



GESTIONE INTELLIGENTE DELL'ACQUA NELLE FORESTE URBANE

Metodi innovativi di calcolo del bilancio idrico degli alberi in ambito urbano per far fronte alla scarsità di risorse ed ai periodi di siccità prolungati

PAOLO VISKANIC

R3GIS SRL, COORDINATORE PROGETTO LIFE URBANGREEN

GIANLUCA ANTONACCI

CISMA SRL



ABSTRACT

Gli alberi urbani sono esposti a livelli crescenti di stress a causa di siccità prolungate. Ciò influisce sulla salute degli alberi e sulla quantità di benefici che gli alberi apportano all'ambiente urbano.

Uno strumento per monitorare il vigore delle piante, basato sulle loro caratteristiche, ma anche su dati meteorologici e su parametri scientifici per stimare il tasso di traspirazione, risulta efficace per individuare gli alberi in stato di stress e aiutare i manutentori a intervenire quando necessario.

Nel progetto LIFE URBANGREEN è stato sviluppato uno strumento informatico per valutare l'acqua disponibile per gli alberi. Sulla base di una ricerca scientifica sono stati calcolati i coefficienti di specie (Ks), che insieme ai dati meteorologici, la specie e le dimensioni della pianta, permettono di stimare il bilancio idrico nel terreno e indicare ogni giorno quali alberi hanno bisogno di irrigazione.



1. Introduzione e contesto

Negli ultimi anni si è visto **un costante aumento nei periodi estivi delle temperature nelle città**. Già nel 2007 il rapporto di Legambiente riportava un aumento della temperatura media a Milano di circa 3,7 °C e a Roma di 1,8 °C rispetto al trentennio 1961-1990. Nel frattempo la situazione è notevolmente peggiorata. **L'effetto "isole di calore"** amplifica il surriscaldamento globale su scala locale rendendo il clima in città sempre più invivibile.

Un modo per contrastare questa tendenza è **la vegetazione urbana ed in particolare gli alberi** che, attraverso l'ombreggiatura e la traspirazione, garantiscono durante l'estate un raffrescamento dell'ambiente. Inoltre, grazie alle loro chiome, gli alberi **intercettano le precipitazioni e rallentano il deflusso delle acque meteoriche**. Altri aspetti legati a biodiversità, come riduzione degli inquinanti nell'aria o riduzione del rumore, rendono gli alberi uno dei migliori strumenti per migliorare la qualità di vita dei cittadini.

È quindi fondamentale **garantire che gli alberi possano crescere al meglio**, massimizzando i benefici per l'ambiente.

Un aspetto fondamentale per garantire una crescita sana degli alberi, con il maggior beneficio possibile per l'ambiente, è **la disponibilità di acqua per le piante**.

La soluzione proposta calcola **il fabbisogno di acqua** e lo confronta con la disponibilità nell'area interessata dalle radici, per dare indicazioni ai gestori delle aree verdi urbane su quali piante irrigare, quando e quanta acqua mettere a disposizione.

Tale soluzione si basa su studi realizzati dall'Università di Milano nell'ambito del progetto *LIFE URBANGREEN*, dal 2018 al 2021 a Rimini e Cracovia (Polonia), per quantificare la traspirazione delle specie più diffuse di alberi e, da questa, utilizzando dati meteo, individuare quando la disponibilità di acqua è scarsa.

Gli algoritmi così calcolati sono stati implementati in **GreenSpaces**, una piattaforma per la gestione del verde urbano, permettendo agli utenti di calcolare l'acqua necessaria agli alberi gestiti. Nel testo a seguire viene illustrata **la base scientifica e l'applicazione pratica del modulo WATER**.

1.1 Aspetti pianificatori

Se parliamo di acqua disponibile per le piante, gli aspetti da tenere in considerazione sono molti. In ambito urbano la disposizione delle piante, la buca d'impianto e la quantità di suolo disponibile possono variare molto da zona a zona o da pianta a pianta. Inoltre i lavori eseguiti lungo le strade, per la gestione delle infrastrutture e delle pavimentazioni, molto spesso danneggiano l'apparato radicale o ne limitano ulteriormente lo spazio disponibile.

In una situazione ottimale - e questo sta accadendo negli ultimi anni per aree di nuova realizzazione - **la progettazione delle nuove infrastrutture verdi** tiene maggiormente conto delle esigenze degli alberi, prevedendo buche di impianto adeguate e nel migliore dei casi anche sistemi di irrigazione.

Sistemi innovativi, come per esempio il concetto di **Sponge City** (città spugna) sviluppato in Cina, ma anche in Austria, Germania e nei paesi scandinavi, prevedono non solo aree di impianto adeguate allo sviluppo dell'apparato radicale, ma anche una granulometria del suolo adeguata alla ritenzione idrica e sistemi di drenaggio che favoriscono il deflusso accumulando l'acqua nel sottosuolo per renderla disponibile alle radici degli alberi.

Nella realtà, purtroppo, queste condizioni ottimali si trovano raramente. Gli alberi in città sono caratterizzati da **situazioni d'impianto molto differenziate** e molto spesso svantaggiose per il poco spazio disponibile, sia per le radici che per la parte epigea.

Inoltre, nelle aree urbanizzate, la realizzazione delle infrastrutture verdi risale ad epoche diverse e, nel corso degli anni, è stata influenzata da interventi di vario tipo che ne hanno ulteriormente modificato le caratteristiche. Il risultato è **un sistema molto eterogeneo**, dove ogni area verde, o spesso anche ogni sito d'impianto all'interno della stessa area verde, ha caratteristiche diverse.

1.2 Aspetti ambientali

Diversi aspetti giustificano l'analisi dei fattori ambientali esterni sulle piante e, di converso, delle piante sull'ecosistema urbano. Possiamo qui citare:

1. la cosiddetta **isola di calore** e gli effetti di raffreddamento delle alberature sull'edificato;
2. l'**intercettazione delle acque meteoriche** da parte della vegetazione, con un effetto di laminazione delle piene.

L'**isola di calore** è un fenomeno che caratterizza le aree urbanizzate. Questo fenomeno è caratterizzato dall'innalzamento della temperatura dell'aria all'interno della città rispetto alle aree periferiche; nonché un rilascio prolungato di calore durante la notte che modifica i *pattern* meteorologici tipici. Questo può causare problemi di salute dei cittadini, soprattutto durante il periodo estivo, e causare un peggioramento delle condizioni di siccità estiva, perlomeno in alcune aree climatiche, con conseguente sofferenza e stress idrico per le piante.

Per quanto riguarda l'**intercettazione delle precipitazioni**, l'effetto principale delle alberature urbane è quello di rallentare il deflusso delle acque, che è trattenuto dalla chioma, dal terreno e dall'apparato radicale; poi in parte assorbito ed in parte rilasciato con tempi più lunghi offrendo un eccellente servizio di laminazione delle portate idriche. Questo è ancora più importante **in aree densamente urbanizzate**, dove la bassa permeabilità determina una minima ritenzione idrica ed un veloce deflusso superficiale caricando la rete di smaltimento delle acque, con tutte le conseguenze del caso in corrispondenza di eventi meteorologici estremi.

2. Metodologia

Gli aspetti qui descritti introducono anche **la necessità sempre più stringente di raccogliere dati meteorologici sia analitici che previsionali** al fine di operare una migliore gestione del patrimonio arboreo. Allo stesso tempo è però anche importante valutare gli **aspetti fisiologici delle diverse specie di piante** utilizzate nelle aree urbane che influenzano il fabbisogno idrico.

2.1 Parametri meteorologici

Fonti dati per l'acquisizione dei parametri meteorologici sono **le reti osservative** esistenti per analizzare le condizioni occorse in un'area, oppure **i servizi previsionali**, nel caso in cui ci si voglia basare su valori previsti ed operare in maniera proattiva. In entrambi i casi, accanto ai dati meteorologici di base, devono essere calcolati **i cosiddetti "parametri derivati"**, che sono specifici per una determinata applicazione.

I parametri meteorologici di interesse, come fattori esterni che influenzano la fisiologia vegetale, sono i seguenti:

- **temperatura**, che influenza l'evapotraspirazione dall'apparato fogliare e dal terreno;
- **vento**, che incide sull'evaporazione, così come anche sulla stabilità della pianta;
- **radiazione solare**, che incide sulla capacità fotosintetica e la capacità di traspirare;
- **precipitazione**, che influenza il bilancio idrico ed il comportamento della stessa nel corso delle stagioni, così come sul suo accrescimento.

2.2 Fisiologia delle piante

Nelle piante, le funzioni vitali - quali respirazione, fotosintesi, accrescimento e assorbimento radicale - sono influenzate dalla **disponibilità idrica**.

Dal punto di vista dinamico, il flusso di acqua avviene dall'apparato radicale verso le foglie. L'apparato radicale raccoglie l'acqua contenuta nel terreno. Attraverso lo xilema, la linfa sale lungo il fusto fino alle foglie. L'acqua, attraverso una fitta rete di fasci vascolari, giunge all'apparato fogliare e, in particolare, agli stomi, e da questi evapora nell'atmosfera in base al loro grado di apertura, che a sua volta dipende dalle condizioni meteorologiche, quali temperatura e umidità, nonché dalla fase vegetativa della pianta. Il **calore latente di evaporazione** fa in modo che, per passare dallo stato liquido a quello di vapore, l'acqua assorba una notevole quantità di energia, determinando un abbassamento locale della temperatura.

Il comportamento delle diverse specie di alberi rispetto alla **traspirazione e fotosintesi** varia considerevolmente, per cui è importante applicare parametri specifici quando si calcola la quantità di acqua traspirata.

Per questo motivo nell'ambito del progetto **LIFE URBANGREEN** e del progetto *Interreg VERDEVALE*, l'Università di Milano ha misurato gli scambi gassosi a livello fogliare di un campione significativo di 17 specie arboree, a Rimini e Cracovia, e di 9 specie arbustive, a Bolzano e Lugano, ripetendo le misure nelle diverse stagioni e in diversi anni. Contemporaneamente sulle stesse piante sono stati fatti **rilievi LiDAR** per calcolare la biomassa e la superficie fogliare. Questi dati hanno consentito di studiare la fisiologia delle piante e definire **coefficienti di traspirazione specifici**. Con questi coefficienti - l'evapotraspirazione potenziale e le dimensioni della pianta - è possibile capire la quantità di acqua consumata da ciascuna pianta in un giorno.

2.3 Traspirazione

Concentrandosi sul bilancio idrico, quello più importante è rappresentato dall'evapotraspirazione, che può essere classificata come **potenziale o effettiva**:

- **L'evapotraspirazione potenziale**, tipicamente calcolata tramite la formulazione di Penman-Monteith (FAO, 1988) e indicata convenzionalmente con ET_0 , rappresenta **il totale del flusso di acqua dal terreno verso l'atmosfera** dovuta a radiazione, temperatura e vento in corrispondenza di una copertura vegetale omogenea per evaporazione e traspirazione in condizioni di contenuto idrico del terreno sufficiente. L'evapotraspirazione potenziale è, quindi, il valore massimo che si può avere in un luogo ed in un istante con determinate condizioni meteorologiche, dove la disponibilità idrica non costituisce un fattore limitante.
- **L'evapotraspirazione effettiva**, indicata convenzionalmente con ET_e , è invece limitata dalla disponibilità idrica effettiva, ma caratterizza specialmente **la capacità di traspirazione di una pianta** di una determinata specie. La fisiologia delle singole specie, oltre alla disponibilità di acqua nel suolo, influenza il quantitativo di acqua che viene rilasciata in atmosfera, per cui diviene importante l'informazione sulla tassonomia degli alberi per calcolare il flusso d'acqua effettivo.

Il rapporto tra l'evapotraspirazione effettiva e quella potenziale è denominato **coefficiente di specie** $K_s = ET_e / ET_0$, ed è un coefficiente che varia a seconda del sito (zona climatica) e della *specie* (UCLA, 2000; Costello & Jones 1994). Questo coefficiente caratterizza **la capacità della pianta di evaporare l'acqua**, rispetto al potenziale teorico, in un certo luogo. La stima o misura indiretta di questo parametro serve anche a capire quanto un albero di una determinata specie si adatti ad un determinato contesto urbano dal punto di vista del bilancio idrico.

In Fig. 1 si riportano, a titolo di esempio, alcuni valori di K_s per piante studiate nelle aree urbane di Rimini e Cracovia. Come si nota per la stessa specie il coefficiente cambia anche in funzione della zona climatica: *Populus nigra*, a Rimini, ha un K_s di 0,7; mentre, a Cracovia, il K_s è di 0,9. Per *Quercus robur* la differenza è meno marcata ma pur sempre presente (0,7 a Rimini, 0,8 a Cracovia).

inserendo per il giorno successivo i dati previsti di precipitazione ed evapotraspirazione associati all'acqua immagazzinata, in maniera che il *deficit* eventuale corrisponda al quantitativo di acqua necessaria per il giorno successivo.

Indicando con:

W = acqua contenuta attualmente nel terreno nel volume radicale;
P = acqua precipitata (basata sulle previsioni meteo per il giorno successivo);
ETE = acqua evaporata e traspirata (basata sulle previsioni meteo per il giorno successivo);
Ks = Coefficiente di specie (rapporto tra ET0 e ETE per una specie particolare nella specifica zona climatica).

è possibile calcolare il seguente bilancio:

$$H_2O = W + P - ETE$$

dove $ETE = ET0 * Ks$

Si tenga conto che il quantitativo di acqua precipitata e di acqua assorbibile dalle radici fa riferimento a due aree differenti, come schematicamente rappresentato nella figura seguente (Fig. 2). Infatti, l'acqua intercettata direttamente durante la precipitazione è proporzionale alla proiezione della chioma, mentre il volume attivo dell'apparato radicale è tendenzialmente più ampio (a meno che, come spesso accade in zona urbanizzata, esso non sia limitato in larghezza da fondazioni di fabbricati o altre costruzioni).

L'area di proiezione della chioma è un parametro contenuto nel censimento arboreo, mentre il volume di suolo occupato dalle radici non è generalmente disponibile. Ai fini di calcolare il bilancio idrico, per il calcolo del volume di terreno esplorato dalle radici è stata adottata **la metodologia di Day and Wieseman (2010)**, applicando un coefficiente al diametro del tronco.

Il risultato dell'equazione sopra riportata indica **l'eventuale necessità di irrigazione**. In particolare:

- se $H_2O > 0$ l'acqua è sufficiente;
- se $H_2O < 0$ l'acqua non è sufficiente per la pianta la quantità che è necessario irrigare è data proprio dal valore H_2O .

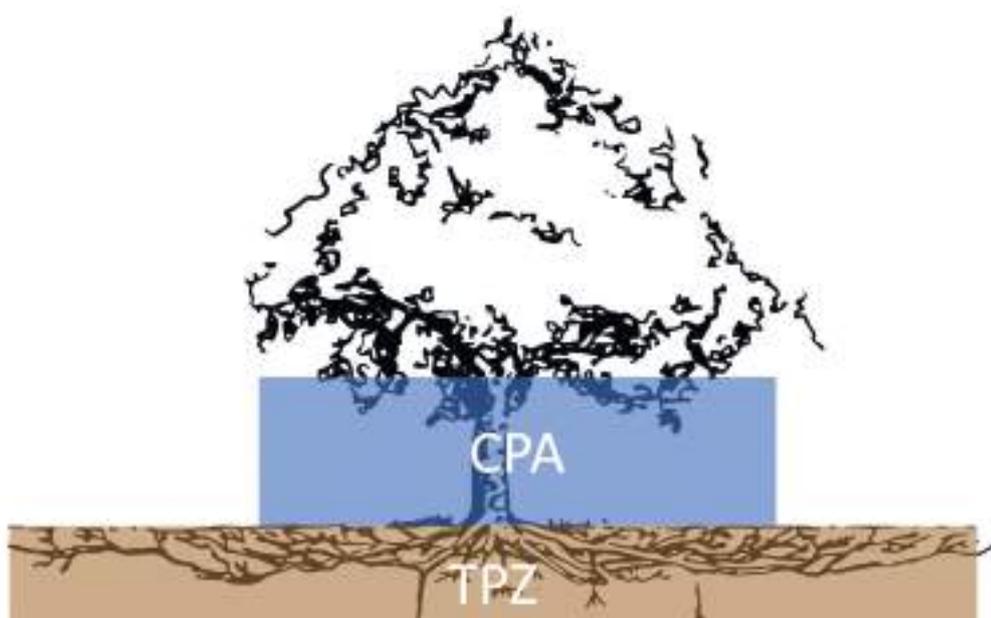


Fig. 2 - Area di intercettazione delle precipitazioni (CPA) e zona interessata dall'apparato radicale (TPZ). Adattato da Day and Wieseman, 2010.

In Fig. 3 è rappresentato l'andamento, usando come esempio un Quercus robur a Rimini; dei tre parametri al lato destro dell'equazione:

- in verde, l'acqua del terreno;
- in giallo, l'acqua traspirata ed evaporata;
- in blu, l'acqua precipitata.

Si riconosce in maniera chiara l'**andamento dell'acqua nel terreno** che si riduce durante la stagione estiva in quanto richiesta dalla pianta per le sue necessità vegetative e, in maniera complementare, **il valore di acqua evapotraspirata** che è evidentemente più alto nella stagione calda, mentre si annulla durante lo stato non vegetativo.

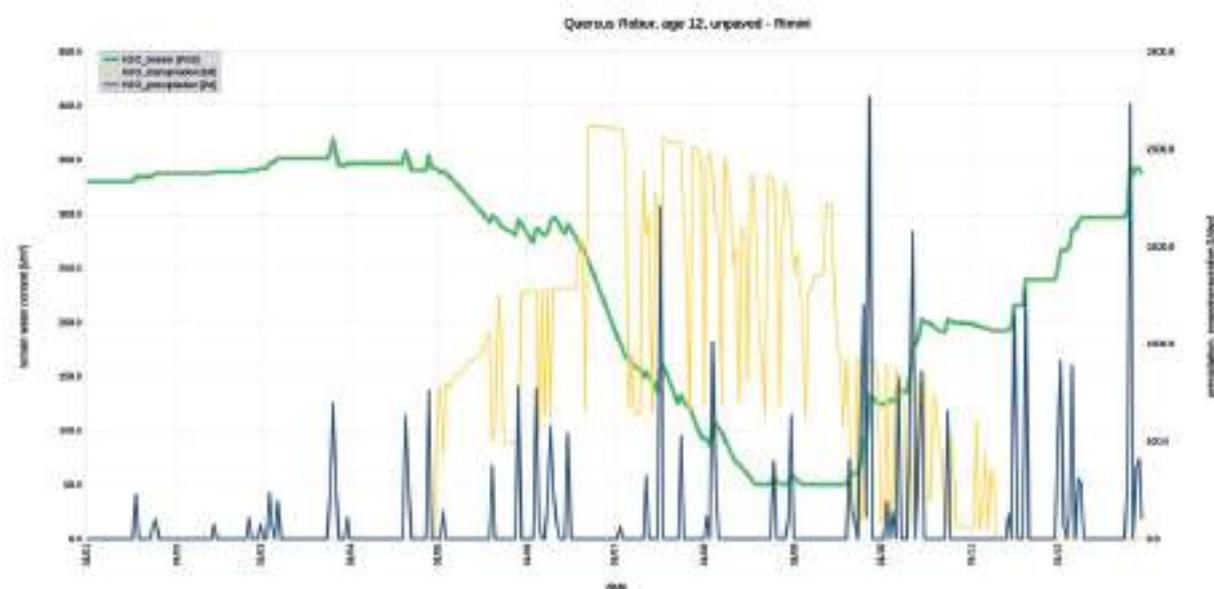


Fig. 3 - Andamento dell'acqua nel terreno (linea verde) nel corso dell'anno rispetto all'apporto di acqua da precipitazioni e irrigazione (linea blu) e acqua evaporata e traspirata di un Quercus robur di 12 anni (linea gialla).

3. Aspetti applicativi

Dal punto di vista applicativo, utilizzando i risultati della ricerca e gli algoritmi precedentemente esposti, nell'ambito del progetto LIFE URBANGREEN è stato realizzato **un modulo specifico per applicare questi calcoli al patrimonio arboreo delle città**:

GreenSpaces gestisce **il censimento arboreo in conformità con i CAM 2020**, quindi le informazioni relative alle essenze arboree, alle loro dimensioni, al tipo di area d'impianto (pavimentata o permeabile), sono tutte presenti in banca dati.

Per poter calcolare il bilancio idrico, e quindi l'eventuale fabbisogno di irrigazione, è necessario avere a disposizione anche **i dati meteorologici per l'area interessata**. Questi dati vengono ricevuti ad intervalli orari e comprendono i parametri necessari a calcolare l'evapotraspirazione potenziale e le precipitazioni. È chiaro che, per conoscere la situazione dell'acqua nel terreno, bisogna applicare i calcoli partendo da un momento in cui il terreno è saturo, per poi sommare quotidianamente l'acqua irrigata o apportata tramite le precipitazioni e detrarre l'acqua evaporata e traspirata.

Questo bilancio, aggiornato quotidianamente, consente di capire **quando la pianta non ha più acqua sufficiente a disposizione**, in modo da pianificare un intervento di irrigazione. In questo calcolo è importante tenere conto non solo dei dati passati, ma anche delle previsioni per il giorno corrente e quello successivo, in modo da segnalare la necessità di acqua solo quando, anche oggi e domani, non sono attese precipitazioni.

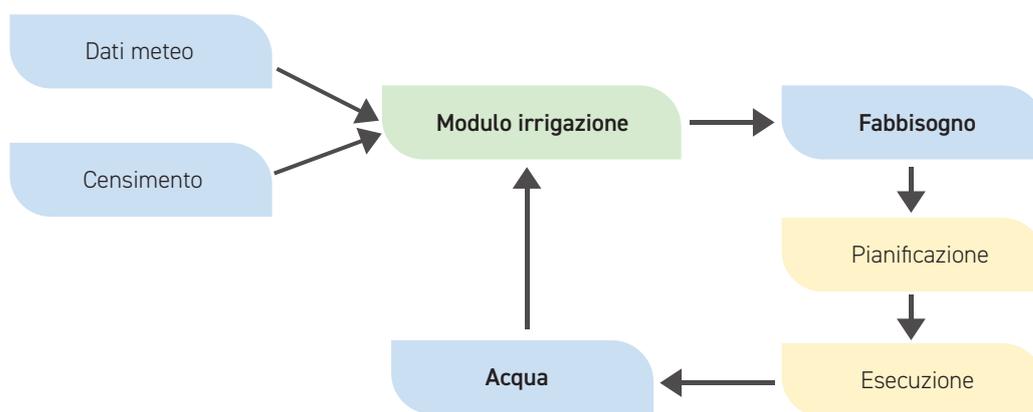


Fig. 4 - Schema semplificato del funzionamento del modulo irrigazione.

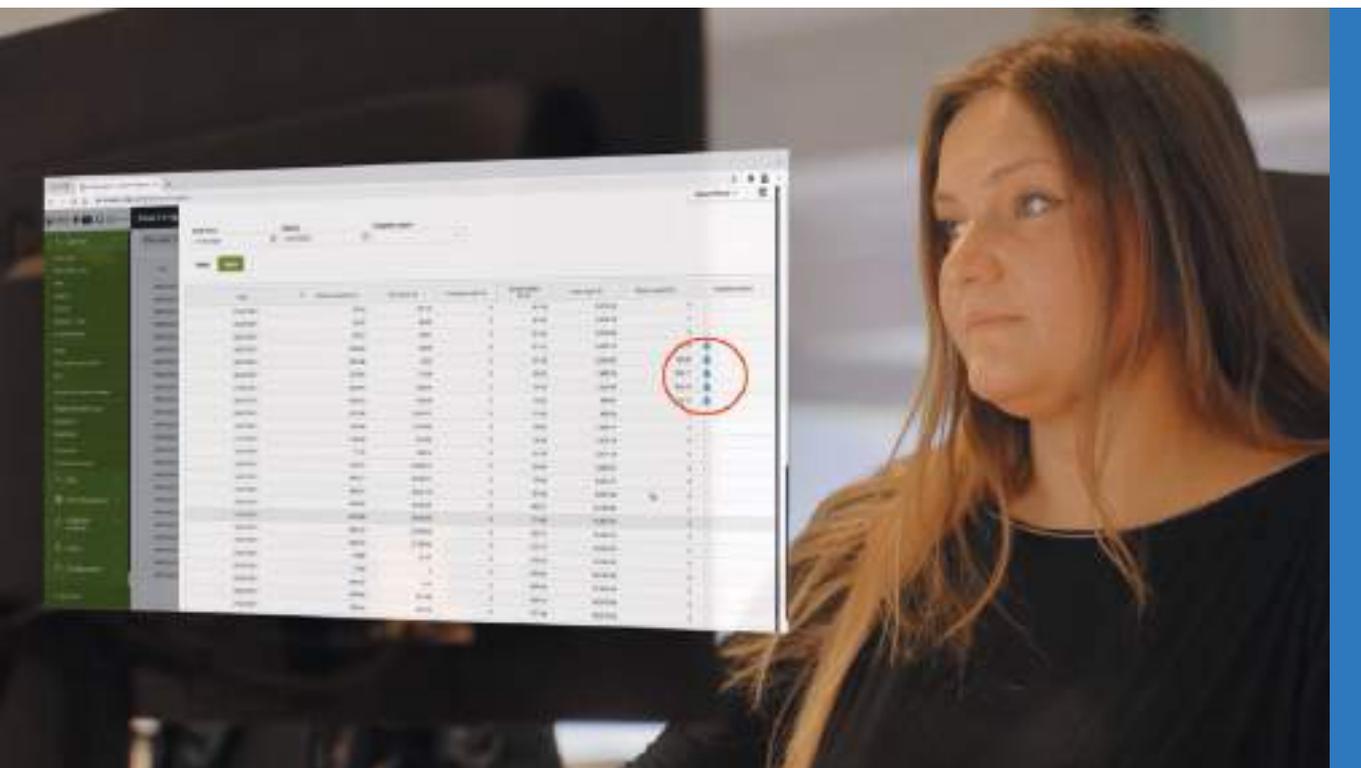
Sull'applicativo *GreenSpaces*, il deficit di acqua viene visualizzato in una tabella sotto forma di **quantità (litri) di acqua da apportare** e da una goccia di colore più leggero se l'irrigazione è consigliata, o più intenso se l'irrigazione è necessaria (Fig. 5). Dalla stessa schermata è possibile pianificare direttamente un lavoro di irrigazione, che verrà trasmesso allo smart-phone dell'operatore in campo con l'indicazione della posizione dell'albero e della quantità di acqua da apportare.

L'operatore, infine, potrà eseguire il lavoro, **indicando la quantità di acqua effettivamente apportata**, che andrà automaticamente ad aggiornare il bilancio idrico della pianta, in modo da essere considerata nel calcolo del fabbisogno per i giorni successivi.

4. Conclusioni e prospettive future

Il modulo **WATER** presentato è stato realizzato nell'ambito del progetto **LIFE URBANGREEN** ed è attualmente implementato nelle città di Rimini e Cracovia. Vi sono **alcuni aspetti importanti da considerare** riguardo alle opportunità, ma anche ai limiti della metodologia proposta:





1 Il sistema proposto considera specie e dimensione dell'albero ma non le caratteristiche specifiche del sito di impianto (suolo, volume zolla, etc.) e non utilizza sensori di umidità nel terreno. L'unica differenziazione è tra aree pavimentate ed aree con tappeto erboso o comunque permeabili. Questo aspetto porta chiaramente ad un'approssimazione del risultato, ma viste le condizioni molto eterogenee presenti in ambito urbano, e l'impossibilità di avere sensori per ogni situazione, si ritiene che le indicazioni calcolate con questo sistema possano comunque essere sufficientemente utili per un'irrigazione di soccorso in una situazione dove le precipitazioni sono sempre più erratiche. In futuro si può pensare di utilizzare un numero limitato di sensori di umidità per calibrare il sistema.

2 L'apparato radicale delle piante adulte può essere molto esteso e, quindi, il calcolo fatto dal sistema presentato potrebbe essere precauzionale e indicare una necessità di acqua anche quando in verità la pianta riesce ancora a trovarne a sufficienza. D'altro canto, nelle piante giovani, è importante intervenire più tempestivamente ed in quel caso i calcoli sono più affidabili.

3 I coefficienti di specie (K_s), rilevati nell'ambito del progetto *LIFE URBANGREEN* e in altre ricerche in corso dell'Università di Milano, riguardano un numero limitato di specie, e pur essendo in parte generalizzabili ad altre specie con fisiologia simile, non coprono tutte le specie arboree diffuse in ambito urbano in Italia. In letteratura sono però disponibili coefficienti per quasi tutte le specie arboree, e l'Università di Milano si sta occupando nell'ambito di vari progetti di ricerca di studiare nuove specie. Pertanto siamo già ora in grado di applicare il nuovo modulo alla maggior parte delle specie urbane.

4 Attualmente, per far sì che la quantità di acqua irrigata venga considerata per il calcolo di irrigazioni future, è necessario immettere sull'app *GreenSpaces Mobile* la quantità di acqua apportata quando si conferma l'esecuzione del lavoro. In collaborazione con alcuni partner esteri, stiamo testando nuove lance per l'irrigazione che rilevano automaticamente la quantità di acqua erogata e la posizione GPS dove è stata erogata. Con questi sistemi anche la registrazione dell'apporto di acqua sarà automatizzabile e non richiederà più un inserimento manuale.

In conclusione, la metodologia proposta ed il modulo **WATER** realizzato sono **un importante contributo per aiutare i gestori del verde urbano** ad affrontare gli effetti del cambiamento climatico ed in particolare i periodi di siccità prolungati.

Oltre a permettere di intervenire con efficacia quando è veramente necessario e utilizzando la risorsa acqua con efficienza, il modulo consente di **capire quale è la quantità di acqua ottimale per massimizzare i servizi ecosistemici**. Questo in futuro sarà importante per ridurre le isole di calore. La continua collaborazione con l'Università di Milano e altri centri di ricerca italiani ed esteri e la partecipazione a progetti di ricerca consente di migliorare costantemente questi strumenti ed adeguarli alle effettive necessità delle città, contribuendo ad un futuro più sostenibile.

Il progetto LIFE URBANGREEN (2018-2021) dimostra che una maggiore attenzione alla gestione degli alberi e delle infrastrutture verdi si traduce in un aumento dei servizi ecosistemici. Nel Progetto è stato realizzato **uno strumento tecnologico innovativo per una gestione più efficiente delle aree verdi urbane**, che permette alle città di rispondere meglio ai cambiamenti climatici. Il Progetto è stato coordinato da R3GIS ed ha coinvolto come partner l'Università di Milano, le città di Cracovia (PL) e Rimini (IT) e la società polacca ProGea 4D. Il progetto è stato cofinanziato dal programma europeo LIFE+ (<https://www.lifeurbangreen.eu/>).

Il progetto INTERREG VERDEVALE (2019-2023) ha avuto come obiettivo la progettazione e la sperimentazione sul campo di **metodologie innovative per la gestione delle aree verdi urbane**, per la loro valorizzazione ambientale, culturale ed economica. Il progetto è stato coordinato da R3GIS, ha coinvolto come partner le Città di Bolzano (IT) e Lugano (CH) e le aziende Demetra (IT) e Benicchio Giardini (CH) ed è stato cofinanziato dal Programma europeo Interreg Italia-Svizzera (<https://www.verdevale.eu>).





Ringraziamenti

Le ricerche e gli sviluppi descritti in questo articolo sono stati possibili grazie ai progetti LIFE URBANGREEN (LIFE17 CCA/IT/000079 cofinanziato dal programma LIFE dell'EU) ed al progetto VerdeVale (cofinanziato dall'Unione europea, Fondo Europeo di Sviluppo Regionale, dallo Stato Italiano, dalla Confederazione elvetica e dai Cantoni nell'ambito del Programma di Cooperazione Interreg V-A Italia-Svizzera). Vorremmo ringraziare tutti i partner dei due progetti per il contributo alla realizzazione ed al test in campo di questi strumenti. In particolare vorremmo ringraziare il Prof. Alessio Fini ed il suo team dell'Università di Milano ed il prof. Francesco Ferrini ed il suo team dell'Università di Firenze per la continua e ottima collaborazione.

Bibliografia

- **Fini A. et al.**, *CO₂-assimilation, sequestration, and storage by urban woody species growing in parks and along streets in two climatic zones*, Science of the Total Environment 903, 2023.
- **FAO**, *Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements*, FAO Irrigation and drainage paper 56, 1988.
- **Costello & Jones**, *WUCOLS, A Guide to the Water Needs of Landscape Plants*, 1994.
- **UCLA**, *A Guide to Estimating Irrigation Water Needs of Landscape Plantings in California*, 2000.
- **Day S., Wieseman P. et al.**, *Contemporary Concepts of Root System Architecture of Urban Trees*, Arboriculture & Urban Forestry 2010. 36(4): 149-159, 2010.

Sitografia

- <https://www.ecoage.it/sole-di-calore.htm>
- <https://www.r3gis.com/greenspaces/>
- <https://www.lifeurbangreen.eu>
- <https://www.verdevale.eu>