italia è riportato in figura 2.

Figura 2 – Andamento della funzione di risposta alle ondate di calore durante il ciclo colturale di frumento in Nord Italia.



Come si può notare la funzione di risposta assume valori inferiori a uno (manifestazione del danno), quando la temperatura massima della copertura vegetale supera i valori critici (*Threshold temperature*) nelle fasi di massima suscettibilità della coltura.

I modelli attualmente implementati sono stati estensivamente testati su colture cerealicole. Data la genericità degli approcci e la flessibilità dell'architettura software adottata, la libreria può essere agevolmente estesa per categorie di stress, approcci alternativi e nuove colture.

Esempio di metodologia integrata di applicazione modelli a supporto alla gestione del rischio in agricoltura

Un esempio efficace di supporto alla gestione del rischio in agricoltura è rappresentato dallo sviluppo di un prodotto assicurativo mirato a evitare (o almeno a ridurre significativamente) le visite in situ di periti, basato su indici di riduzione di resa (IRR) che facciano riferimento, in una fase iniziale, a temperatura e pioggia. L'ottenimento di tali IRR (e.g. mm di pioggia cumulati in una data fase fenologica; MPC) e delle relative soglie critiche (ad esempio, riduzione di resa > 30% rispetto alla media produttiva se $MCP < 30$), può derivare dall'utilizzo di due principali approcci: 1) su base puramente statistica, facendo riferimento a statistiche produttive, e 2) utilizzando i modelli di simulazione biofisica a monte dell'analisi statistica. In entrambi i casi deve seguire

un'analisi statistica per derivare gli IRR, che saranno specifici per area di interesse, coltura e per tipologia di evento climatico (e.g. temperatura e pioggia).

Le seguenti motivazioni a priori fanno propendere per non adottare l'approccio meramente statistico:

- l'utilizzo di dati statistici, aggregati non solo per aree produttive eterogenee, ma anche con dati che fanno riferimento a tecniche di produzione a diverso livello di input (da ottimali a marginali), porta ad includere nei modelli fattori produttivi diversi dalla semplice risposta a temperatura e pioggia (Donatelli e Confalonieri, 2011);
- risulta molto ampio l'errore che si osserva quando si associa una serie temporale di dati agro-meteorologici a questi dati produttivi (Donatelli e Confalonieri, 2011);
- la numerosità degli eventi eccezionali in una serie storica spesso non fornisce una casistica sufficiente per costruire una funzione di risposta ad eventi estremi (Donatelli et al., 2012).

I modelli biofisici, in estrema sintesi, sono rappresentazioni matematiche del sistema suolo-pianta in risposta a clima e agrotecnica e consentono di creare una storia del sistema, valutando anche la risposta a casi estremi con esperimenti virtuali e consentendo quindi di isolare le componenti climatiche di interesse. I modelli sono sempre valutati contro dati reali, per verificare la loro capacità di interpretare il sistema biofisico d'interesse.

PROGETTO AGROMODELLI E PRINCIPALI RISULTATI ATTESI

Rispetto allo stato dell'arte e alle potenzialità delle metodologie sinora descritte sulle analisi di rischio, sarebbe importante valorizzare i dati storici raccolti, completandoli di ulteriori informazioni sulle colture colpite, e attivare un sistema di monitoraggio delle calamità, aggiornando i dati e le analisi stesse sul rischio climatico. I dati storici meteo-climatici e inerenti le calamità dichiarate offrono una mappatura delle aree agricole, in base alle quali innanzitutto è possibile verificare e quantificare condizioni di rischio che ad oggi sono solo "percepiti" (e in aumento). Inoltre, offrono delle valutazioni utili a supporto della programmazione di interventi di riduzione e gestione del rischio nel medio-lungo termine attraverso un processo di *targeting* delle misure sul territorio e per caratteristiche produttive.

Un aspetto altrettanto rilevante è che l'analisi dei dati del sistema di monitoraggio delle calamità può supportare l'applicazione di modelli di simulazione nella quantificazione dell'impatto degli eventi estremi sulle produzioni, strumento fondamentale per programmare contromisure e interventi rispetto a previsioni stagionali, mensili e a scenari di CC (Kent et al., 2017; Trnka et al., 2014). Infatti, l'alimentazione continua dei modelli con dati di riferimento reali relativi alle dinamiche spaziali e temporali dell'impatto degli eventi estremi sulle produzioni ne supportano la calibrazione e ne migliorano il grado di accuratezza previsionale.

Occorre, però, avviare studi metodologici specifici per l'agricoltura sul *risk assessment* in agricoltura per arrivare alla definizione di indici di rischio climatico nel settore e alla mappatura delle aree e dei sistemi agricoli per livelli di rischio.

Al fine di esplorare le potenzialità ora descritte, attività specifiche di ricerca sono state inserite nel progetto AgroModelli, finanziato al CREA dal Mipaaf, con le seguenti finalità e obiettivi:

- impostazione metodologica e analisi del comportamento degli eventi estremi nel contesto dei CC a scale adeguate alla gestione del rischio;
- impostazione metodologica e analisi preliminare del rischio climatico attraverso i dati storici meteo-climatici (esposizione) e sulle calamità dichiarate (vulnerabilità);
- impostazione metodologica per il *risk assessment* e mappatura delle aree agricole per indici di rischio;
- impostazione metodologica per la creazione di un sistema di monitoraggio per le analisi di rischio climatico specifiche per areali produttivi, colture, agrotecniche e caratteristiche aziendali, con punti di osservazione sulle calamità meteorologiche e i relativi danni;
- calibrazione e applicazione di modelli di simulazione per quantificare l'impatto degli eventi estremi sulle produzioni (ad esempio il frumento) e sviluppare prodotti assicurativi basati su indici di riduzione di resa, mirati a ridurre significativamente le visite in situ di periti;
- sviluppo di strumenti economico-finanziari per gestire il post-calamità basati su indici meteo-climatici - ipotesi di *range* e soglie per assicurazioni parametriche;
- valutazione e proposte di azioni di riduzione del rischio rispetto ai livelli di rischio individuati a supporto della programmazione degli investimenti (futura PAC e fondi nazionali e regionali).

Il progetto intende, altresì, partecipare al dibattito tecnico-scientifico in corso sulle analisi climatiche, le strategie di adattamento e di gestione del rischio climatico nell'alveo degli *statement* scientifici dell'IPCC.

Tutti i prodotti saranno resi disponibili seguendo l'impostazione di agricoltura digitale del sub-progetto e di AgriInfo nella piattaforma software per la diffusione dati e servizi.

Strumenti di supporto alle decisioni e alle assicurazioni parametriche

Una specifica attività di ricerca sarà condotta per la messa a punto di strumenti di supporto al fine di valutare le potenzialità delle assicurazioni parametriche in Italia.

Le attività saranno finalizzate alla produzione di tabelle contenenti IRR termo-pluviometrici e i relativi valori soglia per la riduzione di resa e saranno effettuate per coltura, in funzione della località e dei livelli di temperatura e pioggia in determinati periodi, seguendo tre passi fondamentali (fig. 3). Gli IRR termo-pluviometrici saranno sviluppati a partire dai lavori di Confalonieri et al. (2007) e Zhang et al. (2011), in cui vengono proposti e descritti rispettivamente 25 e 90 indici agro-climatici ricavati a partire da valori giornalieri di temperatura e pioggia.

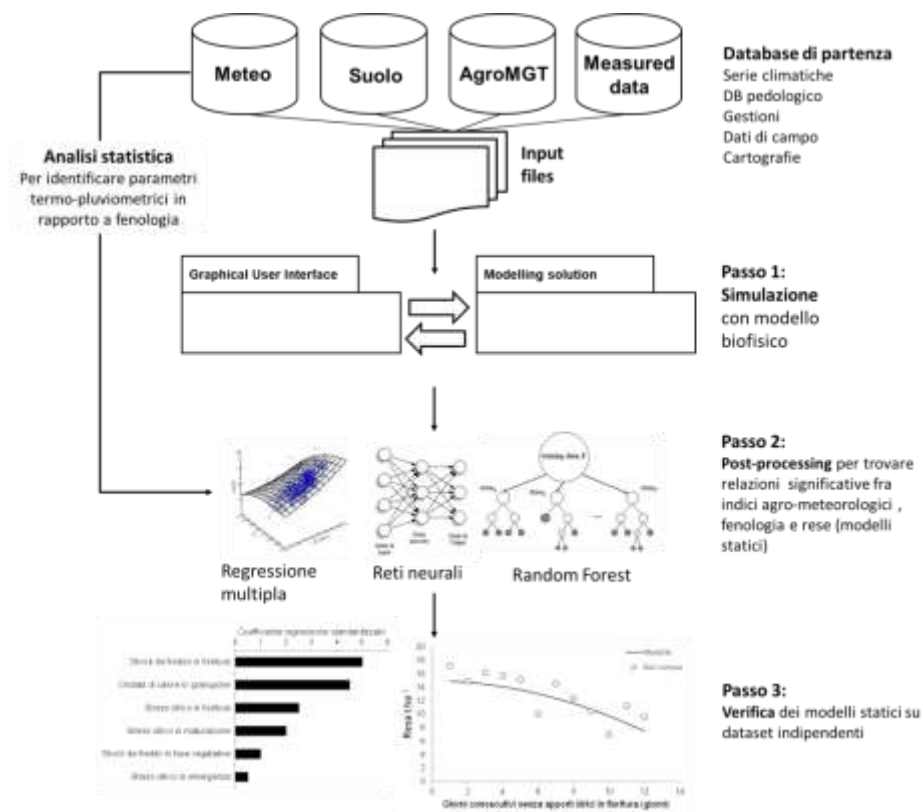
Passo 1: Simulazione

Grazie all'utilizzo di maschere di distribuzione colturale e delle banche dati disponibili, gli esperimenti di simulazione verranno condotti esclusivamente in aree dove la coltura è realmente presente. La soluzione modellistica da lanciare sarà basata sul modello colturale più idoneo a rappresentare la crescita e lo sviluppo della coltura di interesse e prevedrà in ogni caso l'inclusione del componente Extreme. Per ciascuna area di interesse dovranno essere prodotti gruppi di simulazioni di almeno 30 anni per ogni combinazione di serie climatica (serie non perturbata NP e a variabilità aumentata VA) e per condizione pedologica (alta e bassa capacità di ritenzione idrica CRI), consentendo di valutare l'incertezza legata alle produzioni. Le serie prodotte dovranno essere verificate con focus su biomassa aerea e dei frutti ottenute da simulazioni.

Passo 2: Post-processing

Per ciascuna area di interesse, i risultati delle simulazioni trentennali e gli indici agro-climatici derivati dalle proprietà dei suoli e dalle serie climatiche NP e VA (e.g. cumuli di valori giornalieri, per periodi diversi, calibrati su fenologia) andranno a costituire strati informativi per analisi statistiche successive finalizzate ad identificare IRR

Figura 3 – Schema della metodologia integrata per applicare i modelli biofisici a supporto alla gestione del rischio in agricoltura



significativi e le rispettive soglie critiche, che nel loro insieme costituiscono i modelli statistici da usare in predizione a fini assicurativi. Tali analisi vedranno impiegati sia metodi regressivi che tecniche di auto-apprendimento (reti neurali, alberi decisionali).

La regressione multipla permette di verificare se esistono relazioni funzionali tra una variabile dipendente (i.e. riduzione di resa rispetto ad un valore medio indicato dalla compagnia assicurativa) contro set di variabili indipendenti (i.e. indici agro-climatici), detti regressori. All'interno di ciascun set potranno essere identificati i regressori più influenti, da riconsiderare in analisi successive, mentre quelli di scarso effetto verranno via via scartati. L'analisi prenderà in considerazione regressori derivati (come cumuli di valori giornalieri, per periodi diversi, calibrati su fenologia) da variabili climatiche (temperatura aria e precipitazioni). La fasi fenologiche saranno considerate, ma in prima istanza, date le variabili d'interesse, non si mira a stime di danno per fase fenologiche.

Il principio su cui si fondano le tecniche di auto-apprendimento è l'esplorazione dei dati esistenti allo scopo di riconoscere pattern nascosti da formalizzare attraverso algoritmi.

Nel caso del metodo Random Forest (RF) i potenziali predittori vengono classificati in ordine di importanza in base alla costruzione ripetuta e casuale di alberi decisionali (alberi regressivi e di classificazione) all'interno dei quali ne viene valutata l'importanza (Breiman et al., 1984).

Nel caso delle reti neurali (RN) i dati di input rappresentano lo strato iniziale e informativo di una serie di strati di calcolo successivi, che restituiscono la predizione ad uno strato di output. Ciascuno strato è costituito da nodi, non interconnessi all'interno dello strato ma comunicanti solo con quelli esterni, che permettono il calcolo in parallelo, mimando in qualche modo lo scambio di informazioni all'interno di una rete neurale biologica.

L'integrazione tra risultati di simulazione, approcci statici e metodi di auto-apprendimento permetterà di aumentare la capacità predittiva dei modelli e l'identificazione degli indici agro-climatici più significativi.

La conoscenza dell'incertezza delle riduzioni di resa associata ad un particolare indice agro-climatico (ad esempio, lunghezza di un periodo di siccità in fioritura/maturazione) contribuisce inoltre a definire soglie di danno d'interesse per le assicurazioni.

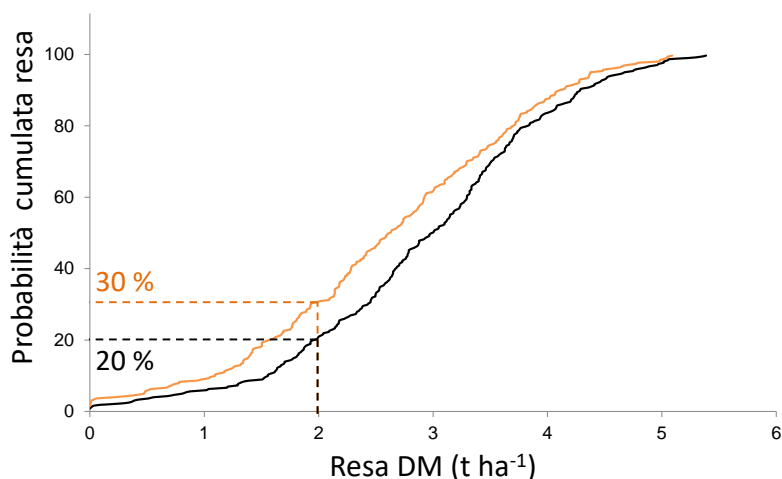
Passo 3: Valutazione preliminare del sistema e potenzialità di applicazione

Verrà effettuata una stima dell'entità del danno (riduzione produttiva) in base agli indici IRR e alle soglie critiche identificate, ai quali verrà associata una quantificazione dell'errore potenziale per cella analizzata, utilizzando set di dati indipendenti. A scopo esemplificativo è di seguito presentato uno studio di incertezza legato alla variabilità climatica per la coltivazione del mais in asciutta nella Pianura Padana, che mostra come l'utilizzo di una serie climatica NP possa portare a sottostimare il rischio di ottenere produzioni al di sotto di una certa soglia critica. Questa analisi potrebbe essere uno strumento molto utile per supportare le compagnie assicurative nel determinare la produttività media e la corrispondente percentuale di riduzione di resa critica che dà diritto al risarcimento.

La previsione delle rese è stata ripetuta per un periodo di 300 anni con le caratteristiche dello scenario climatico corrente (in termini di medie mensili e variabilità delle

precipitazioni e delle temperature) e con una serie climatica a variabilità aumentata (+30% della variabilità nelle precipitazioni e nelle temperature). La figura 4 mostra come dalla funzione di probabilità cumulata delle rese sia semplice quantificare il rischio di ottenere rese inferiori a valori soglia prestabiliti; nel caso presentato vi è un rischio pari al 20% di ottenere rese inferiori alle 2 t ha⁻¹ di granella espressa come sostanza secca per lo scenario climatico corrente. Con l'incremento della frequenza degli eventi estremi, il rischio è destinato a salire, fino ad un valore pari al 30%.

Figura 4 – Funzione di probabilità cumulata delle rese per mais coltivato in asciutta nella Pianura Padana nello scenario climatico corrente (in nero) e in uno scenario a variabilità aumentata (in arancione, +30% nella variabilità nelle precipitazioni e nelle temperature; medie mensili invariate). Viene indicato l'incremento del rischio di ottenere rese inferiori alle 2 t ha⁻¹ di granella s.s.



CONSIDERAZIONI

Il presente contributo intende fornire un apporto tecnico-scientifico innovativo al dibattito in corso sulla gestione del rischio in agricoltura e sulla necessità di migliorarne la valutazione e le analisi nel contesto dei cambiamenti climatici.

L'approccio al rischio deve essere innovativo, attraverso l'introduzione dei concetti e degli indicatori di esposizione e vulnerabilità delle aree agricole italiane e l'utilizzo di modelli di simulazione dei sistemi colturali. Tali elementi di conoscenza potranno indirizzare gli sforzi di innovazione sia nelle aziende agricole sia nelle stesse politiche programmatiche (per cogliere al meglio le opportunità offerte dalla PAC nel ciclo post

2020), ai fini della riduzione del rischio e del miglioramento della gestione delle calamità. Le azioni di riduzione del rischio suggerite potranno essere strutturali (miglioramento e ammodernamento delle strutture, soprattutto tecnologico, a livello aziendale e territoriale, sistemi per irrigazione di soccorso, manutenzione degli scoli, casse di espansione, impianti moderni e più efficienti per refrigeramento-riscaldamento delle stalle, ecc.) e gestionali (strumenti di supporto alle decisioni e sistemi informativi per riprogrammare le pratiche in caso di siccità, alluvioni, frane e condizioni fitosanitarie anomale, pianificazione e programmazione aziendale, innovazione e modernizzazione della gestione).

Le potenzialità per la gestione del rischio delle analisi e dei modelli di simulazione in corso e in fase di sviluppo qui descritti sono:

1. *Risk assessment* (dati storici):

- elementi di valutazione per la programmazione di interventi per la riduzione del rischio per aree agricole e sistemi produttivi;
- maggiore consapevolezza dei livelli di rischio per aree e sistemi produttivi;
- calibrazione dei modelli di simulazione;

2. Soluzioni di modellazione in BioMA per impatto eventi estremi:

- stima della riduzione delle rese per soglie critiche, per tipo di evento e coltura a diversa scala temporale:
 - breve termine: agganciato a previsioni – azioni urgenti di contrasto;
 - medio termine: supporto alla definizione di assicurazioni parametriche;
 - lungo termine: scenari climatici;
- feedback su impostazione del *risk assessment*.

Infine, come considerazioni finali, si riportano ulteriori tematiche di ricerca e innovazione non ancora oggetto di sufficienti analisi, quali:

1. sviluppo di ulteriori analisi e approfondimenti sugli scenari climatici in riferimento ad eventi estremi e calamità naturali;
2. studio di impatto su altre colture di interesse oltre ai cereali (vite, altre arboree);
3. sviluppo di indici di riduzione di resa basati su variabili diverse da temperatura e pioggia, nonché inclusione degli anni precedenti tra i predittori nella fase di elaborazione statistica dei risultati prodotti dai modelli colturali;

4. definizione di soglie critiche multiple per ciascun RR e corrispondenti a diverse classi di merito;
5. sviluppo di modelli previsionali stagionali (1-3 mesi) e sistema di allerta;
6. utilizzo combinato di dati storici, geostatistica e *remote sensing* a supporto dei modelli;
7. analisi integrate per l'inserimento del *climatic risk assessment* nelle politiche agricole (riduzione del rischio e gestione delle calamità).

In conclusione, l'attuale stato dell'arte delle conoscenze sul tema della gestione del rischio evidenzia diverse importanti potenzialità per possibili innovazioni da introdurre a supporto del settore agricolo per affrontare la sfida del cambiamento climatico; le conoscenze e gli strumenti attuali tuttavia non appaiono ancora ben sfruttati nel settore.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

ALEXANDER L. (2016): *Global observed long-term changes in temperature and precipitation extremes: A review of progress and limitations in IPCC assessments and beyond*, «Weather and Climate Extremes», 11, pp. 4-16.

BREGAGLIO S., ORLANDO F., FORNI E., DE GREGORIO T., FALZOI S., BONI C., ET AL. (2016): *Development and evaluation of new modelling solutions to simulate hazelnut (Corylus avellana L.) growth and development*, «Ecological Modelling», 329, pp. 86-89.

BREIMAN L., FREIDMAN J., OLSHEN R., STONE C. (1984): *Classification and Regression Trees*, Wadsworth, Belmont (CA).

BRISSON N., MARY B., RIPOCHE D., JEUFFROY M.H., RUGET F., GATE P., ET AL. (1998): *STICS: a generic model for the simulation of crops and their water and nitrogen balance: I. Theory and parametrization applied to wheat and corn*, «Agronomie», 18, pp. 311-346.

BURTON I., DUBE O.P., CAMPBELL-LENDRUM D., DAVIS I., KLEIN R.J.T., ET AL. (2012): *Managing the risks: international level and integration across scales, in Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)*, Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, pp. 393-435.

CEIGRAM RESEARCH CENTRE FOR THE MANAGEMENT OF AGRICULTURAL AND ENVIRONMENTAL RISKS (2016): *Research for Agri Committee – State of play of risk management tools implemented by Member States during the period 2014-2020: National and European frameworks*, European Parliament, <http://www.europarl.europa.eu/studies> DOI: 10.286/305797.

CONFALONIERI R., BELLOCCHI G., DONATELLI M., RIVINGTON M., MATTHEWS K. (2007): *ClimIndices: a software component to compute agro-meteorological indicators*, in *Farming Systems Design 2007, Int. Symposium on Methodologies on Integrated Analysis on Farm Production Systems, book 2 – Field-farm scale design and improvement, Catania, Italy, 10-12*

- September 2007, a cura di M. DONATELLI, J. HATFIELD, A. RIZZOLI, La Goliardica Pavese, Pavia, pp. 196-197.
- CONFALONIERI R., ROSENMUND A.S., BARUTH B. (2009): *An improved model to simulate rice yield*, «Agronomy for Sustainable Development», 29, pp. 463-474.
- CONRADT S., FINGER R., SPÖRRIET M. (2015): *Flexible weather index-based insurance design*, «Climate Risk Management», 10, pp. 106-117.
- DONATELLI M., BREGAGLIO S., STELLA T., FILA G. (2016a): *Modelling agricultural management in multi-model simulation systems*, in Crop modelling for agriculture and food security under global change, Proceedings of the International Crop Modelling Symposium, 15-17 March 2016, Berlin, a cura di F. EWERT, K.J. BOOTE, R.P. ROTTER, P. THORBURN, C. NENDEL, 437 pp.
- DONATELLI M., GINALDI F., FILA G., FUMAGALLI D., ZUCCHINI A. (2016b): *Exploring the impact of climate variability estimates on crop models predictions in CC impact assessment studies*, in Conference Proceedings of Annual meeting of American Society of Agronomy, Crop Science Society of America and Soil Science Society of America, November 6-9, Phoenix AZ, USA.
- DONATELLI M., SRIVASTAVA A.K., DUVEILLER G., NIEMEYER S., FUMAGALLI D. (2015): *Climate change impact and potential adaptation strategies under alternate realizations of climate scenarios for three major crops in Europe*, «Environmental Research Letters», 10, 075005.
- DONATELLI M., DUVEILLER G., FUMAGALLI D., SRIVASTAV A., ZUCCHINI A., ANGILERI V. et al. (2012): *Assessing Agriculture Vulnerabilities for the design of Effective Measures for Adaption to Climate Change (AVEMAC-project)*, European Commission, Joint Research Centre, Institute for Environment and Sustainability.
- DONATELLI M., CONFALONIERI R. (2011): *Biophysical models for cropping system simulation*, in *Bio-economic models applied to agricultural systems*, a cura di G. FLICHTMAN, Springer, New York, pp. 59-87.
- EUROPEAN COMMISSION (2013): *Regulation (EU) no 1305/2013 of the european parliament and of the council of 17 december 2013 on support for rural development*, by the European Agricultural Fund for Rural Development (EAFRD) and repealing Council Regulation (EC) No 1698/2005.
- FACCIOTTO G., ROCCA A., BERGANTE S., GIOVANARDI R., BALDINI S., DANUSO F. (2012): *Development of a short-rotation coppice simulation model and calibration for poplar*, in *Improving Lives with Poplars and Willows' Abstracts of submitted papers. 24th Session of the International Poplar Commission, Dehradun, India, 30 October-2 November 2012. Working Paper IPC/11* FAO, FAO, Rome, Italy. pp. 143 -144.
- GILARD O. (2016): *Hazards, Vulnerability and Risk*, in *Climate Change and Agriculture Worldwide*, a cura di E. TORQUEBIAU, Springer, Dordrecht.
- GILARDELLI C., CONFALONIERI R., CAPPELLI G., BELLOCCHI G. (2018): *Sensitivity of WOFOST-based modelling solutions to crop parameters under climate change*, «Ecological Modelling», 368, pp. 1-14.

HUDSON P., BOTZEN W.W.J, FEYEN L., AERTS J.C.J.H. (2016): *Incentivising flood risk adaptation through risk based insurance premiums: Trade-offs between affordability and risk reduction*, «Ecological Economics», 125, pp. 1-13.

INMAN-BAMBER N.G. (1991): *A growth model for sugarcane based on a simple carbon balance and the CERES-Maize water balance*, «South African Journal of Plant and Soil», 8, pp. 93-99.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (2012): *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 582 pp.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (2013): *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)*, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp.

JONES J., DAYAN E., ALLEN L.H., VAN KEULEN H., CHALLA H. (1991): *A dynamic tomato growth and yield model (TomGro)*, «Transaction of the ASAE», 34, pp. 663-672.

JONES R.N., MEARNS L. (2015): *Technical Paper 5: Assessing Future Climate Risks*, UNFCCC paper
<http://www4.unfccc.int/nap/Country%20Documents/General/apf%20technical%20paper05.pdf>

KAPPHANA I., CALANCAB P., HOLZKAEMPERB A. (2012): *Climate Change, Weather Insurance Design and Hedging Effectiveness*, «The Geneva Papers on Risk and Insurance - Issues and Practice», 37, pp. 286-317.

KENT C., POPE E., THOMPSON V., LEWIS K., SCAIFE A.A., DUNSTONE N. (2017): *Using climate model simulations to assess the current climate risk to maize production*, «Environmental Research Letters», 12, 054012.

LAVELL A., OPPENHEIMER M., DIOP C., HESS J., LEMPERT R., LI J., MUIR-WOOD R., MYEONG S. (2012): *Climate change: new dimensions in disaster risk, exposure, vulnerability, and resilience*, in *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)*, Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, pp. 25-64.

LEOLINI L., BREGAGLIO S., MORIONDO M., RAMOS M.C., BINDI M., GINALDI F. (2018): *A model library to simulate grapevine growth and development: software implementation, sensitivity analysis and field level application*, Accepted for publication in «European Journal of Agronomy».

LESK C., ROWHANI P., RAMANKUTTY N. (2016): *Influence of extreme weather disasters on global crop production*, «Nature», 529, pp. 84-87.

LOUSKY M., LINKER R., TEITEL M. (2013): *Development of an Object-Oriented Version of TOMGRO for a Web-based Decision Support System*, «IFAC Proceedings Volumes», 46, pp. 121-126.

- MAHUL O., STUTLEY C. (2010): *International Experience with Agricultural Insurance: Findings from a World Bank Survey of 65 Countries- Annex E, annex to the book Government Support to Agricultural Insurance: Challenges and Options for Developing Countries*, The World Bank, Washington DC, USA.
- PONTRANDOLFI A., CAPITANIO F., PEPE A.G. (2016a): *Vulnerability of agricultural areas to climatic risk and effectiveness of risk management policy scheme in Italy*, «International Journal of Safety and Security Engineering», 6(2), pp. 150-160.
- PONTRANDOLFI A., CAPITANIO F., ADINOLFI F., GOODWIN B. (2016b): *Analysis of the Factors used by Farmers to Manage Risk. A Case Study on Italian Farms*, «American Journal of Applied Sciences», 13(4), pp. 408-419.
- RAES D., STEDUTO P., HSIAO T.C., FERERES E. (2009): *AquaCrop—The FAO Crop Model to Simulate Yield Response to Water: II. Main Algorithms and Software Description*, «Agronomy Journal», 101, pp. 438-447.
- STAHEL W.R. (2009): *In Favour of a Proactive Insurance Approach to Climate Change*, «The Geneva Papers on Risk and Insurance. Issues and Practice», 34, pp. 319-322.
- STELLA T., FRANCONI C., YAMAÇ S.S., CEOTTO E., PAGANI V., PILU R., CONFALONIERI R. (2015): *Reimplementation and reuse of the Canegro model: from sugarcane to giant reed*, «Computers and Electronics in Agriculture», 113, pp. 193-202.
- STÖCKLE C.O., DONATELLI M., NELSON R. (2003). *CropSyst, a Cropping Systems Simulation Model*, «European Journal of Agronomy», 18, pp. 289-307.
- TRNKA M., RÖTTER R.P., RUIZ-RAMOS M., KERSEBAUM K.C., OLESEN J.E., ŽALUD Z., SEMENOV M.A. (2014): *Adverse weather conditions for European wheat production will become more frequent with climate change*, «Nature Climate Change», 4, pp. 637-643.
- VAN DIEPEN C.A., WOLF J., VAN KEULEN C., RAPPOLDT C. (1989): *WOFOST: a simulation model of crop production*, «Soil Use Management», 5, pp. 16-24.
- VILLALOBOS F., TARDIEU F., BELLOCCHI G., DE MELO E ABREU J.P., PARENT B., MORALES A. ET AL. (2015). *Report on Modelling Approaches for Simulating the Impact of Extreme Events on Agricultural Production*, EU-FP7 MODEXTREME (<http://modextreme.org>), Deliverable number: D1.2.
- WHITE J.W., HOOGENBOOM G., KIMBALL W.A., WALL G.W. (2011): *Methodologies for simulating impacts of climate change on crop production*, «Field Crop Research», 124, pp. 357-368.
- ZHANG X., ALEXANDER L., HEGERL G.C., JONES P., TANK A.K., PETERSON T.C., TREWIN B., ZWIERS F.W. (2011): *Indices for monitoring changes in extremes based on daily temperature and precipitation data*. *Wiley Interdisciplinary Reviews, WIREs Climate Change*, 2, pp. 851-870.