

# **CLIMA: un generatore climatico modulare**

Donatelli, M.<sup>1,3</sup>, Bellocchi, G.<sup>1</sup>, Habyarimana, E.<sup>1</sup>, Bregaglio, S.<sup>2</sup>, Confalonieri, R.<sup>2,3</sup>, Baruth, B.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> CRA - Centro di Ricerca per le Colture Industriali, Bologna E-mail: [marcello.donatelli@agsys.cra-cin.it](mailto:marcello.donatelli@agsys.cra-cin.it)

<sup>2</sup> Università di Milano - Dipartimento di Produzione Vegetale, Milano

<sup>3</sup> European Commission - Joint Research Centre, AGRI4CAST Action, Ispra (VA)

## **Abstract**

La disponibilità di dati climatici a diversa risoluzione temporale è un requisito fondamentale per la simulazione di tutti i sistemi biofisici. La reperibilità di una massa sufficiente di dati climatici è però spesso problematica in quanto le serie storiche registrate sono limitate a pochi anni, il funzionamento dei sensori può essere discontinuo oppure a causa della mancanza di alcune variabili meteorologiche. Per ovviare alla mancanza di dati climatici si pone quindi la necessità di simulare le principali variabili meteorologiche nel sito di interesse a partire dai dati disponibili oppure utilizzando modelli statistici. Il generatore climatico *CLIMA* è un'applicazione a componenti riutilizzabili ed estendibili, che comprende diversi modelli per la stima e la generazione delle principali variabili meteorologiche.

I componenti software attualmente implementati in *CLIMA* permettono la stima di precipitazione, temperatura aerea, radiazione solare, umidità aerea relativa, velocità del vento e bagnatura fogliare utilizzando diversi approcci a seconda dei dati in ingresso disponibili all'utente. Attualmente più di 300 modelli sono implementati in *CLIMA*.

## **Introduzione**

I generatori climatici (GC) possono essere definiti collezioni di modelli per la stima di dati meteorologici sito-specifici e variabili derivate. Il loro utilizzo spazia dal fornire dati in ingresso ai modelli biofisici al derivare indici climatici. Inoltre, in combinazione con modelli di circolazione globale, i GC possono contribuire alla generazione di scenari di cambiamento climatico. Infine possono essere utilizzati per stimare dati mancanti oppure per effettuare un controllo di qualità sui dati registrati dai sensori nelle stazioni meteorologiche. Attualmente sono reperibili in letteratura diversi GC (e.g., WGEN, Richardson and Wright, 1984; Cligen, Nicks and Gander, 1994; USCLIMATE, Johnson et al., 1996; ClimGen, Stöckle et al., 2001; Climak, Danuso, 2002; RadEst, Donatelli et al., 2003). I modelli implementati nei GC utilizzano approcci sia empirici sia fisici. Tipicamente i GC possiedono diversi modelli per stimare o generare ogni variabile meteorologica, a partire da diversi dati in ingresso. Nuovi modelli vengono proposti continuamente e, sebbene alcuni metodi per la stima di variabili specifiche siano accettati come di riferimento, la mancanza di alcuni dati in ingresso può costringere all'utilizzo di metodi alternativi. I GC attualmente disponibili sono applicazioni che implementano una libreria predefinita di opzioni di modellazione e che non permettono l'estensione da parte di terzi.

## **Materiali e metodi**

Questo lavoro descrive lo sviluppo di un generatore climatico modulare, *CLIMA*, che consiste in una serie di componenti riutilizzabili relativi all'interfaccia utente grafica (GUI – Graphical User Interface), e in una serie di componenti estensibili che contengono una libreria strutturata di metodi per la stima (produzione sintetica di variabili climatiche a partire da altre variabili climatiche) e per la generazione (produzione sintetica di dati climatici utilizzando proprietà statistiche sito-specifiche) delle più importanti variabili climatiche. *CLIMA* è un GC in grado

di fornire dati in ingresso (e.g. temperatura dall'aria, evapotraspirazione, precipitazione, radiazione solare, velocità del vento, bagnatura fogliare) ai modelli agro-ecologici a diversa risoluzione temporale, da giornaliera a sub-oraria. Ciascun componente permette all'utente di interrogare la banca dati della particolare area in studio, di produrre dati climatici sintetici e di metterli a disposizione per analisi avanzate. I componenti principali di *CLIMA* sono sei: *Air Temperature* (Donatelli et al., 2009b): per la generazione della temperatura dell'aria; *EvapoTranspiration* (Donatelli et al., 2006b): per la stima dell'evapotraspirazione di riferimento; *SolarRadiation* (Donatelli et al., 2006): per la stima/generazione della radiazione solare; *Rain*: (Carlini et al., 2006) per la generazione della precipitazione; *Wind* (Donatelli et al., 2009) per la generazione della velocità del vento; *LeafWetness*: per la generazione della bagnatura fogliare. Ciascun componente offre un'ampia gamma di metodi alternativi per la stima/generazione di ciascuna variabile climatica. Inoltre *CLIMA* possiede: un componente chiamato *ClimIndices* (Confalonieri et al, 2009) in grado di stimare indici climatici; due componenti in grado di effettuare controlli sulle pre- e post- condizioni; un componente per stimare i parametri necessari ai vari modelli implementati; un componente per controllare la qualità dei dati prodotti e per fornirli in tempo di esecuzione ad altri modelli di simulazione. La GUI di *CLIMA* permette anche di costruire soluzioni di modellazione composte, che utilizzino diversi metodi per stimare variabili intermedie con diversa richiesta di dati in ingresso, allo scopo di permettere all'utente di personalizzare il percorso di generazione di una particolare variabile climatica. Queste soluzioni di modellazione possono essere salvate come librerie a collegamento dinamico (DLL) ed essere indipendentemente riutilizzate sia in *CLIMA* sia in altre applicazioni. Tutti i componenti implementati possono essere anch'essi utilizzati al di fuori dell'ambiente *CLIMA* in altre applicazioni e presentano alcune caratteristiche

comuni: 1) documentazione completa costituita da due file (uno per la documentazione delle diverse opzioni di modellazione implementate e l'altro per la documentazione dettagliata del codice), 2) applicazioni di esempio che includono il codice sorgente (applicazioni scritte con il linguaggio di programmazione C#), 3) possibilità di estendere i modelli già presenti senza ricompilare il componente, 4) test delle pre- e post-condizioni, 5) unit test effettuati su ogni metodo pubblico. Il pacchetto di installazione completo prevede anche un'applicazione (MCE: Model Component Explorer, liberamente scaricabile all'indirizzo web <http://agsys.cra-cin.it/tools>) che permette di esplorare i diversi componenti e di ottenere informazioni sui dati in ingresso e in uscita di ogni modello implementato. I componenti di CLIMA mettono a disposizione circa 300 modelli diversi. Il diagramma a componenti dell'applicazione è riportato in Fig. 1.

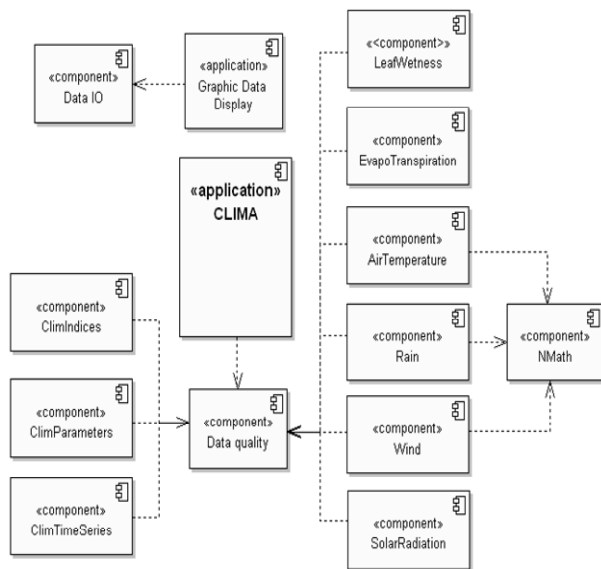


Fig. 1 - Diagramma a componenti del GC CLIMA

Per definire la progettazione dell'applicazione CLIMA è stata utilizzata la programmazione orientata ai componenti, che prevede l'incapsulamento delle soluzioni di modellazione in unità software (i componenti) che siano discrete, sostituibili e intercambiabili. L'architettura del software CLIMA è mirata alla facilità di manutenzione, al riutilizzo, all'intercambiabilità e all'estensibilità dei suoi componenti. Il GC CLIMA è stato sviluppato utilizzando il linguaggio di programmazione C# nella piattaforma .NET di Windows. Sono resi disponibili esempi di applicazioni Windows, insieme a servizi e applicazioni web di CLIMA al fine di fornire esempi pratici su come utilizzare i componenti ed estendere i modelli resi disponibili.

## Conclusioni

L'obiettivo di CLIMA è quello di ampliare l'accesso alla modellazione climatica ad un maggior numero di utenti, e di mettere a disposizione un'architettura software che consenta il facile riutilizzo e l'estensione dei modelli. In questo senso CLIMA tenta di superare alcune delle sfide tecniche che hanno finora limitato lo sviluppo di modelli riutilizzabili (Donatelli e Rizzoli, 2008), nello specifico per la generazione/stima climatica per gli sviluppatori di sistemi biofisici. Inoltre, grazie alla documentazione dettagliata di ogni componente e ai metadati associati ad ogni variabile, tutti i componenti CLIMA rendono possibile la condivisione e lo scambio di conoscenza relativa alla modellazione climatica in modo facile e estensibile, oltre che il confronto diretto dei vari approcci alternativi alla stima della stessa variabile.

CLIMA (pacchetto completo) e i suoi componenti (distribuiti indipendentemente) sono liberamente scaricabili attraverso il sito web:

<http://agsys.cra-cin.it/tools/>

## Ringraziamenti

Questa pubblicazione è stata parzialmente finanziata dal progetto AgroScenari del Ministero dell'Agricoltura e delle Politiche Agricole, Alimentari e Forestali.

## Bibliografia

- Carlini L., Bellocchi G., Donatelli M., 2006. Rain, a software component to generate synthetic precipitation data. *Agronomy Journal*, 98, 1312-1317.
- Confalonieri R., Bellocchi G., Donatelli M., 2009. A software component to compute agro-meteorological indicators. *Environmental Modelling & Software*, (in press): <http://dx.doi.org/10.1016/j.envsoft.2008.11.007>
- Danuso F., 2002. Climak: a stochastic model for weather data generation. *Italian Journal of Agronomy*, 6, 57-71.
- Donatelli M., Bellocchi G., Carlini L., 2006. A software component for estimating solar radiation. *Environmental Modelling & Software*, 21, 3, 411-416.
- Donatelli M., Bellocchi G., Carlini L., 2006b. Sharing knowledge via software components: models on reference evapotranspiration. *European Journal of Agronomy*, 24, 186-192.
- Donatelli M., Bellocchi G., Habyarimana E., Confalonieri R., Micale F., 2009. An extensible model library for generating wind speed data. *Computers and Electronics in Agriculture* (submitted).
- Donatelli M., Bellocchi G., Habyarimana E., Bregaglio S., Baruth B., 2009b. AirTemperature, an extensible software library to generate air temperature data. *Agronomy Journal* (submitted).
- Donatelli M., Rizzoli A., 2008. A design for framework-independent model components of biophysical systems *International Congress on Environmental Modelling and Software iEMSs 2008 Proceedings of the iEMSs Fourth Biennial Meeting, Barcellona, Spagna 7-10 July 2008*, 727-734
- Johnson G.L., Hanson C.L., Hardegree S.P., Ballard E.B., 1996. Stochastic weather simulation: overview and analysis of two commonly used models. *Journal of Applied Meteorology*, 35, 1878 - 1896.
- Nicks A.D., Gander G.A., 1994. Cligen: a weather generator for climate inputs to water resources and other models. *5th International Conference on Computer in Agriculture, Orlando, FL, USA*, 3 - 94.
- Richardson C.W., Wright D.A., 1984. WGEN: a model for generating daily weather variables. *U.S. Department of Agriculture, Agricultural Research Service, ARS-8, Washington, D.C, USA*.
- Stöckle C.O., Nelson R.L., Donatelli M., Castellvi F., 2001. ClimGen: a flexible weather generation program. *2nd ISMCS, Firenze, Italia*, 229-230.