
Inopia
Release 3.0

IRSA-CNR

05 dic 2024

1	Introduzione	1
2	Come iniziare	3
2.1	Scaricare e installare QGIS e INOPIA	3
2.2	Gestire il tuo progetto INOPIA in QGIS	4
2.3	Crea il tuo primo Sistema Idrico (WSS)	7
3	All'interno di INOPIA	25
3.1	Perchè INOPIA	27
3.2	Elementi Risorse & Utenze	27
3.3	Topologia & regole di connessione	33
3.4	Il nodo di GESTIONE	37
3.5	Run	40
3.6	Edit tool	44
3.7	Tool integrato di plotting	45
3.8	Il tool di Early Warning	49
3.9	Esportazione	52
4	Crediti	55
4.1	Prefazione	55
4.2	Dichiarazione di esclusione di responsabilità	56
4.3	Riconoscimenti	56
4.4	Come citare	56
5	References	57
6	Contattaci	59

Introduzione

INOPIA^{QGIS} costituisce un approccio flessibile, parsimonioso e di facile utilizzo che supporta il bilancio di massa mensile dei sistemi di approvvigionamento idrico (WSS) considerando la variabilità climatica, le infrastrutture e le molteplici opzioni di allocazione.

L'utente può facilmente costruire, all'interno di un progetto QGIS, uno schema di approvvigionamento idrico selezionando le risorse idriche tra gli afflussi superficiali  relativi a bacini idrografici, invasi , pozzi , sorgenti  e fonti idriche alternative (AWS)  (es. impianto di desalinizzazione) e connetterli  ad uno o più macro-utenze  a cui si può attribuire una priorità. I nodi di gestione **gestione** consentono di collegare una macro-utenza a più risorse, proponendo diverse opzioni di gestione pre-implementate. Ogni elemento è corredato da semplici file Excel organizzati secondo modelli predefiniti.

INOPIA^{QGIS} propone approcci integrati semplici e robusti per la ricostruzione di serie temporali di disponibilità di risorse idriche e di esigenze degli utenti, ma le serie temporali risultanti da modellazioni esterne possono essere fornite per ciascun elemento come opzione facoltativa.

Una volta implementato il WSS (a seconda del grado di preparazione dello schema e dei file di input potrebbero essere necessarie da alcune ore a pochi minuti), **INOPIA**^{QGIS} fornisce simulazioni di tipo *hindcast*  (riproduzione dei decenni passati) per la valutazione di scenari di gestione di tipo “what if”, simulazioni di tipo stocastico  per una stima affidabile dell'indice di siccità, supporto alle decisioni di tipo early warning  e simulazioni di scenari climatici  per studi di impatto e adattamento, tutte corredate da strumenti integrati per la realizzazione di grafici  ed l'esportazione in formato Excel .

Poiché è facile da implementare, flessibile e parsimonioso in termini di dati, **iNOPIA^{GCIS}** supporta idealmente soluzioni comuni di gestione e adattamento e il confronto tra WSS nell'ottica di un approccio trasparente e condiviso di dati e modellizzazione. Poiché è OPEN e disponibile, **iNOPIA^{GCIS}** ha le potenzialità per crescere ed adattarsi alle esigenze di tutti, riempiendo i *vuoti*, proprio come l'acqua.

Sulla base delle seguenti indicazioni è possibile installare QGIS (se necessario) e INOPIA, gestire un progetto INOPIA all'interno di QGIS e creare un primo sistema idrico esplorando la maggior parte delle funzionalità di INOPIA grazie al caso di studio proposto.

- *Scaricare e installare QGIS e INOPIA*
- *Gestire il tuo progetto INOPIA in QGIS*
 - *New*
 - *Load*
 - *Save as*
- *Crea il tuo primo Sistema Idrico (WSS)*
 - *Capitolo #1 Le risorse*
 - *Capitolo #2 Uruk*
 - *Babilonia*
 - *Capitolo #4 la Diga*
 - *Capitolo #5 Prospettive future*

2.1 Scaricare e installare QGIS e INOPIA

STEP 1 - Installare QGIS aggiornato a Python 3

QGIS è un'applicazione GIS professionale leader nel settore, costruita sulla base di un software libero e open source

QGIS può essere scaricato e installato dal seguente link

<https://www.qgis.org/en/site/forusers/download.html>

si consiglia di installare la versione a lungo termine (Long term release)

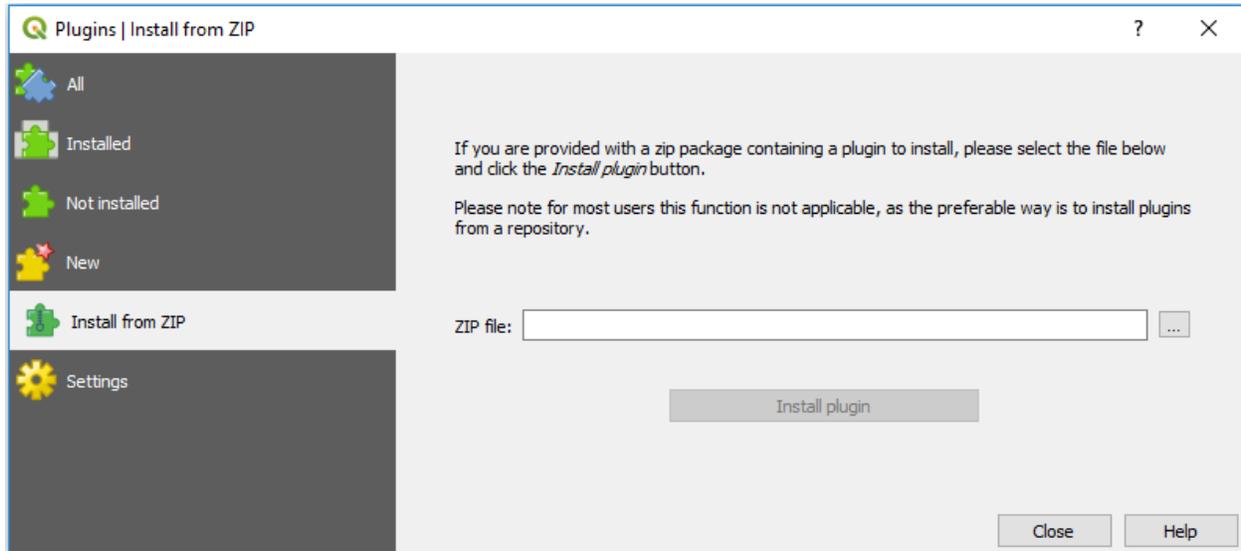
versione minima 3.22

STEP 2 - Installare il plugin INOPIA

Una volta installato QGIS, INOPIA può essere installato come plugin in due passaggi:

1- per eseguire il download di INOPIA 3.0 si prega di inviare una email a info-inopia@irsa.cnr.it

2- aprire QGIS, click su *Plugins* → *Manage and Install Plugins* → *install from zip*, selezionare il file di download (inopia.zip) e click su *Install plugin*.



Nota

INOPIA potrebbe dover installare le librerie python statsmodels e openpyxl, non disponibili con l'installazione standard di QGIS. In tal caso, è necessario chiudere e riavviare QGIS per rendere disponibile INOPIA

La barra degli strumenti (*toolbar*) di INOPIA è ora disponibile, pronta per creare il primo progetto INOPIA all'interno di un progetto QGIS, che può essere già esistente oppure nuovo.



maggiori informazioni sui plugin di QGIS possono essere trovate di seguito

https://www.qgistutorials.com/en/docs/3/using_plugins.html

2.2 Gestire il tuo progetto INOPIA in QGIS

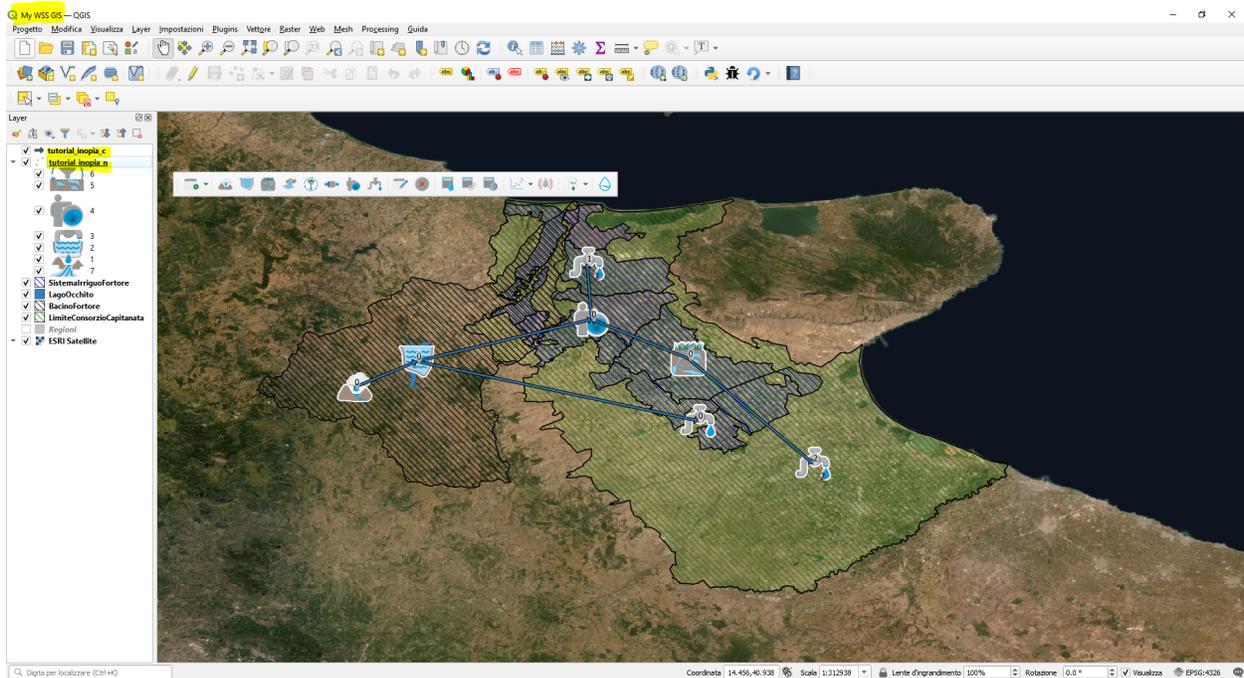
INOPIA è un plugin che consiste in una barra degli strumenti (*toolbar*) in ambiente QGIS. INOPIA lavora sui propri file, creando/modificando i layer associati ad INOPIA in un GIS. Quindi è possibile creare un progetto INOPIA in un progetto GIS nuovo oppure esistente e il progetto INOPIA può essere caricato/modificato anche in altri progetti GIS, diversi da quello in cui è stato creato.

Nota

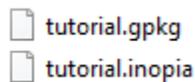
INOPIA SALVERÀ AUTOMATICAMENTE TUTTE LE MODIFICHE NEI FILE DI TIPO INOPIA.

Questa operazione è necessaria per assicurarsi che ciò che è visibile (*layers*) corrisponda perfettamente a ciò che è all'interno del file binario del progetto (*nome progetto.inopia*). Non è disponibile alcuna funzione *annulla*, per le modifiche è necessario utilizzare le funzioni EDIT e CANCEL integrate in INOPIA. La funzione SAVEAS può essere utile per lavorare su una copia di un progetto o per creare un backup.

Nell'esempio seguente, il progetto QGIS si chiama *My WSS GIS* e contiene vari *layers* di lavori precedenti, mentre il progetto INOPIA si chiama «tutorial», con i suoi due *layers*, rispettivamente «tutorial_inopia_c» e «tutorial_inopia_n». Questi *layers* sono creati e aggiornati automaticamente da INOPIA e non devono essere rinominati né modificati manualmente.



INOPIA creerà/caricherà/salverà 2 file associati al progetto INOPIA (un *geopackage* contenente i *layers* di inopia e un file binario). L'utente non deve gestire questi file, poiché è compito di INOPIA, ed è questo il motivo per cui non devono essere modificati utilizzando le normali funzionalità di QGIS.



Per condividere un progetto INOPIA sono necessari solo questi due file.

Le icone new/load/saveas della *toolbar* di INOPIA sono brevemente descritte di seguito.

2.2.1 New

L'icona *New* consente di creare un nuovo progetto INOPIA nell'ambito di un progetto QGIS. È possibile creare più progetti INOPIA nello stesso progetto. Dopo aver cliccato sull'icona *New*, è necessario scegliere un nome per il progetto INOPIA e la cartella in cui salvarlo.

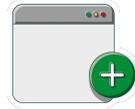
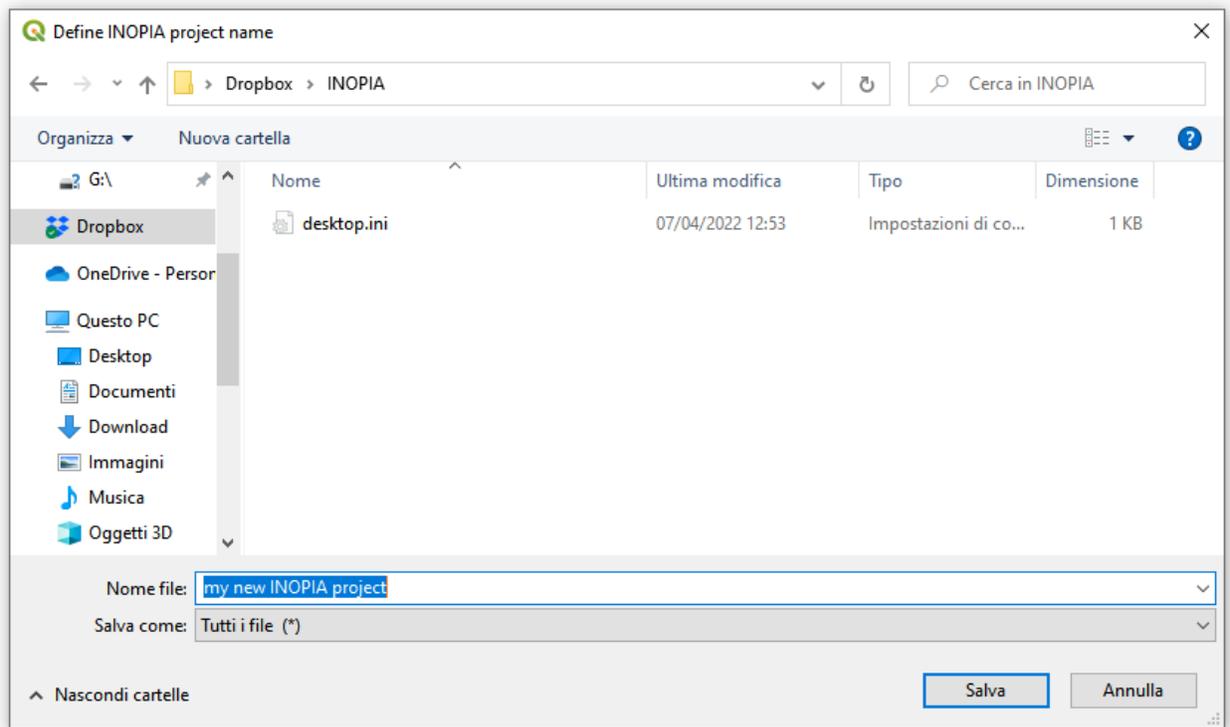


Fig. 1: icona New



2.2.2 Load



Fig. 2: icona *Load*

L'icona *Load* consente di caricare un progetto INOPIA già esistente in progetto QGIS. È possibile caricare un solo progetto INOPIA alla volta.

2.2.3 Save as



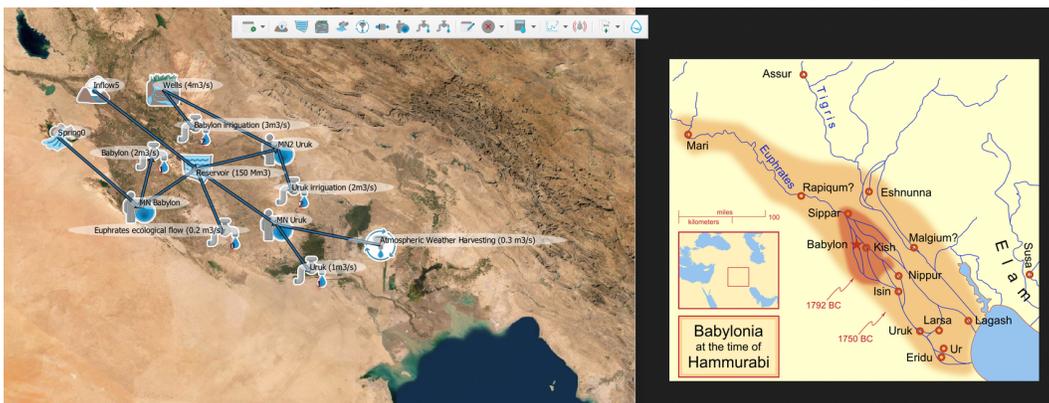
Fig. 3: Icona *Save as*

L'icona *Save as* consente di salvare il progetto corrente INOPIA attribuendogli un nuovo nome. Dopo aver cliccato sull'icona *Save as*, scegli un nuovo nome per il progetto INOPIA e la cartella in cui salvarlo. Il nuovo progetto INOPIA sarà caricato automaticamente nel progetto QGIS. Questa funzione è utile per lavorare in sicurezza se si vogliono elaborare scenari oppure operare modifiche sulla base di un progetto esistente, la cui versione originale rimane comunque invariata.

2.3 Crea il tuo primo Sistema Idrico (WSS)

Il tutorial proposto è a scopo didattico, volto all'esplorazione degli elementi e funzioni di INOPIA

La storia, lo schema e i numeri forniti nel tutorial sono una reinterpretazione *di fantasia* degli albori dell'irrigazione con lo scopo di fornire un'introduzione ludica di INOPIA e non mirano a riprodurre alcuna realtà storica.



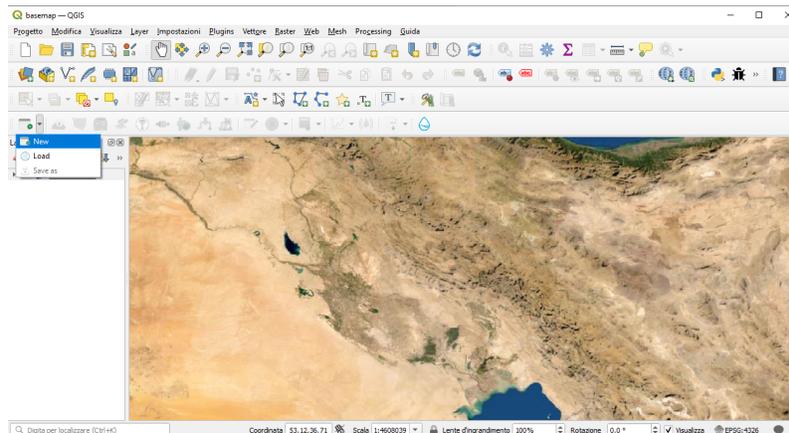
Per l'esecuzione *step by step* del tutorial proposto, il set di dati completo è disponibile al seguente [link](#) (comprende anche i file relativi ai dati di input e il risultato finale del progetto INOPIA).

2.3.1 Capitolo #1 Le risorse

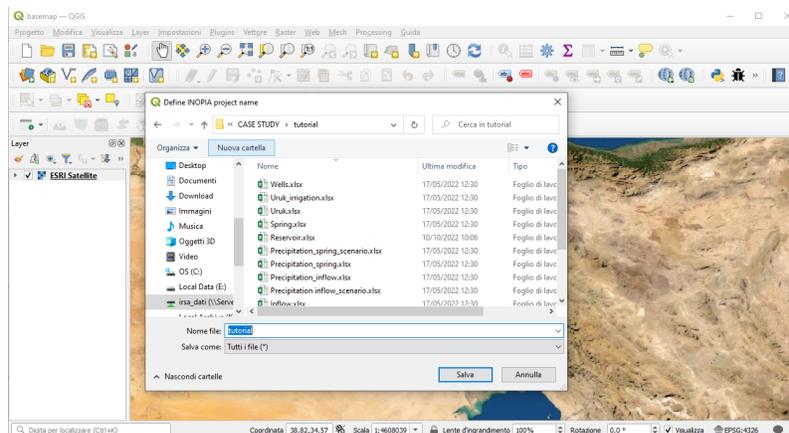
Apri QGIS, con INOPIA installato (cf *Download & install QGIS & INOPIA*)

Ci sono due possibilità: aprire un progetto QGIS nuovo o caricarne uno esistente. Carica il progetto QGIS *basemap.qgz*, disponibile nel set di dati del tutorial; il progetto contiene il layer “satellite ESRI” come mappa di base.

Per iniziare un nuovo progetto INOPIA, seleziona l'icona  nella *toolbar* di INOPIA.



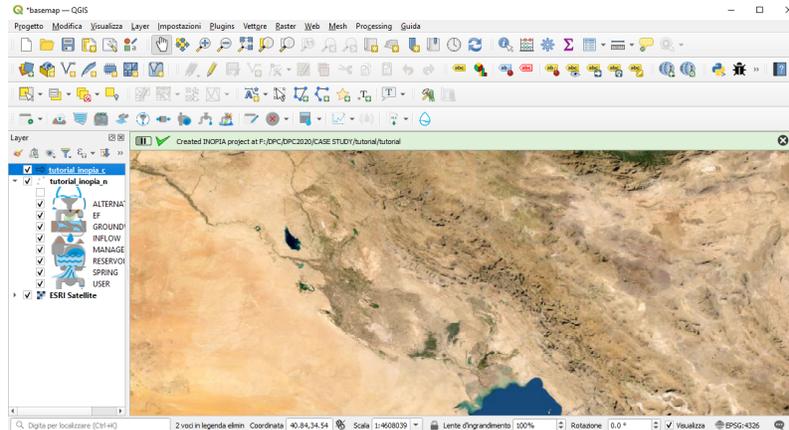
Scegli un nome per il nuovo progetto INOPIA. Da notare che INOPIA consente di caricare più progetti INOPIA in un solo progetto QGIS e solo l'ultimo progetto caricato risulta attivo. Inoltre un progetto INOPIA può essere caricato in qualsiasi progetto QGIS. Come nome del nuovo progetto INOPIA scrivi «tutorial».



Hai appena creato il tuo primo progetto INOPIA. Ora gli elementi contenuti nella *toolbar* di INOPIA sono diventati disponibili per l'utilizzo. Nel progetto QGIS sono stati aggiunti due *layers* («tutorial_inopia_c» e «tutorial_inopia_n» creati e gestiti da INOPIA. Oltre ai due *layers*, che sono memorizzati nel geopackage «tutorial.gpkg», il sistema ha creato anche il file binario «tutorial.inopia». Questi due file («tutorial.gpkg» e «tutorial.inopia») contengono tutte le informazioni del progetto INOPIA e possono essere facilmente condivise con altri utenti in possesso della *toolbar* di INOPIA.

In questo primo capitolo del tutorial, saranno aggiunte tre risorse: un AFFLUSSO (elemento INFLOW), una SORGENTE (elemento SPRING) e un campo POZZI (elemento WELLS)

Per aggiungere una risorsa INFLOW, clicca sull'icona  e poi posizionati sulla mappa (circa 44° est e 34° nord). INOPIA non considera le coordinate di ogni elemento nel suo algoritmo, perchè il posizionamento è semplicemente un supporto visivo per costruire lo schema topologico. Mediante l'apposita interfaccia attribuisce il nome all'elemento



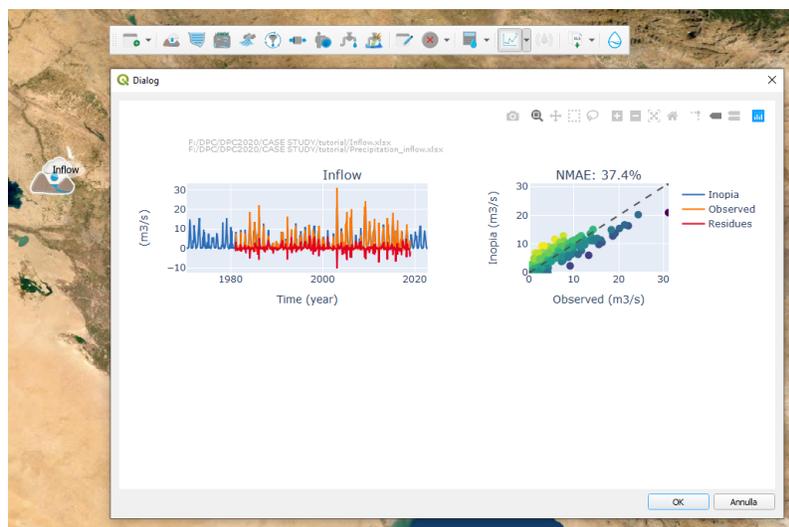
appena creato («afflusso»), che per INOPIA diventerà il suo identificativo e la sua chiave primaria (per questo motivo ogni elemento deve avere un nome univoco). Mediante altre interfacce predefinite, seleziona il file di precipitazione («Precipitation_inflow.xlsx») e il file di afflusso («inflow.xlsx») necessari per alimentare il nuovo elemento. I file di input delle precipitazioni e dell'afflusso, rispettivamente «Precipitation_inflow.xlsx» e «inflow.xlsx» sono forniti nel set di dati del tutorial.

Please see GIF animation [here](#)

Hai appena creato il tuo primo elemento INOPIA. Ora puoi monitorare il nuovo elemento INFLOW utilizzando l'icona



. Clicca sull'icona e quindi sull'elemento INFLOW

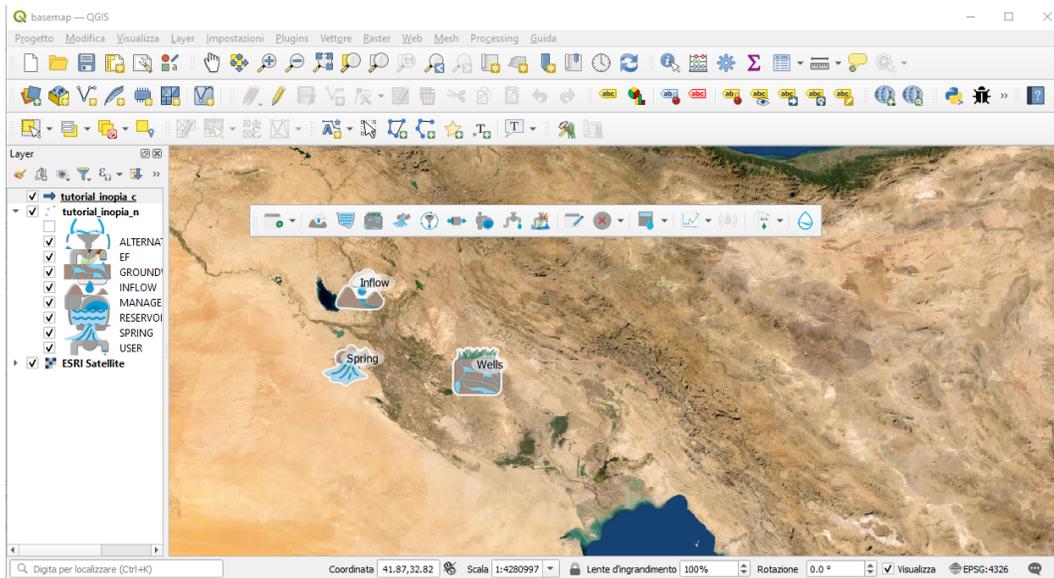


La creazione della risorsa SPRING segue gli stessi passaggi di INFLOW. Clicca sull'icona  e poi sulla mappa nel punto in cui si vuole posizionare l'elemento. Nomina «spring» il nuovo elemento, seleziona «Precipitation_spring.xlsx» come file di precipitazioni e «spring.xlsx» come file di sorgente (ambidue forniti nel set di dati

del tutorial). Dopo essere stato creato, anche l'elemento SPRING può essere monitorato utilizzando l'icona .

Infine, con la stessa procedura utilizzata per creare gli elementi INFLOW e SPRING, aggiungi una risorsa . Per l'elemento WELLS è necessario un singolo file di input. Nomina «pozzi» il nuovo elemento, seleziona «Wells.xlsx» come file di input di WELLS (fornito nel set di dati del tutorial).

A questo punto dovresti avere le tre risorse implementate nel tuo progetto INOPIA «tutorial.inopia»



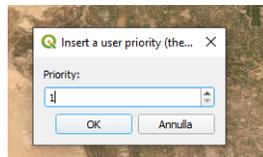
Puoi esportare il set di dati dell'elemento usando l'icona . Clicca sull'icona e poi sull'elemento da esportare, attribuisi un nome al file e seleziona la cartella dove vuoi salvarlo. Questo consente di esportare i risultati dei modelli integrati di INOPIA per gli elementi INFLOW e SPRING

2.3.2 Capitolo #2 Uruk

Una volta impostate le risorse, si aggiungono le domande. Nel tutorial si propone di aggiungere una domanda idropotabile ed una irrigua per le città di Uruk e Babilonia. Per impostare una domanda (elemento USER), clicca sull'icona



e poi sulla mappa nel punto in cui si vuole posizionare l'elemento. Tramite l'interfaccia apposita, attribuisi un nome all'elemento («Uruk») e una priorità. La priorità USER è un numero intero compreso tra 1 e 10: 1 rappresenta la priorità più alta e 10 la più bassa. Poiché l'elemento USER di cui stiamo trattando è una domanda idropotabile, imposta la priorità uguale a 1. Successivamente seleziona come file di input per l'elemento USER il file «Uruk.xlsx» (disponibile nei dati di tutorial).

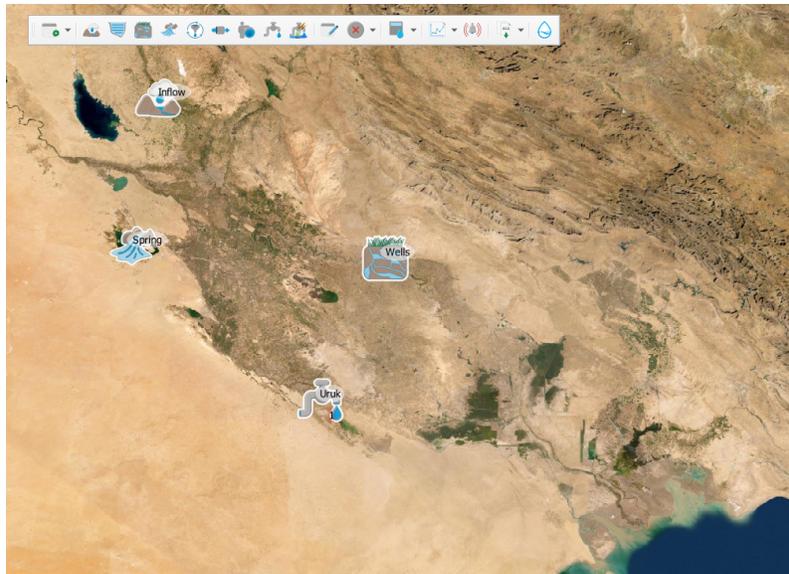


Ora si può soddisfare la domanda di acqua potabile di Uruk con la risorsa INFLOW. Clicca sull'icona , poi rispettivamente prima sull'elemento INFLOW e poi sull'elemento USER «Uruk» (poiché l'acqua scorre dall'elemento INFLOW allo USER) e infine clicca con il tasto destro per finalizzare la costruzione della connessione.

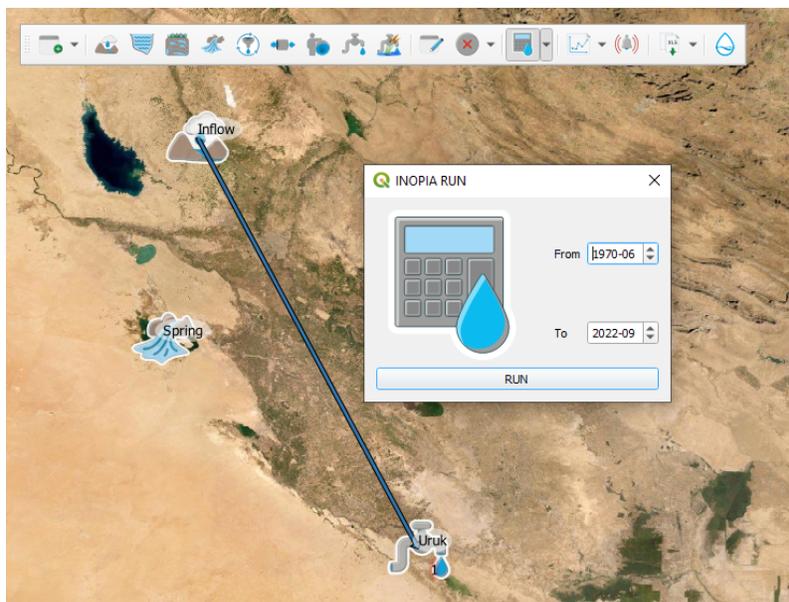
Please see [GIF animation here](#)

Hai appena creato il tuo primo collegamento INOPIA. Dopo aver connesso una risorsa ad una domanda, ora puoi

eseguire un primo bilancio di massa, cliccando su . Tramite l'interfaccia di *run hindcast* indica il primo e l'ultimo mese da considerare. L'interfaccia è precompilata con il primo e l'ultimo dato disponibile per la simulazione (nel



tutorial da Giugno 1970 a Settembre 2022, poichè Giugno 1970 è il primo mese disponibile nel file delle precipitazioni fornito come input per l'elemento INFLOW, avente un valore di SPI6, utilizzato nel modello integrato di afflusso).

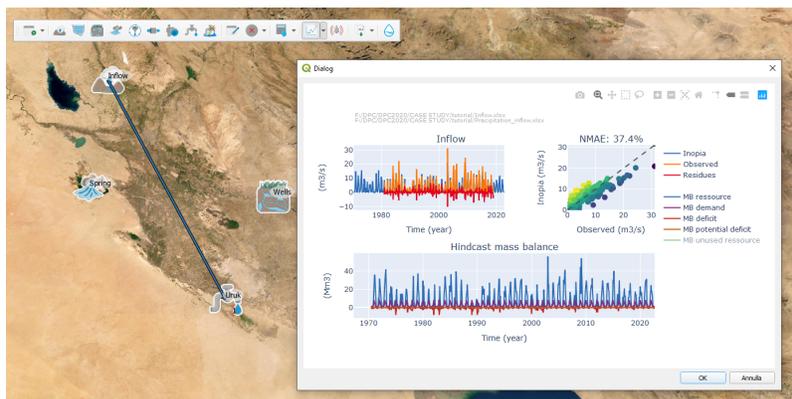
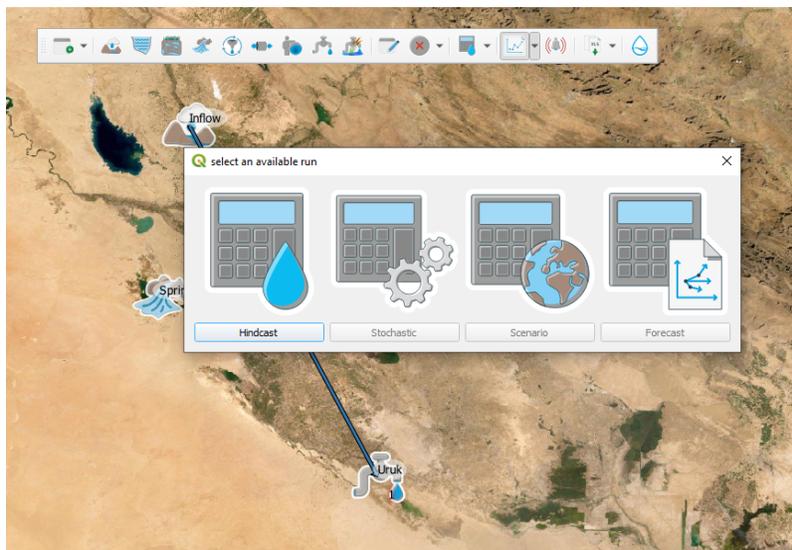
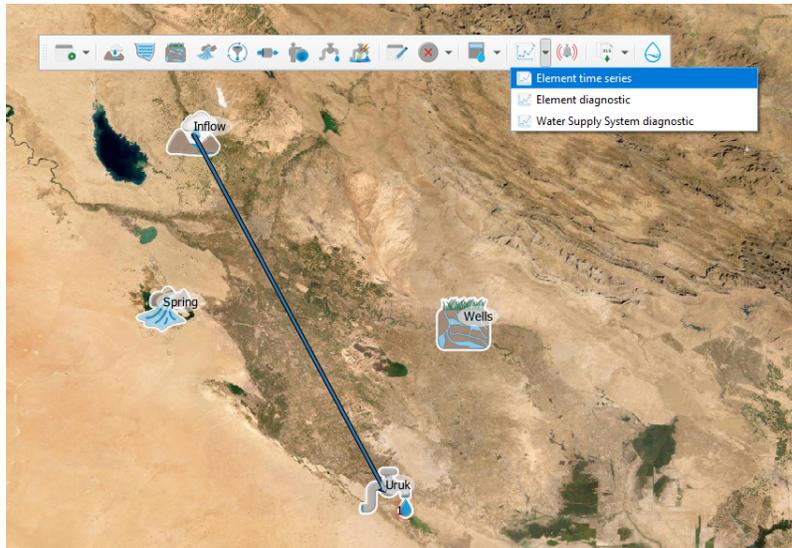


Please see GIF animation [here](#)

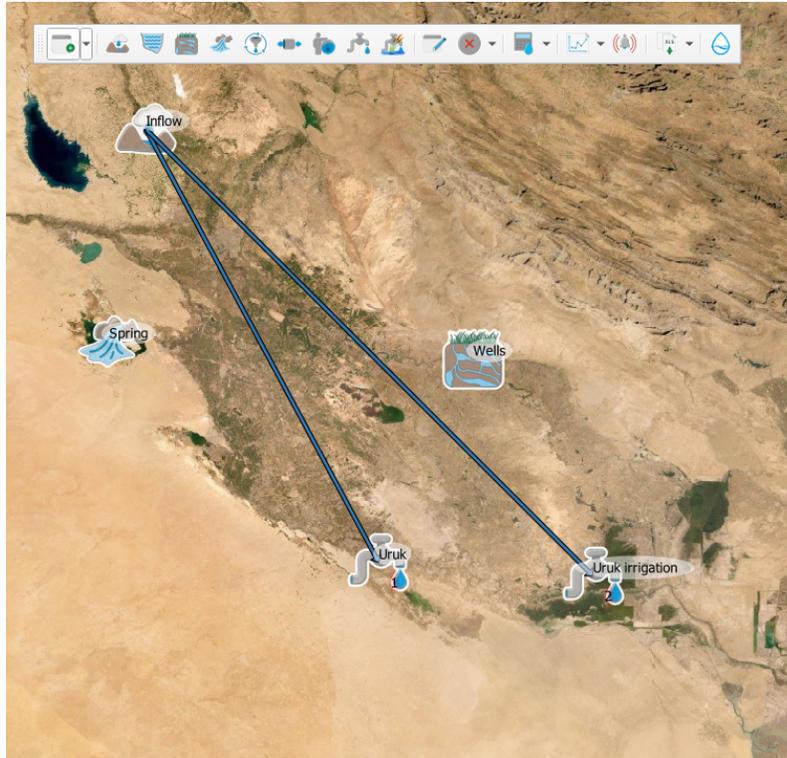
Ora il *run hindcast* è disponibile per gli elementi collegati. Clicca su  e poi su INFLOW o USER «Uruk» . Ci sono tre tipologie di funzioni integrate di plot: le prime due (*element time series* e *element diagnostic*) si applicano a un elemento, mentre la terza (*Water Supply System diagnostic*) a tutti gli elementi collegati.

Seleziona *element time series* e applicala all'elemento INFLOW. Un'apposita interfaccia utente ti consentirà di selezionare la tipologia di *run* da effettuare (in questo caso è disponibile solo il *run* di tipo *hindcast*).

Il bilancio di massa relativo al *run hindcast* per l'elemento selezionato (INFLOW nell'esempio) è mostrato nel pannello inferiore.



Ora si aggiunge la domanda irrigua di Uruk: clicca sull'icona  e poi sulla mappa per posizionare il nuovo elemento. Nomina il nuovo elemento USER «Irrigazione Uruk», imposta una priorità uguale a 2, indica come file di input (disponibile nel dataset del tutorial) «Uruk_irrigation.xls» e collega la domanda irrigua di Uruk allo stesso elemento INFLOW precedentemente creato.



Questo è il caso di un semplice sottoschema mono risorsa - multi utenza, con l'introduzione del concetto di *assegnazione per priorità* dell'elemento USER: la domanda irrigua con priorità = 2 sarà considerata successivamente alla domanda idropotabile con priorità = 1.

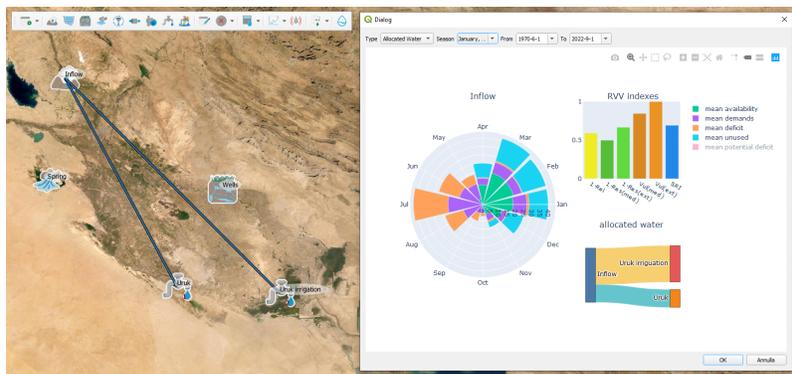
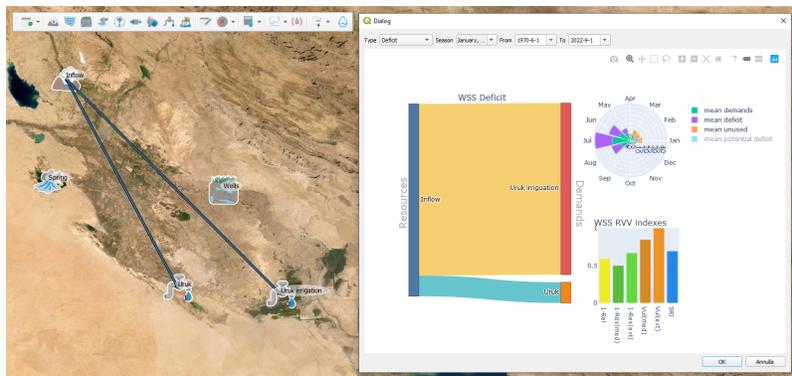
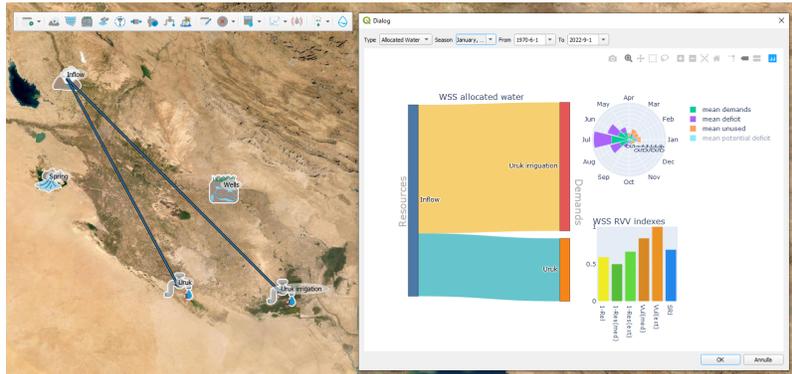
Il *run hindcast* deve essere ricalcolato per integrare la modifica apportata sul sistema idrico. Una volta ricalcolato, seleziona *Water Supply System diagnostic* tra i plot disponibili.



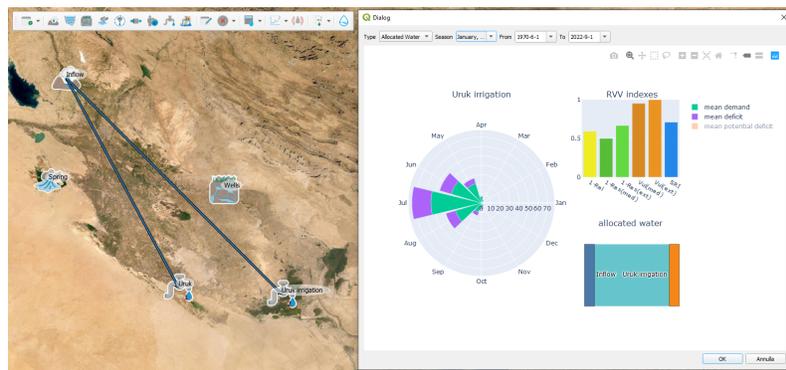
Tale funzione fornisce una prima panoramica del sistema idrico mono risorsa - multi utenza implementato.

La selezione predefinita mostra la ripartizione dell'acqua sul diagramma di Sankey (pannello di sinistra). Selezionando nel menu in alto «deficit», la figura sarà aggiornata mostrando il flusso di deficit invece della ripartizione dell'acqua ed evidenziando che l'assegnazione della priorità all'elemento USER incide sulla domanda irrigua. Gli indici di siccità (pannello in basso a destra) mostrano la vulnerabilità del sistema idrico di Uruk.

Ciò è dovuto alla scarsa disponibilità di acqua fornita dall'elemento INFLOW durante i mesi estivi: tale aspetto emerge dal risultato grafico ottenuto con l'applicazione del plot *element diagnostic* all'elemento INFLOW. Il pannello di sinistra riporta il valore medio mensile delle variabili del bilancio di massa dell'elemento. La disponibilità di acqua è minima durante l'estate, mentre la maggior parte della portata invernale è attualmente inutilizzata.

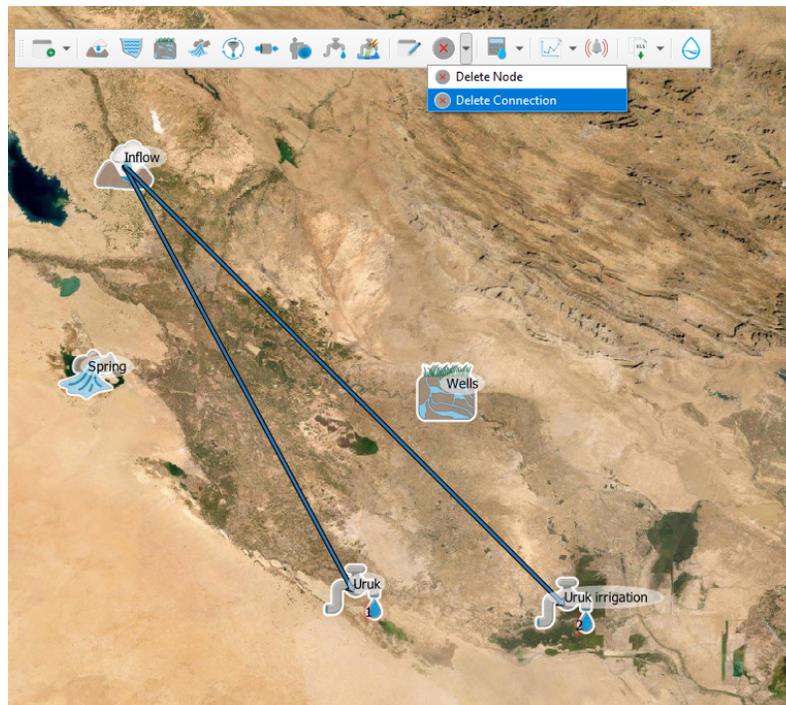


La maggior parte del deficit estivo relativo all'elemento INFLOW è causato dall'elevata richiesta di acqua per l'irrigazione estiva, come si può apprezzare dal plot «element diagnostic» applicato alla domanda irrigua (elemento USER con priorità 2) di Uruk.



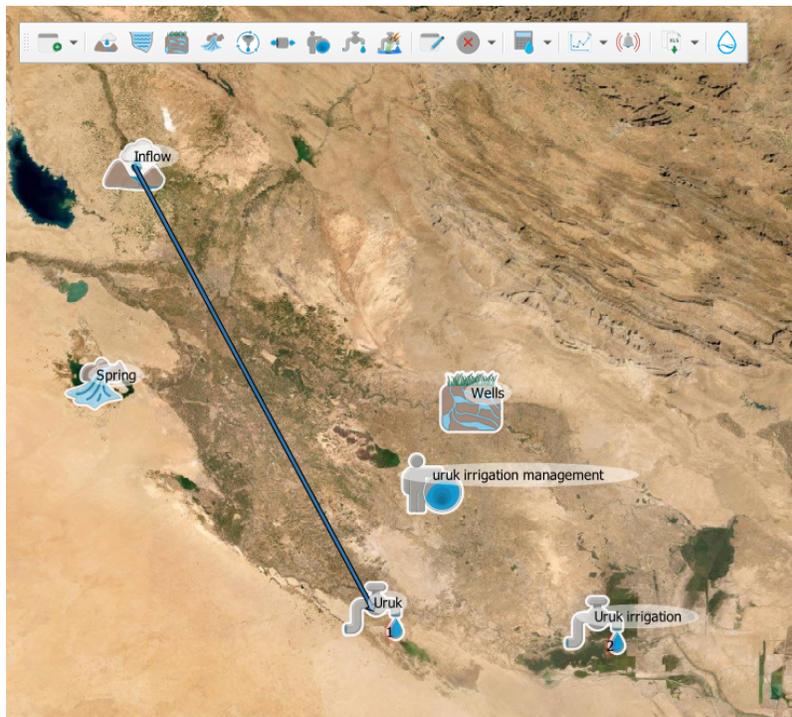
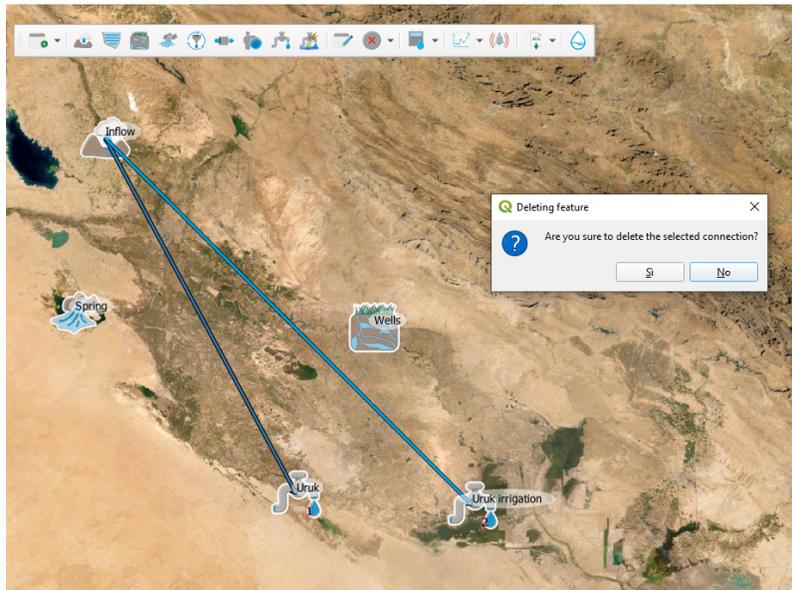
Come possibile soluzione si può ipotizzare che la domanda irrigua di Uruk possa essere presa in carico anche da risorse sotterranee, introducendo un elemento WELLS; a questo punto per l'irrigazione di Uruk si ottiene un sottoschema multi risorsa - mono utenza. In INOPIA, per implementare la ripartizione in uno schema multi risorsa è necessario

creare un nodo di gestione (elemento MANAGEMENT node, accessibile dall'icona ) , per stabilire le regole di ripartizione tra gli elementi INFLOW e WELLS (ambidue risorse) con il fine di soddisfare la domanda irrigua di Uruk. Per modificare lo schema topologico, in primo luogo si elimina la connessione tra l'elemento INFLOW e la domanda irrigua di Uruk « «Uruk irrigation», elemento USER) mediante il tool *cancel* contenuto nella toolbar di INOPIA, cliccando sulla connessione e confermandone l'eliminazione.

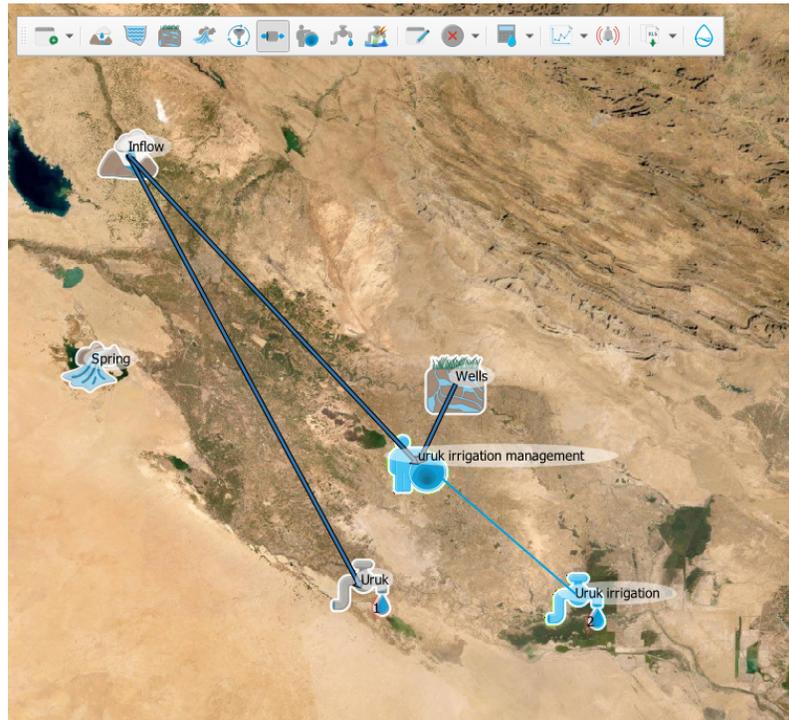


and confirm the deletion.

Il passo successivo è la creazione di un nodo di GESTIONE (MANAGEMENT node), chiamato «Uruk irrigation management». In INOPIA un nodo MANAGEMENT è sempre dedicato ad un singolo elemento USER.



Connetti il nodo di GESTIONE, in modo che ambedue le risorse INFLOW e WELLS fluiscono verso l'elemento USER (domanda irrigua di Uruk) attraverso il nodo di GESTIONE.



Una volta completata la connessione, tramite l'apposita interfaccia seleziona una regola di gestione tra le tre opzioni disponibili: *priorità*, *statica* e *dinamica*, descritte in dettaglio nella documentazione di INOPIA. Seleziona la regola *priorità* e per assicurarti che si acceda all'elemento WELLS in via prioritaria, verifica che l'elemento WELLS sia il primo nella lista delle priorità (puoi cambiare l'ordine semplicemente utilizzando il *drag and drop*). Clicca sul pulsante OK per impostare la regola di gestione sulla selezione corrente.

Please see GIF animation here

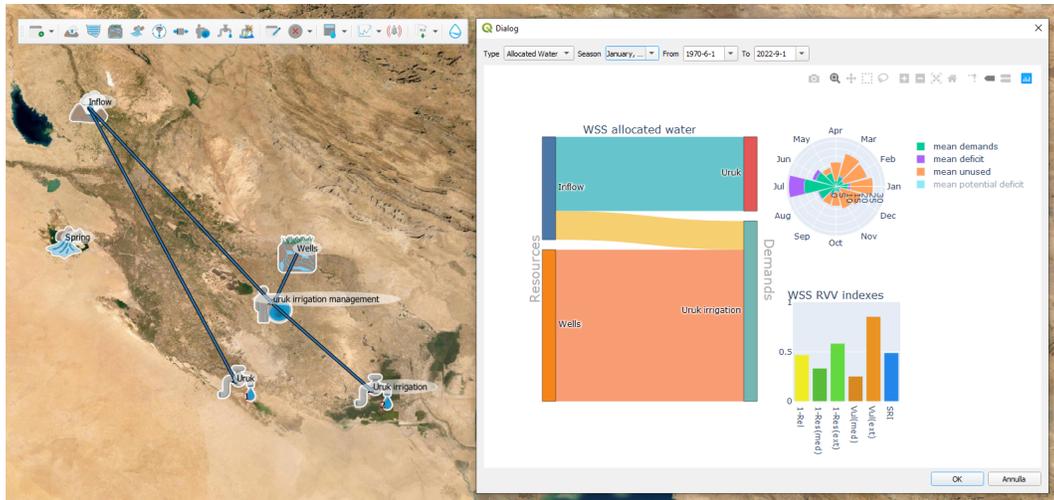
Ora la domanda irrigua di Uruk sarà indirizzata in primo luogo alle risorse sotterranee (elemento WELLS) e in secondo luogo all'elemento INFLOW, in accordo con il sottoschema multi risorsa - mono utenza relativo all'irrigazione di Uruk. Poiché la domanda idropotabile di Uruk è ancora connessa all'elemento INFLOW, il sistema idrico complessivo è in realtà multi risorsa - multi utenza. L'attuale schema di ripartizione sarà quindi il seguente:

- 1. La domanda dell'elemento USER con priorità 1 (Uruk acqua potabile) viene indirizzata all'elemento INFLOW.
- 2. La domanda dell'elemento USER con priorità 2 (domanda irrigua Uruk) viene prima indirizzata attraverso il nodo di GESTIONE all'elemento WELLS.
- 3. Se l'elemento WELLS non è in grado di soddisfare completamente la domanda irrigua di Uruk, la domanda rimanente viene indirizzata all'elemento INFLOW.

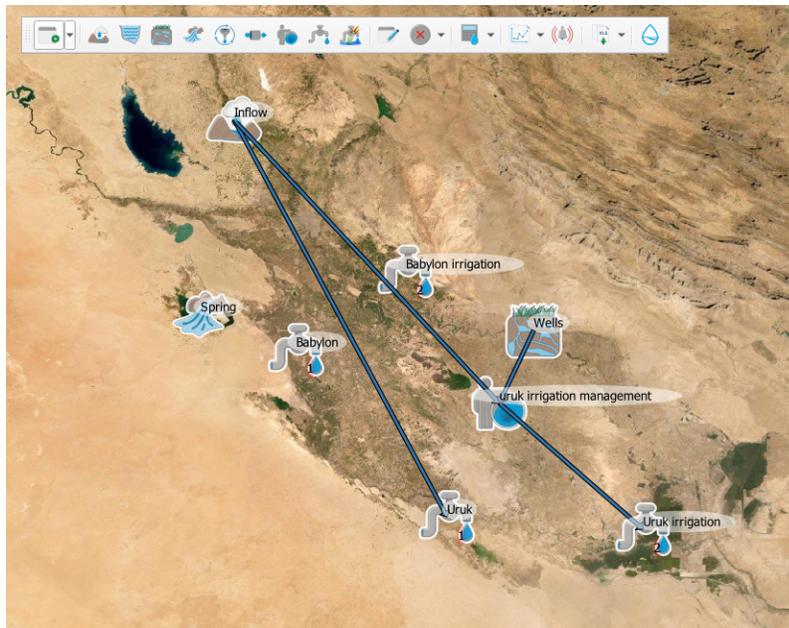
Dopo aver rilanciato il *run hindcast* e selezionato il plot «Water Supply System diagnostic», il risultato evidenzia un sistema idrico meno vulnerabile, poiché l'elemento WELLS soddisfa la maggior parte della domanda irrigua di Uruk.

2.3.3 Babilonia

In realtà Uruk non è l'unico USER nella regione, anche Babilonia necessita di risorse idropotabili e irrigue. Aggiungi un elemento USER (nome «babylon») con priorità 1 (domanda idropotabile di Babilonia) e seleziona come file di input «Babylon.xlsx» disponibile nel dataset del tutorial; successivamente inserisci un secondo elemento USER



(nome «babylon irrigation») con priorità 2 (domanda irrigua di Babilonia), selezionando come file di input «Babylon_irrigation.xls». La domanda idropotabile di Babilonia e Uruk condividono la stessa priorità, al pari delle rispettive domande irrigue.

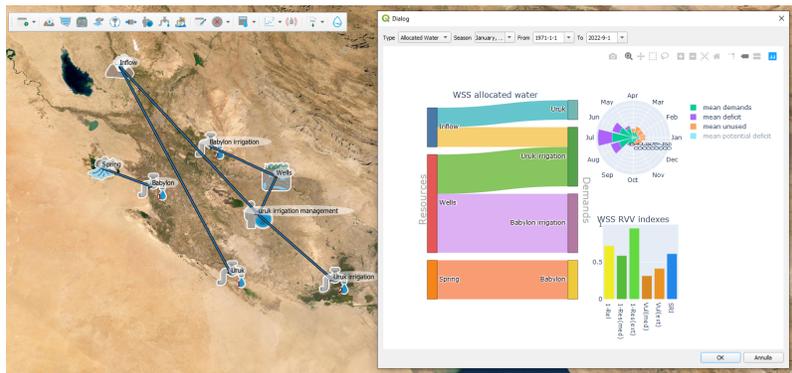
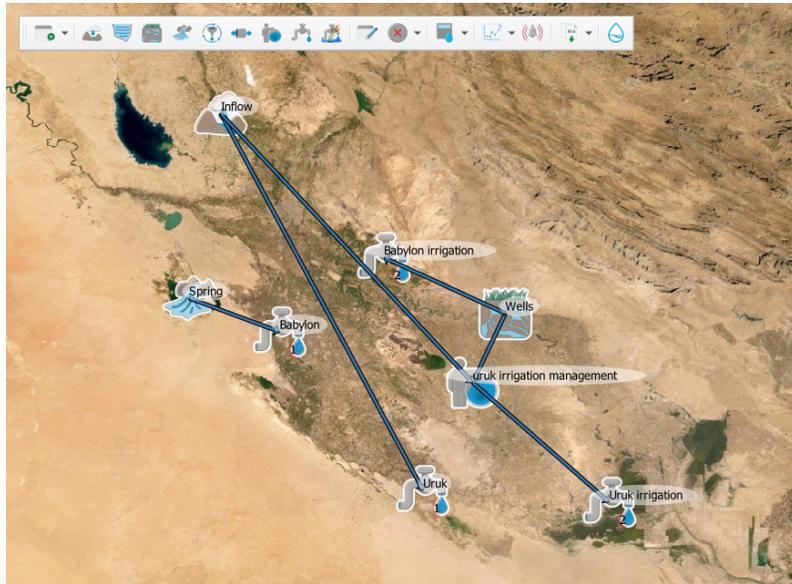


Come mostrato nella figura seguente, la domanda idropotabile di Babilonia è collegata alla sorgente (elemento SPRING), mentre la domanda irrigua alla risorsa sotterranea (elemento WELLS), entrando quindi in conflitto con la domanda irrigua di Uruk.

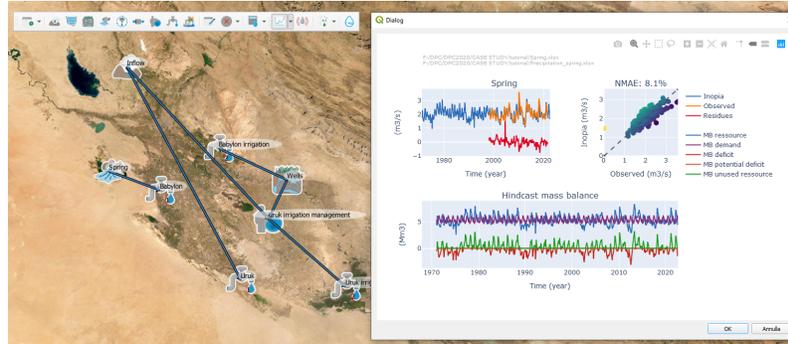
da notare che lo schema contenente la domanda idropotabile di Babilonia è disconnesso dal resto del sistema idrico implementato. Questo non costituisce un problema per INOPIA, poichè ha la capacità di gestire più sistemi idrici disconnessi all'interno dello stesso progetto.

Il run hindcast deve essere ricalcolato per considerare le domande di Babilonia. Il calcolo richiederà più tempo, poichè più elementi USERS condividono la stessa priorità. Per avere una visione del bilancio di massa risultante utilizza la

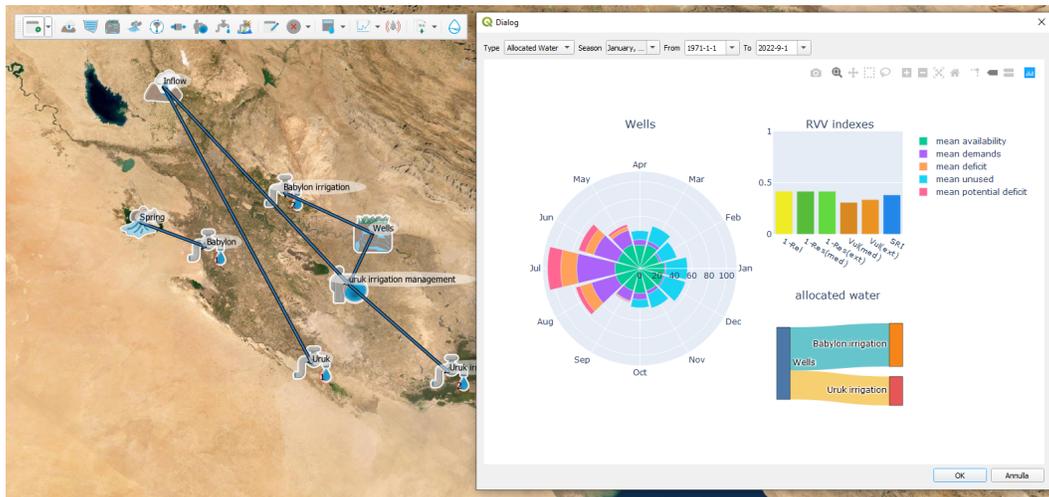
funzione WSS diagnostic disponibile nelle funzionalità di .



Ora la risorsa WELLS è condivisa tra la domanda irrigua di Babilonia e Uruk, che a loro volta accedono anche all'elemento INFLOW, condiviso con la domanda idropotabile di Uruk, mentre la domanda idropotabile di Babilonia insiste solamente sulla sorgente (elemento SPRING). Questa configurazione si traduce in un'elevata vulnerabilità di Babilonia, poichè il fabbisogno idropotabile è soggetto alla variabilità della sorgente, come evidenziato dal grafico risultante della funzione di plot *element time series* applicato all'elemento SPRING.



le risorse sotterranee (elemento WELLS) sono ora sovrasfruttate, e la domanda irrigua di Uruk nel periodo estivo è ancora insoddisfatta.



2.3.4 Capitolo #4 la Diga

Sulla base di tali considerazioni, si è deciso di costruire un invaso multiuso sull'INFLOW con l'intento di fornire l'acqua potabile mancante a Babilonia e sostenere il picco di irrigazione estivo di Uruk.

We now add the RESERVOIR, clicking on the  icon and then to the location on the map. We call the RESERVOIR «Reservoir» and indicate the tutorial input file “Reservoir.xlsx”. The Reservoir.xlsx is filled with a maximum capacity of 150 Mm³ and a dead volume of 15 Mm³.

Si possono considerare vari scenari per sfruttare al meglio la nuova infrastruttura. In primo luogo si collega la domanda idropotabile di Babilonia e la domanda irrigua di Uruk all'invaso. La domanda idropotabile di Uruk sarà naturalmente

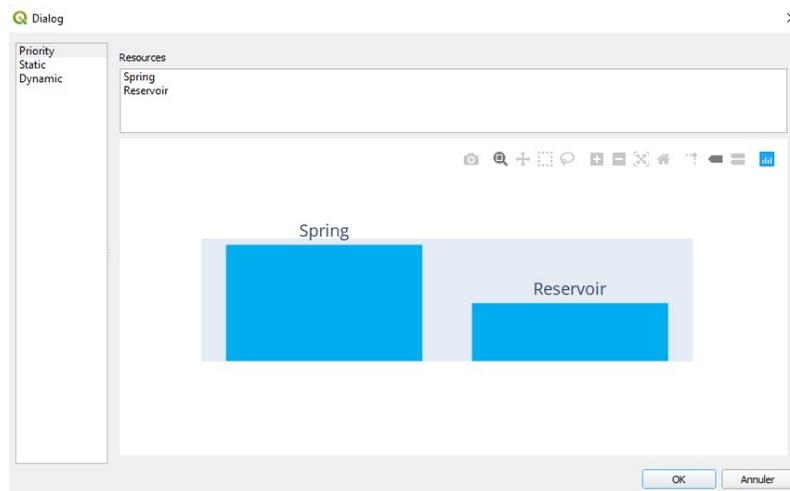
collegata all'invaso, in quanto intercetta l'elemento INFLOW. Utilizzando il tool  rimuovi la connessione esistente tra l'INFLOW e la domanda idropotabile (USER con priorità 1) di Uruk ed il collegamento tra l'INFLOW e il nodo di gestione dell'irrigazione (MANAGEMENT node) di Uruk. Utilizzando il tool  colleghiamo l'INFLOW



al RESERVOIR, e il RESERVOIR allo USER di Uruk al nodo di gestione dell'irrigazione (MANAGEMENT node) di Uruk.

Please see [GIF animation here](#)

Poichè le risorse legate al nodo di gestione relativo all'irrigazione di Uruk sono modificate, viene visualizzata l'interfaccia utente del nodo GESTIONE dell'irrigazione di Uruk. Nell'ottica di un quadro collaborativo, la domanda irrigua di Uruk deve trarre vantaggio dall'invaso per gravare di meno sui pozzi condivisi con la domanda irrigua di Babilonia (che non ha accesso all'invaso), per cui la regola di priorità di gestione della domanda irrigua di Uruk è ora impostata sull'invaso.



Anche l'elemento USER relativo alla domanda idropotabile di Babilonia è collegato all'invaso (elemento RESERVOIR). Questo implica l'introduzione di un nuovo nodo di GESTIONE, per il nuovo sottosistema di Babilonia di tipo

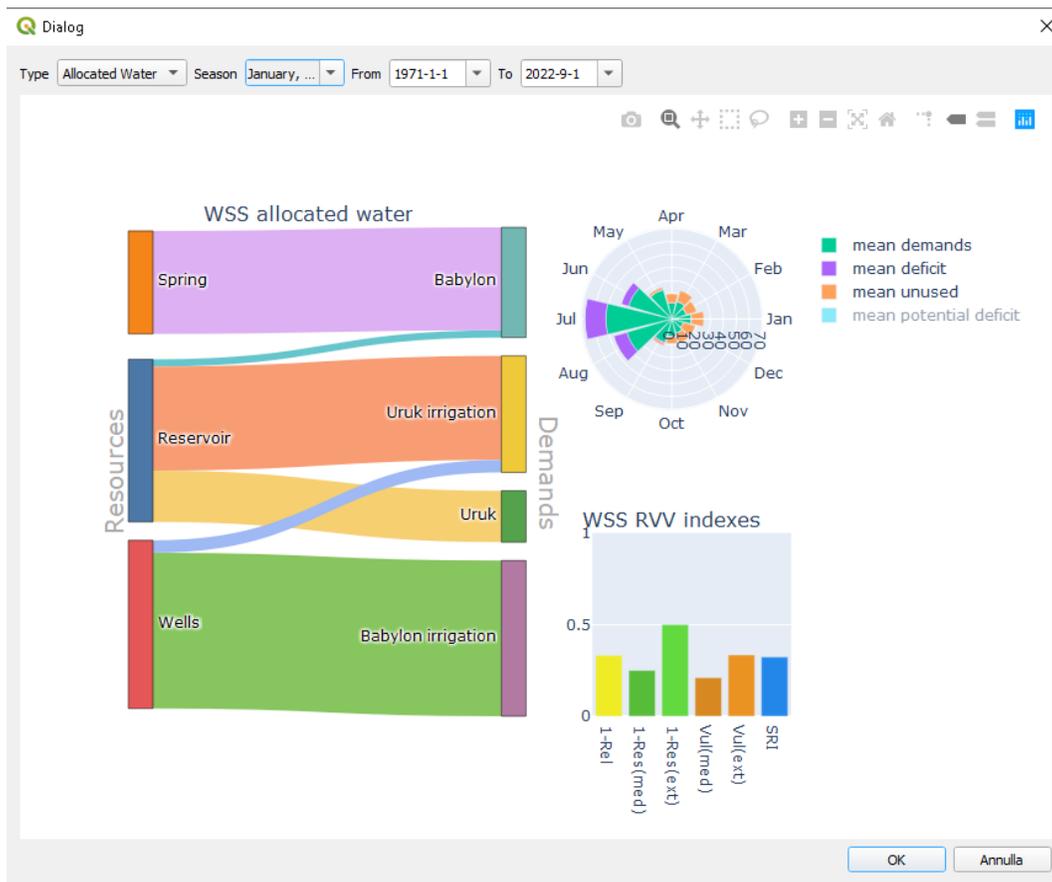
mono utenza - multi risorsa. Crea un nuovo nodo  chiamato «Babylon drinking water management», elimi-

na  la connessione diretta tra la sorgente (SPRING) e la domanda idropotabile (USER) di Babilonia, connetti  l'invaso (RESERVOIR) e la sorgente (SPRING) al nodo di GESTIONE relativo alla domanda idropotabile di Babilonia, ed infine il nodo GESTIONE alla domanda idropotabile (USER) di Babilonia. A questo punto verrà

visualizzata una nuova interfaccia utente relativa al nodo di GESTIONE: sia per accedere ad un'acqua più fresca che per gravare di meno sull'invaso multiuso, tramite l'interfaccia si stabilisce che la domanda idropotabile di Babilonia acceda in via prioritaria alla sorgente.



note that the Babylon drinking sub water scheme is now connected to the whole as a single complex multi-resources multi-users



2.3.5 Capitolo #5 Prospettive future

In un quadro collaborativo più ampio, il flusso ecologico fornisce acqua all'ecosistema che precedentemente faceva affidamento sul naturale afflusso (INFLOW) non intercettato dall'invaso (RESERVOIR).

-*Be prepared*: To better anticipate the impact of meteorological drought on the WSS, explore RESERVOIR early warning  and how the stochastic  generation can improve its reliability.

-*Sii preparato*: per meglio anticipare la reazione del sistema idrico alla previsione stagionale, aggiorna il *run hindcast* all'ultima precipitazione mensile nota e testa la funzionalità di *run forecast*  sulla tendenza stagionale.

-*Sii pronto per l'adattamento*: per meglio anticipare l'impatto del cambiamento climatico sul sistema idrico, esplora lo scenario *downscaled* CIMP6 fornito eseguendo  utilizzando i file «Precipitation inflow_scenario.xlsx» e «Precipitation spring_scenario.xlsx» e testa INOPIA su come adattare il DSS (Decision Support System) con uno scenario infrastrutturale.

-*Adapt*: Test other management option or infrastructure parameter (e.g. edit «Reservoir.xlsx») for «what if» management and infrastructural scenario on hindcast or scenarios runs. Test an alternative water resource for Uruk drinking purpose («AtmosphericWaterHarvesting.xlsx»).

- *Perchè INOPIA*
- *Elementi Risorse & Utente*
 - *Afflussi (Inflows)*
 - * *Cosa viene rappresentato*
 - * *Modello integrato*
 - * *Template per l'input del dati*
 - * *Input opzionali*
 - *Sorgenti (Springs)*
 - * *Cosa viene rappresentato*
 - * *Modello integrato*
 - * *Template per l'input del dati*
 - * *Input opzionali*
 - *Pozzi (Wells)*
 - * *Cosa viene rappresentato*
 - * *Modello integrato*
 - * *Template per l'input del dati*
 - *Invasi (Reservoirs)*
 - * *Cosa viene rappresentato*
 - * *Modello integrato*
 - * *Template per l'input del dati*

- * *Input opzionali*
 - *Risorse idriche alternative (Alternative Water Sources (AWS))*
 - * *Cosa viene rappresentato*
 - * *Modello integrato*
 - * *Template per l'input del dati*
 - *Domanda (USER)*
 - * *Cosa viene rappresentato*
 - * *Modello integrato*
 - * *Template per l'input del dati*
 - *Flusso ecologico (Ecological flow)*
 - * *Cosa viene rappresentato*
 - * *Modello integrato*
 - * *Template per l'input del dati*
- *Topologia & regole di connessione*
 - *Monorisorsa-multiutenza*
 - *Multirisorsa-monoutenza*
 - *Impostare una connessione*
 - *Mappare un Sistema Idrico (WSS) in INOPIA*
- *Il nodo di GESTIONE*
 - *Cosa viene rappresentato*
 - *Modello integrato*
- *Run*
 - *Run hindcast*
 - *Run stocastico*
 - *Run Scenario*
 - *Run Forecast*
- *Edit tool*
 - *Applicato all'elemento Risorse*
 - *Applicato all'elemento Users*
 - *Applicato all'elemento Nodo di Gestione*
- *Tool integrato di plotting*
 - *Plot delle serie temporali*
 - *Plot diagnostico di un elemento (Element diagnostic) «*
 - *Plot diagnostico del WSS*
- *Il tool di Early Warning*

- Tool di early warning applicato all'elemento RESERVOIR
- SPRING (sorgente) early warning
- Esportazione

3.1 Perché INOPIA

La carenza d'acqua può essere definita come la condizione, limitata nello spazio e nel tempo, caratterizzata da un'insufficiente disponibilità di risorsa idrica rispetto della domanda ad essa connessa. Secondo la definizione di Paulo e Pereira (2006) e Pereira et al (2019): “*Water shortage is also a man-induced but temporary water imbalance including groundwater and surface water over-exploitation [...]*”. («La carenza d'acqua è anche uno squilibrio idrico indotto dall'uomo ma temporaneo, che riguarda lo sfruttamento eccessivo sia delle acque superficiali che delle acque sotterranee [...]»). Questo concetto è quindi applicabile ai sistemi idrici, che sono l'insieme delle infrastrutture che captano ed eventualmente immagazzinano l'acqua di una o più risorse (superficiali e sotterranee) e la distribuiscono a diverse tipologie di utenze (per uso potabile, irriguo, industriale, ecc.) La condizione di carenza idrica diventa particolarmente grave quando si verificano situazioni di siccità per periodi di tempo più o meno prolungati. È quindi evidente che l'identificazione di indicatori di pre-allarme di condizioni di carenza idrica, che si traduce nell'incapacità di un sistema di soddisfare il fabbisogno idrico delle utenze connesse, deve necessariamente considerare sia la variabilità meteorologica (che include gli andamenti climatici di medio-lungo periodo) che le specifiche caratteristiche infrastrutturali e gestionali di ogni sistema idrico. I sistemi di approvvigionamento idrico possono essere estremamente diversificati sia in termini di utenze finali (impianti per acqua potabile, irrigazione, industriali o uso multiplo) sia in termini di risorse utilizzate (bacini naturali e artificiali, acque superficiali, acquiferi alluvionali, sorgenti e impianti di depurazione). INOPIA si propone quindi come uno strumento flessibile di supporto alle decisioni basato sul calcolo del bilancio di massa mensile (volumi d'acqua) di un sistema idrico *multi risorsa-multi utenza* costituito da elementi che rappresentano le risorse idriche, le utenze, le connessioni e nodi di gestione. Considerando le serie temporali di precipitazioni, le osservazioni di portata disponibile, i fabbisogni di ogni macro utenza, le caratteristiche delle risorse superficiali e sotterranee e le modalità di gestione del sistema idrico e il livello di interconnessione, il *tool* stima il bilancio idrico individuando il rischio di deficit che insiste su ciascuna utenza/risorsa o sull'intero sistema. L'analisi della relazione storica tra il regime delle precipitazioni, la disponibilità di risorse e i deficit ricostruiti consentono la calibrazione di un sistema di supporto di preallarme di possibili crisi idriche nonché di scenari combinati gestionali, infrastrutturali e climatici.

3.2 Elementi Risorse & Utenze

3.2.1 Afflussi (Inflows)



Cosa viene rappresentato

L'elemento INFLOW simula il deflusso superficiale da un bacino di alimentazione che drena i corsi d'acqua e le precipitazioni verso un punto comune come l'afflusso ad un invaso o la portata di un fiume in una determinata sezione.

L'elemento INFLOW fornirà serie temporali di portata media mensile (m^3/s) al WSS (sistema di approvvigionamento idrico).

Gli elementi INFLOW possono essere collegati agli elementi USER (UTENTE), RESERVOIR (INVASO) e MANAGEMENT (nodo di GESTIONE).

Modello integrato

L'elemento INFLOW ha un modello integrato in INOPIA, chiamato SPI-Q, che riproduce la portata media mensile basata sulle anomalie delle precipitazioni. È un modello afflussi-deflussi di tipo multiregressivo basato sull'indice di precipitazione standard (SPI) (Romano et al. 2017; Romano et al. 2018), considerando un'ipotesi di stazionarietà nella relazione tra anomalie di precipitazione a diverse scale temporali e la risposta idrologica del bacino per un determinato mese dell'anno.

Quando si aggiunge un elemento INFLOW al sistema idrico (WSS), all'utente è richiesto di fornire un file delle precipitazioni, con una o più serie cumulate a scala mensile (mm) e un file di afflusso con portate osservate.

Le singole serie temporali di precipitazione possono avere valori mancanti, ma è necessario che sia presente almeno un valore per ogni mese della sequenza temporale della simulazione.

Diversamente, la portata osservata può avere valori mancanti, ma dovrebbe avere almeno un valore noto per ogni mese dell'anno. La qualità del modello risultante (sulla portata stimata) dipenderà fortemente dall'entità della serie temporale di portata osservata. A seconda del caso di studio, potrebbero essere necessari da 20 a 30 anni di osservazioni per ottenere una calibrazione adeguata.

Per ogni singola serie temporale di precipitazione, INOPIA stimerà SPI associati a diverse scale temporali (1,3 e 6 mesi) tipici di processi idrologici veloci (es. deflusso superficiale), medi (es. umidità del suolo) e lenti (es. infiltrazione) considerati alla scala di bacino.

Per ogni mese dell'anno viene calibrata una regressione multilineare tra la portata osservata e i valori medi SPI (tra le stazioni disponibile nel file delle precipitazioni) di ciascuna scala:

$$Q(m_i) = a_0(m) + a_{SPI1}(m) \cdot SPI1(m_i) + a_{SPI3}(m) \cdot SPI3(m_i) + a_{SPI6}(m) \cdot SPI6(m_i)$$

dove $Q(m_i)$ è la portata per il mese m , anno i

$SPI1(m_i)$, $SPI3(m_i)$ e $SPI6(m_i)$ sono gli Indici di Precipitazione Standardizzati (SPI) per il mese m , anno i basati sulle precipitazioni cumulate a 1, 3 e 6 mesi.

$a_{SPI1}(m)$, $a_{SPI3}(m)$, $a_{SPI6}(m)$ e $a_0(m)$ sono i coefficienti ottenuti dalle multiregressioni sugli $SPI1$, $SPI3$, $SPI6$ per il mese m .

Come risultato, l'elemento INFLOW fornirà al WSS una portata mensile continua sulla base della disponibilità temporale delle serie di precipitazione (esempio: se è disponibile una serie temporale di precipitazione per il periodo 1950-2020 e una serie di portata osservata per il periodo 1990-2015, si avrà come risultato una portata simulata per il periodo 1950-2020).

Lo SPI-Q calibrato sarà quindi disponibile per simulazioni di tipo stocastico, scenario e di previsione.

Template per l'input dei dati

Quando si aggiunge un nuovo elemento INFLOW, all'utente è richiesto di fornire un file di precipitazione (con una serie temporale relativa a una stazione) e un file di portata (con una serie temporale di portata).

The template input files for precipitation is available at the following [link](#). The template input files for INFLOW discharge is available at the following [link](#).

Input opzionali

Il file di portata può contenere un foglio opzionale chiamato "External", con i risultati di una modellazione esterna (in alternativa ai risultati del modello integrato). Il template del file di input per la portata relativa all'elemento INFLOW con il foglio opzionale è disponibile al seguente [link](#).

Se tale foglio opzionale è presente nel file di portata, all'utente sarà chiesto di scegliere tra modello integrato e modello esterno per l'esecuzione della simulazione di tipo *hindcast*.

*Suggerimento: il foglio "External" può essere utilizzato per eseguire il *run di tipo hindcast con la portata osservata per un periodo senza dati mancanti**

3.2.2 Sorgenti (Springs)



Cosa viene rappresentato

La porzione di precipitazione che si infiltra ricarica la falda e viene esercitata una pressione sull'acqua già presente. Questa pressione sposta l'acqua all'interno della falda e sgorga naturalmente in superficie in luoghi chiamati sorgenti. L'elemento SPRING rappresenta il deflusso naturale superficiale di una falda acquifera in un determinato punto di emergenza (sorgente puntuale).

L'elemento SPRING fornirà al sistema idrico serie temporali della portata media mensile (m^3/s).

Gli elementi SPRINGS possono essere connessi agli elementi USER, RESERVOIR e ai nodi di MANAGEMENT.

Modello integrato

L'elemento SPRING è dotato di un modello integrato (built-in model) in INOPIA, che riproduce la portata media mensile in funzione delle anomalie di precipitazione. È un modello generico “pioggia-infiltrazione-deflusso” basato su una semplice regressione sullo Standard Precipitation Index (SPI) (Romano et al. 2013; Romano et al. 2017; Romano et al. 2018), considerando un'ipotesi di stazionarietà nella relazione tra anomalia di precipitazione a diverse scale temporali e la risposta idrologica della falda acquifera per un determinato mese dell'anno.

Quando un elemento SPRING viene aggiunto al sistema idrico, all'utente è richiesto di fornire un file di precipitazione con una o più serie temporali cumulate mensili (mm) e un file di portata con portate osservate.

Le singole serie temporali di precipitazione possono avere valori mancanti, ma è necessario che sia presente almeno un valore per ogni mese della sequenza temporale della simulazione.

Diversamente, la portata osservata può avere valori mancanti, ma dovrebbe avere almeno un valore noto per ogni mese dell'anno. La qualità del modello risultante (sulla portata stimata) dipenderà fortemente dalla lunghezza della serie temporale di portata osservata. A seconda del caso di studio, potrebbero essere necessari da 15 a 20 anni di osservazioni per ottenere una calibrazione adeguata.

Per ogni singola serie temporale di precipitazione, INOPIA stima gli SPI associati a diverse scale temporali (da 1 a 24 mesi), eventualmente considerando anche un ritardo (*delay*) nell'infiltrazione attraverso l'assegnazione di un *lag* mensile (da 0 a 6 mesi).

Per ogni mese dell'anno viene calibrata una regressione lineare tra la portata osservata e i valori medi degli SPI (tra le stazioni disponibili nel file delle precipitazioni) di ciascuna scala e *lag*:

$$Q(m_i) = a_0(m) + a_{SPIX_\tau}(m) \cdot SPIX(m_i, \tau)$$

dove $Q(m_i)$ è la portata per il mese m , anno i

$SPIX(m_i, \tau)$ è l'indice standardizzato di precipitazione (SPI) per il mese m , anno i basato sulla precipitazione cumulata a X mesi con *delay* τ . Il fattore $SPIX(m_i, \tau)$ viene selezionato automaticamente da INOPIA in termini di scala e *delay* sulla base dei risultati migliori ottenuti in termini di correlazione di Pearson con la portata della sorgente.

$a_{SPIX_\tau}(m)$ e $a_0(m)$ sono i coefficienti ottenuti dalla regressione.

Di conseguenza l'elemento SPRING fornirà al sistema idrico valori di portata mensili continui sulla base della disponibilità della sequenza temporale delle precipitazioni (per esempio se si forniscono dati di precipitazione che ricoprono il periodo 1950-2020 e dati di portata osservata che ricoprono il periodo 1990-2015, come risultato si otterrà una portata simulata per il periodo 1950-2020).

Il modello integrato calibrato (*hindcast*) sarà quindi disponibile per simulazioni *stocastiche*, *scenari* e *forecast*.

Template per l'input dei dati

Quando un elemento SPRING viene aggiunto al sistema idrico, all'utente verrà chiesto di fornire un file di precipitazione, con una o più serie temporali cumulate mensili (mm) e un file con una serie temporale di portate medie mensili osservate (m^3/s).

Il *template* del file di input per le precipitazioni è disponibile al seguente link: [link](#). Il *template* del file di input per la SPRING è disponibile al seguente link: [link](#).

Input opzionali

«Il file di portata dell'elemento SPRING può contenere un foglio opzionale chiamato “External”, con i risultati di una modellazione esterna (in alternativa ai risultati del modello integrato). Il *template* del file di input per SPRING con il foglio opzionale è disponibile al seguente link: [link](#).

Se tale foglio opzionale è presente nel file di portata, all'utente sarà chiesto di scegliere tra modello integrato e modello esterno per l'esecuzione della simulazione di tipo *hindcast*.

*Suggerimento: il foglio “External” può essere utilizzato per eseguire il *run di tipo hindcast con la portata osservata per un periodo senza dati mancanti**

3.2.3 Pozzi (Wells)



Cosa viene rappresentato

L'elemento WELLS simula il comportamento di un campo pozzi in termini di volume massimo mensile che può essere estratto dal corpo idrico sotterraneo.

Modello integrato

L'elemento WELL non è basato su un modello integrato che simula il comportamento fisico di un acquifero. Di conseguenza, nessuna variabilità inter-annuale o bilancio di massa interno sono attualmente implementati per l'elemento WELL in INOPIA. Questo aspetto è sia un limite che un vantaggio. Un limite perché lo sfruttamento eccessivo cumulato di un corpo idrico sotterraneo non è esplicitamente monitorato da INOPIA. Un vantaggio perché l'elemento WELL non necessita di complesse (e incerte) parametrizzazioni del suolo e delle acque sotterranee che ne limiterebbero l'uso e nessuna decisione a priori è presa sulla base dei criteri da considerare per la stima della portata massima estraibile (es. supporto ai servizi ecosistemici, limiti tecnologici e infrastrutturali, limiti di concessione, intrusione salina legata ad acquiferi costieri, ecc...).

Per l'elemento WELL, una condizione di deficit si verifica quando la somma delle domande indirizzate alla risorsa per un dato mese è maggiore del volume massimo estraibile.

Per supportare l'utente nel monitoraggio di un possibile sovrasfruttamento a lungo termine di un corpo idrico sotterraneo interessato da un elemento WELL, il *plot* relativo alla sua serie temporale associata propone una media mobile di 12 mesi considerando la somma di una risorsa non sfruttata e il deficit (cioè tasso massimo di pompaggio - domande).

Tale finestra temporale (12 mesi) è stata scelta come la copertura minima dell'intera stagionalità e può essere sotto o sovrastimata a seconda della dinamica effettiva del corpo idrico sotterraneo. Inoltre, se più campi pozzi pompano dallo stesso corpo idrico sotterraneo, questi possono essere aggregati in un unico elemento WELL per mantenere tale considerazione significativa.

Template per l'input dei dati

Quando si aggiunge un nuovo elemento WELL, all'utente è richiesto di fornire un file WELL con il valore del volume massimo mensile estraibile

Il *template* del file di input per l'elemento WELL è disponibile al seguente link: [link](#).

3.2.4 Invasi (Reservoirs)



Cosa viene rappresentato

L'elemento RESERVOIR simula una capacità di accumulo superficiale, memorizzando l'evoluzione nel tempo dei volumi immagazzinati in un invaso, naturale o artificiale, alla scala mensile. Esso è basato sul bilancio di massa (volumi) calcolato considerando come dati di input l'afflusso definito da uno o più elementi INFLOW o SPRING connessi, la capacità di immagazzinamento, definita da un volume massimo e da un volume morto, e la domanda complessiva indirizzata all'elemento, relativa al mese corrente.

Modello integrato

L'elemento RESERVOIR calcola il bilancio di massa per il mese t nel RESERVOIR in accordo con i seguenti dati di input: il volume invasato alla fine del mese precedente $V(t-1)$; l'afflusso totale all'invaso relativo al mese corrente $Q_{IN}(t)$; i volumi effettivamente distribuiti dall'elemento RESERVOIR a tutti gli elementi USER connessi $SUP(t)$;

Il bilancio di massa dell'invaso è calcolato come segue:

$$V(t) = V(t-1) + \sum_j Q_{IN}(t, j) - \sum_u SUP(t, u)$$

dove la somma su u è estesa a tutti gli elementi USER (compreso il deflusso ecologico) connessi con l'elemento RESERVOIR e la somma su j a tutti gli elementi INFLOW o SPRING connessi con l'elemento RESERVOIR

math: 'V(t-1)' of the first month of simulation is taken from initial volume supplied in the RESERVOIR input file.

Template per l'input dei dati

Quando si aggiunge un nuovo elemento RESERVOIR, all'utente verrà chiesto di fornire il volume massimo, il volume morto e quello iniziale

Il *template* del file di input per l'elemento RESERVOIR è disponibile al seguente link: [link](#).

Input opzionali

Il file di input dell'elemento RESERVOIR può contenere due fogli opzionali chiamati *Level* e *hypsographic*.

Il *template* del file di input per l'elemento RESERVOIR con i fogli opzionali è disponibile al seguente link: [link](#)

Il foglio *Level* contiene le serie temporali del volume osservato dell'invaso e verrà utilizzato (se disponibile) durante il *plot* delle serie temporali, fornendo un set indipendente di dati di validazione per la simulazione *hindcast*. Il foglio *hypsographic* contiene i dati della curva ipsografica (altitudine sul livello del mare (m (s.l.m.)) e volume corrispondente (Mm^3)), consentendo la definizione di livello di allarme per il tool di **early warning** applicato all'invaso.

3.2.5 Risorse idriche alternative (Alternative Water Sources (AWS))



Cosa viene rappresentato

L'elemento AWS consente di implementare risorse non convenzionali caratterizzate da un tasso massimo di sfruttamento che può essere fornito per un determinato mese. Alcuni esempi di risorse alternative sono: impianti di desalinizzazione, impianti di depurazione, raccolta di precipitazioni o captazione di acqua dolce sottomarina.

Modello integrato

L'elemento AWS considera il tasso di sfruttamento massimo mensile e nessuna variabilità inter-annuale è attualmente implementata per questo elemento di INOPIA.

Per l'elemento AWS, si verifica una condizione di deficit quando la somma delle domande indirizzate alla risorsa per un determinato mese è maggiore del volume massimo sfruttabile.

Template per l'input dei dati

Quando si aggiunge un nuovo elemento AWS, all'utente viene chiesto di fornire un file AWS con il tasso di sfruttamento massimo mensile utilizzabile

Il *template* del file di input per l'elemento AWS è disponibile al seguente link: [link](#).

3.2.6 Domanda (USER)



Cosa viene rappresentato

L'elemento USER rappresenta una domanda idrica mensile, che può essere per uso potabile, irriguo o industriale.

Modello integrato

L'elemento USER non è attualmente basato su un modello integrato che consideri la variabilità inter-annuale delle domande mensili (es. fabbisogno irriguo sulla base dell'umidità del suolo o fabbisogno potabile basato sulla popolazione).

Ciascun elemento USER è caratterizzato da:

- 1. Il fabbisogno idrico mensile
- 2. Il **livello di priorità** assegnato dall'utente durante la procedura di inserimento dell'elemento USER

La priorità assegnata (un numero intero compreso tra 1 e 10) è in relazione a quella di altri elementi USER eventualmente connessi ad una o più risorse condivise. Ad esempio, se due USER con priorità 1 e 2 rispettivamente sono collegati alla stessa risorsa, lo USER con priorità 1 sarà soddisfatto in via prioritaria.

Ulteriori informazioni riguardo le regole di connessione possono essere reperite in *Topology & connections rules*

Per l'elemento USER, si verifica una condizione di deficit quando la domanda idrica per un dato mese è maggiore dell'acqua disponibile nella risorsa/e connesse, considerando sia la priorità che le regole di gestione (cfr *Management node*)

Template per l'input dei dati

Il *template* del file di input per l'elemento USER è disponibile al seguente link: [link](#).

3.2.7 Flusso ecologico (Ecological flow)



Cosa viene rappresentato

Il flusso ecologico è considerato nel contesto del Water Framework Directive (WFD) come «il regime idrologico coerente con il raggiungimento degli obiettivi ambientali della WFD per i corpi d'acqua naturali di superficie[...]»

In INOPIA, l'elemento Ecological flow è considerato come un elemento USER con lmassima priorità.

Modello integrato

L'elemento Ecological flow considera come input la portata mensile erogata e accederà alla risorsa/e connessa/e con priorità assoluta.

Template per l'input dei dati

Il *template* del file di input per l'elemento Ecological flow è disponibile al seguente link: [link](#).

3.3 Topologia & regole di connessione

La progettazione di un WSS (Sistema idrico) può rivelarsi un compito complesso a seconda del numero di elementi e connessioni da considerare.

INOPIA intende semplificare questo compito, utilizzando la raccolta di elementi messi a disposizione, adattabili ad ogni specifico WSS.

Per una ottimale gestione in INOPIA, è consigliabile disaggregare gli schemi complessi in altri più semplici seguendo poche e semplici regole:

- connettersi dalle Risorse agli elementi USERS (eccezione: connessione dall'elemento INFLOW a RESERVOIR)
- disaggregare lo schema WSS di tipo multirisorsa-multiutenza nell'unione di sotto schemi:
 - Monorisorsa-multiutenza
 - Multirisorsa-monoutenza

Lo schema monorisorsa-multiutenza è gestito per priorità. Lo schema multirisorsa-monoutenza prevede l'utilizzo del nodo di GESTIONE (MANAGEMENT node), di seguito descritto, che gestisce l'allocazione di ciascuna domanda (elemento USER) alle risorse connesse.

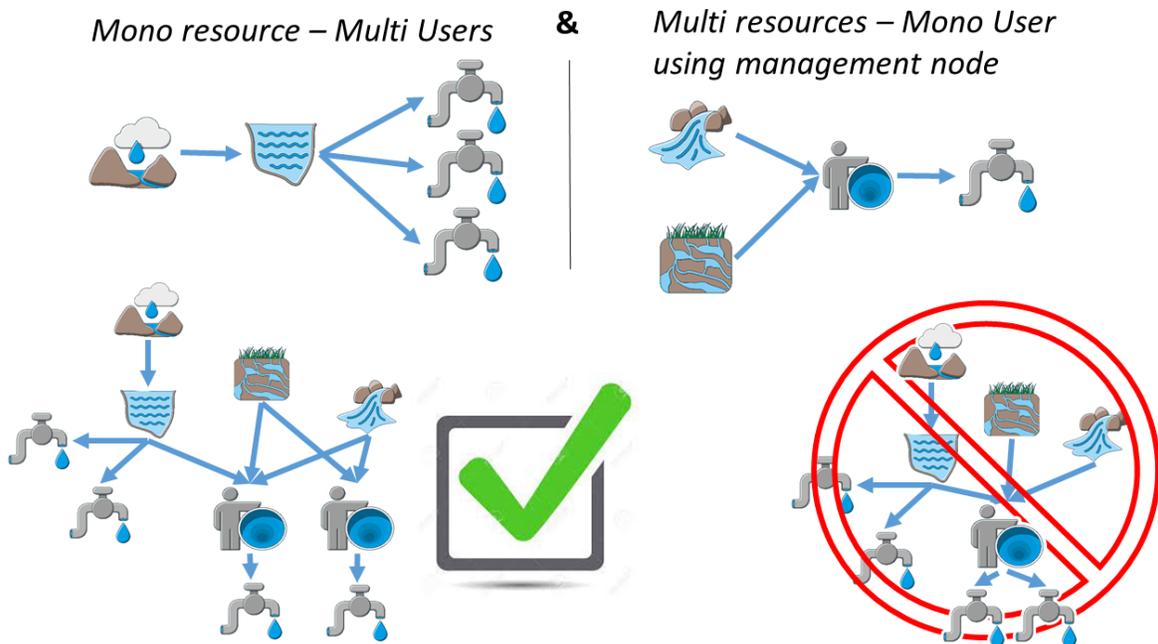
Le regole sono rappresentate graficamente di seguito:

- **Rule #1** *Connect from resources to Users*

Exception (inflow to reservoir)



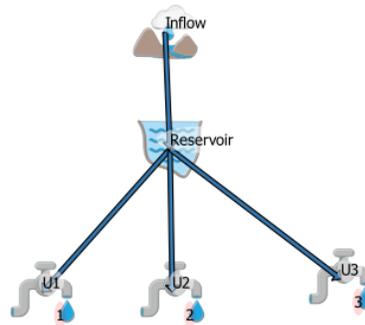
- **Rule #2** *Express your Multi resources – multi Users WSS into :*



3.3.1 Monorisorsa-multiutenza

In uno schema idrico monorisorsa-multiutenza, ogni elemento USER è caratterizzato da un fabbisogno idrico, espresso in volume mensile e eventualmente variabile di mese in mese, e dalla definizione di un ordine di priorità impostato dall'utente in relazione agli altri elementi USER.

Nel seguente schema si suppone che l'ordine di priorità sia $U1 < U2 < U3$. La priorità è visualizzata con un numero posto accanto a ciascun elemento USER



Il caso monorisorsa-multiutenza non necessita di un nodo di GESTIONE, poiché viene gestito in base alla priorità degli elementi USER connessi. Gli elementi USERs con la stessa priorità condividono il deficit della risorsa connessa. Questo aspetto fa aumentare il tempo di calcolo (a causa del fatto che il deficit da condividere non può essere anticipato a-priori). Quindi nel caso in cui più elementi USERs condividano la stessa priorità e accedano alla stessa risorsa, è consigliabile che siano aggregati in un singolo elemento USER.

3.3.2 Multirisorsa-monoutenza

Nel caso multirisorsa-monoutenza, è necessario inserire un nodo di GESTIONE (MANAGEMENT node) tra gli elementi rappresentanti la risorsa (INFLOW, RESERVOIR, WELLS, AWS) e l'elemento USER.

Nello schema seguente si suppone che un elemento USER possa accedere alle risorse rappresentate dagli elementi RESERVOIR, SPRING e WELLS; nello schema topologico, l'ordine di priorità è rappresentato da un numero posizionato accanto all'elemento USER

Three built-in approach are currently implemented in the INOPIA MANAGEMENT node:

- 1. gestione *in priorità*

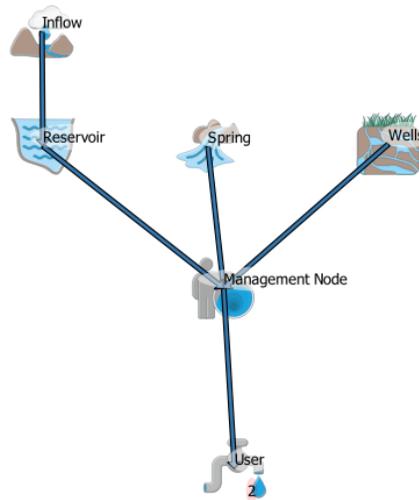
L'elemento USER accede alle risorse *in priorità* (ad es. invia prima la richiesta all'elemento RESERVOIR, se non completamente rifornito all'elemento SPRING ed infine è necessario all'elemento WELLS)

- 2. gestione in allocazione *statica*

The USER accesses the resources with predefined monthly allocation ratio (e.g. the user address 0.5 (i.e. 50%) of its demand to the RESERVOIR, 0.3 to the SPRING and 0.2 to the WELLS)

- 3. gestione in allocazione *dinamica*

The USER accesses the resources with dynamic monthly allocation proportions, depending on the resource availability. The allocation proportions are then estimated by INOPIA management node at each time step during the run, depending on the relation defined by the user between the resource state and the ratio to be used. Such relation, is settable through a parameterization of a generic logistic function, excepted for the last listed resource which will receive all the eventual unaddressed demand.



Tutte queste regole sono modificabili attraverso l'interfaccia utente MANAGEMENT, e ulteriormente descritte in *Management node*.

3.3.3 Impostare una connessione



Per impostare una connessione, dopo aver selezionato l'icona nella barra degli strumenti, è necessario posizionare il cursore sul primo elemento e premere il tasto sinistro prima sul primo elemento e poi sul secondo, e successivamente premere il tasto destro del mouse per uscire dal *tool*.

Please see GIF animation [here](#)

3.3.4 Mappare un Sistema Idrico (WSS) in INOPIA

La mappatura di un WSS in INOPIA è potenzialmente il compito più complesso, e la sua complessità dipende dal livello di interconnessione. L'intenzione di INOPIA è di essere adattabile ad ogni situazione. Per rendere il compito più semplice, di seguito si suggeriscono alcune *buone pratiche*:

- 1. Identify your “MACRO” resources

Se più campi WELLS accedono allo stesso corpo idrico sotterraneo, è consigliabile aggregare la loro portata massima estraibile in un singolo elemento. Se più SPRINGs provengono dallo stesso corpo e si comportano in modo simile (ovvero alta correlazione tra portate medie mensili) è auspicabile valutare l'aggregazione. Se più INFLOWs affluiscono ad un serbatoio comune, è auspicabile valutare l'aggregazione e stimare l'INFLOW complessivo (Q_{in}) per variazioni di livello (DV) e osservazioni di portata dell'invaso (Q_{out}) ($Q_{in}(t)=DV+Q_{out}(t)$) che includeranno il bilancio tra evaporazione e deflusso superficiale.

- 2. Identificare i “MACRO” USERS

Gli elementi USERS che condividono la stessa priorità, risorse e relative regole di accesso possono essere aggregati. Questa operazione semplificherà lo schema, velocizzerà la simulazione e semplificherà l'analisi e l'interpretazione dei risultati.

- 3. Dividi il tuo schema in sottoschemi di tipo «monorisorsa-multiutenza» e «multirisorsa-monoutenza»

Come descritto in *Topology & connections rules* identifica le risorse che soddisfano le multi utenze e l'utenza soddisfatta da risorse multiple.

- 4. Contattaci

INOPIA è un progetto open source, sviluppato in una piattaforma GitLab. Ogni potenziale collaboratore è il benvenuto. Il contributo può variare dalla condivisione delle problematiche all'accesso alla piattaforma GitLab come osservatore o come sviluppatore del plugin (Python 3) o della documentazione (Sphinx)

3.4 Il nodo di GESTIONE



3.4.1 Cosa viene rappresentato

Il nodo di *GESTIONE* (MANAGEMENT node) è in grado di stabilire le regole secondo cui un elemento USER può accedere a risorse multiple. Nell'implementazione di un WSS si possono avere più nodi di GESTIONE.

3.4.2 Modello integrato

Three built-in management rules are currently implemented in the INOPIA MANAGEMENT node, *priority* management, *static* allocation management and *dynamic* allocation management. Each rule impacts differently the demand allocation scheme as well as associated resources supplied water and deficits. A MANAGEMENT user interface will pop-up once a MANAGEMENT node is connected to a USER and more resources, to allow the user to choose and parameterize the rule. The interface will always be accessible through editing, and reset if changes occur in the connections (i.e. removed or added connections)

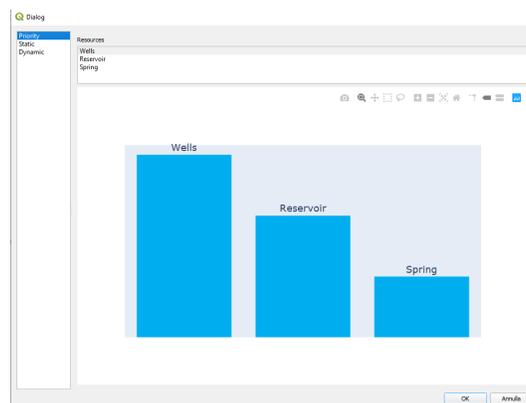
Please see GIF animation [here](#)

Una volta premuto il pulsante *ok* verrà applicata la regola di gestione selezionata (e la sua parametrizzazione)

Di seguito sono illustrate le tre regole di gestione basate su sull'esempio di sopra.

- 1. gestione *in priorità*

L'elemento USER accede alle risorse rispettando l'ordine di priorità. L'elenco delle priorità può essere facilmente modificabile con una semplice operazione di *click & drag* (trascinamento in posizione superiore o inferiore) nel pannello delle risorse collegato.



Nell'esempio, la domanda rappresentata dall'elemento USER è indirizzata prima all'elemento WELLS, in secondo luogo, se non è pienamente soddisfatta, all'elemento RESERVOIR, e infine all'elemento SPRING. Viene inoltre illustrata l'applicazione della regola di priorità per un solo mese, con una domanda (USER) di 10 Mm³.

- una domanda di 10 Mm³ viene inviata all'elemento WELLS, che è in grado di fornire un volume massimo 2 Mm³. Rimangono ancora 8 Mm³ per soddisfare la domanda. L'elemento WELLS registra un deficit potenziale di -8 Mm³, che rappresenta la risorsa mancante necessaria a soddisfare tutta la domanda ad esso indirizzata. Questo deficit è considerato *potenziale* poiché non è un effettivo deficit per l'elemento USER né per il sistema idrico (WSS), in quanto l'elemento USER indirizzerà la domanda residua alla risorsa successiva in base alla lista di priorità.
- remaining 8 Mm³ demand is sent to the RESERVOIR, for which the current available volume is 5 Mm³. 3 Mm³ are still to be supplied to the demand. The RESERVOIR registers a potential deficit of -3 Mm³, representing the missing resource necessary to supply all the addressed demand. This deficit is considered *potential* as this is not an actual deficit for the USER neither for the WSS, as the USER will address the remaining demand to the next resource in the priority list.
- la restante richiesta di 3 Mm³ viene indirizzata all'elemento SPRING, la cui portata può fornire 1 Mm³. SPRING registra un effettivo deficit di -2 Mm³, che rappresenta la risorsa mancante necessaria per soddisfare interamente la domanda indirizzata. Questo deficit è considerato *effettivo* per l'elemento USER e per il WSS, poiché l'elemento USER non ha ulteriori risorse disponibili.

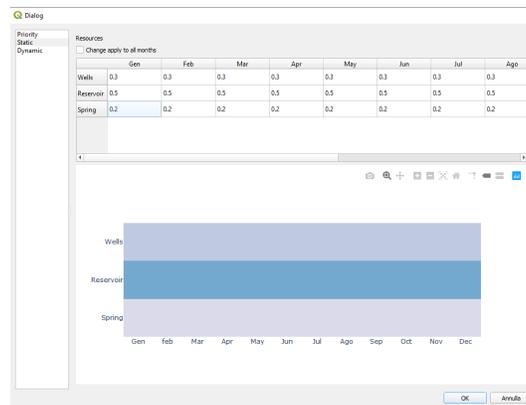
Please see GIF animation [here](#)

L'esempio è limitato ad un singolo elemento USER. In caso di multiutenza, INOPIA cumulerà gli elementi USERS, il deficit di risorse e il deficit potenziale sulla base della topologia implementata, le priorità dell'elemento USER e le regole di gestione.

The potential deficit is defined only for priority rule

- 2. gestione in allocazione *statica*

L'elemento USER accede alle risorse con un rapporto di allocazione mensile predefinito. Il valore proporzionale può essere modificato nell'interfaccia di gestione. La somma del rapporto per un dato mese da essere uguale a 1. I valori proporzionali possono essere gli stessi per tutti i mesi (la casella «Change apply to all months» è in grado di riempire una riga intera in una sola volta) o variare stagionalmente.



Nell'esempio, il rapporto è impostato per tutti i mesi come 0.3 (ovvero 30%) per l'elemento WELLS, 0.5 per RESERVOIR e 0.2 per SPRING. Si illustra inoltre l'applicazione della regola di priorità per un solo mese, con una richiesta dell'elemento USER di 10 Mm³.

- Il 30% dei 10 Mm³ (ovvero 3 Mm³) della domanda viene inviato all'elemento WELLS, il cui volume massimo estraibile è di 2 Mm:sup:3. WELLS registra un deficit di -1 Mm³, che rappresenta la risorsa mancante necessaria per soddisfare tutta la sottodomanda indirizzata. L'elemento USER registra un deficit di -1 Mm³.

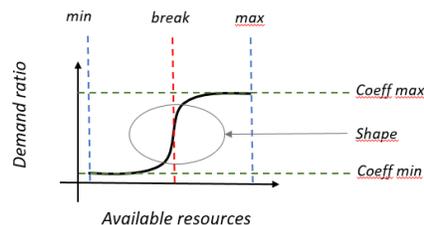
- Il 50% dei 10 Mm³ (ovvero 5 Mm³) viene inviato al RESERVOIR, il cui volume attuale è superiore alla domanda. L'elemento RESERVOIR fornisce tutti i 5 Mm³ richiesti e registra un deficit nullo. L'elemento USER mantiene un deficit di -1 Mm³.
- Il 20% dei 10 Mm³ (ovvero 2 Mm³) viene inviato all'elemento SPRING, che ha una portata che può fornire 1 Mm³. L'elemento SPRING registra un deficit effettivo di -1 Mm³. L'elemento USER registra un ulteriore deficit di -1 Mm³, quindi un deficit totale di -2 Mm³ :supp:`3`.

Please see GIF animation [here](#)

L'esempio è limitato ad un singolo elemento USER. In caso di multiutenza, INOPIA cumulerà gli elementi USERS, il deficit di risorse e il deficit potenziale sulla base della topologia implementata, le priorità dell'elemento USER e le regole di gestione.

- 3. gestione in allocazione *dinamica*

L'elemento USER accede alle risorse con un rapporto di allocazione mensile dinamico, a seconda della disponibilità delle risorse. Il rapporto di allocazione è quindi stimato dal nodo di GESTIONE di INOPIA per ciascun passo temporale durante il *run*, a seconda della relazione definita dall'utente tra lo stato della risorsa e il tasso da utilizzare. Tale relazione è impostabile tramite una parametrizzazione di una generica funzione logistica, ad eccezione dell'ultima risorsa elencata che riceverà tutta l'eventuale domanda non indirizzata. L'ordine della lista delle risorse può essere modificato con una semplice operazione di *click & drag* (clic e trascinamento) nel pannello delle risorse connesse. La funzione logistica è stata scelta perchè in grado di riprodurre un processo decisionale sia *stepwise* (altamente non-lineare) che *smooth* (quasi lineare). La funzione logistica è definita da sei parametri collegando lo stato della risorsa con il tasso di domanda.



- **Quattro parametri definiscono l'intervallo della funzione:**

-«min» e «max» sono il valore minimo e massimo valore della risorsa lungo cui la logistica è definita. L'unità da considerare dipende dal tipo di risorsa.

-«Coeffmin» e «Coeffmax» sono i valori minimo e massimo del rapporto.

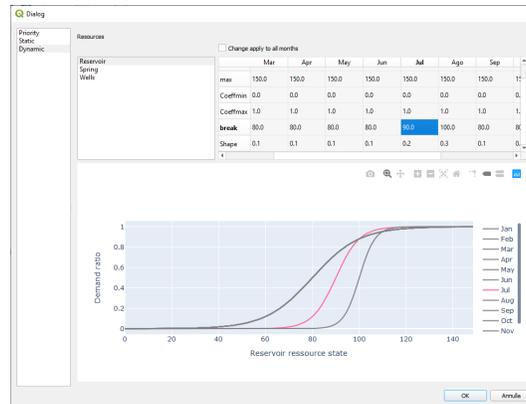
- **Due parametri definiscono la forma della funzione:**

-«break» definisce il valore della risorsa in corrispondenza della quale viene presa una decisione (con un rapporto tendente a «coeffmin» se lo stato della risorsa è minore del valore di «break» e un rapporto tendente a «coeffmax» se lo stato della risorsa è superiore al valore «break»)

-«shape» modifies the shape of the resulting logistic function, from a sharp change (toward «coeffmin» and «coeffmax» at «break») to a smooth change, depending on the value, as illustrated in the following example.

Nell'esempio, in primo luogo viene considerato WELLS, in seconda istanza l'elemento RESERVOIR, ed infine la restante domanda è rivolta all'elemento SPRING.

- Lo stato della risorsa WELLS (Q disp) per il mese corrente, considerando la parametrizzazione della funzione logistica per il mese considerato, porta a un rapporto di 0.2. Il 20% della richiesta di 10 Mm³ (ovvero 2 Mm³) viene inviata a WELLS, il cui massimo volume erogabile è di 2 Mm³. Gli elementi WELLS e USER registrano un deficit nullo.

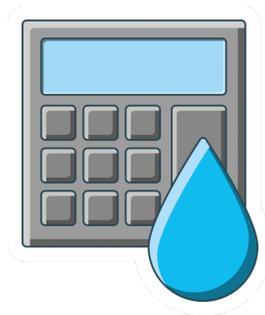


- Lo stato della risorsa RESERVOIR (V disp) per il mese corrente, considerando la parametrizzazione della funzione logistica per il mese considerato, porta ad un rapporto di 0.5. Il 50% della domanda rimanente degli 8 Mm³ (i.e. 4 Mm³) è indirizzata a RESERVOIR, il cui volume attualmente disponibile è 3 Mm³. Gli elementi RESERVOIR e USER registrano un deficit pari a -1 Mm³.
- La totalità della domanda rimanente (10-2-4)= 4 Mm³ viene indirizzata all'elemento SPRING, la cui attuale portata può fornire 2 Mm³. SPRING registra un deficit di -2 Mm³. USER registra un ulteriore deficit di -2 Mm³, quindi un deficit totale di -3 Mm³ :supp:`3`.

Please see GIF animation [here](#)

3.5 Run

3.5.1 Run hindcast

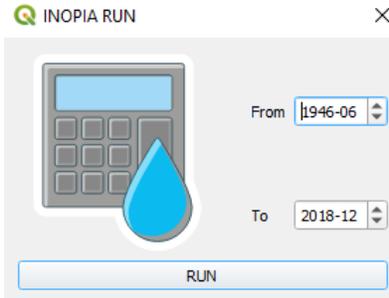


Il *run* di tipo *hindcast* è il cervello centrale di INOPIA . Calcola il bilancio di massa mensile del sistema implementato.

Una semplice interfaccia consente all'utente di selezionare la finestra temporale da simulare, di default viene proposta la finestra temporale massima per la quale tutti i dati necessari sono disponibili (considerando anche la scala di SPI calibrata per gli elementi SPRING e INFLOW).

Il *run hindcast* dovrebbe essere in grado di adattarsi a qualsiasi schema che segua «Topology & connections rules» utilizzando i dati forniti per ciascun elemento connesso tramite i *template* in formato excel. Il bilancio di massa è calcolato sia a livello di elemento che di approvvigionamento idrico, dal momento che ogni elemento immagazzina il proprio bilancio di massa.

Il *run hindcast* fornisce un modo diretto per testare il WSS implementato rispetto alle osservazioni, se disponibili. I *tools* di *plot* integrati in INOPIA forniscono una valutazione della stima della portata di SPRING e INFLOW così come un confronto visivo con la variazione di livello osservato dell'elemento RESERVOIR, se fornito. I *tools* di *export* integrati consentono di effettuare ogni possibile tipo di valutazione di qualsiasi elemento del bilancio di massa, sulla base delle osservazioni disponibili, per adattarsi a qualsiasi esigenza.



Inoltre, il *run hindcast* può essere facilmente utilizzato per molti altri scopi come

- scenari di gestione aggiungendo/modificando elementi di gestione
 - scenari infrastrutturali aggiungendo/modificando elementi relativi a risorse e/o connessioni
 - scenari di domanda aggiungendo/modificando elementi di utenza
 - scenari climatici fornendo dati riguardo scenari di precipitazione nei *template* degli elementi INFLOW e SPRING
- tutti questi scenari possono essere facilmente combinati, rendendo INOPIA un DDS versatile.

Altre tipologie di *run* sono state pre-implementate per semplificare l'uso del *run hindcast* per specifiche domande, tutte basate sullo stesso algoritmo. Il loro utilizzo viene reso disponibile dopo l'esecuzione di un primo *run hindcast*.

3.5.2 Run stocastico



*»E se avessi 500 anni di dati di bilancio di massa sul mio WSS in esame considerando un clima stazionario per ottenere statistiche migliori?»

Si potrebbe utilizzare INOPIA per fornire statistiche affidabili relative al WSS in esame (per la stima degli indici di siccità integrati e come sistema di supporto alle decisioni per l'allerta precoce o per qualsiasi altra necessità attraverso gli strumenti di esportazione).

Statistiche robuste sugli eventi di deficit di solito richiedono molti più dati rispetto a quelli forniti agli hindcast (tipicamente pochi decenni), come di consueto il WSS e il fabbisogno idrico si adattano reciprocamente per un determinato territorio while precipitation drought are by definition rare on a stationary climate baseline.

Se si volesse fornire ad INOPIA secoli di dati meteorologici generati per rispondere alla domanda «e se avessi 500 anni di dati sul bilancio di massa relativi al WSS in esame considerando un clima stazionario per ottenere statistiche migliori?, allora si può utilizzare il *run* di tipo *stocastico*.

L'algoritmo genera una serie temporale di precipitazione di 500 anni che segue il pattern di autocorrelazione calibrato sulla base delle precipitazioni osservate. Una descrizione del generatore meteorologico e della sua implementazione può essere trovato in Romano et al., 2017.

3.5.3 Run Scenario



«Come si comporta il mio sistema di approvvigionamento idrico in scenari di cambiamento climatico? Quali possono essere le strategie di adattamento?»

E' possibile utilizzare INOPIA per supportare l'adattamento ai cambiamenti climatici.

La siccità da precipitazioni è per definizione rara in un clima stazionario. Diversamente, il cambiamento climatico in corso influisce sulla variabilità delle precipitazioni, includendo la stagionalità, la periodicità su larga scala così come le frequenze e l'intensità di anomalie estreme.

«I modelli climatici sono uno degli strumenti principali per gli scienziati per capire come il clima è cambiato nel passato e come potrebbe cambiare nel futuro. Questi modelli simulano la fisica, la chimica e la biologia dell'atmosfera, terra e oceani in grande dettaglio, e richiedono computer molto potenti per generare le loro proiezioni climatiche. I modelli climatici sono in continuo aggiornamento, poichè diversi gruppi di modellazione in tutto il mondo inseriscono risoluzioni spaziali più elevate, nuovi processi fisici e cicli biogeochimici. Questi gruppi di modellazione coordinano i propri aggiornamenti in base alla pianificazione dei rapporti di valutazione dell'Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) Panel on Climate Change (IPCC)*, rilasciando una serie di risultati relativi al modello.» <https://www.carbonbrief.org/cmip6-the-next-generation-of-climate-models-explained/>

Projected global GHG emissions from NDCs announced prior to COP26 would make it *likely* that warming will exceed 1.5°C and also make it harder after 2030 to limit warming to below 2°C.

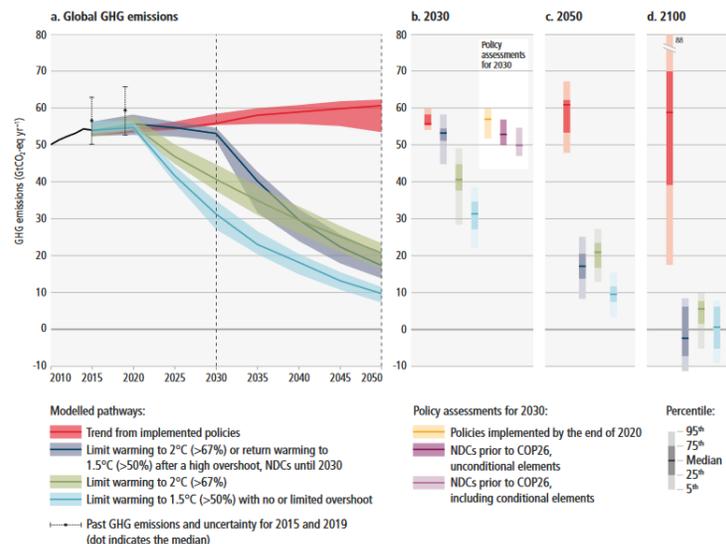


Figure SPM.4 | Global GHG emissions of modelled pathways (funnels in Panel a, and associated bars in Panels b, c, d) and projected emission outcomes from near-term policy assessments for 2030 (Panel b).

(figura da https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg3/downloads/report/IPCC_AR6_WGIII_SPM.pdf)

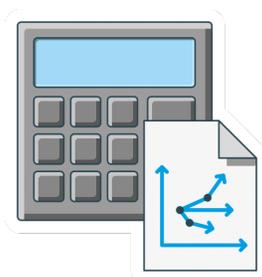
Utilizzando il *run* di tipo *scenario*, è possibile fornire ad INOPIA scenari di modelli climatici utilizzando la parametrizzazione hindcast per rispondere alla domanda *Come si comporta il mio sistema di approvvigionamento idrico in scenari di cambiamento climatico? Quali possono essere le strategie di adattamento?*.

Sarà necessario fornire uno scenario di precipitazione per ogni elemento INFLOW e SPRING connessi contenenti gli scenari climatici di precipitazioni che si vogliono testare. Poiché il *run* di tipo *scenario* utilizzerà la parametrizzazione del *run* di tipo *hindcast*, è necessario che gli scenari di precipitazione forniti siano ridimensionati (*downscalati*) sulle medesime stazioni utilizzate nell'*hindcast*, in modo tale che i quantili seguano la medesima distribuzione. Tale «trasformazione» può essere ottenuta mediante un semplice «quantile mapping», come presentato in Guyennon et al. (2013).

Poiché esistono molti modelli climatici, scenari di emissione, tecniche di downscaling statisticocostantemente aggiornati, la selezione del modello climatico di precipitazione mensile/scenari/downscaling dipende dall'utente ed è fornito ad INOPIA attraverso il file *template* di precipitazione ([link](#))

Il *run* di tipo *scenario* può essere combinato con scenari di gestione, infrastruttura e domanda modificando il WSS implementato prima di eseguire lo scenario climatico.

3.5.4 Run Forecast



«Come si comporterà il mio sistema di approvvigionamento idrico nei prossimi mesi?»

è possibile utilizzare INOPIA per supportare decisioni a breve termine (da uno a sei mesi) sulla base di previsioni stagionali.

Quindi è possibile fornire ad INOPIA scenari di precipitazioni stagionali basati sulla probabilità che si verifichino situazioni umide o asciutte nei prossimi mesi per rispondere alla domanda «Come si comporterà il mio sistema di approvvigionamento idrico nei prossimi mesi?». Tali scenari possono essere basati sulle ipotesi di modellazione della tendenza climatica stagionale e spesso espressa in termini di anomalie attese (ad es. umido, normale, secco) o sulla classificazione delle anomalie, come ad esempio quella fornita dall'Osservatorio europeo della Siccità (EDO)

Table 2: SPI classification scheme used in EDO.

ANOMALY	RANGE OF SPI VALUES	PRECIPITATION REGIME	CUMULATIVE PROBABILITY	PROBABILITY OF EVENT (%)
Positive	2.0 < SPI <= MAX	Extremely wet	0.977 - 1.000	2.3
	1.5 < SPI <= 2.0	Very wet	0.933 - 0.977	4.4
	1.0 < SPI <= 1.5	Moderately wet	0.841 - 0.933	9.2
None	-1.0 < SPI <= 1.0	Normal precipitation	0.159 - 0.841	68.2
Negative	-1.5 < SPI <= -1.0	Moderately dry	0.067 - 0.159	9.2
	-2.0 < SPI <= -1.5	Very dry	0.023 - 0.067	4.4
	MIN <= SPI <= -2.0	Extremely dry	0.000 - 0.023	2.3

(Tabella da https://edo.jrc.ec.europa.eu/documents/factsheets/factsheet_spi.pdf)

Questo significa fornire ad INOPIA i dati dei prossimi 6 mesi di precipitazioni previste per ogni stazione utilizzata per ogni elemento INFLOW e SPRING connessi sulla base di uno scenario di anomalia previsto e utilizzare il *run forecast*. All'utente è richiesto di indicare l'anomalia di precipitazione prevista in termini di Standardized Precipitation Index nel range [- 3, + 3]. Il *run* di tipo *forecast* fornirà i relativi scenari di impatto sul sistema di approvvigionamento idrico in esame su orizzonti temporali fino a 6 mesi.

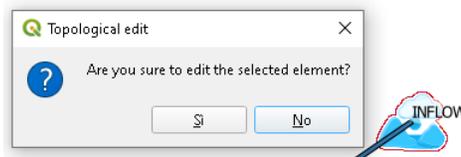
All'utente è richiesto di indicare l'anomalia di precipitazione prevista in termini di Standardized Precipitation Index nel range $[- 3, + 3]$ per il sistema di approvvigionamento idrico implementato ed eseguire una simulazioni per i 6 mesi successivi.

3.6 Edit tool



3.6.1 Applicato all'elemento Risorse

Lo strumento *EDIT* applicato agli elementi Risorse consente all'utente di selezionare nuovi file di input per la risorsa selezionata.



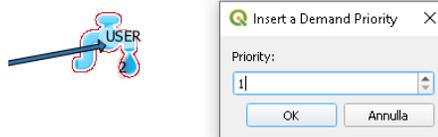
In caso di modifica di un elemento risorsa, ad esempio in questo caso un elemento *INFLOW*, dopo aver confermato l'inizio della modifica, all'utente sarà chiesto di fornire un nuovo file di precipitazione e uno di portata in accordo con il *template* corrispondente (Modello di input)

Il *run* precedente dovrà essere ricalcolato per tenere conto della modifica.

Tip & tricks : si può utilizzare il tool di modifica sugli elementi *INFLOW* e *SPRING* per aggiornare le simulazioni **hindcast* (e quindi previsioni) includendo l'ultimo dato mensile disponibile di precipitazione.

3.6.2 Applicato all'elemento Users

Il tool *EDIT* applicato agli elementi *USERS* consente all'utente di cambiare il *priority level* assegnato durante la creazione dell'elemento *USER*.

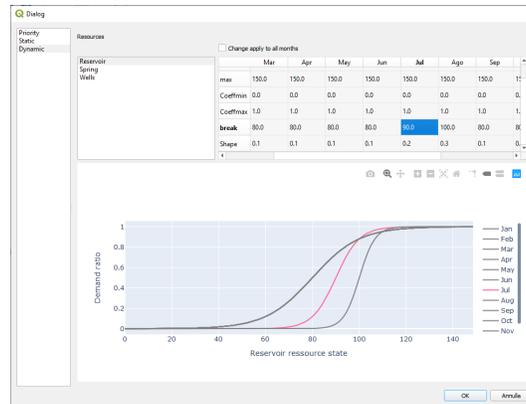


Il *run* precedente dovrà essere ricalcolato per tenere conto della modifica.

3.6.3 Applicato all'elemento Nodo di Gestione

Il tool *EDIT* applicato al Nodo di Gestione consente all'utente di cambiare la regola di gestione selezionata e la sua parametrizzazione.

Il *run* precedente dovrà essere ricalcolato per tenere conto della modifica.



3.7 Tool integrato di plotting



INOPIA propone 3 tipi di strumenti di plottaggio integrati per supportare l'utente nel valutare il suo WSS. Una semplice interfaccia consente di selezionare il tipo di *run* per cui si vuole ottenere l'output grafico.



- 1. *plot* delle serie temporali, applicato a ciascun singolo elemento (ad eccezione del nodo di gestione).
- 2. *plot* diagnostico, applicate a ciascun singolo elemento (ad eccezione del nodo di gestione).
- 3. *plot* diagnostico, applicato all'intero WSS (Water Supply System)

Ciascun plot è descritto di seguito.

3.7.1 Plot delle serie temporali

Plot delle serie temporali applicato a ciascun singolo elemento e a ciascun run (ad eccezione del nodo di gestione). dopo aver selezionato l'icona «plot element time series», l'utente *clicka* sull'elemento da visualizzare e seleziona una *run* disponibile per generare la figura.

Il pannello superiore delle figure generate riguarda le informazioni di input dell'elemento, indipendentemente dal *run* selezionato. Il pannello inferiore mostra le variabili mensili di bilancio di massa dell'elemento considerato espresso in Mm :sup: 3` ed il tipo di *run*. L'utente può selezionare interattivamente le variabili da visualizzare.

Il plot delle serie temporali è illustrato di seguito con due esempi tratti dal tutorial.

Tip & tricks: si può applicare anche ad un nuovo elemento senza run disponibile, che può essere utile per monitorare i risultati del modello integrato degli elementi INFLOW e SPRING

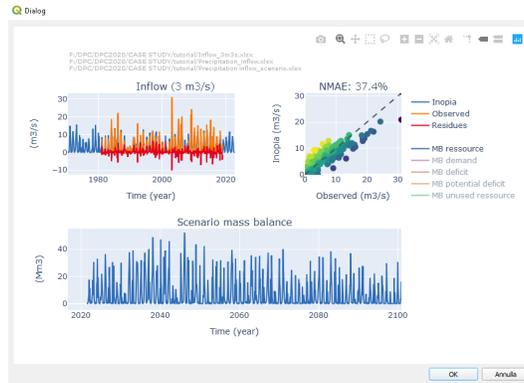


Fig. 1: Esempio of plot delle serie temporali applicato all'elemento INFLOW, con un run di tipo scenario, tratto dal tutorial



Fig. 2: Esempio of plot delle serie temporali applicato all'elemento RESERVOIR, con un run di tipo hindcast, tratto dal tutorial

3.7.2 Plot diagnostico di un elemento (*Element diagnostic*) «

Il plot diagnostico di un elemento si applica a ciascun elemento, ad eccezione del nodo di gestione, e a ciascuna tipologia di *run*. Dopo aver selezionato l'icona «plot element diagnostic», l'utente si posiziona con il cursore sull'elemento da visualizzare, clicca e seleziona un *run* disponibile per generare la figura.

Il riquadro sinistro della figura è dedicato al valore medio mensile delle variabili di bilancio di massa dell'elemento considerato espresso in Mm^3 . L'utente può selezionare interattivamente le variabili da visualizzare, il periodo (nell'ambito del *run* selezionato) e il mese da considerare.

Il pannello in alto a destra della figura è dedicato al rischio di deficit dell'elemento, in termini di indici di probabilità di accadimento (affidabilità), durata (resilienza) e intensità (vulnerabilità) secondo Romano et al., 2017. Il *run* stocastico è stato progettato per ottenere una stima più solida degli indici di siccità. L'utente può selezionare interattivamente il periodo (nell'ambito del *run* selezionato) ed il mese da considerare per le stime degli indici RRV (*Reliability, Resiliency, Vulnerability*).

Il pannello in basso a destra della figura rappresenta il flusso tra gli elementi, considerando tutti quelli collegati a quello selezionato. L'utente può selezionare interattivamente il flusso da considerare tra acqua allocata, deficit e deficit potenziale, il periodo (nell'ambito del *run* selezionato) e il mese da considerare per l'elaborazione del Diagramma di Sankey.

Il *plot* diagnostico di un elemento è illustrato di seguito con due esempi tratti dal tutorial.



Fig. 3: Esempio di output grafico ottenuto dal plot diagnostico applicato all'elemento *USER* con un *run* di tipo scenario

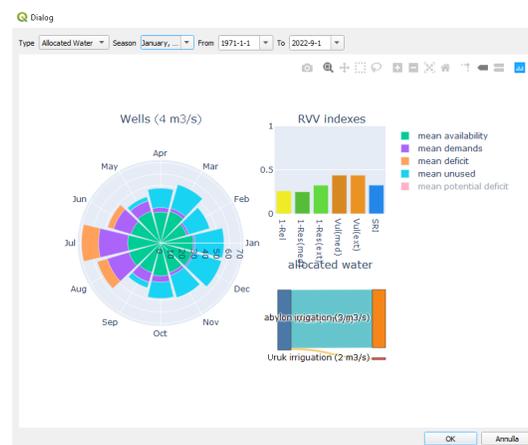


Fig. 4: Esempio di output grafico ottenuto dal plot diagnostico applicato all'elemento *WELL* con un *run* di tipo hindcast

3.7.3 Plot diagnostico del WSS

Il *plot* diagnostico WSS si applica alla totalità di elementi implementati, ad eccezione del nodo di gestione, e a ciascuna tipologia di *run*. Dopo aver selezionato l'icona «Water Supply System diagnostic», l'utente seleziona un *run* disponibile

Il pannello di sinistra delle figure è dedicato alla rappresentazione del flusso tra gli elementi del WSS considerando la totalità degli elementi connessi a quello selezionato. L'utente può selezionare interattivamente il tipo di flusso da considerare tra acqua allocata, deficit e deficit potenziale, il periodo (nell'ambito del *run* selezionato) e il mese da considerare per l'elaborazione del diagramma di Sankey.

Il riquadro in alto a destra mostra il valore medio mensile delle variabili di bilancio del WSS espresse in Mm^3 . L'utente può selezionare in modo interattivo le variabili da visualizzare, nonché il periodo (all'interno del *run* selezionato) e il mese da considerare.

Il pannello in basso a destra della figura è dedicato al rischio di deficit del sistema idrico, in termini di indici di probabilità di accadimento (affidabilità), durata (resilienza) e intensità (vulnerabilità) secondo Romano et al., 2017. Il *RUN* stocastico è stata progettato per produrre una stima più robusta degli indici di siccità. L'utente può selezionare interattivamente il periodo (all'interno del *RUN* selezionato) e il mese da considerare per la stima degli indici.

Il *plot* diagnostico di un elemento è illustrato di seguito con due esempi tratti dal tutorial.



Fig. 5: Esempio di *plot* diagnostico su tutto il sistema idrico (WSS) derivante dal **run hindcast* del tutorial con il diagramma di Sankey che evidenzia l'allocazione dell'acqua.*

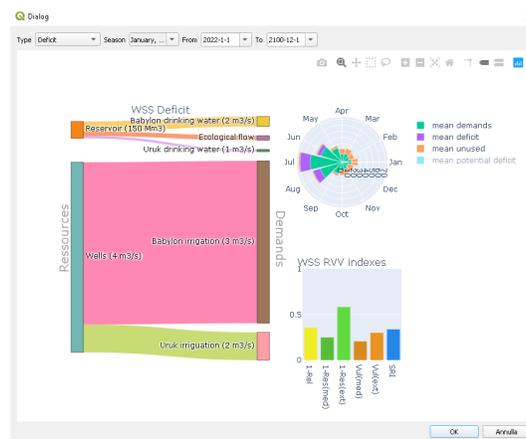


Fig. 6: Esempio di *plot* diagnostico su tutto il sistema idrico (WSS) applicato al tutorial con il diagramma di Sankey che evidenzia il deficit.

3.8 Il tool di Early Warning



Early warning è un tool integrato di INOPIA di supporto alle decisioni. Si basa sulla relazione tra le anomalie di precipitazione osservate e il deficit simulato, come *proxy* della relazione tra la siccità meteorologica e il relativo impatto sulla sicurezza idrica. Si basa sul fatto che, per un dato mese dell'anno, l'occorrenza e l'intensità di un possibile deficit (come misura dell'impatto sulla sicurezza idrica) nei mesi successivi possono essere parzialmente previste in base alle anomalie di precipitazione dei mesi precedenti, sulla base dell'esperienza acquisita. L'approccio e i metodi di allerta precoce sono descritti in dettaglio in Romano et al., 2018.

Il tool di allerta precoce (*early warning*) si applica allo stesso modo al *run* di tipo hindcast, stocastico e scenario, ma fornisce risultati più robusti con la simulazione stocastica. Dopo aver selezionato l'elemento, una semplice interfaccia utente consente di scegliere il *RUN* tra quelli disponibili.



Il tool di allerta precoce (*early warning*) si applica agli elementi *RESERVOIR* e *SPRING*.

3.8.1 Tool di *early warning* applicato all'elemento *RESERVOIR*

Dopo aver selezionato l'icona di *early warning*, l'utente clicca sull'elemento *RESERVOIR* considerato e seleziona un *RUN* disponibile per generare la figura.

Nel menu superiore, l'utente seleziona:

- il mese di riferimento (quando prendere una decisione). Nell'esempio proposto il mese di riferimento selezionato è Aprile.
- la scala di aggregazione dell'SPI (basata sulle precipitazioni dei mesi precedenti a quello di riferimento). Nell'esempio proposto, i mesi di riferimento selezionati sono 6.
- la scala di aggregazione del deficit (deficit futuro). Nell'esempio proposto, i mesi di riferimento selezionati sono 5.

Seguendo l'esempio, la richiesta di *early warning* (*allerta precoce*) è:

«considerando le anomalie di precipitazione da Novembre ad Aprile (cioè lo SPI6 di aprile) quanto posso prevedere l'occorrenza e l'intensità del prossimo deficit da Maggio a Settembre?».

Il pannello in alto a sinistra mostra la relazione tra il predittore SPI (l'anomalia di precipitazione del mese di riferimento cumulata sulla scala di aggregazione selezionata (aprile SPI6 nell'esempio) e il possibile deficit nei seguenti mesi della scala di aggregazione del deficit (i seguenti 5 mesi, da Maggio a Settembre, nell'esempio). Nell'ipotesi di una relazione abbastanza lineare tra il predittore SPI e il deficit futuro, si può stimare un livello di allarme SPI come il valore in cui la regressione lineare del deficit cumulato non nullo interseca l'asse del predittore SPI. Nel caso in cui l'allarme SPI stimato sia positivo (il che indica una condizione di deficit strutturale dell'elemento *RESERVOIR*), l'allarme SPI viene impostato a 0.

Inoltre, quando applicata ad una capacità di immagazzinamento, conoscendo lo stato attuale della risorsa può supportare ulteriormente la previsione. Il pannello in alto a destra presenta la relazione tra il volume immagazzinato nel mese di riferimento (Aprile, nell'esempio) e il possibile deficit durante i successivi mesi della scala di aggregazione del deficit (i

successivi 5 mesi, da Maggio a Settembre, nell'esempio). Analogamente all'allarme SPI, l'allarme Volume può essere stimato come il valore del volume in corrispondenza del quale la regressione lineare del deficit cumulato non nullo interseca l'asse del Volume. Nel caso in cui sia presente il foglio di input opzionale *ipsografico*, l'allarme relativo al volume può essere espresso come allarme di livello in m s.l.m.

I pannelli inferiori della figura sono dedicati alla lezione appresa dalla relazione precedente.

La *domanda di early warning* con gli associati SPI e volume di allerta stimati sono riassunti a sinistra, e il *modello di early warning* risultante viene testato: si prevede un deficit se il predittore SPI è inferiore all' SPI di allerta stimato e il volume del mese di riferimento è inferiore al volume di allerta stimato. Ogni mese del *run* considerato viene quindi classificato in:

- Vero Positivo (TP): un deficit è stato previsto e si è effettivamente verificato
- Falso Positivo (FP): un deficit è stato previsto ma non si è effettivamente verificato
- Vero Negativo (TN): nessun deficit è stato previsto e nessun deficit si è effettivamente verificato
- Falso Negativo (FN): non è stato previsto alcun deficit, ma si è effettivamente verificato un deficit

la classificazione è riportata nella matrice di confusione nel pannello in basso a destra.

Infine, le prestazioni del modello di *early warning* possono essere valutate in termini di:

- Il Tasso di Veri Positivi (TPR), definito come il rapporto tra i casi Veri Positivi (TP) e i casi effettivamente positivi (TP+FN): $TPR=TP/(TP+FN)$
- Il Tasso di Falsi Positivi (FPR), definito come il rapporto tra i casi Falsi Positivi (FP) e i casi effettivamente negativi (TN+FP): $FPR=FP/(TN+FP)$

ambidue (TPR e FPR) sono definiti tra [0-1].

Più il modello di *early warning* tende verso un Tasso massimo (->1) di Veri Positivi e a un Tasso minimo (->0) di Falsi Positivi, più è robusto. La percentuale dai Veri Positivi e di Falsi Positivi è riportata nel pannello in basso a sinistra.

Di seguito viene illustrato il sistema di *early warning* per la RESERVOIR con due esempi tratti dall'esercitazione.

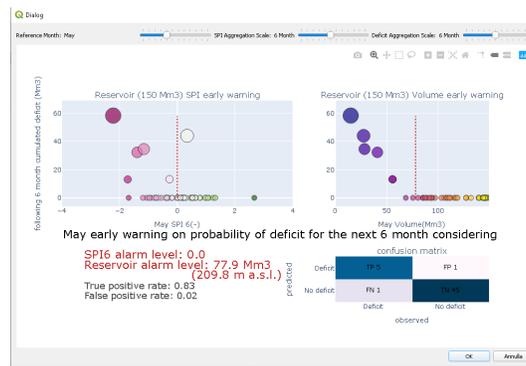


Fig. 7: Esempio di grafico EW applicato al RESERVOIR run hindcast del tutorial.

Il grafico di *early warning* si aggiorna automaticamente con il variare dei parametri impostati dall'utente. In questo modo è possibile verificare la risposta del RESERVOIR a diverse combinazioni di scale per un determinato mese e identificare la migliore capacità di EW per una determinata configurazione del WSS.

3.8.2 SPRING (sorgente) early warning

Dopo aver selezionato l'icona «early warning», l'utente *clicca* sulla sorgente (SPRING) considerata e seleziona un *run* disponibile per generare la figura.

Nel menu superiore, l'utente seleziona:

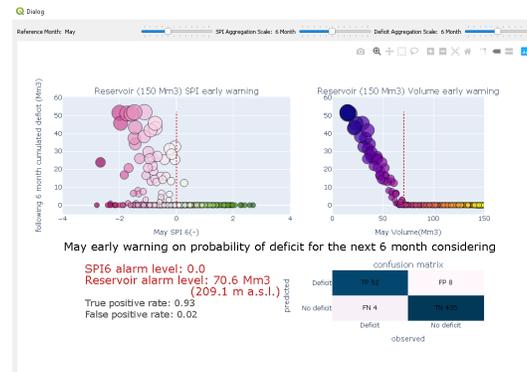


Fig. 8: Esempio di grafico EW applicato al RESERVOIR run stocastico del tutorial.

- il mese di riferimento (il mese considerato per l'analisi). Nell'esempio proposto il mese di riferimento selezionato è Luglio
- la scala di aggregazione SPI (precipitazioni precedenti al mese considerato). Nell'esempio proposto i mesi di riferimento selezionati sono 9.
- il * fattore di ritardo* SPI (ritardo medio di infiltrazione). Nell'esempio proposto i mesi di riferimento selezionati sono 2.
- la scala di aggregazione del deficit (deficit futuro). Nell'esempio proposto i mesi di riferimento considerati sono 6.

Seguendo l'esempio, la *domanda* relativa all'*early warning* fase di preallarme* è

«prendendo in considerazione le anomalie di precipitazione da Settembre a Maggio (cioè lo SPI9 di Maggio, mese di riferimento) quanto posso prevedere l'occorrenza e l'intensità del deficit nel periodo successivo da Agosto fino a Gennaio?»

Il pannello in alto a sinistra mostra la relazione tra l'SPI predittore (l'anomalia di precipitazione del mese di riferimento, considerando il ritardo, cumulata sulla scala di aggregazione selezionata, che nell'esempio è SPI9 Maggio) e il possibile deficit nei mesi successivi relativamente alla scala di aggregazione del deficit (i successivi 6 mesi, nell'esempio da Agosto a Gennaio). Nell'ipotesi di una relazione sostanzialmente lineare tra l'SPI predittore e il deficit futuro, si può stimare come livello di allarme SPI il valore in cui la regressione lineare del deficit cumulato non nullo interseca l'asse del predittore SPI.

Il pannello in alto a destra presenta la relazione migliore trovata durante la calibrazione del modello integrato dell'elemento SPRING per il mese di riferimento.

I pannelli inferiori della figura sono dedicati alla lezione appresa dalla relazione precedente.

La *domanda di preallerta* con gli associati SPI e volume di allerta stimati sono riassunti a sinistra, e il *modello di preallerta* risultante viene testato: si prevede un deficit se il valore predittivo SPI selezionato è inferiore al valore di allerta SPI stimato. Ogni mese del *run* considerato viene quindi classificato in:

- Vero Positivo (TP): un deficit è stato previsto e si è effettivamente verificato
- Falso Positivo (FP): un deficit è stato previsto ma non si è effettivamente verificato
- Vero Negativo (TN): nessun deficit è stato previsto e nessun deficit si è effettivamente verificato
- Falso Negativo (FN): non è stato previsto alcun deficit, ma si è effettivamente verificato un deficit

la classificazione è riportata nella matrice di confusione nel pannello in basso a destra.

Infine, le prestazioni del modello di *early warning* possono essere valutate in termini di:

- Il Tasso di Veri Positivi (TPR), definito come il rapporto tra i casi Veri Positivi (TP) e i casi effettivamente positivi (TP+FN): $TPR=TP/(TP+FN)$
- Il Tasso di Falsi Positivi (FPR), definito come il rapporto tra i casi Falsi Positivi (FP) e i casi effettivamente negativi (TN+FP): $FPR=FP/(TN+FP)$

ambidue (TPR e FPR) sono definiti tra [0-1].

Più il modello di *early warning* tende verso un Tasso massimo ($\rightarrow 1$) di Veri Positivi e a un Tasso minimo ($\rightarrow 0$) di Falsi Positivi, più è robusto. La percentuale dai Veri Positivi e di Falsi Positivi è riportata nel pannello in basso a sinistra.

L'*early warning* (allerta precoce) relativo all'elemento SPRING è illustrato di seguito con due esempi tratti dal tutorial.

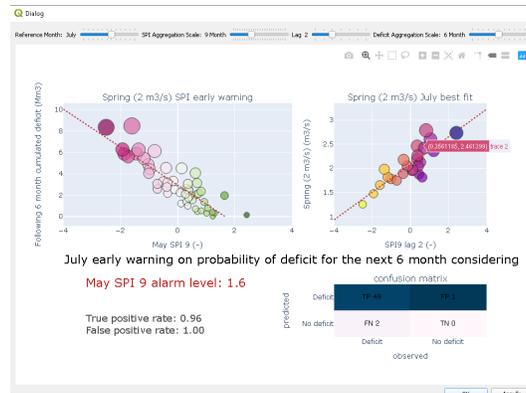


Fig. 9: Esempio di grafico di Early Warning applicato all'elemento SPRING con run di tipo hindcast (dal tutorial).

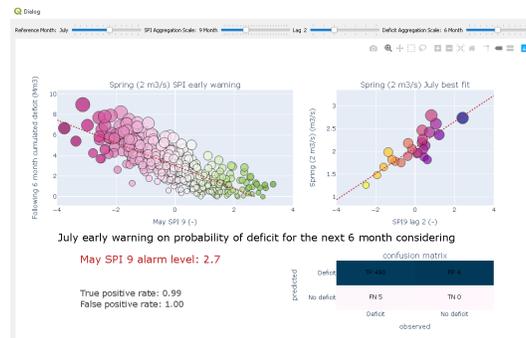


Fig. 10: Esempio di grafico di Early Warning applicato all'elemento SPRING con run di tipo stocastico (dal tutorial).

Il grafico di *early warning* si aggiorna automaticamente con il variare dei parametri impostati dall'utente. In questo modo è possibile verificare la risposta del RESERVOIR a diverse combinazioni di scale per un determinato mese e identificare la migliore capacità di EW per una determinata configurazione del WSS.

3.9 Esportazione



Lo strumento di esportazione consente di esportare in formato *xlsx* le serie temporali di un singolo elemento, nonché il bilancio di massa dell'intero Sistema Idrico (WSS), per la tipologia di *run* selezionata. Questo aspetto consente all'utente esperto di realizzare i propri grafici e analisi utilizzando gli stessi dati di INOPIA.



Una semplice interfaccia utente permette di selezionare la tipologia di *run* (tra quelle disponibili) di cui fare il grafico.



Suggerimenti & trucchi: l'esportazione è disponibile su un singolo elemento anche se non c'è alcuna connessione o se non è stato eseguito alcun run . Questo aspetto consente di utilizzare ed esportare i risultati del modello integrato degli elementi INFLOW e SPRING, nonché i valori SPI calcolati. AAABBBBBCCCCCCCCDDDDDDDD

Il plugin INOPIA è stato realizzato dall’Istituto di Ricerca sulle Acque (IRSA) del Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR) con un accordo di collaborazione con il Dipartimento di Protezione Civile della Presidenza Italiana del Consiglio dei Ministri.

Responsabile scientifico E. Romano *Design* E. Romano & N. Guyennon *Realizzazione* N. Guyennon e A.B. Petrangeli *Sviluppo informatico* M. Ghetta (Faunalia) *Visual identity* D. Togninelli

Con la partecipazione di E. Boscariol, N. Martinić, A. Augustoni

“”Celui qui s’attache à son oeuvre ne crée rien de durable”” Lao-tseu [*Stephen Mitchell*]

- *Prefazione*
- *Dichiarazione di esclusione di responsabilità*
- *Riconoscimenti*
- *Come citare*

4.1 Prefazione

Lo strumento di supporto alle decisioni INOPIA QGIS è stato sviluppato come parte dell’Accordo di collaborazione (01/09/2019 rep.n.224, del 23/01/2019) tra la Presidenza del Consiglio dei Ministri – Dipartimento di Protezione Civile (DPC) e l’Istituto di Ricerca sulle Acque (IRSA) del Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR) per «Lo sviluppo di sistemi informativi per l’annuncio delle crisi idriche e la valutazione delle misure finalizzate all’approvvigionamento idrico di emergenza». Il punto di partenza delle attività pianificate è stato INOPIA v1.2, lo strumento operativo sviluppato da IRSA-CNR nell’ambito dell’Accordo Operativo sottoscritto da IRSA-CNR e DPC del 19 dicembre 2006, a seguito dell’Accordo di Programma Quadro firmato il 20 giugno 2006. INOPIA consente una valutazione immediata del rischio di mancato soddisfacimento della domanda idrica (carenza idrica) causato da condizioni di significativa diminuzione delle risorse idriche in seguito a persistenti anomalie di precipitazione. Oggetto dell’analisi di INOPIA è un sistema di approvvigionamento idrico costituito da un serbatoio, naturale o artificiale, alimentato da uno o più specchi d’acqua il cui flusso è stato precedentemente aggregato e che fornisce acqua per soddisfare qualsiasi domanda

variabile nel tempo (o più richieste aggregate). INOPIA v1.2 è stato successivamente sviluppato fino alla versione v1.6 per recepire alcune delle indicazioni fornite dalle “Linee guida sugli indicatori di siccità e scarsità idrica da utilizzare in le attività degli Osservatori Permanenti per gli utilizzi idrici” (Mariani et al., 2018) redatto dall’Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA) in collaborazione con IRSA-CNR. Una completa descrizione dello strumento operativo INOPIA v1.6 è disponibile sul manuale d’uso di INOPIA (Romano e Guyennon, 2019) e in letteratura scientifica (Romano et al. 2017; Guyennon et al. 2017; Romano et al. 2018; Guyennon» et al. dal 2018). INOPIA QGIS v2.2 estende le funzionalità di INOPIA v1.6 a sistemi multirisorsa e multiutenza che consentono di implementare lo schema topologico di qualsiasi sistema idrico che attinga a diverse tipologie di risorse (serbatoi superficiali, serbatoi sotterranei, sorgenti, acqua, depuratori, ecc.) e alimenti molteplici risorse.

4.2 Dichiarazione di esclusione di responsabilità

INOPIA è uno strumento sperimentale volto ad annunciare la crisi idrica e fornisce supporto tecnico alle decisioni da prendere per la prevenzione della crisi idrica. Data la caratteristica sperimentale dello strumento, nessuna responsabilità può essere attribuita al Dipartimento della Protezione Civile e all’IRSA-CNR.

4.3 Riconoscimenti

Questo tool è stato realizzato con il contributo finanziario del Dipartimento della Protezione Civile e dell’Unione Europea. Il contenuto della presente documentazione è di esclusiva responsabilità dell’IRSA-CNR e in nessun caso può essere considerato come espressione della posizione dell’Unione Europea e/o delle autorità del programma ADRION.



4.4 Come citare

Romano, E., Guyennon, N., Duro, A., Giordano, R., Petrangeli, A. B., Portoghese, I., & Salerno, F. (2018). A stakeholder oriented modelling framework for the early detection of shortage in water supply systems. *Water*, 10(6), 762.

References

- Ben-David, A. (2007) A lot of randomness is hiding in accuracy. *Eng. Appl. Artif. Intell.* 20, 875-885.
- Ben-David, A. (2008) About the relationship between ROC curves and Cohen's kappa. *Eng. Appl. Artif. Intell.* 2008, 21, 874-882.
- Debon, A.; A. Carrion, E. Cabrera, H. Solano, H. (2010) Comparing risk of failure models in water supply network using ROC curves. *Reliab. Eng. Syst. Safe* 95, 43-48.
- Fleiss, J.L. *Statistical Methods for Rates and Proportions* (2003). John Wiley: New York, NY, USA, 1981; ISBN 0-471-26370-2.
- Guyennon, N., Romano, E., Portoghese, I., Salerno, F., Calmanti, S., Petrangeli, A. B., ... & Copetti, D. (2013). Benefits from using combined dynamical-statistical downscaling approaches-lessons from a case study in the Mediterranean region. *Hydrology and Earth System Sciences*, 17(2), 705-720.
- Mariani S., G. Braca, E. Romano, B. Lastoria, M. Bussetini. (2018). Linee Guida sugli Indicatori di Siccità e Scarsità Idrica da utilizzare nelle attività degli osservatori distrettuali per l'uso della risorsa idrica. ISPRA-IRSA. CReIAMO-PA.
- McKee T.B., N.J. Doesken, K. Kleist. (1993). The relationship of drought frequency and duration to time scale. In *Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology*, Anaheim, CA, USA, 17-22 January 1993; American Meteor Society: Boston. MA, USA.
- Romano E., A. Del Bon, A.B. Petrangeli, E. Preziosi (2013). Generating synthetic time series of springs discharge in relation to standardized precipitation indices. Case study in Central Italy. *Journal of Hydrology*. 507, 86-99. doi: 10.1016/j.jhydrol.2013.10.020
- Romano E., N. Guyennon, A. Del Bon, A.B. Petrangeli, E. Preziosi (2017). Robust method to quantify the risk of shortage for water supply systems. *Journal of Hydrologic Engineering*, 22 (8), 04017021 doi: 10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0001540.
- Romano E., N. Guyennon, A. Duro, R. Giordano, A.B. Petrangeli, I. Portoghese, F. Salerno (2018). A stakeholder oriented Modelling Framework for the Early Detection of Shortage in Water Supply Systems. *Water*, 10(7262). doi:10.3390/w10060762
- World Meteorological Organization, 2012. *Standardized Precipitation Index User Guide* (M. Svoboda, M., Hayes, M., Wood, D.). WMO-No. 1090, Geneva.

CAPITOLO 6

Contattaci

info-inopia@irsa.cnr.it