



LIFE Project Number

**<LIFE +10 ENV/IT/000394/WARBO>**

**FINAL Report**

**Covering the project activities from 01/01/2012 to 31/12/2014**

Reporting Date

**<31/03/2015>**

LIFE+ PROJECT NAME or Acronym

**<WATER RE-BORN - Artificial Recharge: Innovative  
Technologies for the Sustainable Management of Water  
Resources>**

**Annex 59**

Name of Deliverable:

Modello definitivo integrato WARBO comprendente la modellizzazione delle dinamiche degli acquiferi e i indicatori essenziali per il monitoraggio e indici di qualità

Code of associated action: 2,3,4,5,7,10,12

**MODELLO DEFINITIVO INTEGRATO WARBO  
COMPRENDENTE LA MODELLIZZAZIONE  
DELLA DINAMICA DEGLI ACQUIFERI  
E GLI INDICATORI ESSENZIALI PER IL  
MONITORAGGIO E INDICI DI QUALITA'**

UNIV. PD (A. Comerlati, G. Gambolati, G. Isotton, P. Teatini, O. Tosatto)

Dicembre 2014





## Indice

1. Introduzione .....	1
2. Il test 2014 a Mereto .....	<b>Errore. Il segnalibro non è definito.</b>
2.1 Dati acquisiti .....	<b>Errore. Il segnalibro non è definito.</b>
2.3 Nuovo set-up del modello numerico .....	<b>Errore. Il segnalibro non è definito.</b>
2.4 Risultati numerici .....	<b>Errore. Il segnalibro non è definito.</b>
3. Ricarica naturale e ricarica artificiale .....	<b>Errore. Il segnalibro non è definito.</b>
4. Definizione di un protocollo per la modellizzazione idrogeologica della ricarica artificiale .....	2
Bibliografia .....	6



## 1. Introduzione

Nell'ambito del progetto **WATER RE-BORN - Artificial Recharge: Innovative Technologies for the Sustainable Management of Water Resources**, il presente rapporto riassume, integrandola, l'intera esperienza acquisita durante il progetto nel settore della modellistica idrologica a supporto dello studio della ricarica degli acquiferi, nonché della strumentazione e delle metodologie ottimali per la caratterizzazione del sistema sottosuolo e il monitoraggio della dinamica degli acquiferi.

## 2. Modello definitivo integrato: dinamica degli acquiferi e indicatori

La previsione ed il controllo della dinamica degli acquiferi, alla luce di una possibile loro ricarica artificiale, richiede lo sviluppo di un modellistica che sia appropriatamente integrata con sistemi di monitoraggio dei livelli e della qualità delle acque.

Alla luce dell'esperienza maturata nel corso del progetto WARBO e dell'analisi dei risultati attesi rispetto a quelli effettivamente ottenuti, è possibile delineare un "modello integrato WARBO", ovvero una serie di linee guida atte a stabilire in maniera preventiva quali possano essere i modelli matematici da utilizzare, i dati da acquisire, la durata delle acquisizioni e ogni altra misura necessaria ad archiviare un dataset che sia di fatto utilizzabile nella gestione delle operazioni di ricarica.

A tale proposito è possibile suddividere i dati acquisibili rispetto alla loro funzione nella fase di costruzione e messa a punto del modello; in particolare si possono distinguere:

1. dati e misure necessarie alla messa a punto del modello statico;
2. dati e misure necessarie alla messa a punto del modello dinamico.

### 2.1 Integrazione dati e misurazioni per la modellistica "statica"

In quest'ambito sono da annoverare tutte quelle informazioni relative alla definizione della geometria della griglia di calcolo e alle proprietà fisiche del sistema oggetto di studio. Fra di esse vanno annoverate:

1. Misure topografiche, gps, lidar, multi-beam per la ricostruzione tridimensionale dettagliata della superficie del terreno, in particolare nell'area della ricarica;
2. Dati di natura geologico-geotecnica da acquisire mediante la perforazione di pozzi e/o di piezometri e acquisizione di sezioni sismiche e/o GPR per la ricostruzione tridimensionale quanto più dettagliata possibile dell'andamento degli orizzonti geologici e della litostratigrafia che caratterizza l'area oggetto di studio. Il target di profondità è quello compreso tra il piano campagna e il bottom dell'acquifero interessato dalla ricarica;
3. Attraverso gli stessi dati di natura geologico-geotecnica acquisiti nella fase precedente devono essere determinate tutte quelle informazioni atte a definire con la massima accuratezza possibile le proprietà idrauliche e capillari dei terreni costituenti i diversi orizzonti geologici in esame. Oltre alla determinazione della permeabilità e delle altre

proprietà del terreno mediante prove in situ (ad es., prove di pompaggio, di iniettività, di infiltrazione, prove di dispersività con traccianti, etc.), è necessario condurre analisi di tipo granulometrico su campioni di terreno prelevati durante le perforazioni in modo da determinare le relative tessiture in termini di percentuali in sabbia, limo e argilla, informazione questa che consente una stima per via indiretta, mediante l'impiego di pore networks models (Saxton et. al. 2004, Leij et. al., 1996 and Schaap et. al., 2001), dei valori delle conducibilità idrauliche e dei parametri delle corrispondenti curve di risalita capillare secondo i modelli analitici di van Genuchten o di Brooks Corey. Chiaramente una stima accurata delle proprietà fisiche del sistema che faccia riferimento ad un database quanto più vasto e rappresentativo dell'area in esame risulta essere di fondamentale importanza dal punto di vista dell'accuratezza dei risultati poi ottenibili dal modello.

## **2.2 Integrazione dati e misurazioni per la modellistica "dinamica"**

In questo secondo ambito rientrano tutte quelle metodologie di monitoraggio degli indici/parametri dinamici dell'acquifero quali i livelli piezometrici, le pressioni, il grado di saturazione (nella porzione insatura), il tenore salino, la concentrazione dei principali composti chimici, il contenuto dei principali isotopi naturali. Tali dati sono necessari alla messa a punto e calibrazione del modello matematico, in modo poi da poter utilizzare lo strumento modellistico in modo affidabile per la previsione di scenari futuri e la gestione della ricarica artificiale. Fra le grandezze da acquisire e da monitorare sono certamente da annoverare le seguenti:

1. Portata d'acqua immessa nel bacino. Tale grandezza deve essere misurata in continuo in modo da consentire una stima accurata (e non solamente l'ordine di grandezza) del volume progressivamente immesso nel bacino di ricarica. Tale parametro è importante in quanto consente un confronto diretto con il volume di acqua che si infila nell'acquifero dal fondo del lago come calcolato dal modello. La predisposizione di strumentazione efficiente per la misura della portata necessita un'appropriata fase progettuale delle opere di adduzione, con l'inserimento di:
  - a. opera di intercettazione e eliminazione del materiale sospeso (tipo griglie).  
L'esperienza ha evidenziato come la pulizia di strutture tipo griglia che richieda l'intervento diretto dell'uomo sia alquanto poco efficiente e sia una causa importante

- nella riduzione della portata che affluisca alla vasca di ricarica. Se possibile sono quindi da predisporre sgrigliatori automatici;
- b. vasca di decantazione nella quale venga trattenuta la maggior parte del materiale fino trasportato dall'acqua. Questo garantisce una sicura mitigazione della problematica del clogging negli strati più superficiali al fondo del bacino di ricarica;
  - c. sistemi di misura in continuo quali, ad esempio, uno stramazzo in parete sottile se il moto è a pelo libero o mulinelli nel caso di moto in pressione, tenendo ben presente che lo strumento di misura non deve risentire dell'eventuale materiale fine trasportato con in sospensione;
2. Tirante d'acqua all'interno del bacino. Mediante l'impiego di trasduttori di pressione deve essere monitorato in continuo il tirante d'acqua che viene mantenuto all'interno del bacino. L'importanza di questo dato è determinata in quanto definisce in maniera diretta e semplice la condizione al contorno, in questo caso del tipo di Dirichlet con pressione imposta, da imporre al modello nella fase di taratura sui nodi della griglia che appartengono al lago. Questo dato consente inoltre di conoscere, istante per istante, quali sono i nodi del bacino a pressione imposta e quali sono invece nodi a flusso nullo ovvero a evapotraspirazione imposta;
  3. Livelli piezometrici nei pozzi di misura. Periodicamente devono essere misurati i livelli piezometrici dei pozzi presenti nell'area oggetto dell'esperimento. La misura dei livelli piezometrici consente di avere una visione ed una sensibilità pressoché immediata circa gli effetti della ricarica in corso sul flusso sotterraneo nell'area in esame e consente altresì di individuare fin da subito quali siano i piezometri direttamente interessati dalla ricarica e sui quali eventualmente procedere ad una misurazione in continuo dei livelli piezometrici mediante trasduttori di pressione, in luogo della rilevazione periodica eseguita ad esempio mediante l'impiego di freatimetro. La presenza poi di eventuali "anomalie" fra i risultati simulati e le misure in situ, consente di apportare al modello tutte quelle "migliorie" necessarie ad una corretta e fine taratura dello stesso. Le misure piezometriche vanno quindi incrociate con la misura del tirante d'acqua all'interno del bacino così da evidenziare ad esempio eventuali effetti di clogging del per il progressivo depositarsi sul fondo del bacino del materiale sospeso e predisporre quindi, se necessario, la pulizia dello stesso. Alcune misure piezometriche devono infine essere condotte ad di fuori della zona d'influenza della

- ricarica in modo da evidenziare le fluttuazioni della falda connesse alle variazioni della ricarica naturale;
4. Misure geoelettriche. L'acquisizione di misure geoelettriche in modalità time-lapse, con estendimenti sulla superficie del terreno o in pozzo (acquisizioni "cross-hole"), durante le varie fasi dell'esperimento di ricarica, forniscono utili informazioni circa la dinamica del attraverso una vera e propria "fotografia" in tempo reale circa la dinamica del plume che si infiltra attraverso il fondo del bacino. Queste "fotografie" costituiscono, anche dal solo punto di vista visivo, un importante strumento per il confronto fra i risultati del modello espressi in termini di saturazione in acqua e le misure di resistività rilevate in situ. Alla luce delle esperienze fatte dovrebbero essere predisposte preliminarmente delle sezioni lungo alcune linee significative per l'acquisizione periodica di misure geoelettriche;
  5. Misure di tipo chimico. L'acquisizione di misure chimiche (nitrati, solfati, sodio, cloruri, ioni sodio, potassio, calcio, magnesio, etc.) e di conducibilità delle acque sotterranee rispetto alla qualità dell'acqua che viene immessa, fornisce utili indicazioni circa l'efficacia della ricarica in termini qualitativi. Le misure possono essere condotte periodicamente su campioni d'acqua prelevati in falda con cadenza da pianificare in relazione all'andamento della ricarica (in genere nell'ordine di 2-7 giorni) oppure, preferibilmente, in continuo con apposite sonde multi-parametriche poste nei piezometri. Tali misure consentono di misurare l'andamento temporale dei parametri d'interesse, ricavando indicazioni quantitative sui tempi impiegati dall'acqua immessa nel bacino per giungere ai punti di campionamento. Queste informazioni, incrociate con i modelli "particle tracking" e trasporto, possono consentire un'ulteriore e più approfondita messa a punto e taratura dei modelli per la gestione delle operazioni di ricarica.
  6. Misure degli isotopi naturali presenti nelle acque. Origine delle acque e tempi di percorrenza possono essere definiti in modo molto preciso attraverso l'analisi di isotopi naturali stabili quali  $^{14}\text{C}$ ,  $^3\text{H}$ ,  $^3\text{He}$ ,  $^{36}\text{Cl}$ ,  $^{81}\text{Kr}$ ,  $^{18}\text{O}$ ,  $^{39}\text{Ar}$ ,  $^{87}\text{Sr}$ ,  $^{86}\text{Sr}$  (Maier et al., 2014; Suckow, 2014). Di contro, tali analisi sono usualmente costose.
  7. Carico batteriologico. Costituisce un importante parametro da monitorarsi su campioni di acqua di falda in relazione alla sicurezza della ricarica. Vengono usualmente monitorati i seguenti parametri: coliformi totali, coliformi fecali, pseudomonas, ecoli



## Bibliografia

- Leij, F. J., Alves, W. J., van Genuchten, M. Th. and Williams, J. R. 1996. Unsaturated Soil Hydraulic Database, UNSODA 1.0 User's Manual. EPA Report 600/R96/095. USEPA, Ada, OK.
- Mayer, A., Sultenfub, J., Travi, Y., et al. (2014). A multi-tracer study of groundwater origin and transit-time in the aquifer of the Veneto region (Italy). *Applied Geochemistry*, 50, 177-198.
- Saxton, K. E. and W. J. Rawls. Soil Water Characteristics by Texture and Organic Matter for Hydrologic Solutions, Soil Sci. Soc. Amer., Annual Conference, Seattle, WA, Oct. 30-Nov. 4., 2004.
- Schaap, M.G., Leij, F.J., van Genuchten, M.Th. (1998). Neural network analysis for hierarchical prediction of soil water retention and saturated hydraulic conductivity. *Soil Sci Soc Am* 570 J 62: 847–855.
- Suckow, A. (2014). The age of groundwater - Definitions, models and why we do not need this term. *Applied Geochemistry*, 50, 222-230.