

RESEARCH GRANT

Development of innovative hybrid modelling tools to simulate saltwater intrusion in coastal aquifers

Tutor: Vittorio Di Federico

Research project

The Research grantee will develop his/her activity within the Horizon Europe-financed project: “Preventing groundwater contamination related to global and climate change through a holistic approach based on managed aquifer recharge - MAR2PROTECT”.

The impact of climate and global change (CC and GC) is endangering human health and welfare, food security and biodiversity. GC and CC are causing devastating floods, longest droughts, sea level rise, undernourished people, ocean acidification, wildfires, heatwaves and groundwater (GW) pollution. Groundwater constitutes 97% of freshwater resource worldwide and the EU’s water-dependent sectors generate 3.4 trillion€/year, 26% of the EU’s annual gross value added, and employ around 44 million people. Preventing GW pollution is vital for the protection of freshwater and soil. Both CC and increased exploitation impact GW quality and quantity by increasing diffuse pollution from agriculture and the introduction of emerging contaminants through sewage and landfill leaching, dilution of soil pollutants and runoff infiltration. These impacts are enhanced in areas where the combination of reduced hydrological flows, water table depletion and sea level rise endanger the integrity of coastal aquifers due to saline water intrusion. GW contamination can be avoided by the classical remediation of contamination sources (e.g. landfills, industrial sites, leaching sewers), but this local approach is highly demanding due to the large number of contamination sources and does not prevent salinity intrusion. On the other hand, Managed Aquifer Recharge (MAR) is the most powerful tool to curb salinity intrusion and – if conducted with previously decontaminated GW, treated wastewater (WW) or surface water (SW) - it is also an effective approach to prevent other types of GW contamination.

MAR represents a very attractive GW management approach due to a unique combination of features: i) it allows to effectively curb saline intrusion in coastal aquifers, not only by raising the GW table, but also by injecting freshwater; ii) thanks to its capacity to store water in aquifers during floods, it permits to compensate the tendency to intense rain events alternated to long dry periods; iii) it reduces water evaporation losses and algal blooms; iv) it leads to purification of the injected water, due to the (bio)filtering effect that the soil underlying the MAR injection ponds can have and to the possibility to add reactive barriers below the injection ponds. Different MAR types can be implemented, based on different water sources: SW, stormwater, treated WW and GW taken from other aquifers. However, several R&D challenges still need to be addressed. One of the most pressing is the development of innovative open-source hybrid modelling tools to assess salinity intrusion and the yield of MAR strategies in a CC perspective.

When multiple factors control GW behaviour, analytical and numerical fate & transport models fail to accurately describe GW processes: it is then appropriate to apply statistical approaches based

on time-series analyses, using auto-regressive moving average (ARMA) and distributed lag (ARDL) models. However, further research is needed to extend ARMA/ARDL models to water quality metrics and to capture the influence of non-stationary phenomena such as GC and CC impacts on GW quality. The models will be combined with classifier methods (Random Forest, XGBOOST, Support Vector Regression) to support complex, noisy and data scarcity contexts.

In a CC perspective, rainfall-runoff models are crucial to understand the impact of precipitations on aquifer recharge. Current approaches oversimplify recharge dynamics, and do not correctly include the impacts of seasonal shifts in precipitation due to CC.

The innovative modelling tool produced (DRONE) will generate a better understanding of the pathways and impacts of micropollutants potentially introduced in aquifers by means of MAR, as well as of salinity intrusion into aquifers.

Activity plan

A plan of the activities needed for the project development follows.

1. Accurate literature review to acquire a comprehensive framework of the state of the art on time-series analyses, auto-regressive moving average (ARMA) and distributed lag (ARDL) models, and classifier methods (Random Forest, XGBOOST, Support Vector Regression) [M1-3].
2. Selection of phenomena and modelling scenarios to be examined [M2-4];
3. Development, within MAR2PROTECT, of data-driven models of phenomena and scenarios of interest [M4-8];
4. Implementation of adequate algorithms for the determination of quantities of interest (QoI) for each phenomenon and scenario [M5-10];
5. Evaluation of performance indicators related to different phenomena and scenarios [M8-12];
6. Publication of papers in English on scientific journals/conferences; writing of final report; participation to writing project reports [M10-12].

During his/her research activity, the Grantee will interact with the components of different research groups involved in MAR2PROTECT, including companies. The Grantee will be invited to present his/her results at regular intervals.

Research activity

The Grantee will develop his/her activity at Idraulica-DICAM and at foreign universities. He/she will be required to attend regularly the university, to enhance his/her basic knowledge and cooperate with the institution to develop the research program described in the project. As to basic knowledge, the Grantee will attend specific seminars and gain a deeper understanding of mathematical and experimental methodologies suitable to scenarios examined in the research project.

The Grantee is expected to report monthly to his/her tutor the advancement in his/her research. At the end of each year, the Grantee will submit to his/her tutor a scientific report summarizing his/her achievements in terms of scientific knowledge and results of research activity.

ASSEGNO DI RICERCA

Sviluppo di strumenti modellistici ibridi innovativi per la simulazione dell'intrusione salina negli acquiferi costieri

Tutore: Vittorio Di Federico

Progetto di ricerca

L'Assegno di Ricerca si svilupperà nell'ambito del progetto: "Preventing groundwater contamination related to global and climate change through a holistic approach based on managed aquifer recharge - MAR2PROTECT", finanziato dalla UE nell'ambito di Horizon Europe.

L'impatto dei cambiamenti climatici e globali (CC and GC) mette in pericolo la salute e il benessere umano, la sicurezza alimentare e la biodiversità. GC e CC stanno causando piene devastanti, siccità prolungate, innalzamento del livello marino, malnutrizione, acidificazione degli oceani, incendi, ondate di calore e inquinamento delle acque sotterranee (AS). Le acque sotterranee costituiscono 97% delle risorse di acqua dolce a livello mondiale; l'economia legata all'acqua nella UE genera 3.4 trilioni €/anno, 26% del prodotto interno lordo complessivo, e impiega circa 44 milioni di persone. Prevenire l'inquinamento delle falde è vitale per la protezione dell'acqua dolce e del suolo. Sia il CC sia l'accresciuto sfruttamento delle risorse impattano la qualità e quantità delle AS favorendo l'inquinamento diffuso da agricoltura e l'introduzione nell'ambiente di contaminanti emergenti da infiltrazione proveniente da impianti fognari e discariche, la diluizione degli inquinanti nel suolo e l'infiltrazione da scorrimento superficiale. Tali impatti sono accresciuti in aree ove la combinazione di flussi idrologici ridotti, abbassamento del livello della falda freatica e innalzamento del livello marino mettono in pericolo l'integrità degli acquiferi costieri a causa dell'intrusione salina. La contaminazione delle AS può essere evitata mediante i classici interventi di bonifica delle sorgenti inquinanti (ad esempio discariche, siti industriali, fognature disperdenti), ma tale approccio localizzato è altamente costoso a motivo dell'elevato numero di fonti di inquinamento, e non previene l'intrusione salina. D'altro canto, la ricarica gestita della falda (MAR) rappresenta lo strumento più adeguato per limitare l'intrusione salina e – se condotta con AS, reflui trattati (WW) o acque superficiali (SW) – costituisce anche un efficace approccio per prevenire altri tipi di contaminazione delle AS.

MAR rappresenta anche un attrattivo approccio alla gestione delle AS in virtù di una unica combinazione di caratteristiche: i) consente di limitare l'intrusione salina negli acquiferi costieri, non solamente elevando la falda freatica, ma anche iniettando acqua dolce; ii) grazie alla propria capacità di accumulare acqua negli acquiferi durante le piene, permette di compensare la tendenza a eventi piovosi intensi alternate a prolungati periodi di siccità; iii) reduce le perdite da evaporazione e le fioriture algali; iv) conduce alla purificazione delle acque iniettate, per via dell'effetto di (bio)filtrazione che il suolo sottostante i bacini di iniezione del MAR può avere, e alla possibilità di aggiungere barriere reattive al di sotto dei bacini. Differenti tipi di MAR possono essere implementati, in base alle differenti sorgenti idriche: SW, acque di pioggia, reflui trattati, e

AS prelevate da altri acquiferi. Tuttavia, diverse sfide di R&D devono ancora essere affrontate. Una delle più pressanti è lo sviluppo di strumenti modellistici innovativi ibridi “open-source” per valutare l’intrusione salina e il beneficio delle strategie di MAR nell’ottica del cambiamento climatico.

Quando fattori multipli controllano il comportamento delle AS, i modelli di predizione analitici e numerici di flusso e trasporto, non sono in grado di descrivere accuratamente i processi nelle AS: in tal caso, è appropriato applicare modelli statistici basati su serie temporali, usando modelli auto-regressivi a media mobile (ARMA) e a “lag” distribuito (ARDL). Tuttavia, sforzi aggiuntivi di ricerca sono necessari per estendere i modelli ARMA/ARDL a metriche di qualità delle acque e catturare l’influenza di fenomeni non-stazionari come gli impatti del GC e CC sulla qualità delle AS. I modelli saranno combinati con metodi di classificazione (“Random Forest, XGBOOST, Support Vector Regression”) per operare in contesti complessi, caratterizzati da rumore numerico e scarsità di dati.

In una prospettiva di CC, i modelli afflussi-deflussi sono cruciali per la comprensione dell’impatto delle precipitazioni sulla ricarica degli acquiferi. Gli approcci correnti semplificano la dinamica di ricarica, e non includono in modo corretto gli impatti di deviazioni stagionali nelle precipitazioni associate al CC.

Lo strumento di modellazione innovativa prodotto (DRONE) genererà una migliore comprensione delle traiettorie e degli impatti dei microinquinanti potenzialmente introdotti negli acquiferi attraverso il MAR, nonché dell’intrusione salina negli acquiferi.

Piano delle attività

Le attività necessarie per il conseguimento degli obiettivi del progetto di ricerca sono nel seguito descritte.

1. Accurata ricerca di letteratura per acquisire un quadro complessivo dello stato dell’arte sull’analisi delle serie temporali, dei modelli auto-regressivi a media mobile (ARMA) e con intervalli distribuiti (ARDL), e dei metodi di classificazione (“Random Forest, XGBOOST, Support Vector Regression”) [M1-3].
2. Selezione dei fenomeni e degli scenari modellistici da esaminare [M2-4];
3. Sviluppo, all’interno di MAR2PROTECT, di modelli “data-driven” di fenomeni e scenari di interesse [M4-8];
4. Implementazione di adeguati algoritmi per la determinazione delle quantità di interesse (QoI) per ogni fenomeno e scenario [M5-10];
5. Valutazione di indici prestazionali applicativi e di sintesi relativi ai diversi sistemi e scenari [M8-12];
6. Pubblicazione di articoli di carattere scientifico su riviste specializzate e atti di conferenze; stesura di un rapporto di sintesi; partecipazione alla stesura dei rapporti di progetto [M10-12].

Durante lo svolgimento del programma di ricerca, l’assegnista interagirà con i componenti di diversi gruppi di ricerca e il personale di aziende del settore. L’assegnista sarà anche invitato, con scadenze periodiche, ad esporre i risultati raggiunti.

Modalità di svolgimento attività e verifiche dell'attività svolta

Il titolare dell'assegno svolgerà l'attività di ricerca presso la sede di Idraulica del DICAM e presso università e centri di ricerca esteri opportunamente individuati. All'assegnista sarà richiesta un'assidua frequentazione della struttura, al fine di approfondire le tematiche di base e collaborare con la struttura nello svolgimento dell'attività di ricerca descritta nel progetto di ricerca. Per quanto concerne l'approfondimento delle tematiche di base, l'assegnista seguirà seminari specialistici ed approfondirà le metodologie di calcolo e sperimentazione più idonee agli scenari esaminati nel progetto di ricerca.

Si prevede che il titolare dell'assegno esponga al tutore con cadenza mensile lo stato di avanzamento delle proprie ricerche. Al termine di ogni anno, inoltre, dovrà presentare al tutore una relazione sintetica nella quale siano esposti gli obiettivi raggiunti in tema di formazione scientifica e di risultati dell'attività di ricerca.

Il Tutor

Prof. Ing. Vittorio Di Federico

