

Stima dell'evapotraspirazione reale come supporto operativo per la gestione della *water scarcity*

Magno R.^{(a)(b)}, Angeli L.^(b), Chiesi M.^(a), Fibbi L.^{(a)(b)}, Mari R. ^{(a)(b)},
Maselli F.^(a), Gozzini B.^(b)

^(a) IBIMET-CNR, Via Madonna del Piano 10, 50019 Sesto Fiorentino (FI)

^(b) Consorzio LaMMA, via Madonna del Piano 10, 50019 Sesto Fiorentino (FI)

Introduzione

Recenti analisi dei trend climatici in Italia, ed in particolar modo in Toscana, stanno evidenziando, negli ultimi anni, un aumento del numero, intensità e durata degli eventi estremi ed in particolare dei fenomeni siccitosi. Il periodo 2016-2017 è solo l'ultimo drammatico esempio di siccità prolungate ed estese, che ha procurato diversi milioni di euro di danni nel solo comparto agricolo.

Nel secolo da poco iniziato, infatti, episodi simili si sono presentati ciclicamente, accompagnati a volte anche da persistenti periodi di temperature sopra la media (come ad esempio il 2003).

Rispetto agli altri eventi climatici estremi la siccità è un fenomeno più complesso, il cui inizio, evoluzione spazio-temporale e fine sono di più difficile individuazione e i cui impatti sull'ambiente naturale e sulle attività antropiche possono sorgere anche dopo mesi e persistere oltre il termine dell'evento (Vincente-Serrano et al., 2012). Esiste inoltre un ulteriore gap fra occorrenza dell'evento, manifestarsi degli impatti e gestione delle emergenze, in particolare della *water scarcity*.

Molte delle attuali sfide della ricerca applicata sono, quindi, sempre più legate al trasferimento dei risultati degli studi legati ai fenomeni climatici (siccità in questo particolare caso) in attività operative, prodotti e strumenti a supporto di azioni proattive per una più efficace gestione idrica da parte dei decisori e di tutti gli utenti coinvolti.

Il Consorzio LaMMA della Regione Toscana, in collaborazione con l'IBIMET-CNR, dal 2012, si è dotato di un servizio sperimentale in grado di fornire informazioni circa l'instaurarsi e l'evolversi di condizioni siccitose (Magno et al., 2014). A partire dal 2017 il servizio è divenuto operativo, facendo parte, il Consorzio, della cabina di regia regionale sulle emergenze idriche e grazie anche alla collaborazione con l'Autorità Idrica Toscana (AIT) e l'Istituto di Geoscienze e Georisorse (IGG) del CNR per la creazione di prodotti specifici utili nella gestione delle crisi idropotabili dovute a prolungato deficit di pioggia. Il servizio, organizzato in struttura aperta e modulabile, include un *set* di indici basati su misure a terra, da satellite e da modellistica in grado di fornire un monitoraggio, ma anche delle previsioni a medio-lungo termine per identificare l'occorrenza ed il *trend* di un episodio siccitoso.

In questo *framework* la stima di un bilancio idrico semplificato, basato sul confronto fra precipitazioni ed evapotraspirazione reale (ETR) a varie scale temporali, rappresenta un elemento di monitoraggio cruciale per individuare le misure e gli interventi da attuare in caso di emergenza idropotabile.

La stima dell'ETR si basa su un modello *water balance* in cui immagini MODIS di NDVI vengono combinate con dati meteorologici da stazioni a terra, modellizzando separatamente i due processi, evaporativo e traspirativo.

La risoluzione temporale minima di 1 giorno permette non solo un monitoraggio in *quasi-real time*, ma anche aggregazioni *on demand* da parte del committente per analisi di più lungo periodo. La risoluzione spaziale di 250 m sul territorio toscano, invece, garantisce sia analisi di dettaglio che la restituzione sintetica su aree o bacini specifici di informazioni operative di facile comprensione ed utilizzo per la gestione del territorio.

Dati utilizzati

I dati meteo utilizzati nel calcolo di ETR e nella stima del bilancio idrico semplificato provengono da un gran numero di stazioni termo-pluviometriche a terra facenti parte della rete regionale gestita dal Centro Funzionale e dell'Aeronautica Militare, nonché da altre reti regionali confinanti, necessarie per una migliore spazializzazione.

Per l'interpolazione dei dati di temperatura minima e massima e di pioggia è stato adottato il metodo *Daymet* (Thornton et al., 1997) che restituisce mappe giornaliere dei tre parametri con una risoluzione spaziale di 250 m. La serie temporale parte dal 1995, con un aggiornamento giornaliero che permette un monitoraggio meteo in *quasi-real time*. L'elevato numero di stazioni, inoltre, permette una restituzione grigliata abbastanza aderente alle diverse caratteristiche morfo-meteorologiche del complesso territorio toscano.

Con l'ausilio del programma *MT-CLIM* (Thornton et al., 2000) a partire dalle mappe di pioggia e temperatura sono state quindi derivate le mappe di radiazione solare netta, necessarie per il calcolo della ETR.

Le immagini *NDVI* derivano dal sensore *MODIS Terra* ed *Aqua*, con risoluzione spaziale di 250 m e aggregazione temporale di 16 giorni. Le immagini dell'archivio, che parte da Marzo 2000, vengono interpolate temporalmente per ottenere immagini giornaliere (Maselli et al., 2009).

Per la definizione delle principali classi di uso suolo necessarie all'applicazione dell'equazione di calcolo dell'ETR viene utilizzato il *Corine Land Cover* 3° livello.

Stima dell'evapotraspirazione reale e del bilancio idrico semplificato

Il calcolo dell'ETR si basa sull'equazione sviluppata da Maselli et al. (2014):

$$ETR = ET_0 (FVC K_{Cveg} Cws + (1-FVC) K_{Csoil} AW) \quad [1]$$

dove l'evapotraspirazione potenziale ET_0 è stimata come proposto da Hargreaves e Samani (1985), e FVC è la *Fractional Vegetation Cover* ottenuta dalle immagini NDVI come proposto da Gutman e Ignatov (1998). ET_0 viene "corretta" con un coefficiente colturale K_c distinto in due componenti, in modo da simulare separatamente la traspirazione della coltura (K_{Cveg}) e l'evaporazione dal suolo (K_{Csoil}).

Le due grandezze sono entrambe limitate dallo stress idrico a breve termine, introdotto nell'equazione attraverso due fattori applicati a superfici vegetate e non. Tali fattori sono, rispettivamente, il Cws (*Coefficient of water stress*) e l' AW (*Available Water*), calcolati come rapporto tra precipitazione ed ET_0

cumulata su intervalli di tempo variabili da 1 a 2 mesi, a seconda che prevalga o meno la componente erbacea rispetto a quella legnosa. I due fattori di stress idrico, i cui valori variano rispettivamente tra $0.5 \div 1$ e $0 \div 1$, sono sempre attivati in ecosistemi non irrigati. Per gli altri ecosistemi, eventuali apporti idrici dovuti a irrigazione o alla presenza di una falda idrica superficiale, sono dedotti dalla presenza di biomassa verde nei periodi più siccitosi; pertanto i due fattori vengono disattivati se la *FVC* è maggiore di 0.6.

L'introduzione di un *FVC* derivato da immagini *NDVI* giornaliere permette di monitorare in maniera continua le dinamiche della vegetazione, e quindi della componente traspirativa in risposta all'andamento climatico; i fattori che tengono conto dello stress idrico a breve termine, invece, consentono una stima dell'ETR più fedele alle condizioni reali.

Dalla differenza fra le piogge e l'ETR si ottiene un bilancio idrico semplificato.

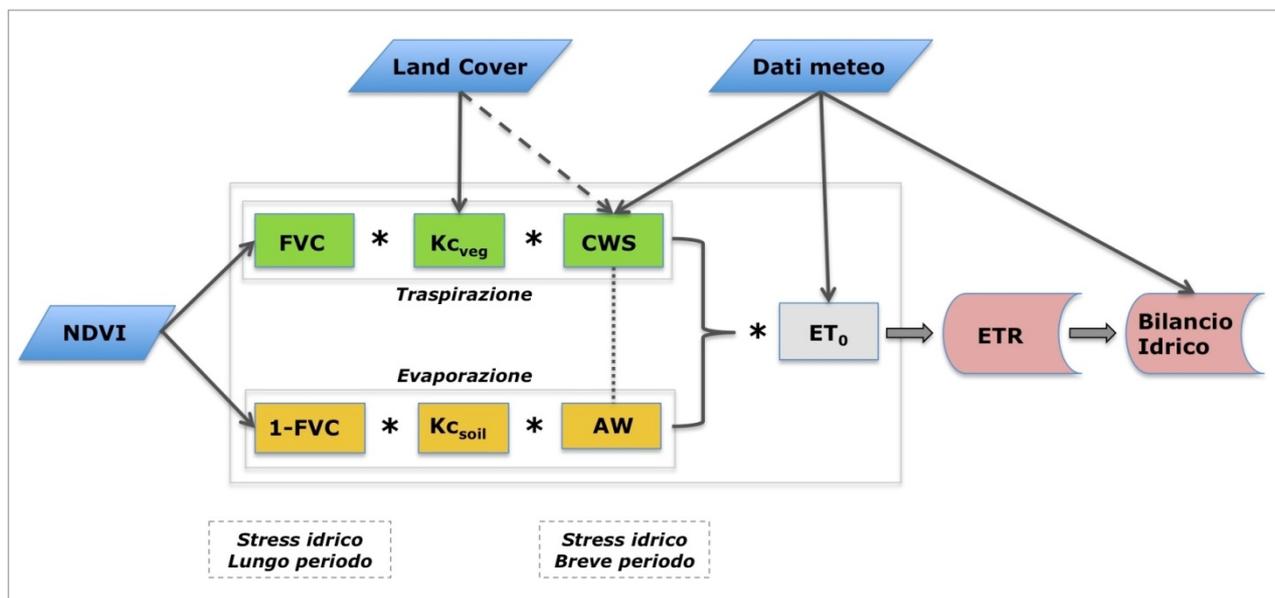


Figura 1 - Schema della metodologia per stimare l'ETR e il bilancio idrico semplificato.

Il servizio operativo per l'AIT

Le mappe giornaliere di ETR, pioggia e temperatura possono venire aggregate a scale temporali diverse, a seconda dell'esigenza dell'utente finale di monitorare la situazione. Nel caso specifico dell'AIT, sono stati identificati tre passi temporali ben distinti: gli ultimi 30 giorni, gli ultimi 90 giorni e a partire dal 1° Ottobre, considerato inizio dell'anno idrologico e per questo fondamentale nel monitoraggio della ricarica dei corpi idrici e della conseguente disponibilità d'acqua durante la stagione vegetativa.

Le aggregazioni, aggiornate quotidianamente, forniscono un quadro generale costante delle variazioni delle condizioni idriche di suolo e vegetazione di una determinata zona.

Nel sistema operativo implementato, oltre al bilancio idrico semplificato (Fig. 2b), vengono prodotte anche mappe di anomalia di ETR (Fig. 2a) che, insieme ad altri indicatori meteorologici, permettono di poter effettuare degli interventi mirati e calibrati a seconda del diverso grado di carenza idrica.

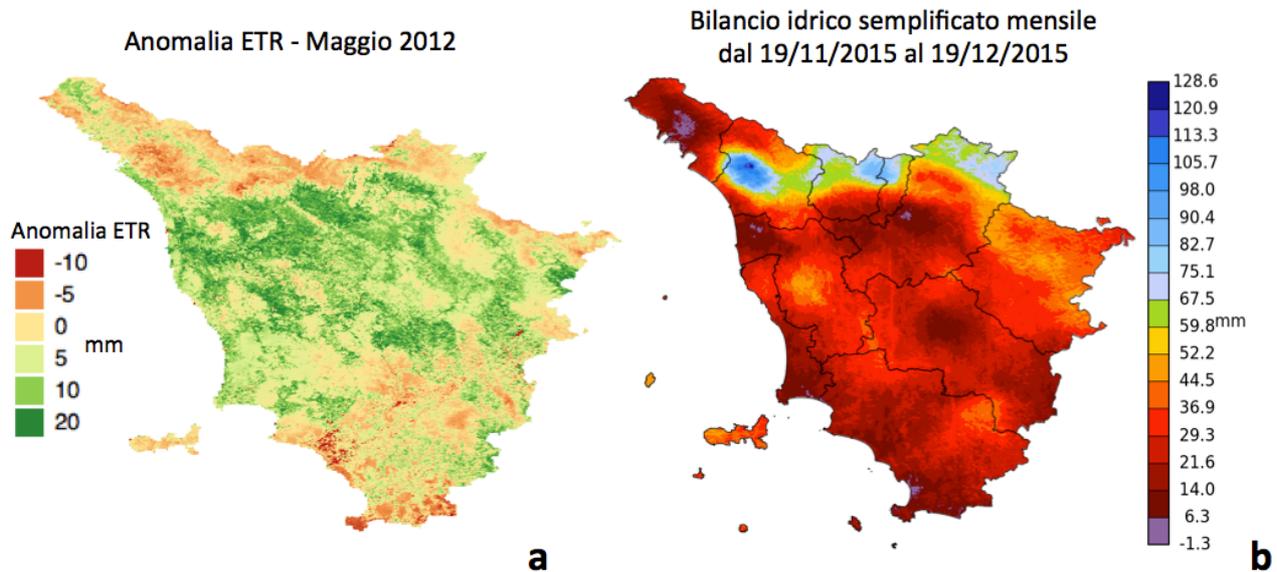


Figura 2 – Esempi di mappe di anomalia ETR (a) e bilancio idrico (b).

Restituzione dell'informazione

Le informazioni prodotte possono essere visualizzate su una pagina web con accesso dedicato. Nella *homepage* (Fig. 3) sono visibili le immagini dei principali indicatori, con la possibilità di poter selezionare la scala temporale. Per avere un quadro più completo e poter effettuare delle analisi più di dettaglio è stato sviluppato un *webgis ad hoc*. Sovrapponendo i *grid* degli indicatori e gli *shape* relativi alle aree di maggior interesse indicate dall'AIT, infatti, i gestori possono anche interrogare la banca dati geografica, visualizzare dei grafici che mostrano il trend del parametro visualizzato (ad esempio il bilancio idrico semplificato) o avere indicazioni circa il valore medio dello stesso per quell'area.

Infine un *link* rimanda al bollettino mensile sulla siccità, in cui sono presenti ulteriori indici relativi allo stato della vegetazione rispetto all'andamento climatico e previsioni a medio-lungo termine dei principali parametri meteo.

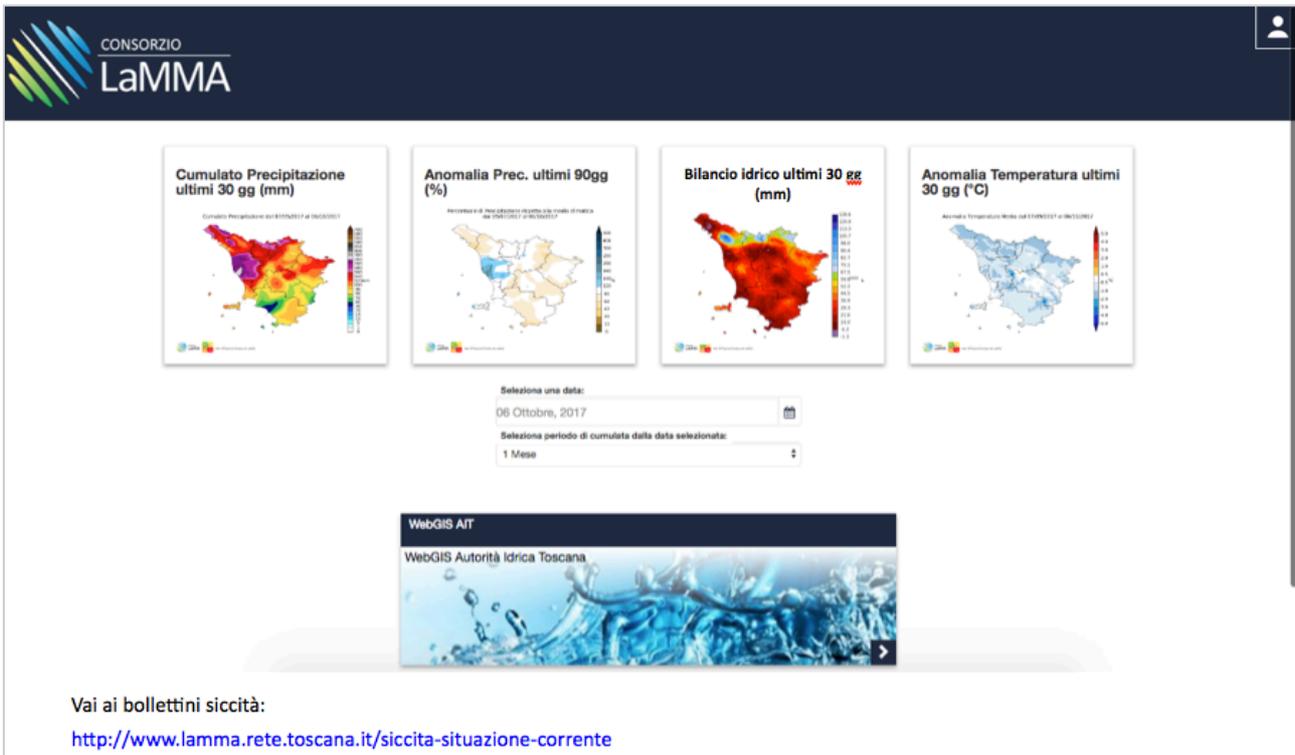


Figura 3 – Homepage di accesso dedicato per AIT.

Mappe giornaliere di pioggia, temperatura e bilancio idrico, ritagliate su due diversi sistemi acquiferi, vengono anche rilasciate all'IGG-CNR per permettere lo sviluppo e validazione di modelli numerici che mettono in relazione le variabili meteo-climatiche con la risposta quantitativa delle acque sotterranee, nell'ottica di fornire uno strumento a supporto della pianificazione della gestione della risorsa idrica utilizzata per scopi idropotabili.

Sviluppi futuri

Per migliorare ulteriormente le stime di ETR sono in fase d'implementazione delle modifiche nel calcolo dei parametri radiazione netta ed ET_0 dell'equazione [1], utilizzando dati Meteosat nel primo caso e sostituendo l'equazione di Hargreaves e Samani con quella più complessa di Penmann-Monteith (Allen et al., 1998) nel secondo.

E' in fase di valutazione, inoltre, la possibilità di utilizzare i dati *Sentinel 2* ad elevata risoluzione (10 m) per monitoraggi ed analisi spot più spinti, su aree che dalle mappe a 250 m risultassero affette da criticità particolari.

Bibliografia

Allen R.G., Pereira L.S., Raes D., Smith M. (1998), "Crop evapotranspiration - guidelines for computing crop water requirements". *FAO Irrigation and drainage paper 56*. Food and Agriculture Organization, Rome.

Gutman G., Ignatov A. (1998), "The derivation of the green vegetation fraction from NOAA/AVHRR data for use in numerical weather prediction models". *International Journal of Remote Sensing*, 19: 1533–1543.

- Hargreaves G.H. & Samani Z.A. (1985), "Reference crop evapotranspiration from temperature". *Applied Engineering in Agriculture*, 1: 96-99.
- Magno R., Angeli L., Chiesi M., Pasqui M. (2014), "Prototype of a drought monitoring and forecasting system for the Tuscany region". *Advances in Science & Research*. 11: 7-10.
- Maselli F., Papale D., Chiesi M., Matteucci G., Angeli L., Raschi A., Seufert G. (2014), "Operational monitoring of daily evapotranspiration by the combination of MODIS NDVI and ground meteorological data: Application and evaluation in Central Italy". *Remote Sensing of Environment*, 152: 279-290.
- Maselli F., Papale D., Puletti N., Chirici G., Corona P. (2009), "Combining remote sensing and ancillary data to monitor the gross productivity of water-limited forest ecosystems". *Remote Sensing of Environment*, 113: 657-667.
- Vicente-Serrano S.M., Beguería S., Lorenzo-Lacruz J., Camarero J.J., López-Moreno J.I., Azorin-Molina C., Revuelto J., Morán-Tejeda E., Sanchez-Lorenzo A. (2012), "Performance of drought indices for ecological, agricultural and hydrological applications". *Earth Interactions*, 16: 1-27.
- Thornton P.E. Hasenauer H., White M.A. (2000), "Simultaneous estimation of daily solar radiation and humidity from observed temperature and precipitation: An application over complex terrain in Austria". *Agricultural and Forest Meteorology*, 104: 255-271.
- Thornton P.E., Running S.W., White M.A. (1997), "Generating surfaces of daily meteorological variables over large regions of complex terrain", *Journal of Hydrology*, 190: 214-251.