



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

Project Data

Project location	Friuli Venezia Giulia (UD-PN), Emilia Romagna (FE) -Italy
Project start date:	<01/01/2012>
Project end date:	<30/06/2014> Extension date: <31/12/2014 >
Total Project duration (in months)	<36> months (including Extension of <6> months)
Total budget	€ 1.849.280
Total eligible budget	€ 1.724.880
EU contribution:	€ 860.887
(%) of total costs	46.55 %
(%) of eligible costs	49.91 %

Beneficiary Data

Name Beneficiary	OGS - Istituto Nazionale di Oceanografia e di Geofisica Sperimentale
Contact person	Mr. Daniel Nieto Yabàr
Postal address/Visit address	Borgo Grotta Gigante 42/C – 34010 Sgonico (Trieste) - Italy
Telephone	0039 040 2140350
Fax:	0039 040 327303
E-mail	dnieto@inogs.it
Project Website	http://warbo-life.eu/

1. List of contents
2. Executive Summary
3. Introduction
4. Administrative part
 - 4.1 Description of the management system
 - 4.2 Evaluation of the management system
5. Technical part
 - 5.1 Technical progress
 - 5.1.1 Background della ricerca
 - 5.1.2 Premessa
 - 5.1.3 Le azioni del progetto
 - 5.1.3.1 ACTION 2
 - 5.1.3.2 ACTION 3
 - 5.1.3.3 ACTION 4
 - 5.1.3.4 ACTION 5
 - 5.1.3.5 ACTION 6
 - 5.1.3.6 ACTION 7
 - 5.1.3.7 ACTION 8
 - 5.1.3.8 ACTION 9
 - 5.1.3.9 ACTION 10
 - 5.1.3.10 ACTION 12
 - 5.2 Dissemination actions
 - 5.2.1 ACTION 11
 - 5.2.2 Dissemination: attività di disseminazione
 - 5.3 Evaluation of Project Implementation
 - 5.4 Analysis of long-term benefits
6. Comments on the financial report
 - 6.1 Summary of Costs Incurred
 - 6.2 Accounting system
 - 6.3 Partnership arrangements
 - 6.4 Auditor's report/declaration
 - 6.5 Summary of costs per action
7. Annexes

2. Executive Summary

ITA

La ricarica artificiale è il processo mediante il quale l'acqua superficiale è introdotta sottoterra, tramite la diffusione in determinate aree superficiali, l'uso di pozzi di ricarica, o attraverso cambiamenti delle condizioni naturali fino a migliorare l'infiltrazione con lo scopo di riempire l'acquifero.

La ricarica artificiale (chiamata anche "ricarica pianificata") è un modo per immagazzinare acqua sotterranea quando c'è eccesso d'acqua superficiale, così da poterla utilizzare in tempi di carenza. (NRC, 1994).

Il presente progetto dimostrativo ha l'obiettivo di contribuire a colmare le lacune sulla metodologia MAR, che è ancora complessa e delicata, al fine di favorire la regolamentazione del metodo e rispondere alle esigenze di una corretta gestione del territorio, tutela, protezione e miglioramento dello stato degli ecosistemi acquiferi e terrestri. La sperimentazione è prevista in siti significativi delle problematiche di ricarica artificiale, sede di ecosistemi di interesse comunitario che necessitano di rapidi interventi per non essere compromessi dalla carenza idrica. La partecipazione di Autorità Regionali e soggetti pubblici e privati che si occupano di gestione e depurazione delle acque, sono garanti della futura applicazione della metodologia e raggiungimento degli obiettivi di superamento dei limiti dell'attuale legislazione, attraverso la definizione di appositi protocolli sperimentali su cui potrà basare l'iter amministrativo e le modalità di gestione delle attività di ricarica. Iter che non deve configurare con le normativa sulla tutela delle acque, derivazioni e concessioni di acqua pubblica, sulla valutazione d'impatto ambientale (VIA) e sulla valutazione ambientale strategica (SEA) e Deflusso Minimo Vitale (DMV).

Nell'attuale quadro legislativo non viene esplicitato il metodo di ricarica anche se i temi trattati sono parte integrante degli indirizzi di legge esistenti. L'impegno della Comunità Europea è particolarmente attivo anche se la risposta dei paesi membri è meno deciso e soprattutto è differenziato nelle azioni legislative e nelle scelte operative. E' evidente che la migliore pratica per il risparmio idrico è la promozione di un uso efficiente, mediante riduzione delle perdite e delle sprechi, ciò premesso, al fine di migliorare la situazione delle acque sotterranee è necessario ricaricare artificialmente per contrastare il depauperamento delle acque sotterranee. Le tecniche a disposizione anche se non sempre semplici sono convenienti e sostenibile nel lungo termine ma ancora, almeno nei paesi della CE in fase sperimentale. La proposta vuole rispondere alle esigenze di superare la fase sperimentale e fornire la documentazione necessaria affinché le autorità competente possano procedere alla messa in opera di normative per l'utilizzo di metodologie di MAR a livello standard. Le tecnologie proposte concorrono a fornire informazione scientificamente provate che colmano le mancanza di informazioni appropriate sulle caratteristiche geologiche (geometria del acquifero, porosità del zona insatura, ecc), geochimiche e biologiche dell'acquifero e sulle caratteristici biologiche e idrochimiche delle acque superficiali utili alla ricarica.

Nel corso degli ultimi anni, si è diffusa la percezione dei cambiamenti climatici come una minaccia crescente da attribuire in parte a causa naturali ma incrementate da cause antropiche. La maggiore attenzione del fenomeno deriva soprattutto dalla consapevolezza che i cambiamenti climatici sono un processo già in corso, con riscontri osservabili, fatti dettagliati e conseguenze potenzialmente gravi, come dimostrato dalle piogge persistenti ed inondazioni in Europa negli ultimi 20 anni e dagli eventi estremi di siccità 2003, 2006, 2012 e 2014. Va precisato che eventi estremi singoli rientrano nell'ambito della normalità, ma la ripetibilità in periodi relativamente corti, evidenzia il fatto che i cambiamenti climatici sono già in corso. Uno degli indicatori preso in esame è l'osservata accentuazione degli eventi estremi quali piogge persistenti, grandine, inondazioni e frane e temporali violenti.

Sulla terra fa sempre più caldo. Nel corso del ventesimo secolo, la temperatura della superficie terrestre è aumentata di 0,6°C. Al nord delle Alpi la temperatura media nel corso dell'ultimo secolo è salita persino di 1,1°C. Indipendentemente dall'attuale riscaldamento globale, il numero e l'intensità di eventi estremi saranno soggetti a forti oscillazioni.

La degradazione del suolo, inondazioni, siccità, desertificazione, ecc. interessa ad oggi circa un sesto della popolazione mondiale. Poiché i cambiamenti climatici produrranno un'accelerazione ed un'intensificazione del ciclo globale dell'acqua, le risorse idriche potrebbero risultare gravemente compromesse. La questione dell'emergenza idrica è gravissima: da tale risorsa dipende la sopravvivenza di tutte le specie.

La Gestione di ricarica degli acquiferi (MAR) è un insieme di tecniche utilizzate per influenzare la quantità e la qualità delle riserve idriche delle falde acquifere attraverso il coinvolgimento di ingressi e uscite di acqua dal sistema.

Ci sono diversi metodi per agire sugli acquiferi superficiali, intermedi e profondi.

Richiede la conoscenza dettagliata delle caratteristiche chimiche dell'acqua di ricarica, l'acqua naturale dalla falda acquifera e la possibile interazione tra di essi.

I principali vantaggi sono l'eliminazione di sostanze inquinanti da parte biochimici e filtraggio meccanico, riduzione delle perdite per evaporazione, l'effetto barriera dell'acqua di ricarica ad altri di qualità inferiore e la possibilità di rigenerazione degli ecosistemi, risparmio di spazio (l'acqua viene immagazzinata al di sotto della superficie) e costi di distribuzione.

Il progetto WARBO - WATER RE-BORN: "Ricarica artificiale delle falde: tecnologie innovative per la gestione sostenibile delle risorse idriche", è un progetto pilota dimostrativo che definisce le Metodologie di Ricarica Artificiale (MAR) degli acquiferi in contrasto ai processi di degrado delle risorse idriche. I risultati ottenuti con lo sviluppo del progetto hanno lo scopo di fornire metodologie collaudate e protocolli attuativi in una gamma molto ampia di modalità di MAR; modalità che sono nella maggior parte dei casi in via sperimentale a diverse scale temporali e spaziali.

Le attività sperimentali condotte nei siti test ci hanno offerto l'opportunità di vedere come la teoria si traduce in pratica sul terreno. La preparazione di questa proposta ha affrontato il tema della MAR nei suoi aspetti generali prima attraverso una dettagliata ricerca bibliografica a livello mondiali (USA, Australia, India, Israele, ecc), per poi focalizzarsi su aree più affini alla realtà dei paesi Europei (Francia, Olanda, Germania, Spagna, ecc) e dell'Italia (Regione Emilia Romagna, Bologna, Sardegna, Sicilia, Friuli-Venezia Giulia, LIFE+TRUST, LIFE+Vicenza, ecc).

L'analisi delle varie metodologie di ricarica artificiale rivelano che l'applicabilità del tipo di MAR è caratterizzato da una forte variabilità geografica, e che a livello di bacini la risposta può essere diversa in base a fattori orografici, geologici e biologici, per cui la risposta locale deve essere valutata dettagliatamente nel contesto della sua applicazione.

Ai fini di una corretta comprensione dei risultati conseguiti, anche in base alle dinamiche competitive di uso delle risorse che possono innescarsi, è stato essenziale l'azione di monitoraggio per tutte le varie fasi della MAR, questo per valutare a breve-medio tempo, eventuali effetti diretti nella zona vadosa e successivamente nell'acquifero. Tale tipo di monitoraggio hanno richiesto un'ampio spettro di misure con l'obiettivo di fornire un quadro conoscitivo, dettagliato e completo sullo status dell'area pilota. Un fattore innovativo e punto di forza di questo progetto è stata la sua interdisciplinarietà e multidisciplinarietà delle metodologie scientifiche applicate durante l'intero svolgimento delle azioni progettuali; non solo, prima della presentazione sono state collaudate una serie di metodologie sperimentali (geofisiche, geochimiche, interferometriche) che hanno portato ottimi risultati. Questi metodi applicati per la prima volta in uno studio per MAR, hanno consentito di ottenere una mole di dati necessari per la valutazione dei parametri fondamentali che consentono di formulare un bilancio idrico

(porosità, fatturazione, tessitura, ecc.) di ottenere modelli più attendibili e veritieri, basati su dati sperimentali reali, aggiornati e non teorici.

Oltretutto l'applicazione contemporanea di più tecniche sperimentali consentirà di fornire dati di alta precisione e risoluzione affinché i risultati delle azioni siano certe e calibrate al fine di produrre modelli sempre più evolutivi e stime quantitative efficaci per la MAR. Questo strumento metodologico potrà essere applicato come supporto agli aggiornamenti legislativi, finalizzati al raggiungimento degli obiettivi di piani di valorizzazione e tutela previsti dalle numerose direttive relative alle risorse idriche.

Il progetto pilota è in grado di fornire agli utilizzatori, Enti gestionali (Regione, Provincia, Comune, consorzi di bonifica, ecc.), tecnici e ricercatori del settore, tutte le procedure di acquisizione, elaborazione e modellazione e gli strumenti per valutare il rischio di degrado delle risorse idriche e le proposte di ricarica artificiale essenziali per un corretto bilancio del costo economico ed ambientale legato alla disponibilità idrica.

Le attività programmate in fase progettuale riguardavano la scelta di tre zone pilota dove sarebbero state utilizzate tre tecniche diverse della metodologia MAR con problematiche e di conseguenza obiettivi diversi, le zone pilota riguardano essenzialmente aree la porzione Occidentale della pianura friulana e quella di Copparo nella provincia di Ferrara.

In particolare:

- La pianura Friulana costituisce uno dei sistemi multiacquiferi più ricchi d'Europa, serbatoio sotterraneo di acqua dolce di elevata qualità e quantità, da un punto di vista idrologico la regione è una delle zone di maggior piovosità Italiane. I bacini idrografici di montagna raccolgono queste abbondante precipitazione e le instradano in pianura. La Regione FVG è stata considerata da sempre una regione particolarmente ricca d'acqua sia per l'abbondante piovosità che per la grande quantità d'acque nella falde sotterranee, nonostante queste premesse però, gli eventi estremi del 2003, 2006, 2012 e 2014 hanno evidenziato in tutta la sua gravità la siccità e gli alluvioni che hanno interessato il settore agricolo. Doveroso segnalare che la concomitanza di più fattori (cambiamento climatici, soprassfruttamento delle falde, inquinamento, cementificazione del suolo) hanno causato una perdita di potenzialità delle falde freatiche negli ultimi di 75 ML di m³/anno, corrispondente al consumo di acqua idropotabile di tutta la popolazione regionale.

Nella pianura friulana si procederà alle seguenti azioni:

- aree test:

a) ricarica artificiale della falda freatica indifferenziata nell'alta pianura friulana in bacini di dispersione (cave di ghiaia) rappresentativi delle problematiche nei sedimenti ghiaiosi glaciali. La tecnica MAR programmata era quella della ricarica tramite una serie di pozzi di infiltrazione, le normative di coordinamento delle tecniche MAR nella maggior parte dei paesi CE è privo di una regolamentazione chiara e completa, in particolare in Italia la normativa nazionale è molto ambigua e soprattutto non uniforme in quanto attualmente la gestione è affidata alle Regioni che hanno legiferato in maniera autonoma e molto spesso leggi contraddittori tra le varie regione. In questo caos normativo siamo stati costretti a modificare il programma di ricarica progettuale anche se poi si è rilevate molto redditizio sia dal punto di vista economiche che tecnologico, economiche perché ci ha permesso di utilizzare infrastrutture già esistenti per le quale la Regione FVG ha speso 3 Ml di Euro, dove era programmata la ricarica attraverso pozzi ma ferma da molto tempo per alcune formalità di legge, e con l' ampliamento dalle attività programmate WARBO abbiamo avuto a disposizione una un impianto test indiscutibilmente più completo e tecnologicamente superiore, come si evince dei risultati ottenuti nel risanamento qualitativo della falda freatica della zona test. La modifica delle attività progettuale è stata quelle dell'utilizzo per la ricarica

di una vasca preesistente e con gli adempimenti delle normative per le quale era stata bloccata è stato possibile eseguire la ricarica programmata nel progetto.

b) analisi dei possibili utilizzi delle acque grigie depurate attraverso l'introduzione di soluzioni innovative per il recupero delle acque depurate dal Consorzio ZIPR

Area Pilota della Zona Industriale Ponte Rosso (PN-Italia) è servita da un sistema fognario a linee separate: fognatura acque nere (realizzata e prevista per m 14.920) e fognatura acque bianche (per m 8.014). A valle del rete fognaria nera si trova l'impianto di depurazione, basato sul processo di depurazione biologica a fanghi attivi, che permette di depurare nel migliore modo possibile tutto il liquame in ingresso. Le acque in uscita depurate vengono ulteriormente trattate da un bacino di fitodepurazione prima di essere convogliate nella roggia Roja, costituito da alcuni stagni poco profondi per la sedimentazione, attraversati da un sistema a flusso sommerso orizzontale continuo, in cui sono presenti piante del genere *Phragmites* che depurano le acque reflue in modo naturale ma non sufficiente per essere utilizzate almeno per uso agricolo. L'obiettivo principale del progetto in questa area è stato quello di abbattere ulteriormente l'inquinamento mediante l'innovazione metodologica delle tecniche di fitodepurazione per l'abbattimento del carico inquinante rimanente dopo la depurazione tradizionale, l'obiettivo secondario ma non per questo meno importante era quello di ottenere dell'acqua per utilizzarla nella ricarica in zone dove non era possibile avere direttamente la materia prima per il MAR.

Nella bassa pianura del Copparese (Ferrara) obiettivo dell'attività dimostrativa era quello di verificare l'efficacia della ricarica artificiale in sedimenti a media-bassa permeabilità attraverso il monitoraggio l'immissione di acque dolci depurate nell'acquifero a falda libera e 1° acquifero confinato ad acqua salmastra. Scopo del progetto era anche fornire una stima delle ricadute sugli incrementi di disponibilità idrica in relazione alla ricarica e sui tempi necessari a registrare significativi miglioramenti nella qualità delle acque sotterranee; inoltre verificare se è possibile con la ricarica artificiale garantire disponibilità di risorse d'acqua dolce in aree in cui la salinizzazione degli acquiferi di vaste aree della bassa pianura padana sembra un fenomeno irreversibile e fermare il processo di desertificazione. Dalla letteratura scientifica risultava che nell'area di Copparo la salinizzazione delle falde sotterranee era dovuta all'avanzamento del cuneo salino, ma già le prime indagini geofisiche e geochemiche smentivano questa affermazione in quanto, come poi confermato dai rilievi successivi, la salinità delle acque sotterranee derivava dalla presenza di un "lago" fossile con acque salmastre. E' per questo motivo che la tecnica MAR progettuale è stata modificata e quindi la tecnica MAR è stata applicata mediante un bacino di ricarica in sostituzione alla batteria di pozzi.

Il progetto ha provveduto a definire le procedure di reperimento delle risorse idriche da destinare agli impianti di ricarica per i due siti test in accordo con gli adempimenti delle WFD e ha verificato criticità e efficacia della metodologia stimandone costi e benefici. Le attività nelle aree test hanno coinvolto un partenariato dotato di competenze specifiche che hanno consentito di formulare protocolli applicativi delle indagini conoscitive multidisciplinari necessarie a definire a basso costo e con rigore scientifico l'impatto e l'efficacia della ricarica, gli adempimenti necessari all'espletamento dell'iter procedurale autorizzativo e valutazione degli impatti in modo da procedere all'applicazione delle metodologie di ricarica artificiale in sicurezza e in accordo con le direttive UE vigenti e la normativa italiana di accoglimento.

I dati del monitoraggio chimico, idrogeologico, chimico-fisico e biologico dei corpi idrici superficiali e sotterranei che caratterizzano le aree test hanno permesso di descrivere le dinamiche stagionali, identificare le cause del depauperamento delle risorse e descrivere la risposta del sistema alla ricarica naturale ed artificiale. La sintesi di queste dinamiche è stata ottenuta mediante l'elaborazione di tutti i dati con modelli idraulici, idrogeologici e geochemici utili a descrivere le dinamiche di scambio fra acque superficiali e sotterranee, di

definire le ricadute in termini qualitativi e quantitativi della ricarica artificiale sulle risorse stoccate nel sottosuolo. I risultati di queste attività hanno consentito la redazione di protocolli di analisi multidisciplinare di supporto alle procedure e metodologie di ricarica che sono sviluppati e redatti sulla base del quadro normativo UE, proponendo con il progetto WARBO metodi, esperienze e strumenti operativi di implementazione e coordinamento fra la Floods Directive -FD 2007/60/EC e la Water Framework Directive -WFD 2000/60/EC, nella consapevolezza che la gestione compatibile degli impianti di ricarica deve necessariamente confrontarsi con le problematiche di sicurezza idraulica ed idrogeologica e con la gestione integrata delle risorse idriche per uso irriguo. Il modello e metodologie proposte sono state poi comparate con altre esperienze internazionali e nazionali (RIADE, progetti life + quali progetto Rii, Aquor, Trust, Zeolife, ecc.), per verificarne la trasferibilità a scala europea e extraeuropea (analisi critica condotta sotto la guida di TARH dalla partnership).

L'analisi climatica integrata con la caratterizzazione geochimica ed isotopica ha fatto emergere la rapida risposta degli acquiferi alle precipitazioni locali nell'area di Mereto di Tomba ed anche in settori caratterizzati da permeabilità medio-basse (Area di Copparo).

L'analisi climatica ha evidenziato anche l'impatto della temperatura sul chimismo e biodiversità dei corpi idrici superficiali (canali di alimentazione ed invasi di ricarica) in entrambi gli impianti di ricarica il progetto WARBO e per contrastare l'arricchimento nei metalli disciolti nelle acque per evaporazione anche in aree con clima temperato (Friuli) si è suggerito di modificare gli impianti di fitodepurazione a canna palustre con sistemi misti che contemplano la piantumazione di alberi ad alto fusto la cui gestione è più vantaggiosa essendo la biomassa derivata dalla manutenzione di alto valore energetico.

L'efficacia della ricarica è stata supportata dall'analisi biologica. Sono state studiate le comunità faunistiche applicando due diverse metodologie: lo studio dei macroinvertebrati acquatici mediante la loro raccolta sul fondo di canali ed invasi grazie alla rete di Surber e la raccolta di artropodi terrestri mediante la trappola di Malaise, con particolare attenzione ai ditteri Sirfidi.

I dati geologici, chimici, biologici ed ambientali sono stati elaborati utilizzando gli schemi logici DPSIR - Driving Forces, Pressures, State, Impact, Responses (Determinanti, Pressioni, Stato, Impatto, Risposte) proposto nel 1999 dall'EEA ed adottato in Italia da ISPRA. L'integrazione dei dati raccolti con le metodologie di progetto e le informazioni sui contesti naturali, urbani e produttivi che insistono nell'area hanno consentito di definire l'incidenza della ricarica artificiale sull'incremento della resilienza ai cambiamenti climatici.

Grazie allo schema concettuale della metodologia DPSIR utilizzato da ARPAFV per la classificazione nell'area friulana dei corpi idrici il progetto si è focalizzato sui siti a rischio di inquinamento di nitrati, e la campagna conoscitiva del primo anno di progetto WARBO focalizzata sugli 11 settori della pianura friulana i cui acquiferi sono classificati a rischio nitrati in accordo con ARPAFV e con il supporto di tavoli congiunti che ha visto la partecipazione attiva degli stakeholder, le autorità di bacino e Consorzi di Bonifica Leda Tagliamento è stata confermata l'attività sperimentale del progetto presso l'impianto sperimentale di Mereto di Tomba del bacino di ricarica per infiltrazione nei piani di salvaguardia per la qualità delle acque superficiali e sotterranee e procedere dopo l'espletamento delle richieste di autorizzazione e valutazione dell'impatto alla attività di ricarica artificiale. Analogamente il Comune di Copparo ha utilizzato per la Valutazione Ambientale Strategica VAS, la metodologia DPSIR identificando nella ricarica artificiale una delle risposte efficaci e compatibili per l'attuazione dei programmi di miglioramento dello stato dell'ambiente, in modo da garantire l'accesso alle risorse a fini irrigui, per rinforzare i corridoi ecologici e per la riqualificazione del paesaggio rurale che rappresenta uno degli elementi fondamentali per l'attrazione turistica in accordo con la Carta Europea per il Turismo Sostenibile o per la certificazione ambientale (ISO 14001/EMAS). Il progetto

WARBO ha individuato nel degrado dei pozzi metaniferi abbandonati la pressione antropica responsabile della contaminazione degli acquiferi e attraverso la determinazione della composizione chimica delle acque fossili metanifere emesse nei pozzi metaniferi in eruzione nel territorio di Ponte San Pietro- Ambrogio hanno definito il peso per gli elementi tossico-nocivi che caratterizzano queste acque in modo da valutare l'incidenza di queste acque sulla contaminazione diffusa degli acquiferi interessati da salinizzazione.

Il monitoraggio geofisico, geochimico, idrogeologico e i rilevamenti TGRA (rilevamento termografico integrato per la ricarica artificiale) effettuati prima, durante e dopo la ricarica ha quindi consentito la valutazione quantitativa dei benefici e costi e fornito indicazioni sulle reali prospettive di miglioramento qualitativo delle risorse nel breve tempo, medio e lungo tempo attraverso interventi di ricarica artificiale. Le attività dimostrative sono state sviluppate attraverso l'integrazione della procedura di ricarica nel piano territoriale a scala di bacino, procedura che è stata possibile grazie alla partecipazione al progetto in qualità di Stakeholder dei Consorzi di Bonifica di Ledra Tagliamento e del Consorzio di Bonifica di Ferrara che istituzionalmente operano a scala di bacino per la gestione del rischio idrogeologico e per la distribuzione delle risorse idriche a fini irrigui. In tale ottica sono state prese in considerazione le possibili dinamiche di uso competitivo e di potenziale conflittualità nell'accesso alle risorse, in modo da garantire un corretto e non conflittuale approvvigionamento che sia soprattutto compatibile con l'ottimizzazione del ciclo dell'acqua a scala locale.

Analisi chimiche delle risorse idriche e indagini volte a definire la biodiversità nella rete superficiale di approvvigionamento e stoccaggio delle acque è stata condotta in modo da garantire per gli impianti di ricarica l'approvvigionamento compatibile e con acque rispondenti ai requisiti e parametri richiesti dalla WFD per la protezione degli acquiferi e dell'uso oculato delle risorse idriche. Valutati i vantaggi e criticità ambientali della metodologia sono stati analizzati i costi in modo fornire indicazioni costi, la cui stima è fondamentale oltre che necessaria per la redazione per i piani di gestione previsti dalle due direttive con scadenza comune nel dicembre 2015.

ENG

The main objective of Managed Aquifer Recharge (M.A.R.) is to favor and increase the recharge of aquifers by enhancing infiltration of surface waters by recharge wells, surface spreading or modifications of the natural infiltration process. Artificial Recharge (A.R.) also known as Managed Artificial Recharge (M.A.R.) is a way to store underground the excess of surface water for a further use during drought or water scarcity (NRC,1994).

The methodologies for the M.A.R. implementation and management, are not yet defined in the present legislative framework albeit these issues are an important part of the existing legislative addresses. The EU commitment at level of Commission is very high but the responses of the single member Countries is weaker and, mostly, non homogeneous regarding legislative actions and implement decisions.

It is evident and well known that the best practice for water conservation is its efficient use by the reduction of wastes and leaks from water supply systems. To improve the quality of groundwater it is necessary to apply M.A.R. techniques to limit and contrast the depletion of this resource. Existing M.A.R. techniques are opportune and sustainable on the long period, but not simple and still- in EU Countries- under experimental phase. This project intends to provide solutions to overcome the experimental phase and to provide to the relevant Authorities the documentation to develop new regulations for the generalized, yet controlled, application of M.A.R. The proposed technologies are aimed to provide scientifically solid information to fill the lack of information's about the hydrogeological, biological and geochemical characteristics of the aquifer and the surface waters to be used in the MAR .

The great attention to global warming is confirmed by the recent floodings and droughts registered in EU in the past 20 years and by the extreme droughts occurred in the years 2003,2006,2012 and 2014 with also an increase of the frequency of extreme meteorological events. The above events are affecting about one sixth of the planet population and will determine, together with the growth of population, an acceleration of the overexploitation and depletion of water resources.

The storage of surplus of surface water in depleted aquifers could be one of the solutions to face water scarcity and minimize the impact of floodings and droughts, by assuring a regular and safe supply of water.

There is a set of M.A.R. techniques to manage the quantity and quality of water resources with the advantages of increasing the available quantity and to (possibly) enhance the quality of water in the aquifers.

WARBO - WATER RE-BORN: “Artificial recharge of groundwater, innovative technologies for the sustainable management of water resources” is a demonstrative pilot project aimed to provide tested and verified technologies and application protocols in a large number of situations. The project has been prepared after a duly study of the different MAR applications worldwide, with a second step more focused on the EU and Italian experiences including similar LIFE projects. The knowledge achieved during the preparation of the project pointed out the different MAR techniques should be developed according to the site conditions, and that the local answer has to be supported by a comprehensive study of hydrogeological characteristics. The effects of MAR on the vadose zone and in the aquifer have been monitored during the entire development of the project using different methodologies. This interdisciplinary approach is the key point and the cornerstone of the project.

This demonstrative project had the goal to fill several gaps in the M.A.R. technologies that are still very sensitive, to favor its regulation and to provide solutions for the correct management of the territory, protection and improvement of the quality of water and terrestrial ecosystems. Testing activities were conducted in sites with typical groundwater problems where

ecosystems of Community importance are in need of quick actions to avoid depletion by water scarcity and where M.A.R. can play a decisive role. The participation of Regional Authorities, other Public Institutions and Privates with interests in water management and treatment was extremely important to acquire the expected goals to provide inputs to update the present legislation and for the future implementation of the developed methodologies; Those objectives were reached by the definition of dedicated experimental protocols to be used as reference for the administrative process and procedures of MAR. Those processes are in full accordance with the normative of water protection, exploitation and concessions of public water, with E.I.A. (Environmental Impact Assessment), Strategic Environmental Assessment and Minimum Vital Flow.

During the development of the project and even prior of its presentation, the methodologies to be applied have been tested with positive results, aiming to characterize the reference situation. Three test sites have been selected on the basis of their different characteristics and problems representative of the most common groundwater problems where MAR can be applied and have been studied by different combinations of methodologies:

- *the Friuli plain*

This area is one of the richest multi aquifer systems in Europe, with high quality water and is one of the rainiest regions in Italy. The recent droughts determined an estimated decrease of the underground water reserves of about 75 Mm³, equivalent to the yearly water consumption of the region.

The following actions were to be carried out in this test site: a) M.A.R. by infiltration wells using superficial water (irrigation channel) in thick, high permeability deposits – Mereto di Tomba (UD); and b) Analysis of potential use of the treated industrial wastewaters (grey waters), by the application of innovative solutions for the effluent from an industrial settlement (ZIPR) - Test site Zona Industriale Ponte Rosso, S.Vito al Tagliamento (PN).

At Mereto Test site, the original plan of using infiltration wells had to be changed for legislative and bureaucratic problems and infiltration was done from an already existing infiltration pond made by the Consorzio di Bonifica Ledra Tagliamento (in April 1996) in the past and equipped with deep monitoring piezometers nearby.

This M.A.R. site gave relevant information on the problems related with the development of these activities over the unconfined, thick, high permeability aquifer in the high Friuli plain using superficial water (irrigation channel).

At Ponte Rosso, the main objective of the project was a further treatment of the conventional industrial effluent treated in the ZIPR depuration plant (biological with active sludges), by adding a phytodepuration process and to evaluate its potential use for MAR, considering the benefits for the surface water and the groundwater systems.

- *The Low PO plain Copparo (Ferrara)*

The objective in this special site was to verify the application of MAR in low-average permeability sediments by the injection of water in the unconfined aquifer and in the first brackish confined aquifer. The goals were to estimate the available water after the recharge and to verify if, with MAR techniques into the brackish aquifer created by salt intrusion, it was possible to produce a positive effect in the area scourged by desertification issues.

During the development of the research it appeared that the salinity of groundwater, unlike mentioned in the scientific literature, is determined by a brackish aquifer resulting from deep salt intrusion. For this reason the MAR technique has been modified and the operation has been done by a recharge basin instead than a group of recharge wells.

The project has defined procedures for retrieval of the water resources to allocate to the MAR facilities for the two regions in accordance with the requirements of the Water Framework Directive (WFD) and verified the effectiveness of the methodology estimating costs and benefits. The activities in the test sites involved a partnership with specific skills that have created protocols for multidisciplinary surveys necessary to define, with low cost and scientific precision, the impact and the efficiency of the recharge, the necessary administrative steps and assessment of the impacts in order to proceed with the application methods in safety and in accordance with the EU directives and Italian legislation.

The data from the geophysics, hydrogeological, chemical-physical and biological monitoring of the water bodies (superficial or groundwater) that characterize the test sites allow a description of the seasonal dynamics, identification of the causes of the impoverishment of the resources and a description of the aquifer response to the natural and managed recharge. The synthesis of these dynamics was obtained with the processing of all data in hydraulic, hydrogeological and geochemical model, which were extremely useful to describe the interexchange dynamics between surface and groundwater, to define the implications in quantitative and qualitative terms of the artificial recharge in the groundwater storage. The results of those activities enabled the preparation of protocols of multidisciplinary analysis support to the procedures and methodologies of MAR that are developed and prepared on the basis of the EU regulatory framework. Those procedures and methodologies proposed by the project WARBO, its experiences and operational tools of implementation and coordination between the Floods Directive -FD 2007/60 / EC and the Water Framework Directive -WFD 2000/60 / EC, determines the knowledge that the sound management of recharging facilities have to confront the problems of hydraulic and hydrogeological safety and with the integrated management of water resources for irrigation, based in a sound conceptual model.

The proposed approach and methodology were compared with other international and national experiences (RIADE, projects such as Life + project Rii, Aquor, Trust, ZEOlife, etc.), to verify the transferability to a European and non-European scale (critical analysis by TARH, Lda from the partnership).

The climatic analysis, integrated with the geochemical and isotopic characterization revealed the fast reaction of the aquifers to the local precipitation in the Mereto area and also in some sectors with average-low permeability (Copparo).

The climatological analysis as also shown that the impact of the temperature in the chemistry and biodiversity of the superficial water bodies (channels and infiltration ponds) in both recharge sites in the WARBO project. It was suggested, within the framework of the WARBO project, the modification of the phytodepuration stations from reeds to mixed systems with trees, where the management is more advantageous and the biomass with higher energetic content.

The efficiency of the recharge was also supported with the biological analysis. The wildlife was studied with two different methodologies: the study of the aquatic macroinvertebrates, collected in the bottom of the superficial water bodies and the study of the terrestrial arthropods with Malaise traps, with particular attention to the hoverflies).

The geological, chemical, biological and environmental data were processed in the framework of the the DPSIR scheme (Driving Forces, Pressures, State, Impact, Responses) as proposed in the 1999 in the EEA (adopted in Italy by ISPRA). The integration of the data collected with the project methodology and the information regarding the natural, urban and economical context enable to define the incidence of MAR on increasing the resilience to the climate change.

Thanks to the conceptual framework of the DPSIR methodology used in the ARPA-FVG for the classification of the water bodies of the Friuli Area, the project focused on the sites at risk

of nitrate contamination. The aquifer of Mereto site test is classified at risk of nitrate according ARPAFVG (partner of project), ERSA end Consorzio di Bonifica Leda Tagliamento (Stakeholder of project).

Similarly, the Copparo Municipality has used for the Environmental Strategic Assessment the DPSIR methodology, identifying the MAR as one of the effective Response, that was also compatible with the implementation of programs improving the environmental state, in a way that ensure the water access for irrigation, reinforces the ecological corridors and upgrades the rural landscape, which is one of the most important elements for the touristic attraction according to the European Letter for the sustainable tourism or for the environmental certificate (14001/EMAS). The WARBO project has identified the degradation of the abandoned Methane wells and its role in the aquifer contamination through the chemical characterization of the fossil waters emitted in the Ponte San Pietro – Ambrogio territory.

The geophysical, geochemical and hydrogeological monitoring together with the TGRA (thermographic detection for the artificial recharge) that were carried out before, during, and after the recharge enabled the quantitative valuation of the benefits and provided information on the real prospects for improving the quality of resources in a short, medium and long term MAR interventions. The demonstration activities have been developed through the integration of the recharging process at the basin scale, a procedure that has been possible thanks to the participation of Consorzio di Bonifica di Leda Tagliamento and Consorzio di Bonifica di Ferrara in the project, as that operate at the basin scale for the management of geological risk and for the distribution of water resources for irrigation. In this context it has been taken into account the possible use of competitive dynamics and potential conflicts in the access to the resources, in order to ensure a correct and non-confrontational supply that is especially compatible with the optimization of the water cycle at local scale.

Chemical analysis of water resources and investigations to define biodiversity in the superficial network of supply and storage of water to the MAR facilities was conducted in order to guarantee a compatibility with the groundwater and to ensure meeting the requirements required by the WFD for protection of aquifers and judicious use of water resources. The environmental feasibility and benefits of the methodology were analyzed in order to provide guidance costs, whose estimate is crucial for the preparation of management plans provided by the two directives with common expiration in December 2015.

3. Introduction

L'incremento dei consumi, gli eccessivi prelievi di acqua dal sottosuolo e il degrado qualitativo concatenati ai cambiamenti climatici stanno producendo a livello mondiale diffusi fenomeni di impoverimento e inquinamento delle risorse idriche superficiali e sotterranee. Le aree che si affacciano sul mediterraneo ed in particolare il territorio italiano secondo i dati NCDC/NOAA e ISPRA mostrano anomalie di temperatura media significativamente maggiori rispetto ai valori climatologici osservati a scala globale per cui richiedono misure più efficaci di compensazione. Non è sufficiente domandarsi se ci sarà acqua dolce a sufficienza per soddisfare i crescenti bisogni dell'agricoltura e degli altri usi, ma occorre intervenire tempestivamente per trovare soluzioni idonee a ridurre i fenomeni di degrado qualitativo e quantitativo. Il progetto vuole fornire un supporto conoscitivo per l'applicazione della ricarica artificiale e per l'adeguamento delle Direttive sull'acqua che attualmente non prevedono la ricarica artificiale (direttiva UE 2000/60, D.g.l. 152/2006; direttiva 2006/118/CE sulla protezione delle acque sotterranee dall'inquinamento e dal deterioramento) nonostante sia l'unica tecnica realmente efficace a breve e lungo termine per contrastare la carenza idrica e la siccità, fenomeno sempre più frequente e diffuso nell'Unione Europea. MAR è inoltre la migliore metodologia di contrasto allo squilibrio a medio e lungo termine del ciclo dell'acqua in armonia con l'assetto del territorio.

L'attività dimostrativa è finalizzata a recuperare e immagazzinare una parte significativa del surplus idrico nelle sequenze alluvionali dell'alta Pianura Friulana che, grazie alla natura ghiaioso - sabbioso ad alta permeabilità dei sedimenti, ben si prestano ad accogliere le acque della ricarica artificiale. La ricarica artificiale infatti è stata eseguita nella stessa area nella stessa area in cui si ha la ricarica naturale (in quanto nell'alta pianura alluvionale si ha un'unica falda a superficie libera-acquifero indifferenziato) e ne beneficerà tutto il sistema multiacquifero dell'area di pianura. L'efficacia della ricarica dell'acquifero a falda libera per mesi dispersivi è garantita fino alla linea delle risorgive, dove le emergenze idriche sono allineate lungo l'intersezione della superficie freatica con il piano campagna.

La risorsa idrica utilizzata nell'area test di Copparo proviene dai canali di irrigazione del Consorzio di bonifica, dove il scopo principale non è stato quello di stoccare acqua dolce nel bacino, ma bensì di migliorarne la qualità dell'acqua stessa contenuta (molto conducibile), oltre alla funzione di contrastare la salita di acque salate provenienti dagli acquiferi sottostanti, anch'essi molto salati.

Il progetto si basa sull'applicazione a casi reali di una metodologia ritenuta efficace ma per la quale non sono disponibili dati sufficienti a formulare bilanci quantitativi e verifiche delle reali ricadute ambientali e socio-economiche. Un'azione specifica è finalizzata al bilancio costi – benefici, in modo da verificare e dimostrare l'efficacia della ricarica artificiale evidenziando sia i vantaggi che le problematiche non solo tecnologiche ma anche socio-economiche per favorirne l'utilizzo come strumento di gestione idrica efficace ed economica e per la redazione di accurate linee guida a supporto del reale trasferimento ai contesti locali della metodologia di ricarica artificiale a dei potenziali fruitori che possono indirizzarsi verso questa metodologia rispetto alle grandi opere idrauliche.

Il supporto conoscitivo e metodologico per la ricarica attraverso l'immissione di acque superficiali negli acquiferi, nei periodi di surplus idrico, consente di contrastare il depauperamento dei corpi idrici di acque interne e di mettere in pratica, collaudare, valutare e diffondere una metodologia innovativa applicata ad oggi solo localmente per la realizzazione di barriere idrauliche di contrasto del cuneo salino in aree costiere uniche aree in cui non è impedita dai limiti normativi che tutelano le risorse idriche sotterranee, vincoli che devono essere superati, e opportunamente regolamentati, per contrastare il depauperamento qualitativo e quantitativo delle risorse idriche.

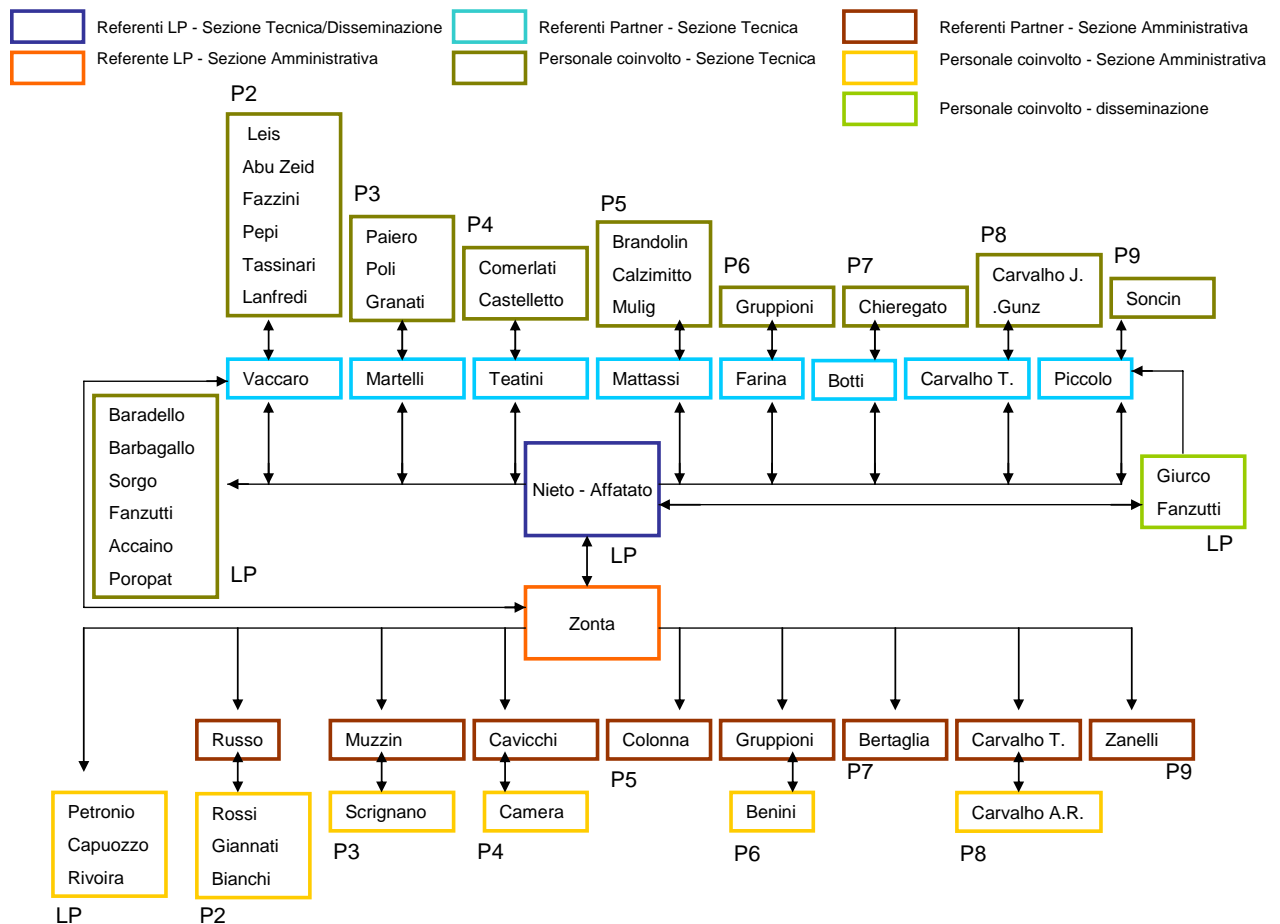
Il progetto WARBO ha utilizzato invasi di infiltrazione collocate in ex cave per estrazione di inerti in fosse scavato appositamente per la ricarica. Nell'area test del progetto WARBO già il modello preliminare idrogeologico e geofisico del sottosuolo hanno evidenziato che nell'area di Ponte San Pietro la presenza di acquifero fossile salmastro per cui è stato possibile applicare la ricarica mediante pozzi ma mediante vasche di infiltrazione; nell'area di Mereto di Tomba non è stato possibile procedere con iniezione diretta in pozzi in quanto l'elevata permeabilità dei sedimenti non fornisce adeguate tutele per l'acquifero indifferenziato dell'alta Pianura alluvionale, mentre l'invaso di infiltrazione disponendo di un sottile strato di sedimento a bassa permeabilità consente un'azione di filtraggio che è in grado di tutelare l'acquifero in caso di accidentali contaminazioni delle acque di ricarica.

– **Expected longer term results**

Il progetto WARBO ha valutato il ruolo che la ricarica può avere per contrastare l'inquinamento diffuso da nitrati (nella pianura friulana) e da salinizzazione (in Pianura Padana). Il progetto ha inoltre verificato come si integra la ricarica nei piani di gestione delle piene, definendo strategie di fitodepurazione da impiantare nei canali di derivazione delle acque a garanzia della qualità. Ha analizzato come collegare gli invasi di cava con la rete fluviale e di conseguenza di rafforzamento del corridoio ecologico dell'asse fluviale. Infine il progetto ha introdotto metodologie innovative per la caratterizzazione dei siti in modo da favorire la conoscenza essenziale per corretti piani gestionali. Le problematiche affrontate sono comuni a molte aree climaticamente sensibili che si affacciano nel mediterraneo e gli enti gestori degli impianti (Consorzio di Leda Tagliamento e Comune di Copparo) hanno inserito le attività di ricarica nei loro piani gestionali per cui daranno continuità al progetto. Continuità alle attività sarà garantita anche dagli enti di ricerca coinvolti in quanto molti dei risultati sono in fase di pubblicazione e saranno oggetto di future attività progettuali nell'ambito dei futuri programmi LIFE + e Horizon 2020.

L'organigramma il personale coinvolto nel progetto WARBO

Il personale indicato è quello che è stato maggiormente coinvolto nel progetto per l'intera durata delle attività/azioni svolte. La struttura (ad albero) descrive l'organizzazione e più dettaglio, dal personale di riferimento (Leader Partner) - Sezione Tecnica (rettangolo blu) e per la Sezione Amministrativa (rettangolo arancione) l'organigramma si sviluppa secondo un livello gerarchico e di mansioni in funzione della attività, ruoli e relazioni tra LP e i Partner di progetto (P2, P3...).



4.2 Evaluation of the management system

I principali problemi riscontrati nella gestione del progetto derivano dalle particolari condizioni meteorologiche che hanno influenzato notevolmente la realizzazione delle attività, di fatto è stato anche uno dei motivi principali per la richiesta di una proroga poi concessa dalla Commissione.

Un'altro problema nella gestione del progetto è stata quella derivante dalle diverse figure giuridiche della partnership che ha creato problemi nell' omogeneizzazione della documentazione da presentare in fase di rendicontazione, originando molto spesso ritardi nella preparazione e nella presentazione de rendiconti.

Nessun problema particolare nel partnership agreements, se non per quello causato dai problemi di rendicontazione del partner 5 ARPA-FVG, che non hanno comunque influito nelle attività e nei risultati attesi del progetto.

Doveroso indicare l'ottima collaborazione tra tutti i partner, con un contatto continuo per la valutazione dei dati e risultati.

Superflua ma doverosa la pesante situazione della burocrazia italiana, che hanno comportato notevoli ritardi alle risposte per qualsiasi chiarimento o richiesta da parte del LP e Partner di progetto. Questi disguidi sono dovuti soprattutto alla mancanza di normative chiare e univoche, e dalla presenza, non chiara di competenze (suddivisione dei vari compiti) tra i vari uffici dislocati sul territorio.

- Communication with the Commission and Monitoring team.

Il rapporto con la Commissione e il Team di monitoraggio è stato realizzato nell'ambito della massima collaborazione, il Monitoring Team è stato un valido punto di riferimento per la soluzione e chiarimenti di natura tecnica ma soprattutto amministrativa di progetto.

I rappresentanti della Commissione hanno dimostrato la massima disponibilità nella richiesta di chiarimenti o dubbi, sia durante la loro visita-monitoraggio, sia previo contatti telefonici e scambi di e-mail.

5. Technical part

5.1 Technical progress

Il progetto WATER RE-BORN - Artificial Recharge: Innovative Technologies for the Sustainable Management of Water-WARBO risponde alle necessità di salvaguardare, proteggere e valorizzare le risorse idriche, gli ecosistemi terrestri e il paesaggio, attraverso la regolazione della ricarica artificiale delle falde acquifere (MAR) e l'analisi di diverse metodologie di applicazione, così da regolamentarne le applicazioni per la salvaguardia delle risorse naturali.

L'applicabilità MAR avviene in base alle specificità geografiche e consentono di modellizzare a scala di bacino la risposta alla ricarica in base a fattori orografici, geologici e biologici. Il monitoraggio in tutte le fasi della MAR permette di valutare a breve-medio tempo le eventuali conseguenze nella zona vadosa e successivamente nell'acquifero le possibili dinamiche di uso competitivo delle risorse, abbassare lo squilibrio fra richiesta di acqua dolci e risorse disponibili per uso umano, agricoltura, attività industriali e artigianali, contrastare dinamiche di uso competitivo delle risorse idriche e aumentare la resilienza all'impatto climatico. Attività dimostrative offrono l'opportunità di vedere come la teoria si traduce in pratica sul terreno della MAR nei suoi aspetti generali. La preparazione di questa proposta ha affrontato il tema della MAR nei suoi aspetti generali prima attraverso una dettagliata ricerca bibliografica a livello mondiali, per poi focalizzarsi su aree più affini alla realtà dei paesi Europei e del Italia (Regione Emilia Romagna, Bologna , Sardegna, Sicilia, Friuli Venezia Giulia, ecc) in particolare.

Il progetto pilota ha coinvolto in qualità di stakeholder i futuri utilizzatori, Enti gestionali (Regione, Provincia, Comune, consorzi di bonifica, ecc...), tecnici e ricercatori del settore, tutte le procedure di acquisizione, elaborazione e modellazione e gli strumenti per valutare il rischio di degrado delle risorse idriche e le proposte di ricarica artificiale essenziali per un corretto bilancio del costo economico ed ambientale legato alla disponibilità idrica.

Il progetto si avvale di un approccio interdisciplinare e multidisciplinare che in tutte le fasi ha consentito di collaudare una serie di metodologie sperimentali (geofisiche, geochimica, interferometria) per fornire dati di alta precisione e risoluzione ed i parametri fondamentali per il bilancio idrico (porosità, fatturazione, tessitura, ecc). La banca dati ha permesso lo sviluppo dei modelli evolutivi e stime quantitative della MAR su base sperimentali da confrontare con i modelli teorici di letteratura. I protocolli di indagine sono stati finalizzati all'aggiornamento legislativo e a supporto dei piani che mirano al raggiungimento degli obiettivi di piani di valorizzazione e tutela previsti dalle numerose direttive europee relative alle risorse idriche. Le analisi biologiche nei test site hanno correlato il degrado qualitativo e quantitativo delle risorse idriche, con la biodiversità e indici di qualità degli ecosistemi di interesse comunitario e fornire le necessarie misure urgenti per combattere la scarsità d'acqua, sviluppando protocolli di corretta gestione delle attività di ricarica.

Le due macroaree italiane sono state scelte per le loro criticità rispetto al depauperamento delle risorse idriche dovute principalmente all'estremizzazione del clima al fine di fornire con la ricarica artificiale opportune misure di mitigazione e per sviluppare la resilienza ai cambiamenti climatici in atto (<http://www.warbo-life.eu/>).

Gli obiettivi principali per l'area test della Regione Emilia Romagna:

- 1) identificare le cause della salinizzazione degli acquiferi che affligge vaste aree di pianura verificando il ruolo che la ricarica artificiale fornisce nella mitigazione dell'inquinamento diffuso

2) verificare con le attività dimostrative nel test site di Ponte San Pietro in Copparo la reale efficacia della ricarica artificiale, quali procedure adottare e stima costi di realizzazione e gestione dell'impianto

3) stimare l'efficacia del metodo e procedere al suo inserimento nel piano di gestione del rischio idraulico ed idrogeologico del territorio in accordo con la 2000/60/CE e Floods Directive;

Per l'area test friulana:

1) verifica della efficacia della ricarica artificiale ai fini della tutela degli acquiferi della linea delle risorgive e habitat correlate.

2) ruolo della ricarica nei piani di riqualificazione degli acquiferi rispetto all'inquinamento diffuso di nitrati. La ricarica artificiale è risultata parte essenziale ed integrante del percorso di risparmio idrico ed abbattimento dei nitrati perseguito in Friuli dal Consorzio di Bonifica Leda Tagliamento attraverso un importante programma di riforma agraria di sostituzione dell'irrigazione a scorrimento con impianti a goccia.

In entrambi i siti sono state indagate le relazioni fra cambiamento climatico, dinamiche di degrado qualitativo e quantitativo e efficienza della ricarica naturale e utilizzo della ricarica artificiale per rinforzare la rete natura e tutelare la biodiversità.

L'approccio integrato e collaborativo della partnership ha consentito di sviluppare ed applicare il protocollo multidisciplinare WARBO con indagini classiche e innovative utilizzate per la redazione del modello concettuale geofisico, idrogeologico-geochimico del sottosuolo.

Il protocollo applicativo utilizzato ha previsto nelle prime fasi di progetto un'accurata analisi climatica con l'obiettivo di verificare le relazioni fra clima locale e trend globale, e identificare marker geochimici con cui tracciare le precipitazioni in relazione al tipo di tempo (provenienza delle perturbazioni) e sulla analisi di questi marker nelle precipitazioni e negli acquiferi definire la loro capacità di infiltrazione nel sottosuolo. Questo metodo è particolarmente utile in contesti di invasi di grandi dimensioni dove l'utilizzo di traccianti chimici è di difficile, mentre nel test site di Mereto di Tomba per definire i tassi di infiltrazione è stata utilizzata la fluoresceina.

L'analisi climatica integrata con la caratterizzazione geochimica ed isotopica ha fatto emergere la rapida risposta degli acquiferi alle precipitazioni locali nell'area di Mereto di Tomba ed anche in settori caratterizzati da permeabilità medio-basse (Area di Copparo). L'analisi climatica ha evidenziato anche l'impatto della temperatura sul chimismo e biodiversità dei corpi idrici superficiali (canali di alimentazione ed invasi di ricarica) in entrambi gli impianti di ricarica il progetto WARBO e per contrastare l'arricchimento nei metalli disciolti nelle acque per evaporazione anche in aree con clima temperato (Friuli) si è suggerito di modificare gli impianti di fitodepurazione.

I sistemi misti con inserimento sulle sponde dei canali e degli invasi piante ad alto fusto ombreggiando le sponde possono rinfrescare il suolo e le acque permettono di aumentare la biodiversità in accordo con le indicazioni del EEA Technical report n°11/2007 che ai fini della tutela della biodiversità richiede il mantenimento di habitat resilienti per le specie microterme che meno tollerano temperature elevate e forti oscillazioni di temperatura.

L'efficacia della ricarica è stata supportata dall'analisi biologica, sono state studiate le comunità animali applicando due diverse metodologie: lo studio dei macroinvertebrati acquatici mediante la loro raccolta sul fondo di canali ed invasi e la raccolta di artropodi terrestri.

I dati geologici, chimici, biologici ed ambientali sono stati elaborati utilizzando gli schemi DPSIR. L'integrazione dei dati ottenuti con le tecniche di progetto e le informazioni sui contesti naturali, urbani e produttivi dell'area hanno permesso di delimitare l'incidenza della ricarica artificiale sull'incremento della resilienza ai cambiamenti climatici.

Lo schema concettuale della metodologia DPSIR utilizzato per la classificazione nell'area friulana dei corpi idrici si è focalizzato sui siti a rischio di inquinamento di nitrati, e la campagna conoscitiva del primo anno focalizzata sugli 11 settori della pianura friulana i cui acquiferi sono classificati a rischio nitrati, con il supporto di tavoli congiunti che ha visto la partecipazione attiva degli stakeholder, le autorità di bacino e Consorzi di Bonifica Leda Tagliamento è stata confermata l'attività sperimentale del progetto presso l'impianto sperimentale di Mereto di Tomba del bacino di ricarica per infiltrazione nei piani di salvaguardia per la qualità delle acque superficiali e sotterranee e procedere dopo l'espletamento delle richieste necessarie.

Ugualmente il Comune di Copparo ha utilizzato la metodologia DPSIR identificando nella ricarica artificiale una delle risposte efficaci e compatibili per l'attuazione dei programmi di ottimizzazione dello stato dell'ambiente, in modo da assicurare l'accesso alle risorse a fini irrigui, per rinforzare i corridoi ecologici e per la riqualificazione del paesaggio rurale che rappresenta uno degli elementi fondamentali per l'attrazione turistica.

La valutazione DPSIR ha riguardato sia le risorse idriche che il suolo e i sedimenti delle facies che caratterizzano il sistema multiacquifero, quantificando in questo modo le problematiche di inquinamento diffuso da metalli (As, B, Cr, Ni, Co, V, Al, ecc...) che interessano le risorse del sistema multiacquifero superficiale (primi 50 metri dal piano campagna) sono stati valutati gli impatti che la presenza di questi metalli possono avere sulla struttura e le funzioni degli ecosistemi, sull'attività agricola e sulla salute umana.

Il monitoraggio geofisico, geochimico ed idrogeologico effettuato prima, durante e dopo la ricarica ha quindi consentito la valutazione quantitativa dei benefici e costi e fornito indicazioni sulle reali prospettive di miglioramento qualitativo delle risorse nel breve tempo, medio e lungo tempo attraverso interventi di ricarica artificiale. Le attività dimostrative sono state sviluppate tramite l'integrazione dei metodi di ricarica nel piano territoriale a scala di bacino, procedura che è stata possibile grazie alla adesione al progetto in qualità di Stakeholder dei Consorzi di Bonifica di Ledra-Tagliamento e del Consorzio di Bonifica di Ferrara che istituzionalmente operano a scala di bacino per la gestione del rischio idrogeologico e per la distribuzione delle risorse idriche a fini irrigui.

Il monitoraggio delle caratteristiche delle risorse idriche e le indagini volte a definire la biodiversità nella rete superficiale di approvvigionamento e immagazzinaggio delle acque è stata eseguita in modo da garantire per gli impianti di ricarica l'approvvigionamento compatibile e con acque rispondenti ai requisiti e parametri richiesti dalla WFD per la protezione degli acquiferi e dell'uso oculato delle risorse idriche. Valutati i vantaggi e criticità ambientali della metodologia sono stati analizzati i costi in modo da fornire indicazioni sui costi, la cui stima è fondamentale oltre che necessaria per la redazione dei piani di gestione.

5.1.1 Background della ricerca

La Comunità Europea ha emesso direttive per la tutela delle risorse idriche, che impegnano gli Stati membri ad "istituire un quadro per la protezione delle acque superficiali interne, delle acque di transizione, delle acque costiere e sotterranee". Si tratta della direttiva 2000/60/CE (Direttiva Quadro sulle Acque - DQA), quadro normativo di riferimento in materia di acque, istituita dal Parlamento ed il Consiglio Europeo nel 2000; questo importante provvedimento ha fissato i principi di base per avviare una politica sostenibile in tale settore, richiamando più volte la necessità di una utilizzazione accorta e razionale di questa importante risorsa naturale, guardando con attenzione anche al futuro con i possibili effetti derivanti dai cambiamenti climatici.

Relativamente alla programmazione comunitaria e nazionale il progetto si inquadra anche nel contesto previsto:

- Direttive 2007/60/CE (valutazione e gestione dei rischi di alluvione) e
- Decreto Legislativo 152/06 che prevede l'applicazione di norme riguardanti la lotta alla desertificazione, la tutela delle acque dall'inquinamento e la gestione delle risorse idriche.
- Decreto Legislativo 16 marzo 2009, n. 30 "Attuazione della direttiva 2006/118/CE, relativa alla protezione delle acque sotterranee dall'inquinamento e dal deterioramento" definisce le misure specifiche per prevenire e controllare l'inquinamento ed il depauperamento delle acque sotterranee, quali:
 - a. identificare e caratterizzare i corpi idrici sotterranei;
 - b. valutare il buono stato chimico dei corpi idrici sotterranei (attraverso gli standard di qualità e i valori soglia);
 - c. individuare e invertire le tendenze significative e durature all'aumento dell'inquinamento;
 - d. classificare lo stato quantitativo;
 - e. definire dei programmi di monitoraggio quali-quantitativo.
- Decreto Legislativo del 08 novembre 2010 n. 260: Il Decreto introduce i criteri aggiornati per il monitoraggio e la classificazione dei corpi idrici superficiali e sotterranei, vigenti a partire dal 22 febbraio. Il DM 260/2010 sostituisce integralmente l'allegato I alla parte III del D.Lgs. 152/06, modificando in particolare il punto "Classificazione e presentazione dello stato ecologico", per renderlo conforme agli obblighi comunitari, attraverso l'inserimento di criteri tecnici per la classificazione dello stato dei corpi idrici.

In questo contesto la gestione sostenibile, il principio di sussidiarietà, la pianificazione nell'uso delle risorse idriche, rappresentano i principi fondamentali sui quali impostare un linguaggio comune con gli altri Stati membri.

La DQA ha fornito un grosso contributo per garantire uniformità di azioni e di interventi di tutela all'interno di diversi Stati membri imponendo lo sviluppo di modelli attuativi di riferimento, attualmente ampiamente incompleti, ed analisi tecniche sullo stato di salute dei corpi idrici, basate su metodi omogenei ed affidabili, che permettano agli organi decisionali di pianificare l'utilizzo, la tutela e la valorizzazione. Si tratta di un moderno approccio, che, prescindendo dai confini territoriali, consente corretti bilanci ed analisi delle problematiche e delle possibili soluzioni.

Il Piano di Gestione delle Acque, previsto dalla direttiva 2000/60/CE, ha appunto lo scopo di individuare gli obiettivi e le misure da adottare per rafforzare o mantenere il cosiddetto stato delle acque superficiali e sotterranee.

Nel contesto dei progetti di Dimostrazione LIFE-Ambiente la Commissione Europea ha emanato delle proposte, tra altre e in particolare da nostra competenza, con l'obiettivo " di sviluppare progetti di dimostrazione che contribuiscano allo sviluppo di tecniche e metodi innovativi e integrati e all'ulteriore sviluppo della politica comunitaria dell'ambiente e che" :

- a. integrano considerazioni sull'ambiente e sullo sviluppo sostenibile nella pianificazione e nella valorizzazione del territorio, incluse le zone urbane e costiere; oppure
- b. promuovono la gestione sostenibile delle acque sotterranee e superficiali ecc.

In questo quadro gli enti di ricerca, le imprese pubbliche e private e tutti gli operatori nel campo ambientale della Unione Europea e non, sono chiamati a sostenere un ruolo professionale rilevante. Infatti, da un lato devono interagire con altri enti aventi competenza tecnico-scientifica sul monitoraggio fisico-chimico dell'impatto ambientale, al fine di acquisire le informazioni necessarie, dall'altro, devono rappresentare entro contabilità e bilancio gli effetti economici degli interventi posti in essere per prevenire e/o riparare i danni ambientali.

5.1.2 Premessa

Il progetto WATER RE-BORN - Artificial Recharge: Innovative Technologies for the Sustainable Management of Water Resources è un progetto dimostrativo finanziato nel 2011 dalla Comunità Europea (programma LIFE+Ambiente 2010), in particolare il codice identificativo è:

LIFE +10 ENV/IT/000394/WARBO

Data inizio 01/01/2012 e data fine 30/06/2014 (31/12/2014)

Total project budget: 1.849.280 €,

Total eligible project budget: 1.724.880 €,

EC financial contribution requested: 860.887 € (= 49.91% of total eligible budget)

Il partenariato e così costituito:

Beneficiario Coordinatore: OGS - Istituto Nazionale di Oceanografia e di Geofisica Sperimentale.

Beneficiari Associati:

- PP2 Università degli studi di Ferrara -Dipartimento di Scienze della Terra.
- PP3 : Università degli Studi di Udine -Dipartimento Georisorse e Territorio.
- PP4: Università degli Studi di Padova -Dipartimento di Metodi e Modelli Matematici per le Scienze Applicate.
- PP 5: Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente del Friuli Venezia Giulia - ARPA-FVG.
- PP 6: Comune di Copparo.
- PP 7: Botti Elio s.a.s.
- PP 8: TARH – Terra, Ambiente e Recursos Hídricos, Lda Portogallo.
- PP 9: EUREKOS srl.

Il presente rapporto viene compilato in osservanza del contratto tra il programma Comunitario LIFE+ Ambiente e il Beneficiario del progetto OGS, in rappresentanza del partenariato del progetto.

L'esecuzione delle attività programmate, anche se in alcuni casi hanno avuto delle variazioni e /o miglioramenti in corso d'opera, hanno permesso di raggiungere gli obiettivi programmati. Le attività di valutazione, monitoraggio realizzate mediante i contatti continuativi tra partner e partner e gli stakeholder mediante riunioni congiunte, ma anche per mezzo dell'utilizzo di sistemi telematici, ha facilitato un'azione costante di osservazione del progetto stesso nel suo evolversi, al fine di concretizzare una valutazione collegiale delle tecniche utilizzate e dai risultati ottenuti durante tutto lo svolgersi del progetto.

5.1.3 Le azioni del progetto

Il piano di lavoro è stato riesaminato nella prima riunione di progetto e contemporaneamente eseguita una verifica dell'identificazione dei problemi reali e probabili che si intendevano affrontare e le più indicate tecniche di risoluzione inserite nella fase preparatoria del progetto, inoltre sono stati assodati i possibili ambiti di intervento ed identificati, tenendo conto delle priorità concordate a livello strategico, di eventuali vincoli e variabili di contesto e delle risorse (umane, informative, finanziarie ecc.) disponibili.

La fase di analisi della situazione di partenza ci ha permesso di identificare, sistematizzare e valutare tutte le informazioni significative pregresse disponibili e di fare un primo elenco dei vincoli e delle risorse che caratterizzano il contesto del progetto che sono stati i presupposti da

cui siamo partiti anche se idee, orientamenti e indicazioni più o meno strutturate erano preesistenti al lavoro di progettazione.

Ulteriori approfondimenti della situazione di partenza sono stati condotti attraverso:

1. Il reperimento, la sistematizzazione e l'analisi dei materiali informativi e di ricerca già esistenti.

2. Brevi indagini realizzate sul campo tramite colloqui e interviste con gestori, proprietari, contadini, pubblici ufficiali, dipendenti comunali e regionali, ecc.

Il quadro informativo sulla situazione di partenza è stato discusso tra tutti coloro che (oltre ai partner), a vario titolo, avrebbero partecipato al progetto. Un ciclo di incontri ha permesso di:

- Rendere disponibile e condivisibile tutta la documentazione significativa esistente.
- Integrare e confrontare le informazioni disponibili.
- Ricomporre e sistematizzare in via definitiva il quadro informativo condiviso.

la diversa natura delle attività hanno richiesto lo sviluppo di ragionamenti, capacità e criteri diversi per la loro gestione; la diversità per la realizzazione dei lavori delle varie azioni è stata però limitata, quindi, è stato sempre rispettato il perimetro costituito dai vincoli del contesto, cioè il costo, il tempo e la qualità. La sfida secondaria, ma non meno ambiziosa, è stata quella di ottimizzare l'utilizzo delle risorse e integrare gli input necessari a raggiungere gli obiettivi definiti.

Molte azioni sono state portate avanti risolvendo problemi e mitigando i rischi che ciascuna azione e/o sottoazione, in misura diversa, ha trovato comunque in fase attuativa.

Nel descrivere quale sviluppo hanno avuto nel progetto di monitoraggio le singole azioni previste, utilizziamo lo stesso schema logico-concettuale utilizzato nella proposta originaria di progetto

5.1.3.1 ACTION 2: Banca dati e implementazione del GIS, Definizione delle caratteristiche dei siti potenziali per l'applicazione del metodo di RA degli acquiferi con particolare attenzione alla metodologia di monitoraggio e definizione degli indicatori di riferimento

3.1.1 Attività

E' stato eseguito uno studio idrogeologico e idrochimico in via preliminare a scala regionale (Annex 2, 3, 25, 29), con l'obiettivo di approfondire le conoscenze idrogeologiche e idrochimiche sui sistemi acquiferi della pianura e verificare l'idoneità delle aree da utilizzare come site test; successivamente lo studio si è concentrato sui siti di Mereto di Tomba e di Ponterosso -ZIPR (Annex 3, 23, 31,55).

Pianura friulana

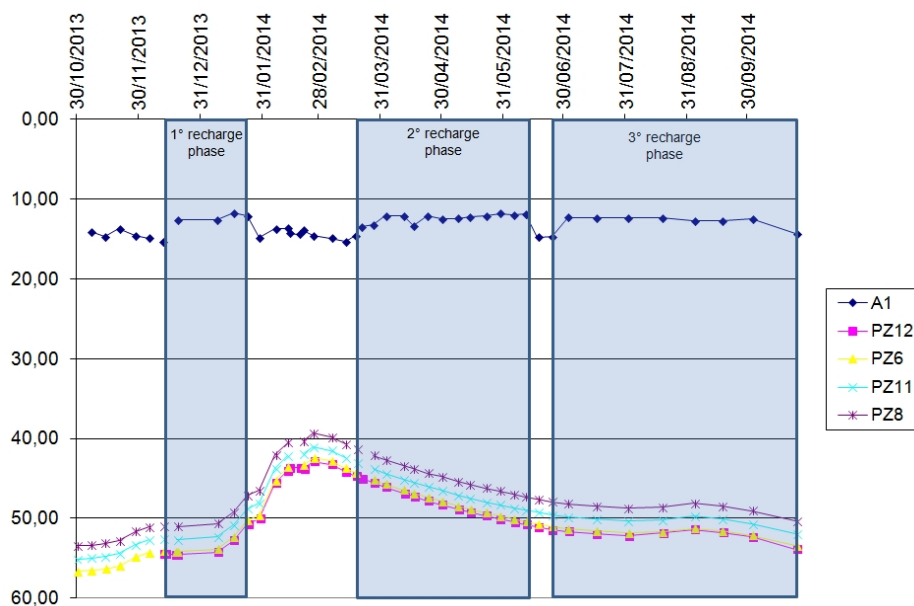
- 1) Ricostruzione della geometria degli acquiferi sulla base dei dati litostratigrafici disponibili;
- 2) Ricostruzione piezometrica sulla base dei dati della rete regionale di monitoraggio;
- 3) Bilancio idrogeologico sulla base della elaborazione dei dati disponibili;
- 4) Censimento dei punti d'acqua presenti nella pianura friulana, sulla base delle informazioni raccolte presso Enti pubblici e privati, e individuazione di 129 punti idonei alla misura così distribuiti: 95 pozzi di cui 8 artesiani; 26 risorgive; 5 fiumi (Tagliamento, Cormor, Torre, Natisone, Isonzo); 3 canali artificiali.
- 5) Sui punti d'acqua sono state eseguite le seguenti attività:
 - due campagne (invernale e primaverile) di misure piezometriche nei pozzi freatici;
 - due campagne di misure chimico-fisiche in sito mediante sonda multiparametrica
 - due campionamenti per analisi chimiche, eseguite in cromatografia ionica;
 - un campionamento per analisi microbiologiche, isotopiche e degli elementi in traccia.

Sito di Mereto di Tomba

- 1) Ricostruzione della geometria dell'acquifero sulla base dei dati litostratigrafici disponibili
- 2) Bilancio idrogeologico sulla base della elaborazione dei dati disponibili
- 3) Ricostruzione piezometrica considerando tre diversi areali di riferimento: di 201 kmq, di 170 kmq, di 6,5 kmq.
- 4) Censimento dei punti d'acqua presenti nell'area e individuazione di 23 punti di misura: 17 pozzi; 5 piezometri; 1 canale sui quali sono state svolte due campagne chimico-fisiche con contestuale prelievo di campioni per le analisi chimiche.
- 5) Prova di portata su pozzo
- 6) Monitoraggio quantitativo a cadenza settimanale su 20 pozzi, a partire dal novembre 2012 fino a Ottobre 2014. I pozzi di misura scelti sono distribuiti su di un'area di 201 km² intorno al sito di ricarica. I dati sono stati utilizzati per la costruzione della carta piezometrica media sul periodo monitorato, per valutare le variazioni piezometriche durante un intero ciclo annuale e per verificare l'impatto della ricarica.
- 7) Monitoraggio qualitativo a cadenza settimanale sui 4 pozzi vicini al bacino di infiltrazione e sul Canale San Vito utilizzato per la ricarica, a partire dal dicembre 2013 fino a Ottobre 2014 allo scopo di valutare l'impatto della ricarica sulla qualità dell'acqua della falda freatica.



Monitoraggio della falda.



Andamento delle misure freaticometriche.

Sito di Ponterosso - ZIPR

- 1) Ricostruzione della geometria degli acquiferi freatico e multifalda sulla base dei dati litostratigrafici disponibili.
- 2) Bilancio idrogeologico sulla base della elaborazione dei dati disponibili.
- 3) Ricostruzione piezometrica della falda freatica.
- 4) Censimento di 72 pozzi presenti nell'area e individuazione di 24 pozzi idonei alla misura (di cui 16 freatici e 8 artesiani).
- 5) Prova di portata su pozzo.
- 6) Monitoraggio quantitativo: esecuzione di quattro campagne di misura dei livelli freatici su 16 pozzi durante un anno idrologico.
- 7) Monitoraggio qualitativo: esecuzione di tre campagne di misura per la determinazione in sito dei principali parametri chimico – fisici sulle acque di 24 pozzi con contestuale prelievo di campioni per la determinazione, mediante cromatografia ionica, dei principali ioni. Inoltre sono state misurate e campionate le acque trattate in due sezioni: all'uscita dal depuratore della Zona Industriale e dopo il passaggio nei laghi di fitodepurazione, prima dell'immissione nel canale Roja.

Risultati

La ricarica artificiale nel sito di Mereto di Tomba non ha prodotto significative variazioni del livello piezometrico sia a causa della presenza di un acquifero sospeso, di cui nel corso del progetto è stata evidenziata la presenza, posto a 15 metri di profondità, che ha rallentato il moto di infiltrazione verso la falda profonda a carattere regionale, sia a causa della dimensione del bacino di infiltrazione che si è rivelata insufficiente a fornire volumi adeguati di acqua; al contrario si è dimostrata uno strumento molto efficace per il miglioramento dello stato qualitativo del corpo idrico. L'immissione nel sottosuolo di acqua a bassa concentrazione di nitrati, 6 mg/l, ha ridotto drasticamente le alte concentrazioni di nitrati in corrispondenza dei pozzi monitorati (pari a 60 a 30 mg/L), riportandole ben al di sotto (30 – 10 mg/L) del limite di legge. L'effetto ha interessato un'area di 40 metri di raggio nell'intorno del bacino di infiltrazione.

Nel sito di Ponterosso, le analisi chimiche effettuate durante il progetto hanno evidenziato la presenza nelle acque depurate di Cl, Na e K in concentrazioni superiori a quelle delle acque naturali; inoltre si è riscontrata la presenza di V e Ni in concentrazioni di 1-2‰ ppm, assenti nelle acque naturali; anche temperatura e salinità risultano più elevate rispetto alle acque naturali. Una delle soluzioni proposte per il miglioramento di queste problematiche consiste nell'inserimento di piante ad alto fusto a sostituzione/integrazione del canneto nell'impianto di fitodepurazione; questo al fine di diminuire la temperatura delle acque nei laghi di fitodepurazione e di conseguenza la presenza dei metalli.

5.1.3.2 ACTION 3: Supporto tecnico-scientifico e procedurale alla fattibilità delle varie fasi di progetto; valutazioni nell'ambito DPSIR

Nel contesto generale l'attività dell'ARPA rientra, per la sua natura e funzione, nel ruolo di soggetto preposto all'individuazione delle criticità e definizione di vincoli e dei protocolli di applicazione, motivo per cui ha fornito il supporto tecnico-scientifico e procedurale alla fattibilità delle varie fasi del progetto, attraverso un percorso di valutazione e dimensionamento dalle stesse dal punto di vista territoriale, analitico ed economico.

3.2.1 Attività

Una delle attività principale è stato il controllo che le acque di ricarica abbiano le caratteristiche necessarie a non produrre effetti negativi sugli acquiferi inoltre ha svolto una attenta attenzione nella fase di trasformazione di acqua superficiale in acqua sotterranea in quanto rappresentava una casistica non contemplata dalla normativa ambientale italiana, sebbene tale ipotesi sia presa in considerazione all'interno della Direttiva 2000/60/CE.

E' necessario rilevare che a seguito dell'apertura di una procedura di infrazione da parte dell'Unione Europea (2007/4680), la Repubblica italiana è stata richiamata ad ottemperare ad una serie di misure normative da cui ne è conseguita l'emanazione della L. 97/2013 (*Disposizioni per l'adempimento degli obblighi derivanti dall'appartenenza dell'Italia all'Unione europea - Legge europea 2013*); fra le altre indicazioni, nell'ambito del recepimento corretto della WFD, all'art.24 (*Modifiche al D.Lgs.152/06, per il corretto recepimento della Dir. 2000/60/CE che istituisce un quadro per l'azione comunitaria in materia di acque*).

Nelle azione di ricarica e miglioramento dei sistemi di fitodepurazione è operato con il principio di precauzione, in quanto non vi è stata immissione diretta di acqua superficiale in falde idriche sotterranee attraverso l'uso di pozzi (benché già predisposti, nel caso del sito di Mereto), ma attraverso una depressione (definita nei vari documenti "vascone") che ha svolto la funzione di bacino di infiltrazione, caratterizzato comunque da uno spessore alluvionale insaturo di alcune decine di metri rispetto al livello medio di falda

Nei tre cicli di ricarica eseguiti, qualità e quantità dell'acqua consortile immessa sono state oggetto di controlli rigorosi e incrociati da parte dei Partner di progetto ed i risultati (diretti e calcolati) sono stati preziosi nel fornire elementi e parametri di valutazione (Annex 23, 25, 27).

Nell'ambito del Piano Tutela delle Acque della Regione FVG (ad oggi approvato ed in fase di consultazione pubblica), le misure finalizzate alla salvaguardia del bilancio idrogeologico, contenute negli indirizzi di Piano (Annex 3), sono rivolte a:

- **Misure volte all'incremento della ricarica**, attraverso un congruo rilascio di quantitativi d'acqua dai bacini montani (*alcuni mc/sec*) al fine di incrementare la ricarica dei sistemi di acquiferi attualmente in sofferenza, ed alla promozione di specifiche attività di water banking¹, al fine di favorire il recupero/mantenimento di habitat peculiari e di pregio come ad esempio gli ambienti umidi legati al sistema delle risorgive.
- **Misure volte alla riduzione dei consumi**, attraverso la riduzione dei prelievi, effettuati nei vari comparti (irrigui, acquedottistici, domestici, ittiogenici), giudicati in alcuni casi insostenibili ed ingiustificabili.

¹ Il water banking prevede l'ottimizzazione del sistema in base al quale l'acqua viene riallocata per l'uso attuale o conservata per un uso successivo; può essere un mezzo per gestire le risorse idriche in eccesso e può comportare ricarica degli acquiferi o simili mezzi di stoccaggio

Le attività specifiche nell'ambito di questa azione sono state principalmente:

- analisi sull'idoneità territoriale
- realizzazione dei progetti di perforazione per il monitoraggio geochimico e batteriologico.
- Sostenibilità degli interventi proposti.
- Programmazione e supporto alle attività di monitoraggio geochimico e batteriologico.
- Linee guida sul monitoraggio chimico e batteriologico per il MAR

3.2.2 Valutazione nell'ambito DPSIR

Nei documenti prodotti (Annex 40, 48, 52) e nelle conclusioni presentate dagli altri Partner progettuali emergono aspetti positivi e limiti dei test pilota eseguiti, per la cui valutazione si riprende la schematizzazione DPSIR presentata da TARH, della quale si condivide l'impostazione degli elementi considerati nei fattori Determinanti – Pressioni - Stato.

Ferme restando le indicazioni formali, tecniche e autorizzative di cui al punto precedente, siti particolari quali cave abbandonate, depressioni, vasconi, possono essere facilmente trasformati in zone per ricarica artificiale.

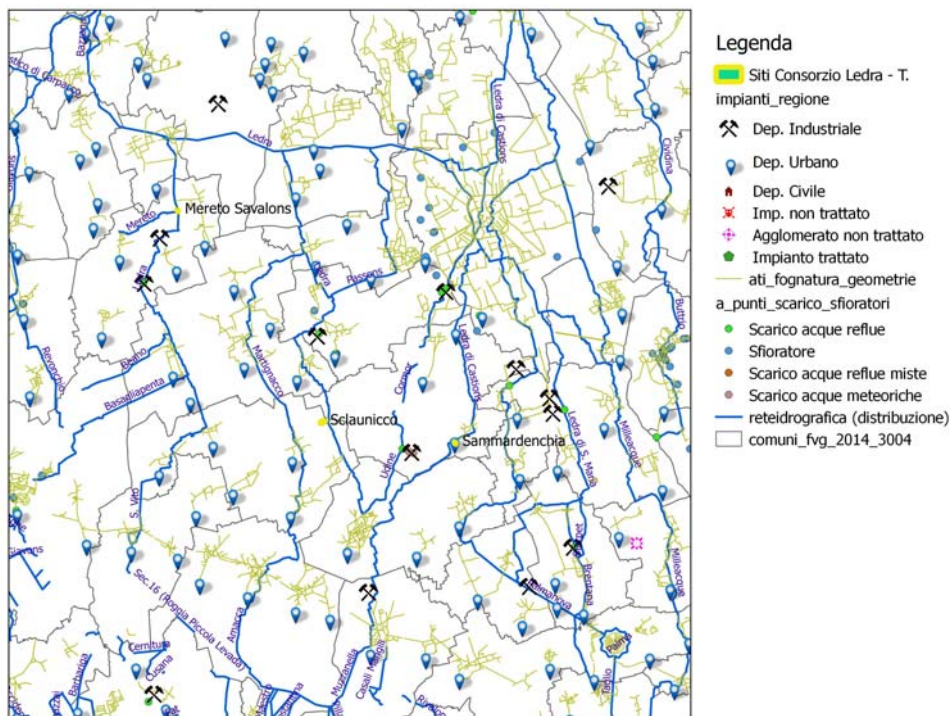
Le misure effettuate ed i modelli elaborati presentati rivelano che la ricarica eseguita in un'area isolata e di modeste dimensioni ha un impatto limitato ad un areale limitrofo al sito test, anche se eseguito su periodi piuttosto lunghi. Per un impatto a scala più vasta si giunge alla conclusione che volumi di infiltrazione e areali di infiltrazione devono essere valutati in diverso ordine di grandezza.

Inoltre non tutti gli acquiferi sono adatti per l'immagazzinamento di acque da ravvenamento: l'Alta pianura friulana, con il suo materasso alluvionale permeabile di notevole spessore insaturo, potrebbe prestarsi allo scopo; diversamente, acquiferi confinati e falde freatiche superficiali - *al netto di considerazioni legate all'ingressione salina* - pongono condizioni logicamente ostative a questo tipo di interventi. In Friuli Venezia Giulia il limite d'intervento potrebbe essere posto ragionevolmente in un areale ubicato ad almeno alcuni chilometri a monte della linea delle risorgive.

Come risposta positiva, per quanto riguarda il sito di Mereto, l'immissione nel sottosuolo di acqua a bassa concentrazione di nitrati di provenienza consortile ha ridotto notevolmente le alte concentrazioni di nitrati in corrispondenza dei pozzi monitorati per un raggio di una quarantina di metri nell'intorno del bacino di infiltrazione. Una serie di analisi batteriologiche ha scongiurato la presenza di clostridi nelle acque superficiali e sotterranee coinvolte nei siti test.

Pur contando su tali informazioni e sull'effetto diluizione comportato dalle acque sotterranee sui volumi infiltrati, non si può non rimarcare quanto affermato nel rapporto di fattibilità iniziale, e cioè che la qualità delle acque superficiali eventualmente immesse deve garantire il rispetto degli obiettivi di qualità. Nell'ipotesi di un uso più esteso dei potenziali siti del Consorzio LT (come valutato nel modello idraulico UNIPD) con un apporto massivo più consistente (12.000 mc/d), dovrà essere comunque tenuta in considerazione la qualità locale dell'acqua immessa, stante la potenziale pressione di acque reflue cui è sottoposta la rete irrigua dell'alta pianura friulana centrale in sinistra Tagliamento (*vedi schematizzazione sottostante*).

L'acqua eventualmente destinata alla ricarica dovrà pertanto essere soggetta a controlli periodici su un set di parametri chimici esteso anche agli organici e dovrà essere prevista, in caso di segnalato sversamento nella rete di scarico, la possibilità tempestiva di interrompere l'alimentazione dei bacini filtranti.



Un impatto negativo segnalato da più Partner in fase di immissione di acque superficiali è dovuto al “clogging”, ovvero all’intasamento delle porosità del bacino infiltrante da parte del materiale fine presente nell’acqua superficiale sedimentato sul fondo e causa di una progressiva riduzione della permeabilità verticale. La risposta a questo tipo di impatto consiste in una serie di possibili misure di gestione (filtrazione delle acque in ingresso, interruzione durante i periodi di piena, rimozione periodica dei limi dal fondo bacino...) che comunque devono esse preventivate in fase progettuale.

Impatti positivi, pur non legati al contesto quantitativo della ricarica, sono registrati sulla creazione di aree umide contestuali alle fasi di allagamento dei bacini.

Con riferimento al sito ZIPR, dell’esame delle indagini eseguite dai Partner, delle valutazioni riportate e degli impatti prospettati, stante la posizione localizzata in Bassa Pianura e considerando l’obiettivo in questo sito test, si ravvede il miglioramneto qualitativo delle acque del depuratore a seguito alle modifiche apportate nella fitodepurazione.

5.1.3.3 ACTION 4: Metodologie integrate per la determinazione dell'efficienza della ricarica artificiale nella pianura alluvionale friulana e nella bassa pianura padana

L'obiettivo principale dell'azione 4 è stato quello di applicare un sistema integrato di metodologie geofisiche (a compendio e a supporto dei dati litostratigrafici, idrogeologiche e idrogeochimici) precise e non invasive in grado di comprendere i meccanismi idrogeologici che concorrono alla formazione, alla circolazione e al mantenimento delle falde nel complesso sistema acquifero delle due macroaree in prospettiva di azioni di MAR.

Le caratteristiche idro-geo-strutturali delle aree pilota si presentano dal punto di vista geologico differenti e ben distinte, questo dovuto soprattutto alla diversa genesi del territorio che da un lato è caratterizzata da depositi più o meno grossolani (più o meno cementati) in cui persiste una falda freatica ben distinta (pianura friulana), mentre per la pianura coppedese, la presenza di sedimenti fini, di un paleoalveo ed dell'acqua salata in profondità ha reso necessario ancor più l'impiego di un ampio spettro di tecnologie a diverso grado di risoluzione e penetrazione, che hanno consentito di analizzare e definire al meglio la geometria dei depositi (acquisizione con tecniche geofisiche a macro-scala: bassa risoluzione e alta penetrazione) e le caratteristiche petrofisiche del sottosuolo. L'assetto litostratigrafico dei depositi a micro-scala è stato definito con l'impiego di tecniche ad alta risoluzione e bassa penetrazione. Utilizzando le tecniche di acquisizione ad HR (alta risoluzione) è stato possibile individuare aree di interferenze e/o comunicazioni idrauliche fra le varie strutture geologiche nel sottosuolo che in bibliografia non erano ancora ben contraddistinte (presenza di importanti lenti di conglomerato anche superficiali nell'area di Mereto e di un paleoalveo a Copparo).

I nuovi dati indiretti provenienti dalla geofisica hanno consentito di predisporre al meglio l'ubicazione di nuovi pozzi (partner P7) in prospettiva idrogeologica e di ricarica in modo tale da ottimizzare la loro resa ed efficacia per le azioni di progetto sperimentali programmati (campionamento delle acque, monitoraggio delle stesse...). Oltretutto con i dati geofisici si è reso possibile lo sviluppo e l'implementazione dei modelli geologico-concettuali delle aree test (Mereto di Tomba e Copparo) con ulteriore creazione di modelli statici che, a seguito di opportune calibrazioni grazie ai test di ricarica (anche grazie al monitoraggio geofisico avvenuto con la Tomografia Elettrica-ERT), alla fine è stato possibile simulare scenari di ricarica massiva come dimostrato dal partner P4.

Nella fattispecie le attività di campagna sono state programmate (crono-programma) sulla base del target ricercato. A larga scala d'indagine, la tecnica del telerilevamento, la sismica passiva e la sismica a bassa risoluzione-alta penetrazione (ex. profilo chilometrico a Copparo) sono state impiegate dapprima rispetto all'ERT, GPR, VSP e sismica HR in quanto le stesse hanno un potere penetrativo maggiore, contrariamente a quelle con potere più risolutivo maggiore destinate invece a definire particolari geologici più ricercati.

Tutte le indagini sono state precedute da operazioni di scouting atte a definire al meglio la posizione dei profili in funzione del target voluto e a valutarne la fattibilità per le condizioni antropiche (accessi etc...) e/o ambientali che hanno ben contraddistinto la tipologia dei siti indagati (Annex 8, 9, 10, 12, 23, 27).

3.3.1 Applicazione delle indirette

1. Metodi elettrici (Tomografia elettrica - ERT):

Il metodo impiega un campo elettrico artificiale prodotto e immesso nel terreno per misurare la distribuzione di resistività nel terreno, e tramite queste valutazioni, dedurre la presenza e/o descrivere la morfologia di target di interessi quali corpi sepolti, natura litologica del sottosuolo, profondità e morfologia del substrato, presenza della risorsa idrica (profondità e spessore dell'acquifero etc..).

2) Metodo elettromagnetico: GPR (Ground Probing Radar o Ground Penetrating Radar):

Questa tecnica si basa sull'emissione e propagazione di impulsi elettromagnetici nel terreno, i quali vengono riflessi e rifratti dalle discontinuità fisiche ed elettriche presenti nel sottosuolo. La penetrazione del segnale impulsivo è funzione dello spettro del segnale irradiato e delle proprietà elettriche del terreno nel quale si propaga.

3) *Metodi sismici passivi (Tromino):*

Questo metodo utilizza il rumore di fondo del terreno (naturale e antropico) come sorgente per esplorare il sottosuolo. E' un sistema molto economico e speditivo ad alta penetrazione e limitata risoluzione.

4) *Metodi sismici a riflessione attivi ed ad alta risoluzione (VHR):*

Questo metodo geofisico sfrutta le onde riflesse dalle varie discontinuità litostratigrafiche e strutturali per ricostruire la geometria del sottosuolo.

5) *Il profilo sismico verticale (Vertical Seismic Profiling - VSP):*

E' una misura sismica effettuata in pozzo. La realizzazione di un VSP prevede la registrazione di energizzazioni eseguite in superficie con sensori calati a diversi livelli di profondità lungo il sondaggio geognostico. Lo scopo del VSP è quello di misurare le velocità intervallari delle formazioni geologiche perforate, permettendo la conversione dei tempi sismici in profondità.

6) *Telerilevamento (rilievi Laser a scansione, aerofotografici e iperspettrali:)* finalizzate alla rappresentazione cartografica e topografica di elevato dettaglio del territorio e alla caratterizzazione superficiale di alcune proprietà fisiche del terreno.

3.3.2 Tecniche geofisiche siti test

Le attività di campagna sono state programmate (crono-programma) sulla base del target ricercato. A larga scala d'indagine, la tecnica del telerilevamento, la sismica passiva e la sismica a bassa risoluzione-alta penetrazione (ex. profilo chilometrico a Copparo) sono state impiegate dapprima rispetto all'ERT, GPR, VSP e sismica HR in quanto le stesse hanno un potere penetrativo maggiore, contrariamente a quelle con potere più risolutivo maggiore destinate invece a definire particolari geologici più ricercati.

Tutte le indagini sono state precedute da operazioni di scouting atte a definire al meglio la posizione dei profili in funzione del target voluto e a valutarne la fattibilità per le condizioni antropiche (accessi etc....) e/o ambientali che hanno ben contraddistinto la tipologia dei siti indagati.

3.3.3 Gli indicatori quantitativi assegnati per ogni tecnica

1) *ERT*, a completamento delle attività svolte a Copparo e documentate nell'Incepit Report, sono state completate le campagne di acquisizione nel macroarea del Friuli-Venezia Giulia con l'esecuzione di n. 6 profili ERT per un totale di 1190 m nel sito di Mereto di Tomba e n. 2 profili ERT per un totale di 543 m nel sito di ZIPR;

2) *GPR* nei tre siti test e per le quali sono state prodotti: n.7 profili GPR per un totale di 1895 m nel sito di Mereto di Tomba, n.7 profili per un totale di 1087 m nel sito di ZIPR e n.10 profili per un totale di 2776 m;

3) *Sismica Passiva*, n.147 punti di ascolto per un totale di 9261 di array prodotto nel sito di Mereto di Tomba, n.183 punti di ascolto per un totale di 12080 di array prodotto nel sito di ZIPR e n.132 punti di ascolto per un totale di 6379 di array prodotto nel sito di Copparo;

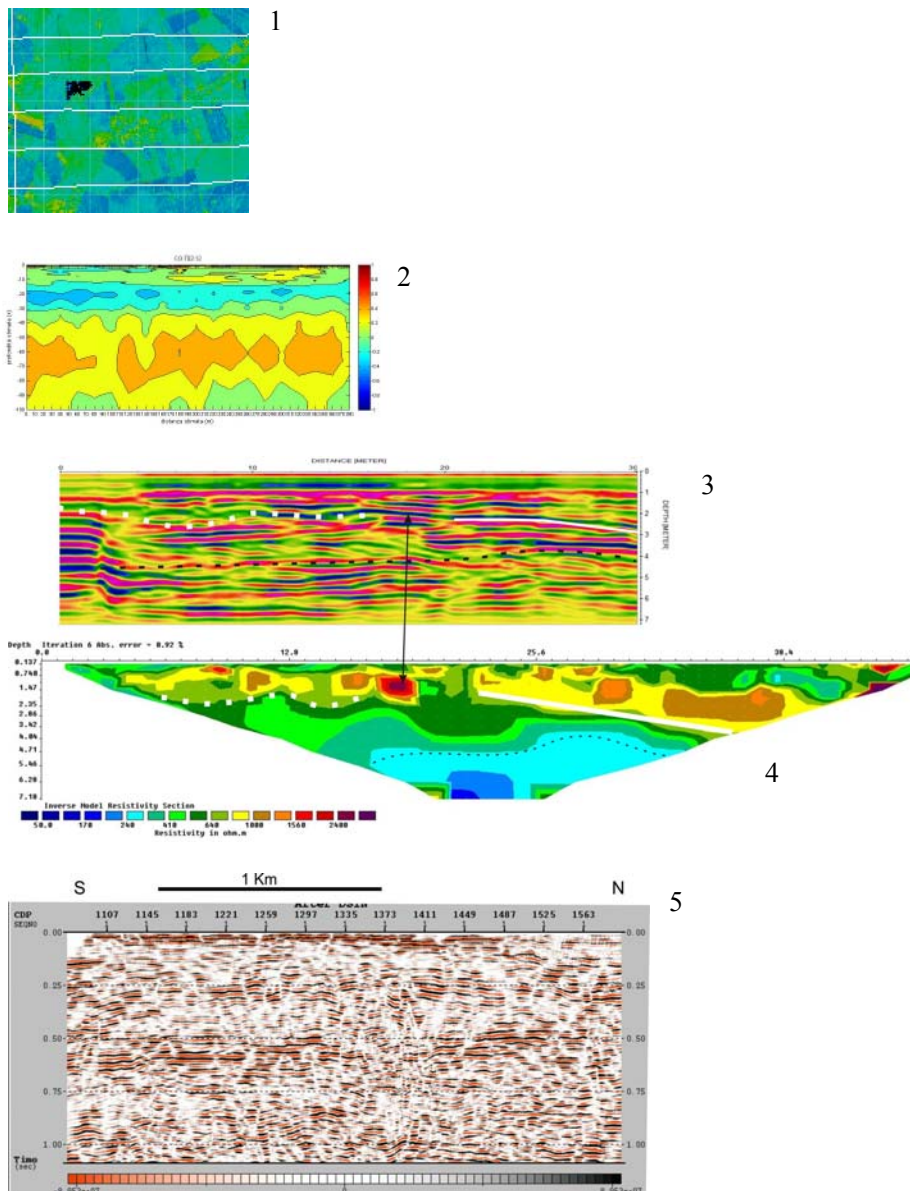
4) *Sismica 2D e VHR*, n.4 linee sismiche per un totale di 1598 m nel sito di Mereto di Tomba, n.2 linee sismiche per un totale di 1570 m nel sito di ZIPR, n.3 linee sismiche per un totale di 9150 m nel sito di Copparo;

4) *Sismica 3D*, esecuzione di n1 3D con 100 metri d lato nel sito di ZIPR;

5) *VSP*, Sono stati eseguiti n. 3 punti di misura nel sito di Mereto di Tomba e n. 3 punto di misura nel sito di Copparo. Nel sito di ZIPR visto la buona qualità dei dati provenienti dalla sismica a riflessione 2D (ottimo rapporto segnale/rumore) si è rilevato oltretutto che in fase di

processing, l'analisi di velocità fatta sui semblance è stata molto affidabile. Per questa ragione si è ritenuto che un'ulteriore acquisizione del tipo VSP nel sito test di ZIPR poteva offrire scarse indicazioni aggiuntive se non la ridondanza di dati/informazioni sulla natura geofisica adesso già nota del sottosuolo;

6) *Telerilevamento*, sono stati prodotte le mappe per la rappresentazione del territori dei tre siti test nonché la tipologia dei dati (shape file etc..) per l'analisi di dettaglio delle caratteristiche superficiali e morfologiche (microrilievo) necessari per la modellizzazione (circa 22 km² di territorio coperto presso i siti di ricarica) (Annex, 29, 30, 37, 43, 47).



In figura: Immagini – modelli 2D che riflettono che caratteristiche geofisiche-geologiche del sottosuolo sulla base delle metodologie geofisiche applicate nei siti test.

Risultati

Tutti i dati geofisici, in fase di processing-elaborazione, interpretazione e integrazione con dati litologici hanno consentito di produrre dei modelli geofisici bi-trideimensionali (mappe del sottosuolo!) che sono stati descritti ampiamente nei deliverable di progetto.

5.1.3.4 ACTION 5: Sviluppo di modelli matematici per la gestione della ricarica

L'azione è focalizzata sulla modellizzazione della ricarica artificiale degli acquiferi, in particolare:

- a) sullo sviluppo ed applicazione ai siti di progetto di appropriati modelli numerici per lo studio della ricarica e sulla definizione di protocolli per la modellizzazione idrogeologica;
- b) la definizione di indicatori essenziali al monitoraggio alla luce della possibile previsione del fato dell'acqua immessa nel sottosuolo e, di conseguenza, della sicurezza della ricarica stessa.

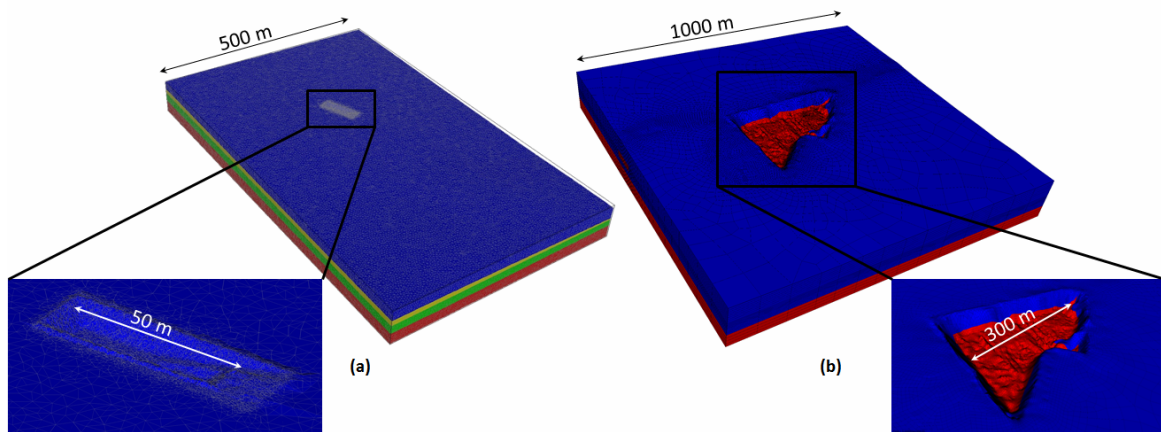
Sono quindi state individuate le aree su cui eseguire la modellizzazione per i siti di Mereto di Tomba (UD) e Copparo (FE) (Annex 23, 26, 40). Sono inizialmente stati sviluppati i modelli idrogeologici concettuali dei due siti: il sito di Mereto è caratterizzato da terreno ghiaioso molto permeabile ed una falda freatica di elevata qualità, relativamente profonda (50 m in media), che si sta approfondendo sempre più negli ultimi anni a causa di un maggiore sfruttamento della risorsa ed una minore ricarica naturale; il sito di Copparo è invece caratterizzato da una falda freatica superficiale (2m di profondità), terreni limo-argillosi poco permeabili con localizzate inclusioni sabbiose (paleo-alvei) e acquiferi artesiani, anche relativamente superficiali, che sono contaminati per l'intrusione del cuneo salino.

In accordo con la struttura dell'Azione le attività svolte ed i risultati ottenuti sono stati i seguenti modelli:

3.4.1 Sviluppo del modello statico siti test

- Per Mereto di Tomba, il dominio considerato, centrato sul bacino di ricarica, ha un'estensione di 500×810 m ed è delimitato superiormente dalla superficie del terreno (posto a circa e inferiormente da un basamento posto ad una quota di 35 m sul l.m.m., per uno spessore complessivo del dominio che in media è pari a 65 m. Per tener conto delle possibili eterogeneità presenti nel terreno, è stato implementato un modello ad elementi finiti utilizzando una griglia tridimensionale ad elementi tetraedrici generata utilizzando la sequenza litologica ricostruita avvalendosi delle informazioni stratigrafiche a disposizione. In particolare sono stati utilizzate le colonne litostratigrafiche relative ai vari pozzi presenti nell'area e le sezioni sismiche e GPR acquisite nel corso del progetto. La griglia di calcolo implementata consta di 551'978 nodi e di 3'272'223 tetraedri, con una dimensione degli elementi che varia da 2 m di lato nelle zone più prossime al lago, a 6 m in prossimità alla frontiera del dominio.

- A Copparo, il dominio considerato ha un'estensione di 1000×1000 m ed è delimitato superiormente dalla superficie del terreno, mediamente a quota 2 m sul l.m.m, mentre inferiormente da un basamento posto a una quota di -24 m sul l.m.m. La ricostruzione accurata della topografia e della litostratigrafia del sito è stata realizzata utilizzando una griglia di calcolo ad elementi finiti molto fine che totalizza 392'522 nodi e 375'900 esaedri, con una dimensione degli elementi che varia da 2 m di lato, nelle zone prossime al lago, a 80 m in corrispondenza al contorno esterno del dominio. Il modello statico ricostruisce accuratamente la geometria degli elementi idrogeologici di maggiore interesse: 1) la successione litostratigrafica con la presenza di terreno limoso interrotto tra 9 e 13 m da piano campagna dalla presenza di una struttura sabbiosa costituita da un paleo-alveo; 2) la complessa geometria del paleo-alveo e l'incertezza relativa alla sua larghezza; 3) la geometria della vasca come fornita da un accurato rilievo batimetrico.

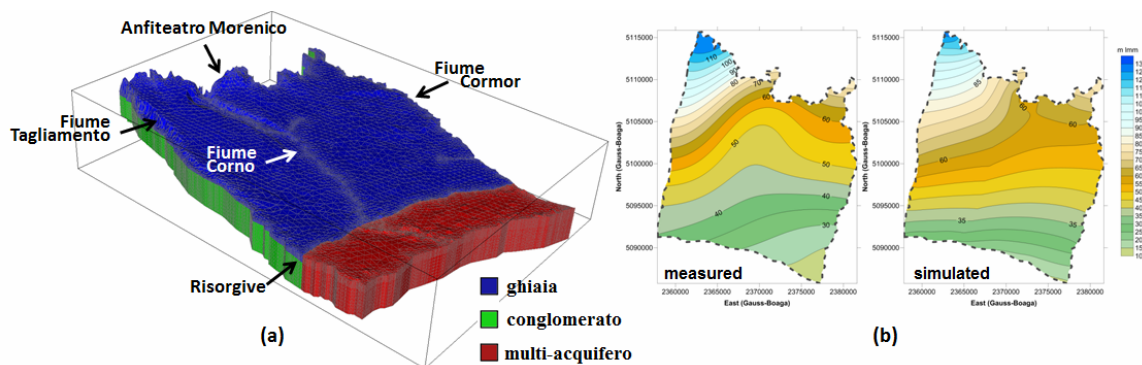


Visione prospettica del modello statico 3D agli elementi finiti del sito di Mereto di Tomba (a) e del sito di Copparo (b).

3.4.2 Calibrazione e validazione del modello a scala regionale

La modellizzazione regionale è stata condotta per l'Alta Pianura Friulana considerando l'intero acquifero indifferenziato delimitato dall'Anfiteatro Morenico (Nord), il fiume Tagliamento (ad Ovest) il fiume Cormor (Est) ed un allineamento 4-5 km a Sud della linea delle risorgive (verso Sud). Il dominio considerato ha un'estensione di circa 35×24 km ed è delimitato superiormente dal piano campagna ed inferiormente dal bottom del conglomerato. Per rappresentare accuratamente la topografia del terreno e la litostratigrafia, la griglia di calcolo implementata consta di 138'958 nodi e di 732'718 tetraedri. Una prima serie di simulazioni è stata condotta in regime stazionario per calibrare i parametri idrologici sulla piezometria media misurata nell'area. Il sistema acquifero risulta alimentato dal Tagliamento con un flusso giornaliero pari a circa 3'900'000 m³/giorno, da una precipitazione efficace di circa 890'000 m³/giorno (730 mm/anno su una superficie circa pari a 444.8 km²), e da una ricarica di 780'000 m³/giorno dall'Anfiteatro Morenico. Il Cormor è sostanzialmente un asse di simmetria per il sistema sotterraneo (flusso nullo).

A Copparo, l'acquifero freatico superficiale non è caratterizzato da un flusso regionale significativo. Le oscillazioni sono locali e sostanzialmente governate dalla bonifica, con entità molto limitate (dell'ordine di poche decine di cm); le direzioni di deflusso sono variabili alla scala del singolo appezzamento in relazione alla disposizione del reticolo dei fossi di scolo.



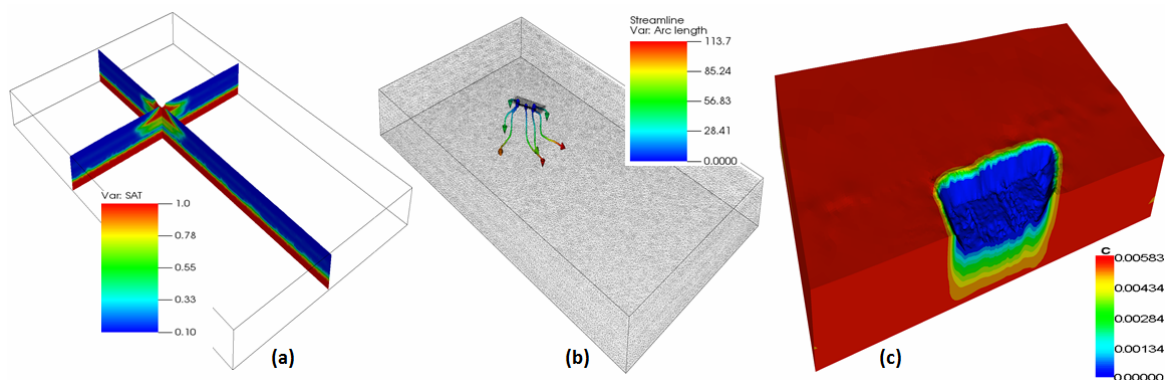
Modello regionale: visione prospettica del modello statico 3D agli elementi finiti dell'alta Pianura Friulana (a) e risultati della calibrazione del modello di deflusso regionale (b).

3.4.3 Modellizzazione locale dei test di ricarica

I modelli di ricarica di Mereto di Tomba e Copparo sono stati applicati ai test di ricarica condotti in modo da calibrare i parametri idrogeologici del sottosuolo e quantificare quindi i volumi di acqua che possono essere immessi nel sottosuolo attraverso la ricarica artificiale.

A Mereto di Tomba, il modello è stato calibrato sul test di ricarica condotto tra Dicembre 2013 e Gennaio 2014, e poi validato su un secondo test condotto tra Marzo e Novembre 2014. I risultati dei test, interpretati e ricostruiti attraverso il modello dinamico, hanno messo in evidenza numerosi aspetti importanti: 1) la permeabilità dell'ammasso ghiaioso è pari a $1-2 \times 10^{-5}$ m/s; 2) l'importanza di livelli a minore permeabilità (circa un ordine di grandezza rispetto alla ghiaia) nella formazione di acquiferi sospesi temporanei; 3) l'elevata permeabilità ($\sim 1.1 \times 10^{-3}$ m/s) del conglomerato fratturato sede dell'acquifero regionale tale per cui una ricarica localizzata produce una crescita del livello piezometrico di poche decine di cm in corrispondenza a un flusso di ricarica pari a circa 1000 m³/giorno (valore medio durante il secondo test di ricarica); 4) l'insorgere del problema del clogging a seguito del trasporto solido nella canaletta di adduzione in particolari circostanze (ad es., lavori sulla rete di irrigazione, piene fluviali) con riduzione della conducibilità idraulica nello strato ghiaioso sottostante la vasca da 2×10^{-5} m/s a 0.8×10^{-5} m/s; 5) la ricarica può definirsi "efficace", ovvero tale da migliorare la disponibilità e la qualità dell'acqua di falda per lo meno nell'area circostante la vasca di infiltrazione.

A Copparo, i test hanno evidenziato come la presenza di suoli poco permeabilità (1.5×10^{-6} m/s) e il limitato carico idraulico (al più pari a 2-2.5 m) che può essere indotto nella cava rispetto alla quota della falda riducono pesantemente l'efficacia della ricarica in termini idrogeologici (ovvero in termini di mitigazione della concentrazione salina in acquifero): l'acqua dolce che si infiltra dal fondo della cava rimane confinato al di sotto della cava stessa e di infiltra nel paleo-alveo a permeabilità relativamente maggiore (8×10^{-6} m/s) per una distanza quantificabile in poche decine di metri. Il volume che si infiltra dalla vasca nell'acquifero è dell'ordine di 400-500 m³/giorno (Annex 46).

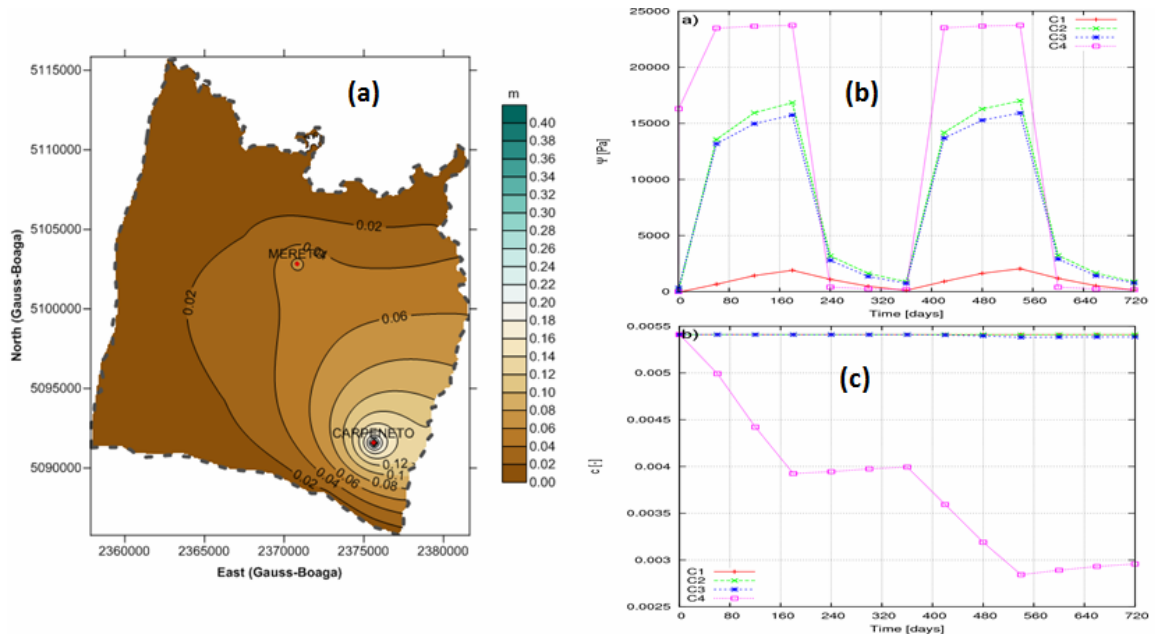


Risultati della modellizzazione numerica dei test di ricarica: grado di saturazione a Mereto di Tomba dopo 200 gironi di ricarica (a); percorso effettuato dalle particelle fluide rilasciate sul fondo-vasca a Mereto (b); concentrazione salina a Copparo dopo 180 giorni di ricarica d'acqua dolce (c).

3.4.4 Gestione della ricarica, scenari di ricarica massiva

I modelli di ricarica calibrati (Annex 42, 59) sono stati utilizzati per simulare scenari di ricarica massiva e valutarne quindi l'impatto specialmente in termini di:

- **dinamica delle risorgive:** sono stati condotti alcuni scenari di ricarica massiva nell'Alta Pianura Friulana che hanno evidenziato come la dinamica delle risorgive possa essere poco influenzata dai volumi d'acqua che è ipotizzabile utilizzare oggi per la ricarica. Con l'utilizzo del solo bacino di Mereto di Tomba (con una ricarica di 1000 m³/giorno) non si verifica alcuna variazione significativa alla posizione delle risorgive; considerando l'uso simultaneo di tutti i pozzi a gravità costruiti a Mereto e Carpeneto dal consorzio Leda-Ragliamento (per una portata complessivamente immessa dell'ordine di 12'000 m³/giorno) risulti in una risalita della linea delle risorgive di fino a 30 m. Risultati ancora migliori potrebbero attendersi qualora venissero utilizzati anche altri siti, ad esempio le numerose cave di materiale inerte sparse sul territorio dell'Alta Pianura;
- **crescita del livello piezometrico:** a Mereto la ricarica induce una crescita locale del livello piezometrico dell'ordine di una decina di cm. Tale valore limitato è sostanzialmente dovuto all'alta permeabilità del conglomerato fratturato nel quale è ubicata la falda. La ricarica simultanea su più siti può indurre una risalita di alcune decine di cm in una zona di discreta entità (dell'ordine di alcuni km² attorno all'area di ricarica). Nelle condizioni di Copparo, ovvero con suoli a bassa permeabilità e falda freatica molto superficiale, una crescita del livello piezometrico di alcune decine di cm si limita ad una fascia di 1-2 decine di m attorno alla vasca di ricarica;
- **contrasto alla subsidenza:** la ricarica artificiale di acquiferi freatici condotta attraverso bacini di infiltrazione non può essere pensata come una metodologia per contrastare la subsidenza. Rispetto al progetto iniziale, che a Copparo prevedeva la ricarica di un acquifero confinato per mezzo di pozzi d'iniezione, il progetto WARBO ha dovuto ripiegare anche per il sito ferrarese su una ricarica superficiale a causa della mancata autorizzazione da parte di ARPA Emilia-Romagna di testare una ricarica profonda;
- **contrasto alla salinizzazione delle falde:** la ricarica attraverso vasche di infiltrazione in zone di bassa pianura appare efficace nel mitigare la salinizzazione dei suoli agricoli e della falda freatica solamente in un'area prossima alla vasca stessa. La presenza di paleovalle a maggiore permeabilità favorisce l'estensione della zona di miglioramento delle condizioni ambientali, anche se nel caso di Copparo tale estensione si limita a qualche decina di metri in quanto si è in presenza di sabbia limosa. Per altro, non è ipotizzabile ristabilire condizioni di idropotabilità in acquiferi freatici attraverso una ricarica "localizzata" per infiltrazione, a maggior ragione se questa può avvenire nei soli periodi estivi in quanto durante la stagione invernale i consorzi di bonifica mantengono molto bassi i livelli idrici nella rete di drenaggio/irrigazione per motivi di sicurezza idraulica;
- **immagazzinamento e trasposto di riserve idriche:** gli acquiferi freatici ad elevata permeabilità come quelli dell'Alta Pianura Friulana rappresentano un efficace "bacino" di immagazzinamento di acqua. Il volume immagazzinabile è pressoché illimitato dato lo spessore di alcune decine di metri della parte insatura. Per altro, l'elevata permeabilità di questi suoli favorisce il rapido movimento dell'acqua infiltrata verso valle dove, in linea di principio, potrebbe essere recuperata in modo efficace dal sistema multi-acquifero confinato sito nella Bassa Pianura.



Scenari di ricarica massiva: innalzamento della falda freatica nell'Alta Pianura Friulana a seguito di una ricarica di $12'000 \text{ m}^3/\text{giorno}$ nei siti di Mereto di Tomba e Carpaneto (a); andamento del livello di falda (b) e della concentrazione salina (c) in alcuni punti di controllo attorno alla cava di Copparo a seguito di due stagioni estive con riempimento del bacino con acqua dolce.

5.1.3.5 ACTION 6: Ricarica artificiale di acquiferi alluvionali complessi a differente grado di salinizzazione e/o inquinamento: applicazione ad una test area nel territorio Copparese (delta del Po; Provincia di Ferrara)

Il Piano Strategico di Copparo ha previsto per l'ex -cava il ripristino naturalistico-ricreativo, il suo collegamento alla rete fluviale, l'inserimento nel corridoio ecologico del Naviglio le cui acque massima piena saranno deviate nella cava per la gestione e mitigazione dei rischi geologici (desertificazione e idrogeologico) che fungerà da cassa di espansione. Le procedure (VIA Valutazione Impatto Ambientale e Valutazione Ambientale Strategica VAS) per la ricarica artificiale sono state espletate prima dell'inizio del progetto attraverso un programma multi-livello del Piano Strategico Comunale sviluppato con il coinvolgimento di circa 800 cittadini in 12 anni di tavoli di lavoro che hanno individuato nell'energia e nell'acqua le due priorità e criticità per la crescita sostenibile nel lungo periodo (Annex 5, 20, 21 27, 33, 37).



3.5.1 Attività

1) pianificazione economica di autosufficienza nel reperimento delle risorse naturali utili alle attività produttive ("cava di argilla" del distretto estrattivo in località Ponte San Pietro); acqua attraverso il mantenimento della falda;

2) tutela idraulica: la gestione integrata dell'area estrattiva come cassa di espansione di contenimento delle piene dei canali in modo da mettere in sicurezza idraulica l'area urbanizzata e contestualmente utilizzo della cava come invaso di infiltrazione per la riqualificazione degli acquiferi. Questo azione ha consentito di verificare le potenzialità e vantaggi nel conciliare la gestione del surplus idrico delle piene con la funzione di bacino di infiltrazione alimentato dalla rete irrigua dei periodi siccitosi al fine di garantire non solo la ricarica artificiale degli acquiferi ma anche il mantenimento degli habitat e degli ecosistemi fragili.

Le attività eseguite hanno consentito inoltre di verificare che la ricarica artificiale consente di:

- compensare le perdite quantitative per fattori naturali (aridità) e/o antropici (sovrasfruttamento e/o uso non compatibile della risorsa idrica con i cicli naturali) con un incremento dei volumi di acqua immagazzinata negli acquiferi;
- contrastare la salinizzazione alimentando gli acquiferi con risorse di migliore qualità;
- evitare che le sempre più frequenti esondazioni possano avere ricadute negative sulle aree rurali in quanto le interazioni delle acque con aree di produzione industriale e artigianale non sono controllabili in condizioni di emergenza;

- 3) sostenibilità ambientale ed economica: il progetto è stato realizzato in modo da evitare costi di gestione e senza incremento di immissioni di gas serra in atmosfera. Obiettivo raggiunto utilizzando per la ricarica il franco di bonifica;
- 4) rafforzamento della rete ecologica e riqualificazione territoriale: Ripristino zona umida, miglioramento biodiversità, riqualificazione del paesaggio e rafforzamento della rete ecologica
- 5) fruizione per eventi culturali e didattici;
- 6) sensibilizzazione della popolazione e stakeholder verso la salvaguardia delle risorse idriche e direttiva acqua. Il Kick off Meeting del 31 gennaio 2012 ha visto la partecipazione di circa settanta persone ha coinvolto le istituzioni e gli stakeholder locali (ARPA, Regione Emilia Romagna, Provincia di Fe, Consorzi di Bonifica, ente acquedottistico e numerosi altri stakeholder pubblici e privati, associazioni di categoria, ambientali e culturali) ha dato inizio ai tavoli di lavoro di verifica dell'adeguatezza delle procedure VIA e VAS e alla sensibilizzare verso le procedure di ricarica artificiale;
- 7) piano di management post WARBO LIFE+: il mantenimento delle caratteristiche qualitative e quantitative delle risorse idriche superficiali e sotterranee possono coniugarsi con l'utilizzo degli invasi per la sicurezza idraulica. Su queste basi il Comune ha definito il piano di management.

3.5.2 Il progetto dell'impianto di fitodepurazione

Con il supporto del Consorzio di Bonifica il Comune di Copparo ha definito modalità e volumi di approvvigionamento di acque dolci di buona qualità, le opere idrauliche per la ricarica (presa sul canale irriguo di Ponte San Pietro che costeggia ad oriente l'invaso, ha dimensionato la vasca fitodepurazione, il canale collegamento con il Canal Naviglio che dopo la piantumazione per la fitodepurazione sarà collegato con l'invaso di cava). Le attività di ricarica artificiale hanno dimostrato l'efficacia nella riqualificazione chimico fisica e biologica dell'invaso e geochimiche e idrogeologiche dell'acquifero il cui monitoraggio è in parte stato garantito dalle sonde istallate dal Comune di Copparo (Annex 47).



Particolare dell'impianto di fitodepurazione.

Risultati

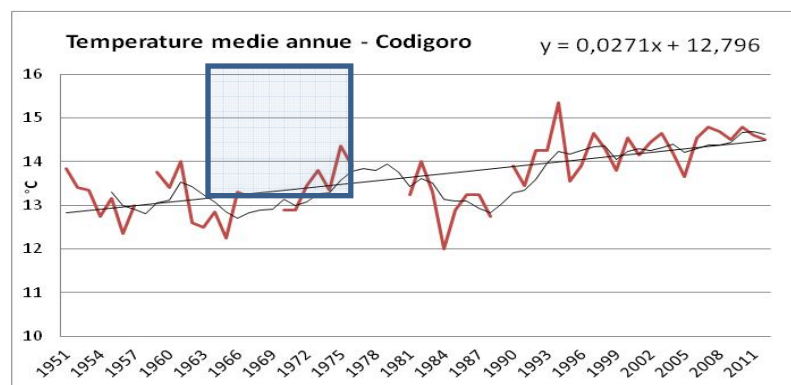
1. Il progetto WARBO ha consentito di valutare le potenzialità di utilizzo degli invasi di cava attraverso lo studio delle dinamiche di ricarica in una ex cava dismessa di argilla anche nella consapevolezza che i cambiamenti climatici e l'urbanizzazione richiedono misure di adeguamento alle inefficienze della rete di drenaggio. Nell'area di progetto e dell'ultimo decennio nel canal Naviglio sono stati spesso superati i livelli di guardia in occasione di precipitazioni brevi ed intense. Il rapporto tra precipitazioni e temperatura (indice di De Martonnetra 25 e 30) è un marker della diminuzione dei tempi di corrivazione delle acque piovane nella pianura alluvionale e nel Delta Po.
2. realizzazione delle opere per la ricarica,
3. valutare i costi benefici dell'utilizzo dalla rete irrigua per alimentare il bacino di infiltrazione,
4. vantaggi e criticità del collegamento dell'invaso di Cava con il Canal Naviglio nella gestione delle punti di piena. Le acque dolci hanno trasformato il bacino di cava da drenante ad alimentante riqualificando l'invaso e il sistema multi acquifero.
5. Le condizioni di estrema siccità che hanno caratterizzato l'estate del 2012 seguita dalle eccezionali piogge che hanno caratterizzato nell'area test del progetto WARBO l'inverno 2012-2013, hanno consentito di verificare le dinamiche dell'invaso dalle condizioni di minima (estate 2012) e di massima ricarica naturale (eccezionale piovosità del 2014). Le dinamiche di ricarica naturali definite sulla base del monitoraggio hanno supportato la progettazione dell'impianto e integrate con le condizioni di esercizio hanno fornito i bilanci.

Il progetto ha sensibilizzato il territorio e la popolazione verso le tematiche di uso compatibile delle risorse idriche e l'acquedotto che fornisce l'acqua idropotabile sta progettando interventi di ricarica diretta dell'acquifero idropotabile ai fini dello stoccaggio delle risorse utili a garantire il mantenimento delle caratteristiche qualitative della risorsa anche nei periodi di maggiore pressione e richiesta idrica. L'acquedotto che insiste nel territorio del copparese nel periodo estivo è soggetto a forti incrementi della richiesta in quanto fornisce la risorsa alle aree balneari costiere (Annex 31).

5.1.3.6 ACTION 7: Metodologie integrate geofisiche, idrogeologiche, geochemiche e biologiche ai fini della gestione della ricarica artificiale di sistemi multiacquifero complessi (direttiva 2000/60/CE, D.Lgs. 152/06)

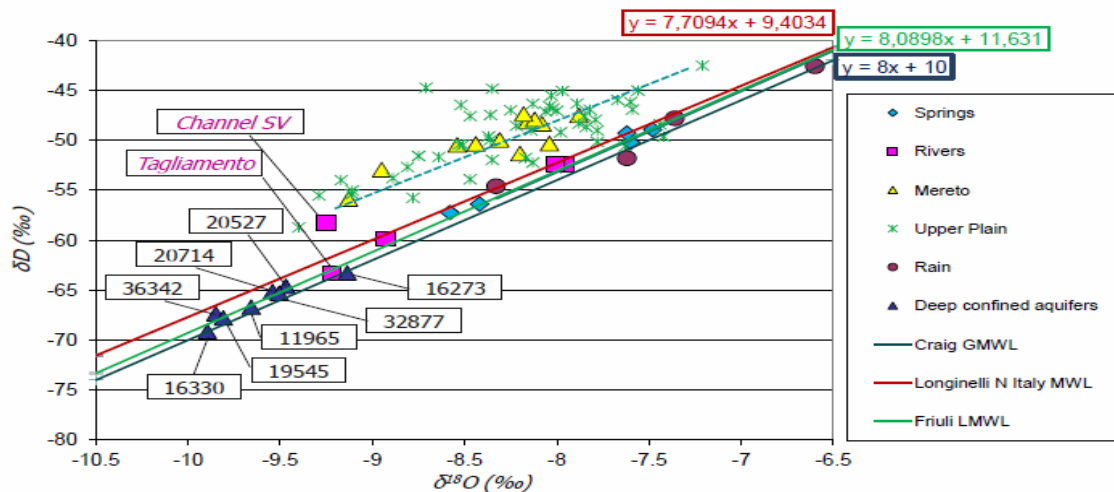
3.6.1 Analisi climatica a scala di bacino idrografico per le due macro aree finalizzata a definire le relazioni tra il cambiamento climatico e la ricarica degli acquiferi

A) Pianura Padana (Bacino Idrografico Burana Volano che comprende oltre 300.000 ettari di territorio) che è caratterizzato da un clima tipico delle aree interne di pianura, temperatura media annuale di circa 13,4 °C. Cambiamento climatico: aumento medio della temperatura annuale di circa 1,3 °C / secolo. Dalla elaborazione dei dati climatici è emerso che in inverno si hanno temperature medie di 6 °C In estate la temperatura media è circa 28 °C e i valori di piovosità si attestano intorno ai 600 mm/anno ripartiti in circa 85 giorni. Queste condizioni di basse precipitazioni ed alte temperature fanno sì che nel periodo estivo si realizzino condizioni di forte evaporazione ed evapotraspirazione che alimenta le perturbazioni di breve durata ed alta intensità che producono una bassa infiltrazione in quanto gli ampi settori a quote sotto il livello medio del mare richiedono tempi di corrivazione brevi e onde evitare allagamenti. Queste piogge hanno l'impronta isotopica locale $-6,95 < \delta^{18}O < -5,19$ e $-46,21 < \delta D < -31,82$.



I dati isotopici ricadono lungo la retta meteorica nord Italia e il monitoraggio da noi effettuato ha evidenziato che dopo i temporali, gli apporti meteorici modificano la composizione isotopica dell' acquifero non confinato in accordo con brevi tempi di ricarica. La ricarica artificiale apportando acque di buona qualità e con impronta isotopica non impoverita l'imita questi effetti fornendo elementi per poter modellizzare e quantificare le interazioni fra acque superficiali ed acquiferi.

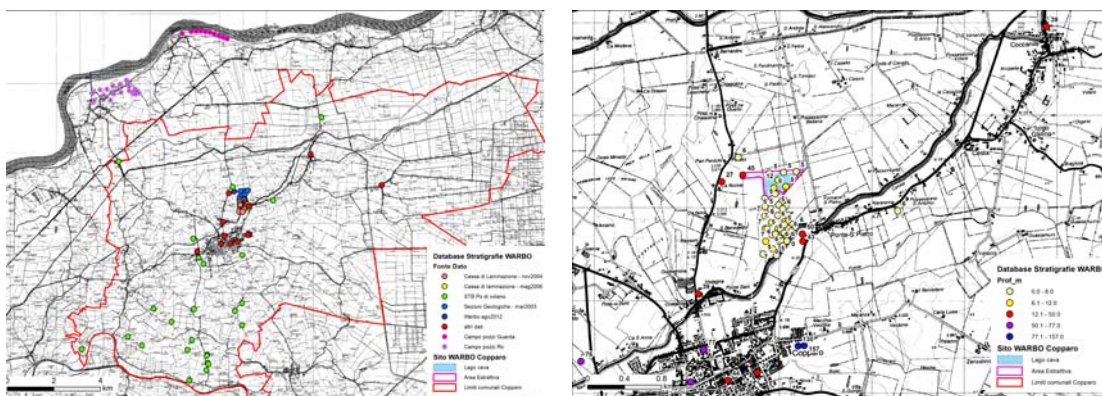
B) Area Friulana dove le aree di Zona Industriale Ponte Rosso e Mereto di Tomba si caratterizzano per la forte escursione di temperatura diurna e stagionale dovuta alla scarsa azione termoregolatrice del mare Adriatico. La temperatura media annua risulta compresa tra 13 e 13,5°C, quella di gennaio intorno a 3,5°C quelle di luglio ed agosto, di circa 23.5°C. In questa regione le temperature massime che superano 30 gradi vengono superate L'escursione termica annua quindi si attesta sui 20°C, caratteristica tipica di un clima di transizione dal sub-oceanico al sub-continentale



Al fine di descrivere il rapporto isotopico $\delta^{18}O$ e δD tra i cambiamenti climatici e l'impronta digitale isotopica di diversi corpi idrici (sorgenti, canali e acquiferi) sono stati analizzate 100 campioni di acque campionate dal UNIUD nei corpi idrici nell'area. I dati microclimatici confrontati con il monitoraggio dell'acquifero hanno consentito di verificare la risposta stagionale individuare criticità climatiche quali la forte evaporazione nei periodi estivi e il ruolo che gli invasi di ricarica possono svolgere nella gestione delle piene.

3.6.2 Raccolta dei dati stratigrafici esistenti integrazione con delle perforazioni e sondaggi geofisici

Sono stati raccolto ed elaborato dei dati litostratigrafici verificando la stratigrafia, la profondità ed estensione delle superfici filtranti in modo da riferire i pozzi ai corpi acquiferi identificati nell'area (20, 21, 27). I principali dati raccolti con vari livelli di dettaglio ad ampia scala (regionale); scala provinciale e scala di dettaglio (2 Km nell'intorno del sito di Ponte San Pietro Copparo) sono:



- i) stratigrafie e monitoraggio dei 28 pozzi della Centrale di Ro Ferrarese C.A.D.F. S.p.a.
- ii) 10 Pozzi della centrale di Guarda (RO Ferrarese)
- ii) 78 pozzi del data base dell'UNMIG - Ufficio Nazionale Minerario per gli Idrocarburi e Geotermia (perforazioni AGIP, procedure VIA e concessioni di pozzi metaniferi.
- iii) 899 pozzi ad uso domestico - data base della Regione Emilia Romagna (802 corredati di ubicazione, profondità, caratteristiche costruttive e stratigrafiche e 97 solo della ubicazione.

v) 56 dati stratigrafici da indagini geognostiche del piano estrattivo

vi) 28 sondaggi per il progetto della cassa di espansione

I dati sono stati restituiti in carte idrogeologiche tematiche fra cui la carta delle isobate di tetto dell'acquifero confinato.

3.6.3 Campionatura

Si è proceduto alle seguenti campionature (Annex 7, 32, 33):

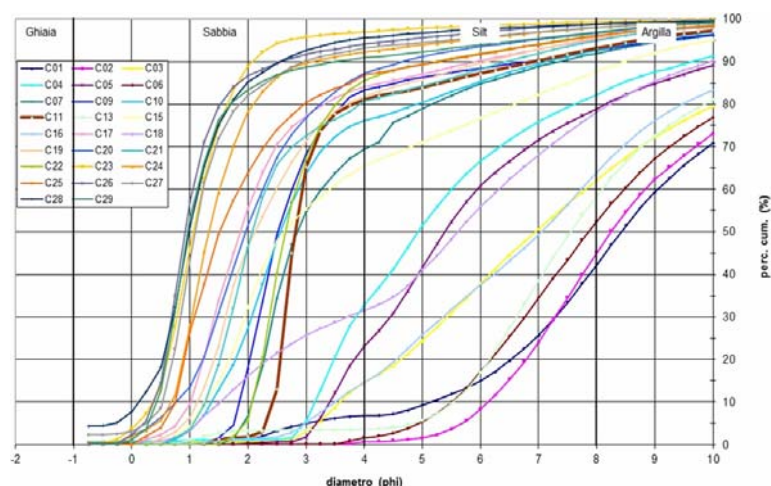
1. campionatura del suolo e pedofauna in esso contenute;
2. campionamento della sequenza litostratigrafica sono stati prelevati nell'azione 9 dal PP. Botti;
3. campionamento biologico: raccolta macroinvertebrati acquatici sul fondo di canali ed invasi grazie alla rete di Surber e raccolta di artropodi terrestri mediante la trappola di Malaise;
4. campionamento dei sedimenti di fondale acquatico tramite benna Van Veen;
5. Separazione mediante quartatore automatico;
6. Analisi granulometriche. I suoli e sedimenti sono stati setacciati ad umido con vaglio di 63 μm per separare la frazione;
7. Analisi tessiturali dei corpi acquiferi nell'area di Copparo.

Il sondaggio del pozzo 8 Copparo ha fornito la sequenza stratigrafia. I parametri statistici secondo Folk e Ward (1957) restituiti in curve cumulative evidenziano diverse popolazioni di sedimenti:

- argilla limosa e limo argilloso di sedimentazione in acque a bassa energia cinetica

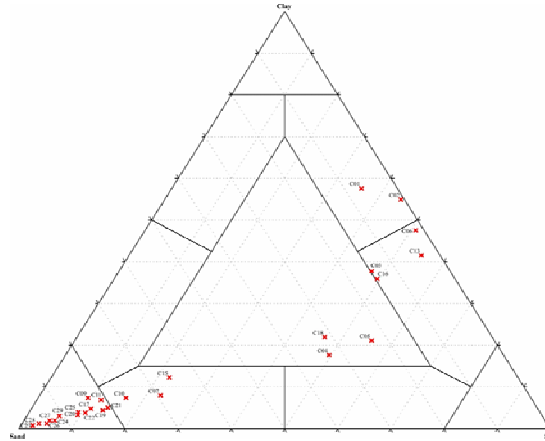
- limo argilloso e loam di sedimentazione in acque a medio-bassa energia con un basso classamento.

- sabbia e sabbia limosa di sedimentazione in acque a più elevata energia con classazione medio- alta



La distribuzione di frequenza cumulata indica un ambiente di sedimentazione fluviale che in genere è caratterizzato da distribuzione di tipo unimodale e classazione sufficientemente buona.

Diagramma triangolare di Shepard (1954) conferma una sequenza verticale di riempimento da canale fluviale, positiva o FU (fining upward) con una granulometria che decresce verso l'alto essendo accompagnata da una progressiva diminuzione dello spessore degli strati TU (thinning upward):



- ambiente di canale fluviale da -50 m a -19.15m, rappresentato da una litologia sabbiosa, (C19-C29) caratteristica di sedimenti fluviali, con troncamento della coda grossolana che potrebbe rappresentare il limite dimensionale dei granuli trasportati dal fiume.
- ambiente di argine da -19.15m a -16m, con 3.15m un'alternanza di sabbie e limi, (C15-C18)
- ambiente palustre da -16m a -13.27m, rappresentato 2.73m da loam e limo argilloso ricco di sostanza organica parzialmente decomposta (torbe) (C12-C14)
- ambiente di parziale riattivazione dell' attività fluviale da -13.27m a -8.45m, rappresentato da 4.82m di sabbie, (C07-C11) che poggiano con una base erosiva sui sottostanti sedimenti.
- ambiente palustre(abbandono del canale) da -8.45m a -6.70, rappresentato da 1.75m di limo argilloso e loam, (C05-C06) con intercalazioni di argilla e torba.
- un ambiente di piana inondabile da -6.70m a -4.00m, rappresentato da 2.7m di loam e limo argilloso, (C03-C04), con evidenze di pedogenesi con ossidi di ferro che passa ad un'argilla ben compatta da -4.60 a -4.35 che contiene presenti orizzonti organici scuri ricchi di solfuri di ferro,
- un ambiente palustre da -4.00m a -2.00m, rappresentato da 2.00 m di argilla limosa con intercalazioni argillose (C01-C02).
- un ambiente di piana inondabile da -2.00m a piano campagna, litologia argillosa, con evidenze di pedogenesi ricche di ossidi di ferro.

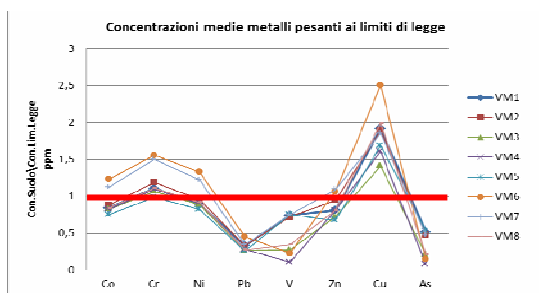
3.6.4 Analisi chimiche in WDS-XRF dei sedimenti e suoli eseguite del sito test di Copparo

Risultati delle analisi in WDS-XRF eseguite sui sedimenti: le varie facies sono descritte in termini di diagrammi di variazione degli elementi maggiori ed in traccia con la profondità. I sedimenti palustri spesso superano i limiti previsti dal Dgl. 152 del 2006 di "Attuazione della direttiva 2008/105/CE" per Cr 170 ppm, Co 20 ppm, V 90 ppm. I superamenti riguadagno anche livelli profondi antecedenti la rivoluzione industriale e quindi le alte concentrazioni non possono essere attribuite a cause antropiche. Nell'ambito del progetto WARBO si è cercato di comprendere le cause dei superamenti e definire l'eventuale biodisponibilità e interazioni

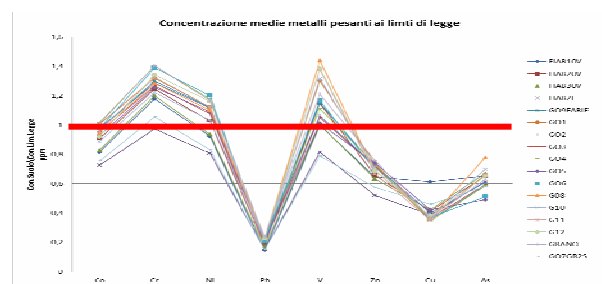
acqua suolo. Questa analisi è avvenuta integrando varie metodologie di analisi e particolarmente utile è risultata la microraman (Annex 32, 47).

a.- **Composizione chimica dei suoli nell'area di Copparo**

I suoli coltivati a vigneto hanno superamento dei limiti normativi per i metalli di transizione Cobalto, Cromo, Nickel dovute a causa naturale in quanto si tratta di sedimenti recenti depositati dal fiume Po che è ricco in questi metalli mentre è antropico il superamento dei limiti di legge da parte del Rame che è dovuto all'utilizzo intensivo del verde rame come anti fungicida preventivo. Questo elemento con la pioggia migra verso il suolo e lo contamina. Il campo indagato di proprietà del comune è coltivato senza utilizzo di antiparassitari e fertilizzanti per cui l'anomalia è dovuta a trattamenti antecedenti all'acquisizione da parte del comune del vigneto. Per quanto riguarda i suoli coltivati a mele, pere e grano si osservano superamenti del decreto 152/06 per Cr e V.



Suoli coltivati a vigneto



Suoli coltivati a mele, pere e grano

Analisi in Microraman accoppiata alla EDXRF hanno consentito di verificare le ricadute di questi superamenti dei limiti normativi nelle interazioni acqua roccia e nel trasferimento alla catena alimentare. Inoltre per verificare le ricadute di queste anomalie sui prodotti alimentari sono state eseguite anche se non previste dal progetto analisi chimiche mediante ICP-MS anche nelle uve, mele e pere allevate nei campi indagati per questo studio.

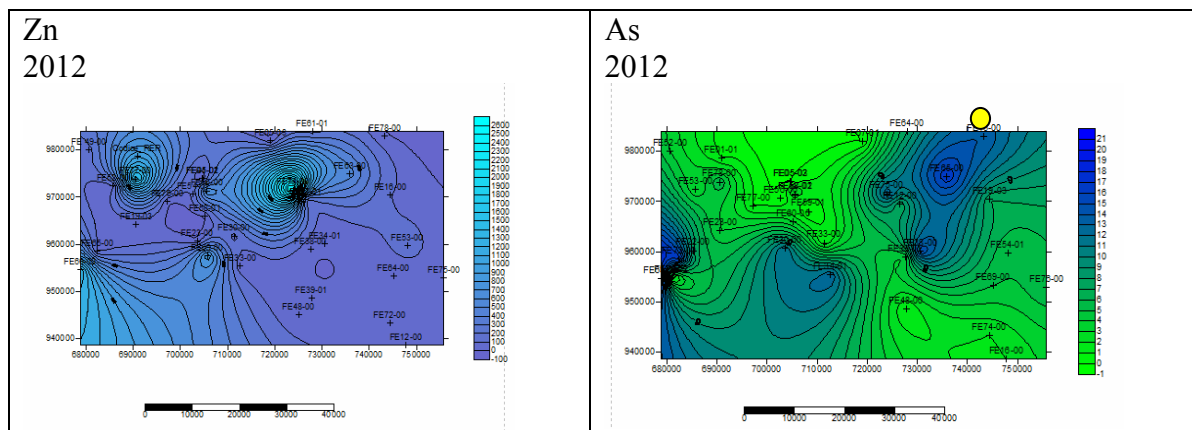
b.- **Analisi chimiche ed isotopiche delle acque**

Per il progetto si è proceduto:

- determinazione in situ dei carbonati, al prelievo ed acidificazione dei campioni da sottoporre all'analisi in ICP-MS;
- su 185 campioni di acqua i principali anioni in cromatografia ionica (Fluoruro, cloruro, nitrito, Bromuro, nitrati, fosfati e Solfato) per un totale di 1295 concertazioni determinate, sempre in cromatografia sono stati determinati i principali cationi (Ca, Mg, Na e K). Per la classificazione delle fasi idro-chimiche e confronto delle acque dei vari corpi idrici si sono avvalsi dell'ausilio dei diagrammi di Piper e Schoeller;
- su 205 campioni sono stati determinati in ICP-MS le concentrazioni dei metalli presenti in traccia ed ultratraccia nelle acque. In totale sono stati determinate le concetrazioni in ppm di 6970 (Li, Be, B, Na, Mg, Al, P, K, Ca, Sc, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, As, Se, Rb, Sr, Mo, Ag, Cd, Sn, Sb, Te, Ba, Tl, Pb, Bi, U). Le analisi hanno consentito:
- Analisi dei rapporti isotopici $\delta^{18}O$ e δD nelle acque superficiali e negli acquiferi della provincia di Ferrara (su 83 campioni) e della Pianura Friulana (103 campioni).

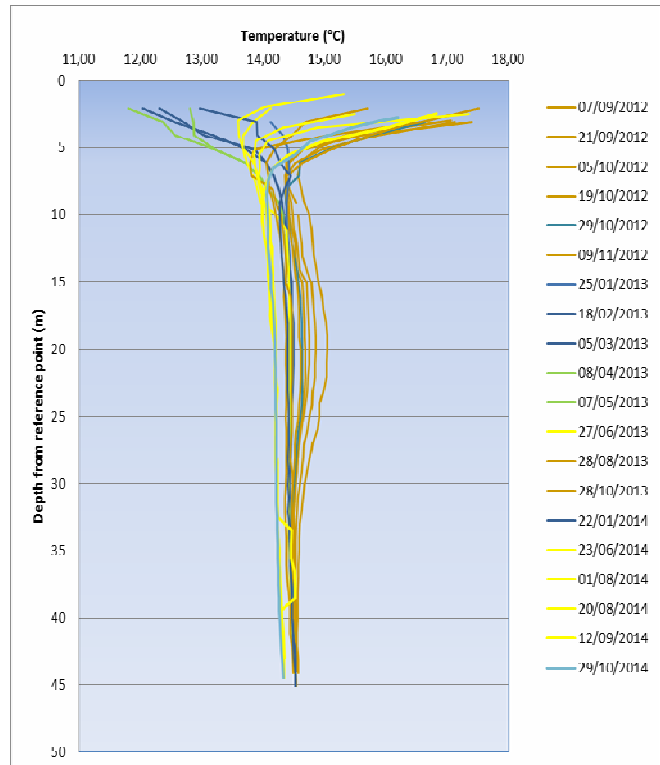
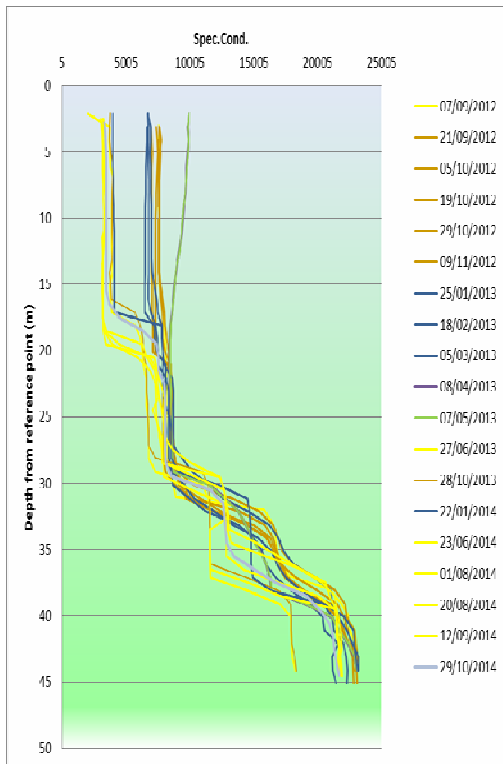
Risultati delle Analisi chimiche

In Emilia Romagna anche lontano dalla costa gli acquiferi sono spesso ricchi in metalli tossici e cloruri. Questo inquinamento regionale non sempre riflette le pressioni antropiche, mentre si correla con le "Pieghe Ferraresi" o fronti tettonico Appenninico. L'invaso di ricarica artificiale di "Ponte San Pietro" affetto da salinizzazione ed alte concentrazioni in As, B, Fe, Al è ubicato su una di queste strutture. Per il progetto WARBO abbiamo eseguito un'analisi a scala provinciale della distribuzione dell'As e Zn in modo da verificare se le anomalie riscontrate a Copparo rappresentano un problema regionale o se sono un'evidenza locale come è emerso a Copparo. La restituzione dei dati in carte tematiche si osserva che circa il 50 % del territorio ferrarese ha l'acquifero A1 contaminato da As e che solo lungo il paleoalveo del Po di Volano le concentrazioni sono inferiori ai limiti definiti da Dgl. 152.



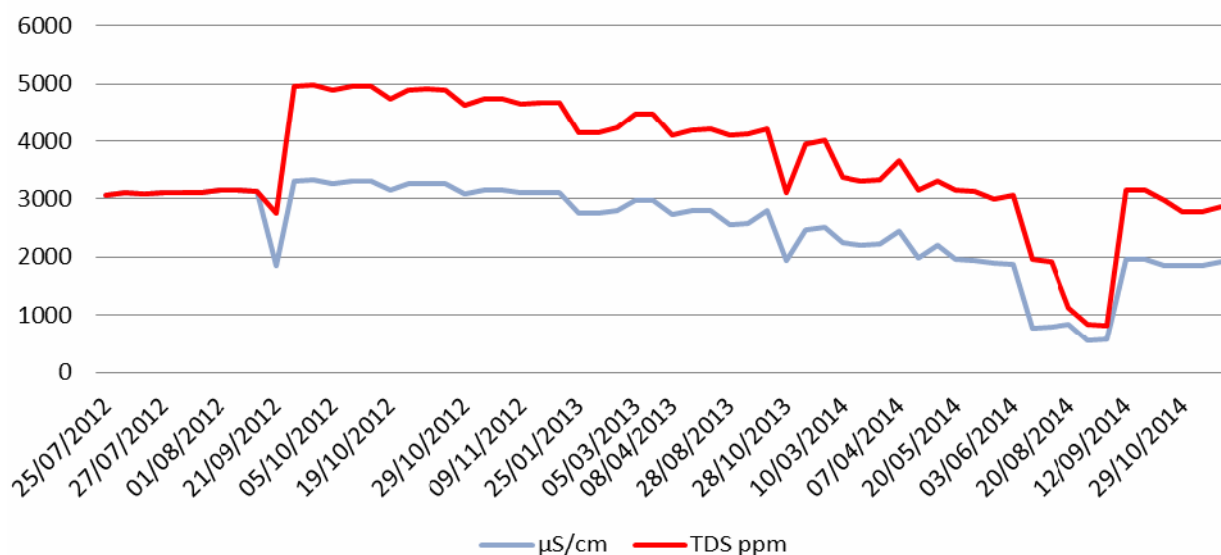
Il pallino giallo indica la localizzazione del test site del progetto WARBO.

L'inquinamento da As è legato alla risalita di acque fossili ricche in metano, che ne abbassa la densità.

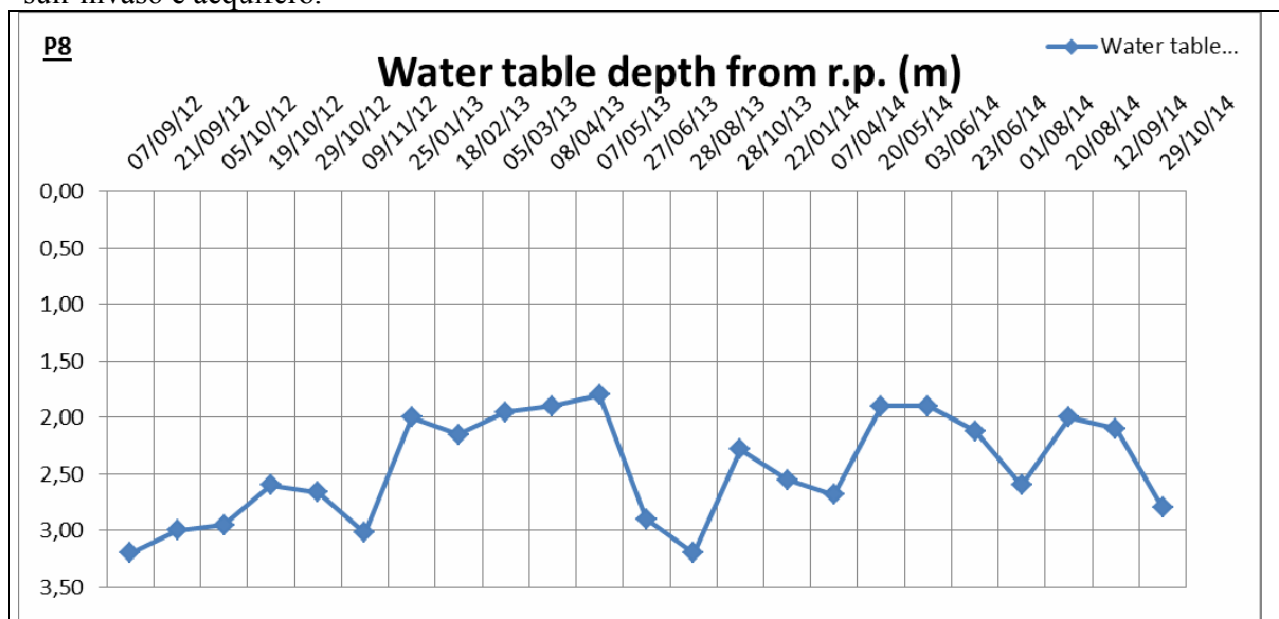


Il monitoraggio dei parametri chimici e chimico-fisici nel pozzo 8 alimentato dall'acquifero confinato attraverso tre filtri posizionati uno alla profondità di 20 metri in modo da indagare il comportamento della sommità dell'acquifero, un secondo filtro posizionato a 35 metri ed infine un terzo filtro ubicato a 45 metri. I dati del monitoraggio restituiti in profili verticali evidenziano importanti variazioni stagionali della temperatura fino a circa 5 metri di profondità che interessano i livelli sedimentari superficiali dopo di che le variazioni di temperatura dipendono solo dalle interazioni fra copri idrici superficiali e profondi.

Nell'estate del 2014 si è proceduto alla ricarica artificiale e non si è verificato l'incremento di salinità osservato negli anni precedenti durante il periodo estivo, mentre un improvviso incremento della salinità agli inizi di settembre indica un istantaneo apporto di acque salate endogene (incremento delle emanazioni radon). Grazie alla ricarica artificiale i lavori di ampliamento dell'invaso che hanno comportato il completamento dell'attività estrattiva non ha prodotto il drenaggio dell'acquifero, I lavori sono terminati a fine agosto. Il monitoraggio ha consentito di verificare che in seguito alla diminuzione dei volumi erogati con la ricarica si è avuto un incremento della conducibilità elettrica non solo nell'invaso ma anche nei corpi acquiferi. Nell'acquifero A1 si osserva non solo una correlazione con la conducibilità elettrica ma anche con il livello piezometrico a conferma che l'invaso di cava deve la sua salinizzazione non solo all'evaporazione ma anche all'interazione con le acque salate dell'acquifero profondo.



Andamento della Conducibilità elettrica e TDS nell'invaso nel periodo di progetto. Il forte miglioramento delle caratteristiche chimico-fisiche nel periodo di maggiore erogazione delle acque di ricarica. Un improvviso incremento della salinità agli inizi di settembre che si accompagna con un rilevante incremento delle emanazioni radon indica una ingressione di acque fossili salate nell'acquifero. Rilevante è la concentrazione di radon riscontrata nell'invaso. Plume che in assenza della ricarica avrebbe avuto conseguenze molto gravi sull'invaso e acquifero.



Molto positivo è stato l'abbassamento della salinità e conducibilità elettrica nel 2014. La temperatura più bassa nell'invaso di ricarica per condizioni climatiche ha giocato un ruolo importante nelle dinamiche di ricarica perché evita come dimostra il monitoraggio che si realizza il forte incremento della salinità per evaporazione. Apportando acque dolci a temperatura meno elevata rispetto all'invaso si riqualificano i corpi idrici superficiali che in questo modo riescono a contrastare l'ingressione di acque salate profonde.

3.6.5 Ricarica e monitoraggio nel Sito di Ponte San Pietro in Copparo

Dal 20 maggio al 20 dicembre 2014 sono stati erogati circa 186.280,00 m³. La ricarica è iniziata il 20 maggio e fino al 16 giugno 2013 sono stati forniti 15 litri al secondo per 27 giorni per cui i volumi erogati circa 34.992 m³. Dal 16 giugno al 25 giugno 2014 sono iniziati i lavori di completamento attività estrattiva e diminuzione della portata per nove giorni a 3 litri con volumi erogati di circa 2.334 m³. Dal 25 giugno fino al 28 di agosto (64 giorni) si è proceduto all'apertura della valvola in modo da fornire 16 litri al secondo ed i volumi erogati sono stati circa 88.473,6 m³; dal 28 agosto fino al 15 settembre apertura al massimo 20 litri al secondo (18 giorni) con volumi erogati di circa 31.104,0 m³. Dal 15 di settembre fino al 22 10 diminuzione afflusso a 6 litri al secondo perché si è osservato un innalzamento del livello in prossimità valore di massimo contenimento e per 37 giorni sono stati erogati circa 19.180,8 m³. Dal 22.10 al 20 dicembre diminuzione aperta al minimo 2 litri al secondo perché vasca piena e in questi 59 giorni ed i volumi erogati 10.195,2 m³.

Nel 2013 e nel 2014 si è proceduto al monitoraggio in continuo dei parametri chimico-fisici e geochimico – idrogeologico delle risorse idriche, prima e dopo la ricarica, ha testimoniato il miglioramento qualitativo e quantitativo nell'invaso e nel sistema multi-acquifero. Sono diminuiti salinità e concentrazioni dei metalli tossico-nocivi.



Bacino di cava durante le varie fasi di ricarica artificiale.

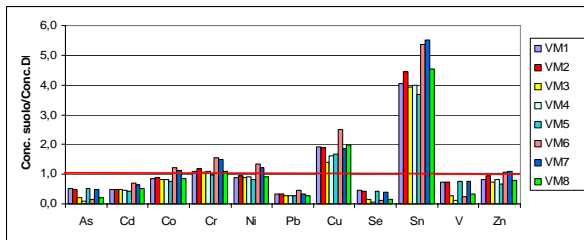
Il monitoraggio e le analisi chimiche prima e dopo la ricarica, ha testimoniato il miglioramento qualitativo e quantitativo nell'invaso e nel sistema multi-acquifero. Sono diminuiti salinità e concentrazioni dei metalli tossico-nocivi.

Risultati

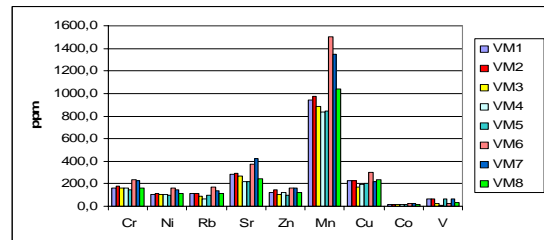
Il progetto WARBO ha confermato l'importanza di ricarica artificiale nella pianificazione territoriale per migliorare la resilienza di scenari futuri secondo l'IPCC. L'utilizzo degli invasi di cava ai fini della ricarica artificiale consente di riqualificare gli acquiferi, contrastando la salinizzazione e contaminazione da metalli tossico nocivi di origine naturale e rappresenta anche un importante strumento di gestione di corpi idrici in aree climaticamente fragili o caratterizzate da risorse fossili nel sottosuolo. L'introduzione della ricarica artificiale produce una variazione di pH, Eh, T°, C.E., Ossigeno disciolto, grado di saturazione dei carbonati e concentrazione dei metalli che possono modificare I parametri di qualità e il grado di interazione acqua roccia .

Analisi chimiche in ICP-MS eseguite oltre che sulle acque su suoli e piante per verificare il trasferimento dei metalli tossico nocivi nel ciclo agroalimentare

Negli analisi chimiche nei suoli i campioni di suolo dell'Area di Copparo in ICP-MS sono stati comparati con le concentrazione degli elementi massima, fissata dal decreto legge n. 152.



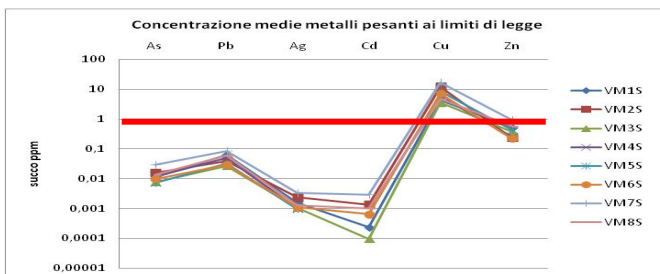
Suoli rapportati ai limiti previsti dal decreto legge n. 152



Analisi dei metalli per verificare trasferimenti dal suolo al grano e succhi di uva, pere e mele

Nei suoli di Copparo si hanno superamenti dei limiti per Co, Cr, Ni, Cu e Sn ed anche per Sn e in alcuni casi per lo Zn. Una concentrazione così alta di Sn è dovuta alle proprietà siderofile di questo elemento che risulta associato a idrossidi di Fe e Al in abbastanza nei suoli di Copparo. La concentrazione di altri micro e macroelementi, che non rientrano nel decreto legge ci dimostra una elevata concentrazione di Mn (da 800 a 1400 ppm) e Sr (da 200 a 400 ppm). Fortunatamente i superamenti dei limiti normativi osservati nei suoli non si hanno per l'uva, le pere e le mele prelevati nelle piante le cui radici erano a contatto con i suoli analizzati nell'area di Copparo.

Per le analisi dei prodotti agroalimentari è stato sviluppato un protocollo di trattamento del campione idoneo a ottenere risultati attendibili su matrici complesse.



Le analisi riportate ai limiti dell' Art.1 del D.M. 29/12/1986 – OIV(2005) – CE 1881/2006 UVE hanno evidenziato che nonostante le alte concentrazioni di Cr, Ni, Co, e V questi metalli hanno basse concentrazioni nei prodotti agroalimentari per cui non sono biodisponibili, mentre superamenti dei limiti normativi si hanno per il Cu e in rari casi per lo Zn.

Analisi chimiche dei gas disciolti nelle acque condotte su 2 campioni grazie ad una collaborazione con INGV Istituto Internazionale di Geofisica e Vulcanologia di acque sono stati determinati i gas disciolti che sugli stessi campioni hanno determinato i principali anioni e cationi, mentre gli elementi in traccia sono stati determinati da UNIFE.

Campione	He (ppmv/v)	Ne (ppmv/v)	H ₂ (ppmv/v)	O ₂ (%v/v)	N ₂ (%v/v)	CH ₄ (ppmv/v)	CH ₄ (%v/v)	CO ₂ (%v/v)	H ₂ S (%v/v)	C ₂ H ₆ (ppmv/v)
Ambrogio 1	6,6	3,6	1,5	3,0	10,4	772819,4	77,3	0,93	0,00	190,62
Ambrogio 2	3,9	1,2	1,1	3,4	12,4	761262,8	76,1	0,90	0,00	181,99

Queste misure e le analisi chimiche hanno permesso di definire i marker che caratterizzano le acque fossili profonde.

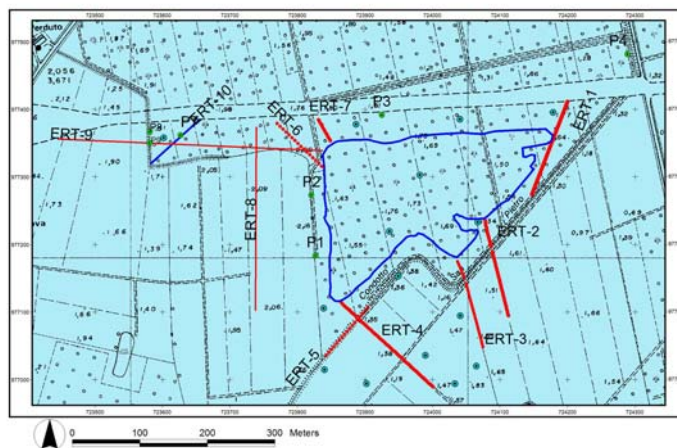
Inoltre sono state eseguite misure delle emissioni radon grazie alla strumentazione portatile rad 7 della Electron radon detector che consente misure in acqua e nel suolo. Da queste analisi è stato possibile verificare una relazione fra emissioni radon e istantanei incrementi della salinità nell'invaso e negli acquiferi di Ponte San Pietro.

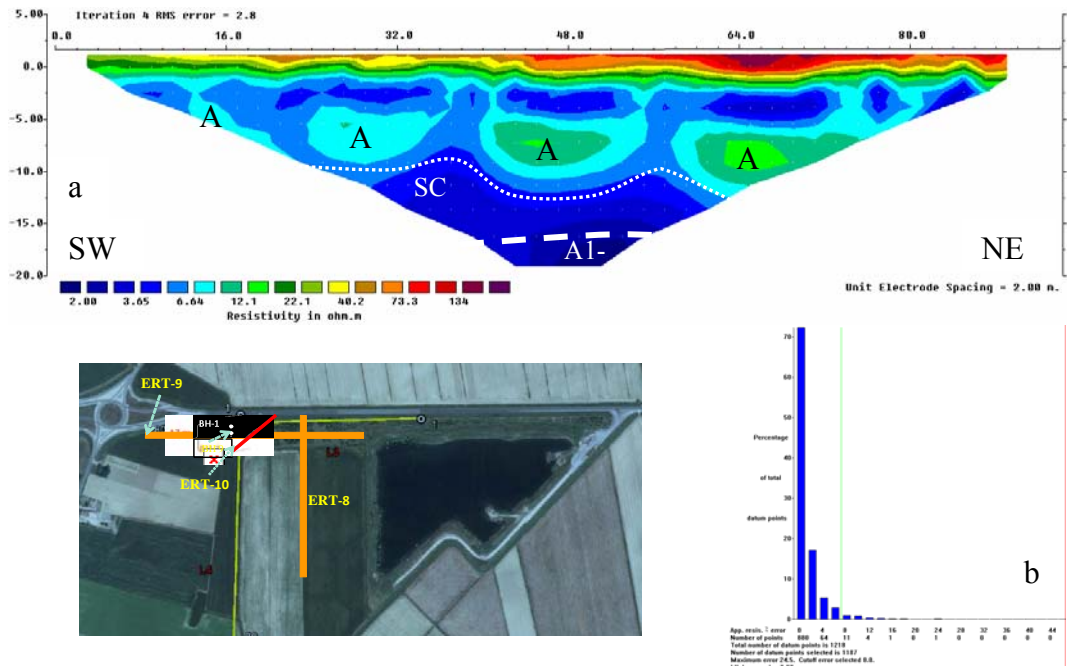
3.6.6 Sondaggi elettrici verticali nel test site di Copparo e Mereto di Tomba

La tomografia elettrica di resistività (Electrical Resistivity Tomography ERT) permette di acquisire informazioni in simultanea in dipendenza della profondità e della distanza orizzontale (Annex 29, 31, 53).

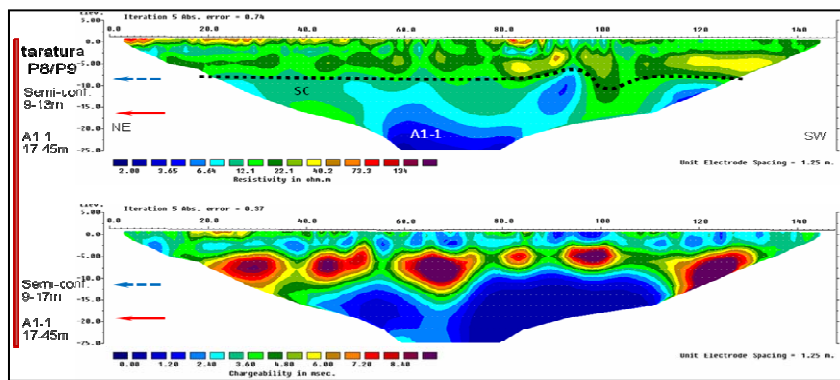
La polarizzazione viene applicata con successo in ricerche idriche per il controllo di inquinamenti di terreni e acquiferi con fluidi organici (idrocarburi) e/o sostanze tossiche e può rilevare variazioni laterali dovute a forti eterogeneità causate p.es. dalla presenza di fratture in seguito al verificarsi del fenomeno della liquefazione oppure a variazione della compattazione dei sedimenti.

Nel test site di Copparo sono stati eseguiti i i profili verticali esplorativi indicati in rosso nella carta topografica ed elencati nella tabella sottostante.

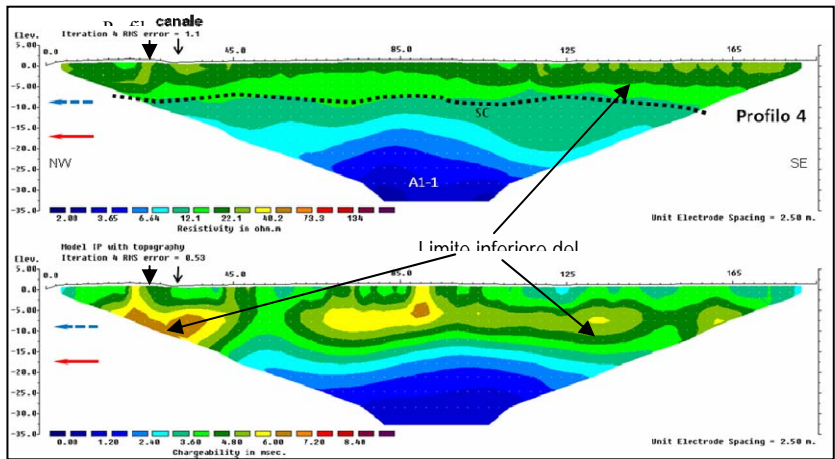




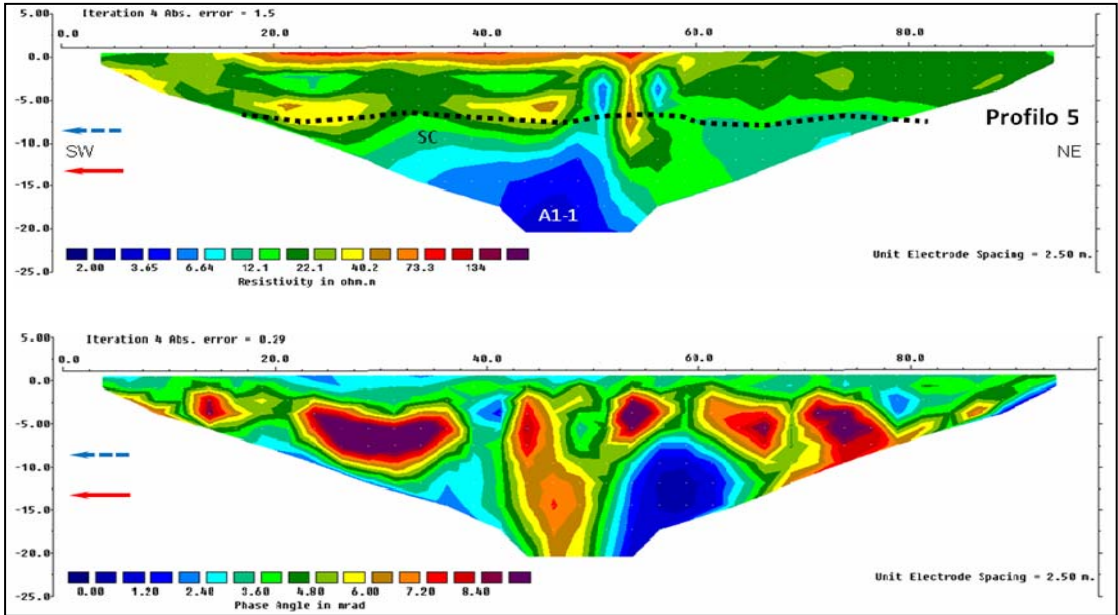
Modello 2D di resistività del profilo ERT-10 acquisito con la strumentazione MP-DAS_1 “USA”. SC: acquifero semi-confinato, A1-1: acquifero.



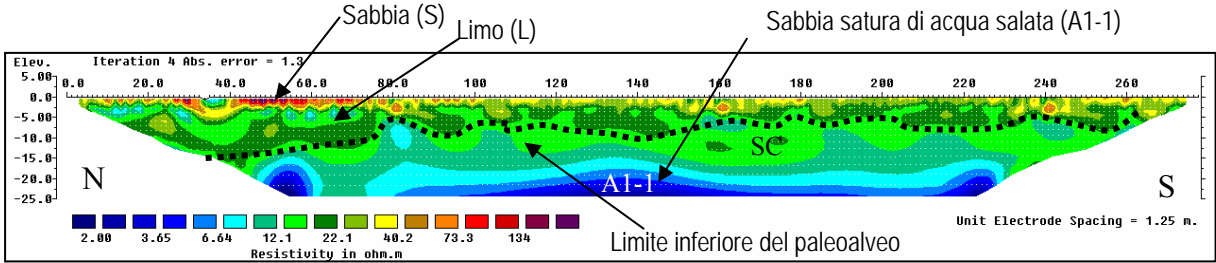
L'acquifero semi-confinato, invece, è caratterizzato da valori bassi di resistività indicando la presenza di acqua salmastra. La base di questo acquifero, riscontrata nel pozzo P8 e associata alla presenza di argilla è caratterizzata da bassi valori di resistività quindi non distinguibile dall'acquifero semi-confinato. Questa limitazione può essere risolta con l'ausilio di misure di caricabilità mediante l'impiego della tecnica della Polarizzazione Indotta.



Modello di resistività 2D del profilo ERT/PI-4 eseguito in direzione NW-SE. Sc: acquifero semi-confinato, A1-1: acquifero saturo di acqua salata. Freccie rosse e blu: limiti acquiferi

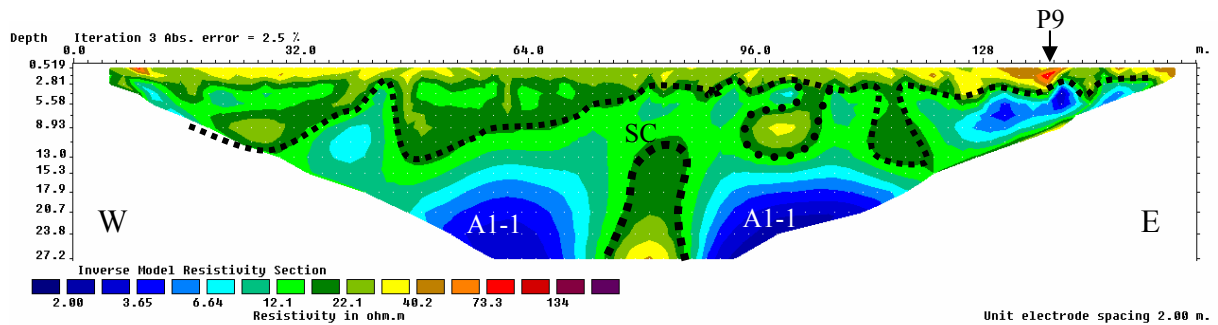


Modello di resistività 2D del profilo ERT/PI-5 eseguito in direzione SW-NE. Sc: acquifero semi-confinato, A1-1: acquifero saturo di acqua salata. Freccie rosse e blu: limiti acquiferi



Profilo N-S . La linea tratteggiata indica il limite inferiore del dosso del paleo alveo dedotto dall'indagine, S: sabbia, L: Limo, C: argilla e Ss: sabbia satura di acqua salata. Sc: acquifero semi-confinato, A1-1: acquifero saturo di acqua salata.

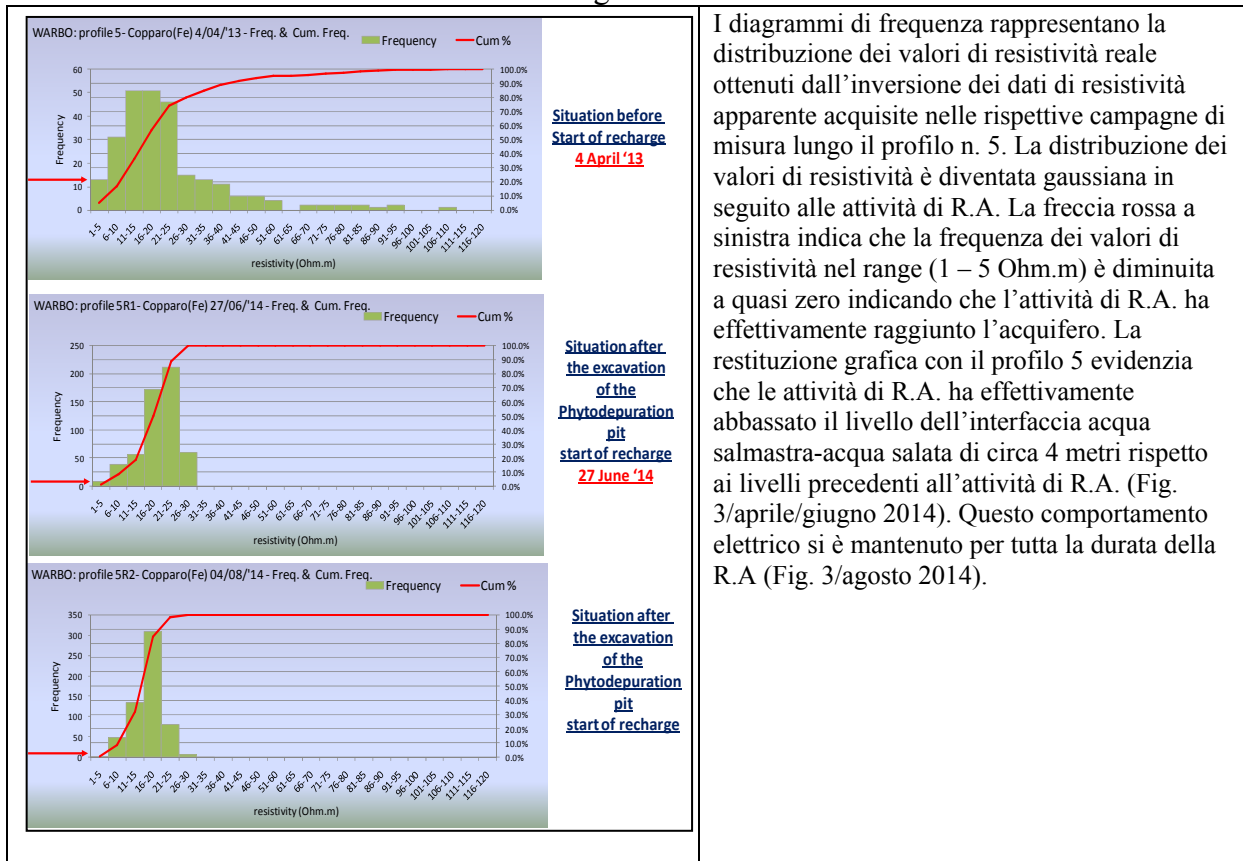
I modelli di resistività supportati dai modelli di polarizzazione indotta confermano la geometria variabile del paleovalve che interessa maggiormente i settori occidentali e meridionali dell'invaso.



Profilo E-W - modello di resistività 2D del profilo ERT-9 Limite irregolare dell'acquifero semi-confinato, A1-1: acquifero saturo di acqua salata.

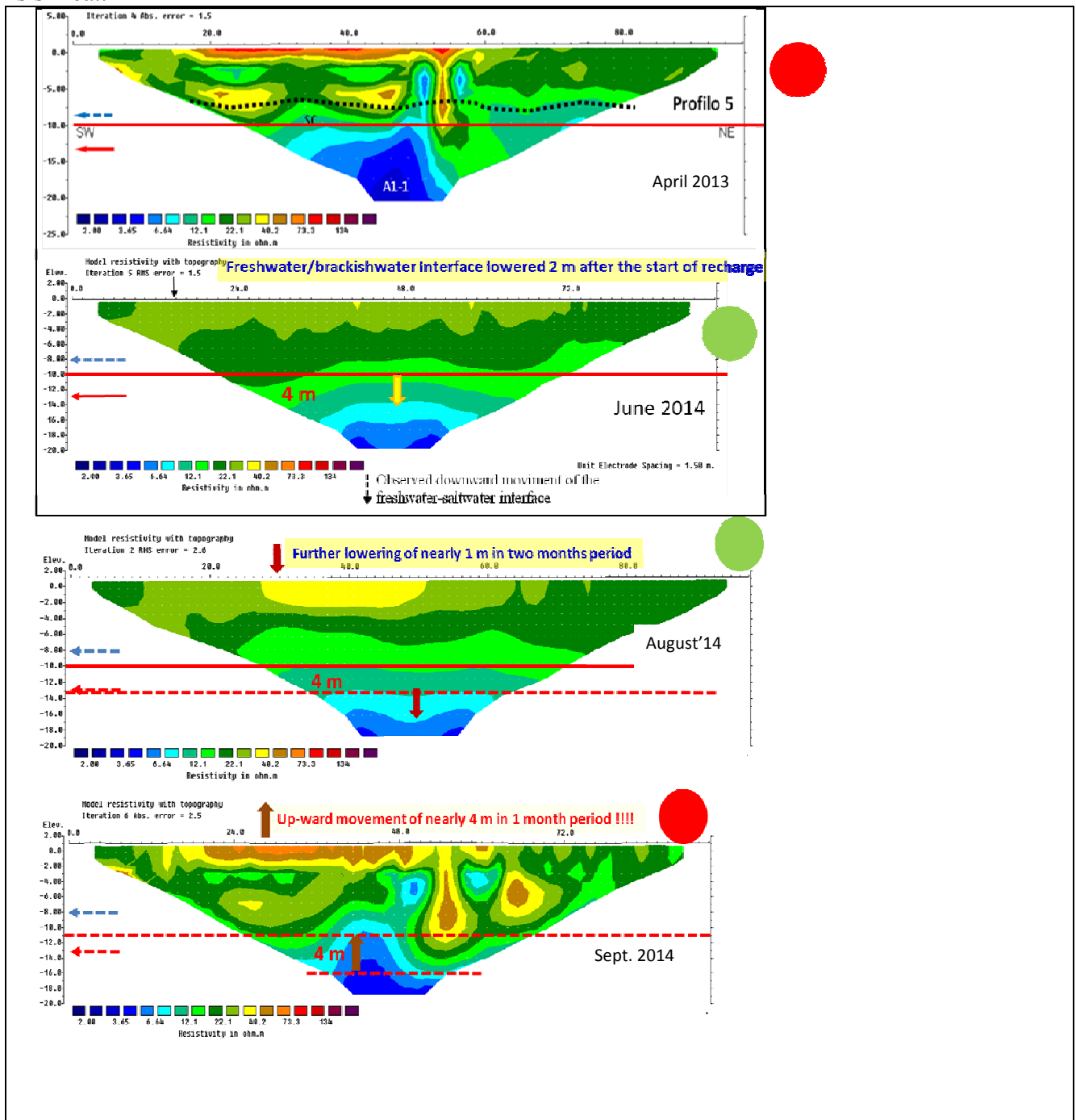
Queste geometrie condizionano gli scambi fra acque superficiali e sotterranee possono influenzare la risalita delle acque salate. Il paleovalve è interessato da salinizzazione e la sua comunicazione idraulica con l'invaso di cava può consentire l'infiltrazione di acqua dolce e quindi il miglioramento delle caratteristiche qualitativo. I profili eseguiti successivamente durante la alla ricarica artificiale hanno infatti dimostrati la migrazione dell'interfaccia acqua dolce salata a tal fine viene illustrato il profilo 5 selezionato perché prossimale all'invaso di fitodepurazione che ha collaborato alle attività di ricarica.

I risultati ottenuti monitoraggio della variazione della resistività elettrica sotto il profilo 5 sono sintetizzati in due formati: numerico e grafico.



I diagrammi di frequenza rappresentano la distribuzione dei valori di resistività reale ottenuti dall'inversione dei dati di resistività apparente acquisite nelle rispettive campagne di misura lungo il profilo n. 5. La distribuzione dei valori di resistività è diventata gaussiana in seguito alle attività di R.A. La freccia rossa a sinistra indica che la frequenza dei valori di resistività nel range (1 – 5 Ohm.m) è diminuita a quasi zero indicando che l'attività di R.A. ha effettivamente raggiunto l'acquifero. La restituzione grafica con il profilo 5 evidenzia che le attività di R.A. ha effettivamente abbassato il livello dell'interfaccia acqua salmastra-acqua salata di circa 4 metri rispetto ai livelli precedenti all'attività di R.A. (Fig. 3/aprile/giugno 2014). Questo comportamento elettrico si è mantenuto per tutta la durata della R.A (Fig. 3/agosto 2014).

Nonostante l'erogazione dell'acqua dagli inizi di settembre si è avuto un forte incremento di salinità che è spiegabile solo con un plume di acque salate fossili che ha avuto subito ricadute negative sul modello elettrico e nel mese di settembre 2014 evidenzia un peggioramento nel senso che il livello dell'interfaccia è risalito di circa 4 metri (Fig. 3/settembre 2014). I risultati raggiunti hanno permesso di fornire indicazioni del tutto indirette e completamente non invasive sulla efficacia della MAR e consente di evidenziare problemi di contaminazione dovuti a cause endogene dato che il sito si trova in corrispondenza di una importante struttura tettonica e quindi il monitoraggio potrebbe essere significativo per verificare la pericolosità sismica..



Modelli di resistività relativi al profilo n. 5 ottenuti dall'inversione dei dati di resistività apparente acquisiti in quattro periodi diversi: aprile 2013, giugno, agosto e settembre 2014. Cerchio verde: fase di abbassamento dell'interfaccia acqua salmastra-acqua salata (in

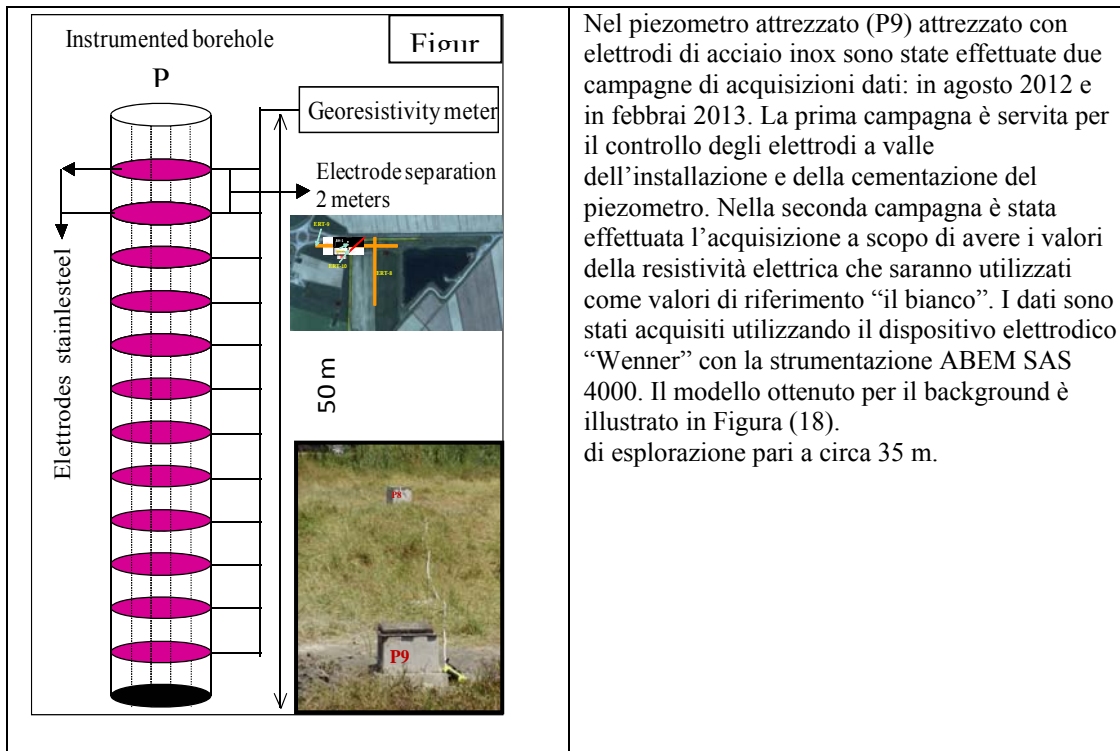
presenza di attività di MAR). Cerchio rosso: fase di risalita dell'interfaccia (assenza di attività di MAR).

3.6.7 Tomografia elettrica di resistività in foro (Borehole Resistivity Tomography)

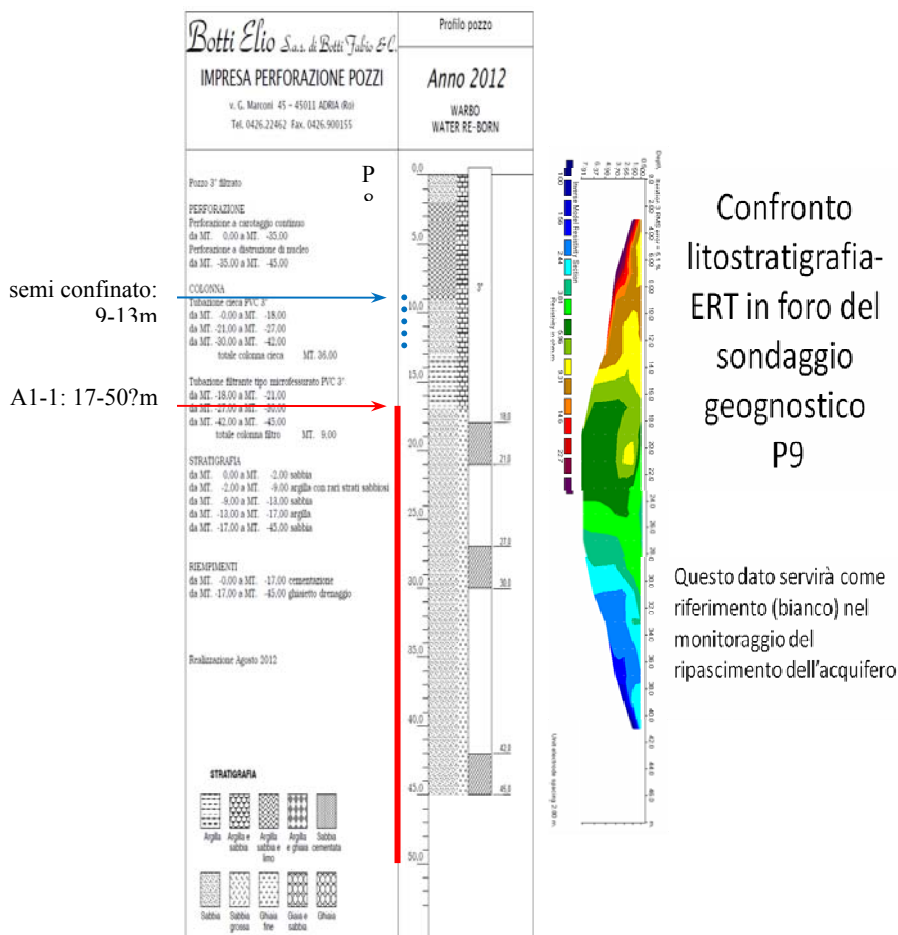
La modalità di acquisizione richiede la disposizione di elettrodi lungo un tubo di plastica connessi alla superficie attraverso un cavo multipolare a sua volta collegato al georesistivimetro per l'acquisizione dati. I vantaggi dell'impiego di questa tecnica sono così sintetizzabili. Questa metodologia è stata sperimentata per il test site al fine di abbassare i costi e tempi di acquisizione e quindi consentire un monitoraggio nel tempo (Annex 22).



Gli elettrodi sono fissi pertanto permettono di riacquisire le informazioni senza errori di posizione, non vi è perdita di risoluzione ed infine il sistema può essere facilmente integrato se necessario, con elettrodi di superficie per incrementare il volume di terreno monitorato.



modello di resistività lungo il piezometro "P9" riferito al periodo febbraio 2013. A sinistra il confronto con la litostratigrafia del piezometro "P8" effettuato a carotaggio continuo.



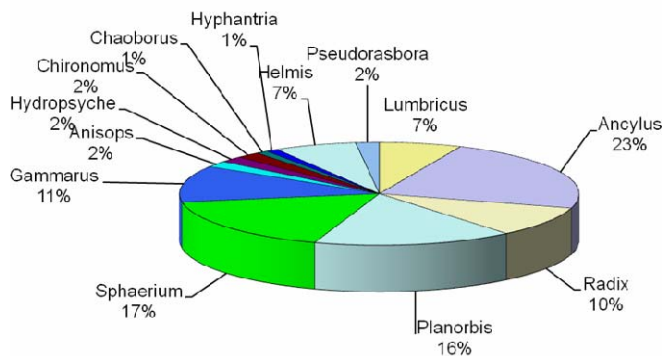
Risultati

I dati di resistività apparente e di caricabilità apparente (Fase e M_a) sono stati elaborati mediante algoritmo ad elementi finiti, basato sul concetto di inversione di OCAM'S (Oldenburg, 1994), implementato nel software Res2dinv (Geotomo, 2011)

Il modello di resistività ottenuto dall'inversione bi-dimensionali dei dati del profilo ERT-10 è riportato in Figure. L'analisi di tale modello evidenzia una successione di elettro-strati conduttivi e resistivi fino alla profondità di 9 metri dal p.c. Questa alternanza è da associare alla presenza dell'acquifero freatico. I valori di resistività indicano che l'acquifero è interessato dal processo di salinizzazione.

3.6.8 Risposta biologica del sistema di ricarica artificiale e impianto di fitodepurazione

Sono state monitorate le comunità di macroinvertebrati acquatici e degli insetti volatori per definire la risposta delle comunità animali alle variazioni ambientali indotte dalle attività di riqualificazione con la ricarica artificiale e mettendo in relazione i dati biologici con le caratteristiche fisico-chimiche del suolo e delle risorse idriche dei siti nei tre siti test: Impianto di fitodepurazione di Ponte Rosso (area industriale a San Vito in Tagliamento Pordenone), bacino di cava di Ponte San Pietro (Copparo, Ferrara, Italia) e bacino di infiltrazione di Mereto di Tomba (Udine) (Annex 47).



Dal calcolo degli indici biotici si sono rilevate comunità più ricche e diversificate a Ponte Rosso e Mereto, mentre a Copparo, i primi campionamenti evidenziano una comunità meno ricca e diversificata. Alcune specie rinvenute a Ponte Rosso erano bioindicatori (Fig. 1) di acque di buona qualità. Alcune specie erano presenti in tutti i prelievi effettuati, mentre altre mostravano una spiccata stagionalità.

Fig. 1. Ponte Rosso: 13 taxa, dei quali sei sono importanti organismi bioindicatori.

Una delle criticità emerse nei tre siti test è l'impatto negativo dello stress termico su diversità e abbondanza di specie termosensibili. Questo problema è emerso in particolare nel 2013 in Friuli, mentre le condizioni climatiche più miti che hanno caratterizzato il 2014 in Friuli e, soprattutto, in Emilia Romagna hanno consentito un rapido sviluppo della piantumazione a canneto nella vasca di fitodepurazione dove si è osservato anche la colonizzazione da parte di specie animali autoctone che, grazie al flusso delle acque irrigue erogate per la ricarica artificiale nell'invaso di Ponte San Pietro, hanno trovato l'ambiente ideale per la loro riproduzione. L'alimentazione dell'invaso con le acque di ricarica ha abbassato la salinità e, soprattutto nell'area più prossimale al condotto di alimentazione, ha favorito l'afflusso nell'invaso di varie specie acquatiche che vivono nel territorio fra cui tartarughe, pesci e rane. Sulla base dell'esperienza maturata nell'applicazione del protocollo, per mitigare il surriscaldamento degli invasi, con conseguenti ripercussioni negative sulle comunità animali,

viene suggerita la piantumazione, sulle rive dei canali di alimentazione e dell'impianto di fitodepurazione, con essenze autoctone a crescita rapida che possono consentire la messa in posto di habitat adatti all'insediamento di specie di avifauna stanziale e migratoria (Fig. 2).



Fig. 2. Avifauna migratoria a Copparo

I risultati relativi alla verifica della risposta biologica in relazione ai dati ottenuti dal monitoraggio geochimico e geoelettrico del sistema di ricarica vengono illustrati solo per il sito test di Ponte San Pietro a Copparo dove l'invaso di infiltrazione ha caratteristiche dimensionali tali da consentire la messa in posto di habitat sensibili, in maniera speditiva, alle variazioni ambientali indotte dalla ricarica. Nella pianura padana ad eccezione della sola area del Parco del Delta del Po tutti i comuni hanno aree estrattive e nella Regione Emilia Romagna sono presenti 340 comuni a cui corrispondono altrettanti distretti estrattivi che possono ospitare varie cave.

Nei territori di pianura si estraggono principalmente ghiaie e sabbie per inerti e le aree estrattive sono ubicate prevalentemente in terreni privati situati nelle fasce laterali dei corsi d'acqua. Questa ubicazione consente il rapido riempimento delle cave per emungimento della falda alimentata, spesso in subalveo, dai corsi d'acqua ad esse prossimali. Queste condizioni fanno sì che le cave rappresentino aree di elevata vulnerabilità per gli acquiferi e terminata l'attività estrattiva si hanno gravi problemi di gestione poiché non sono più economicamente vantaggiose, tendono ad essere abbandonate e, in assenza di controlli, rischiano di diventare discariche abusive di rifiuti.

Uno degli obiettivi principali del progetto WARBO è trovare soluzioni sostenibili per la gestione delle aree estrattive dismesse oltre a far emergere il loro potenziale valore ecologico-conservazionistico e l'eventuale ruolo che gli invasi possono rivestire nella gestione del territorio con ricadute a scala regionale ed Europea. La quasi totalità delle cave sono corpi isolati che deprimono gli acquiferi, i quali, nel tempo, tendono a salinizzarsi per evaporazione. Le conseguenze ecologiche della salinizzazione sono la scomparsa delle specie dulciacquicole ed un aumento delle specie alofile, con conseguente diminuzione della fertilità dei suoli agricoli che insistono nell'intorno delle cave stesse.

Nell'ambito del progetto si è proceduto all'analisi della biodiversità con la ricerca di specie che potessero fungere da bioindicatori in modo da poter determinare le caratteristiche degli ecosistemi in relazione al monitoraggio geochimico e geoelettrico che, grazie alla mappatura delle caratteristiche del suolo, della falda epidermica e del sistema acquifero, possano

consentire, sulla base di semplici indici biotici, correlazioni con lo stato dell'ambiente chimico-fisico.

Per studiare le comunità animali sono state applicate due diverse metodologie: lo studio dei macroinvertebrati acquatici mediante la loro raccolta sul fondo di canali ed invasi grazie alla rete di Surber e la raccolta di artropodi terrestri mediante la trappola di Malaise, con particolare attenzione ai ditteri Silfidi.



Fig 3. Punti di campionamento a Copparo. b. Filtrazione. c. Stereomicroscopio per la determinazione

La comunità di artropodi terrestri è stata campionata con una trappola di Malaise standard, collegata, nella parte alta, ad un Kartell di raccolta contenente glicole polietilenico.

Le indagini sono state effettuate nel 2012 e nel 2013 a Mereto di Tomba, Ponte Rosso e Copparo e, limitatamente al 2014, dopo la realizzazione della vasca di fitodepurazione e durante la ricarica, a Copparo sono state ripetute le analisi, per avere a disposizione i dati prima e dopo la MAR.

Entrambe le metodiche hanno necessitato di osservazioni per la determinazione delle specie e loro conteggio che sono state eseguite allo stereomicroscopio Leica Zoom 2000 equipaggiato con una Canon PC1099. Le determinazioni tassonomiche sono state condotte grazie a chiavi dicotomiche e testi specializzati. Sui dati degli organismi raccolti con rete di Surber e con trappola di Malaise sono stati calcolati i seguenti indici biotici: indice di Shannon-Wiener (ricchezza in specie); Indice di Pielou (Equitabilità) ed Indice di Margalef (diversità specifica).

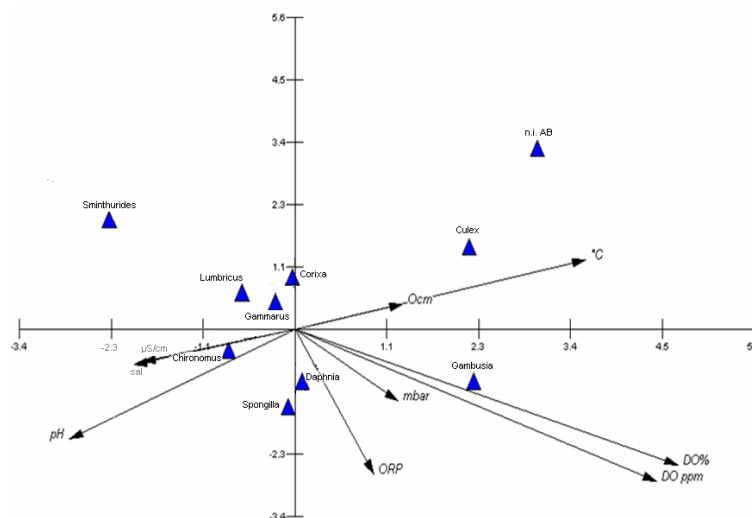


Fig. 4. Distribuzione dell'anfipode *G. pulex*.

Nella cava di Ponte San Pietro il campionamento eseguiti con la trappola di Malaise prima della realizzazione della vasca di fitodepurazione e della RA aveva mostrato una comunità poco ricca e diversifica, composta quasi esclusivamente da ditteri e lepidotteri. Dopo la realizzazione della RA le indagini condotte con lo stesso metodo hanno messo in evidenza numerosi taxa, alcuni dei quali con caratteristiche di bioindicatori, tra cui almeno 5 specie di sirfidi, come *Eupeodes luniger*, *E. latifasciatus*, *Sphaerophoria scripta* ed altri, con un aumento consistente dei valori degli indici biotici, come viene mostrato in Tabella 2.

	Mereto	Ponte Rosso	Copparo	Copparo 2014
Indice di Shannon (H')	2,59	2,36	1,73	4,18
Indice di Pielou (J')	0,9	0,82	0,89	0,83
Indice di Margalef (d)	4,64	4,39	2,04	6,72

Tabella 2. Confronto degli indici biotici ottenuti sui dati degli organismi raccolti mediante trappola di Malaise nei tre siti.

Discussione e conclusioni

Tra i taxa della cava di Copparo i bioindicatori più abbondanti sono i crostacei *Daphnia pulex* e *Gammarus pulex*. Questo dato può essere considerato positivo per il breve periodo di vita dell'invaso di cava (realizzato nel 2007) e perché solitamente gli invasi derivanti da cave dismesse mostrano un ambiente di bassa qualità, soprattutto a causa dell'elevata salinità, fenomeno che si manifesta nel tempo con cicli di concentrazione dei Sali per evaporazione, durante i periodi estivi. Nessuna differenza significativa nella composizione delle specie è stata individuata tra i quattro siti di campionamento ed inoltre la comunità mostra una bassa biodiversità, probabilmente perché la cava è un habitat piuttosto recente. Alcuni taxa sono molto abbondanti mentre altri sono apparentemente indipendenti dalle variazioni locali dei parametri fisico-chimici e la loro numerosità sembra piuttosto correlabile ai cambiamenti stagionali. Questi risultati e la constatazione di una specie di acqua dolce sensibile, come *Spongilla lacustris*, supportano l'ipotesi che l'intrusione di acqua salata non abbia ancora influenzato in modo significativo la comunità e quindi la ricarica artificiale, apportando acque dolci di buona qualità, relativamente al periodo estivo, meno calde rispetto all'invaso, può favorire un incremento della biodiversità con l'aumento di specie sensibili.

La fauna ad artropodi terrestri è caratterizzata inizialmente da un basso livello di biodiversità ma ha mostrato un incremento sia nel numero di specie sia nella loro tipologia evidenziando taxa bioindicatori, questo forse può essere correlato all'importante miglioramento della falda epidermica, messo in evidenza dalle indagini geoelettriche e geochimiche, che hanno dimostrato come l'interfaccia acqua dolce – salmastra sia migrata verso il basso nel periodo di ricarica. Data l'influenza che la salinità del suolo e della falda epidermica ha sugli organismi che per parte della loro vita vivono nel suolo, per il prossimo ciclo stagionale si prevedono chiari miglioramenti nelle specie terrestri insediate.

Per migliorare la qualità della falda acquifera è stata realizzato un piccolo invaso di fitodepurazione, che si è scelto di effettuare con metodi tradizionali, tramite impianto di un canneto, attraverso la piantumazione di *Phragmites communis*, per la rapidità di crescita, integrandolo però con metodologie più innovative ad esempio con l'impianto di *Typha latifolia* associata alla piantumazione di alberi locali in rapida crescita come *Salix rubra* e *S.*

alba, che potranno esprimere il loro potenziale nei prossimi anni.

Il grado di biodiversità rilevata nella cava Copparo permette di formulare ipotesi per scenari positivi nel lungo periodo in quanto la ricarica artificiale realizzata con il progetto WARBO garantisce il miglioramento della qualità dell'acqua non solo nell'invaso ma anche nella falda epidermica. L'Università di Ferrara ed il Comune di Copparo continueranno le attività di monitoraggio intraprese con il progetto WARBO anche dopo la fine del progetto per valutare gli effetti sul lungo periodo non solo nell'invaso ma anche nei terreni agricoli limitrofi.

5.1.3.7 ACTION 8: TGRA (rilevamento termometrico integrato per la ricarica artificiale): sistema innovativo per il monitoraggio in continuo dell'efficienza dell'infiltrazione e qualità delle acque

3.7.1 Azioni

Il tema principale era l'applicazione congiunta di metodologie geoelettriche tomografiche e termografiche per il monitoraggio dell'infiltrazione dell'acqua nel terreno, verificandone vantaggi e potenzialità di applicazione, ciò è stato possibile attraverso l'utilizzo di un sistema costituito da:

- Sistema di acquisizione dati geoelettrici tomografici;
- Termocamera;
- Sistema Wi-Fi+Tablet Android;
- Organizzazione/Elaborazione dati;
- Rendering-Modellizzazione.

3.7.2 Attività

Realizzazione di un sistema intelligente TGRA Rilievo termometrico integrato da misure geofisiche (thermometric surveying integrated by geophysical measurements) di dialogo fra i dati termometrici, chimico-fisici e geofisici per il monitoraggio delle oscillazioni del livello piezometrico della falda superficiale e restituzione delle oscillazioni 2D e 3D:

Nelle aree test sono stati realizzati i modelli del sottosuolo mediante colonne (Soil Model Columns) con un'altezza di 3-4 metri ed un diametro di circa 500 mm; essi avranno lo scopo di fornire il supporto alla modellizzazione e calibrazione dei metodi indiretti, fornendo il comportamento della percolazione/ infiltrazioni e le eventuali reazioni chimico-fisiche del sottosuolo.

Nei mesi di dicembre 2013 e marzo 2014, con notevole ritardo rispetto a i tempi previsti a causa di problemi burocratici legati ai permessi di ravvenamento della vasca del sito test di Mereto di Tomba (Prov. di Udine) e di Copparo (Prov. di Ferrara), sono iniziati i test di investigazione termografica e geoelettrica tomografica.

I test sono stati effettuati durante le fasi di immissione di acqua rispettivamente nella vasca di ravvenamento di Mereto e nella vasca di fito-depurazione di Copparo.

- *Sito di Mereto di Tomba (Prov. di Udine)*

Il riempimento della vasca è iniziato con una portata di circa 250 mc/ora in data 19 marzo alle ore 10.00 e si è protratto fino alle ore 16.00 raggiungendo un livello di 55 cm misurato dal fondo vasca. Nei giorni successivi sono stati effettuati vari riempimenti e svuotamenti della vasca al fine di testare i sistemi di misura.

I test di misure geoelettriche tomografiche e i test termografici sono iniziati alle ore 10.00 a vasca vuota e sono proseguiti con cadenza oraria per una durata di 24 ore.

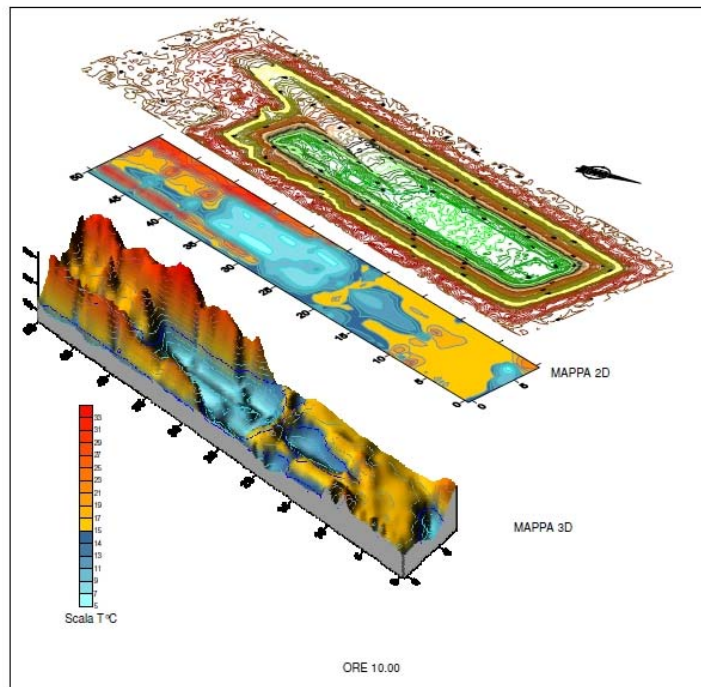
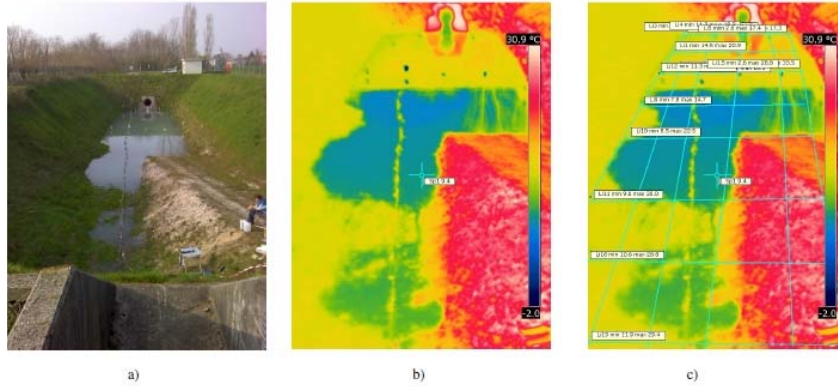
Le misure geoelettriche tomografiche sono state effettuate con uno stendimento di 50 m nel fondo vasca, a causa dello spazio limitato, e uno stendimento di 154 m nel bordo vasca, le misure termografiche sono state effettuate da una posizione in grado di coprire tutta la vasca. Nel mese di aprile 2013 sono state realizzate n. 03 colonne di monitoraggio (Soil Model Columns) e in seguito, nel dicembre 2013 sono state posizionate nel sito di Mereto di Tomba e nel gennaio del 2014 è iniziata la campagna di monitoraggio delle acque.

- *Sito di Copparo (Prov di Ferrara)*
I test nel sito di Copparo (Prov. di Ferrara), data la differente tipologia, erano invece finalizzati all'applicazione della termografia per verificare l'estensione della propagazione del plume dell'acqua in ingresso nella vasca di fitodepurazione e successivamente da questa all'interno del lago. Grazie alla differenza di temperatura delle acque nei tre elementi, canale, vasca di fitodepurazione e lago, è stato possibile osservare l'intero processo di propagazione e mescolamento delle acque da un'unità all'altra.
Dall'elaborazione dei dati geoelettrici e termografici è stato prodotto un manuale guida per le applicazioni del sistema TRGA (rilevamento termometrico integrato per la ricarica artificiale) (Allegato 4 - Manuale del sistema TRGA (rilevamento termometrico integrato per la ricarica artificiale)).

Risultati

L'applicazione congiunta dei metodi NDT termici e geoelettrici tomografici ha lo scopo di investigare con elevato dettaglio il comportamento delle acque nei primi metri del sottosuolo e soprattutto di evidenziare le relazioni tra la contrazione dell'areale superficiale infiltrazione e l'avanzamento in profondità. Lo sviluppo di un approccio integrato termografia – geoelettrica con trasmissione dati in remoto, di diversi tipi di modellizzazione e di un manuale per l'esecuzione delle indagini permetterà una ampia applicazione del metodo TGRA ad altri siti e per lo studio di altre problematiche quali irrigazioni, perdite da invasi, misure di permeabilità superficiale. Le Soil Model Columns, forniranno dati sul comportamento della percolazione/ infiltrazioni e le eventuali reazioni chimico-fisiche del sottosuolo.

Tutti i risultati previsti sono stati raggiunti, il metodo TGRA ha mostrato la sua piena applicabilità anche oltre le previsioni, fornendo eccellenti modelli della percolazione nel sottosuolo in relazione alla saturazione e drenaggio del fondo vasca. La configurazione strumentale è stata ottimizzata per lo scopo e sono stati sviluppati protocolli di indagine per le misure congiunte geoelettriche e termografiche. Le prime sono anche state impiegate con elettrodi sommergibili da impiegarsi a fondo vasca o fondo canale per ovviare ai problemi derivanti dal riempimento della vasca con possibile sommersione degli elettrodi standard. Questo ha permesso anche di valutare eventuali perdite dal canale limitrofo (Mereto) e troverà applicazione, con minime modifiche, in altri campi quali canali di irrigazione, condotti fognari, fondi di discariche. La termografia oltre ad avere fornito ottimi risultati per la definizione delle aree superficiali sature e successivamente drenate (Mereto), ha anche mostrato di poter essere utilizzata per evidenziare il processo di miscelazione tra diverse acque (Copparo) basandosi sulle differenze di temperatura. Le uniche limitazioni sono state in termini di profondità di indagine nel sito di Mereto a causa dei limitati spazi disponibili per gli stendimenti geoelettrici, questo è tuttavia irrilevante per quanto attiene all'applicabilità del metodo poiché le estrapolazioni fatte mostrano che 80 elettrodi con spaziatura 4 metri, quindi ben al di sotto delle possibilità della strumentazione, sarebbero stati sufficienti a raggiungere profondità di oltre 50 metri. Le colonne sono state realizzate secondo i criteri previsti ed il modello sarà ripetibile anche in altri contesti. Nel complesso l'approccio TGRA si è dimostrato molto efficace ed anche i commenti ricevuti dalla comunità scientifica e nel corso della Summer School of Geophysics di Lisbona sono stati estremamente positivi e le applicazioni hanno suscitato molto interesse (Annex 28, 38, 55, 56).



Modelli termometrici.

5.1.3.8 ACTION 9: Applicazione di tecnologie innovative per la esecuzione e gestione dei pozzi di ricarica

3.8.1 Azione

In tutti i progetti di ricarica mediante infiltrazione di acqua attraverso pozzi il problema ricorrente è il loro intasamento e la durata negli anni. Abbiamo studiato e costruito un pozzo che ha dato ottimi risultati di efficienza nel tempo. Oltre a questo studio sono stati necessari altri pozzi di tipo tradizionale per poter eseguire le verifiche e prove effettuate dagli altri partner (Annex 34, 39).

Nella fase iniziale abbiamo partecipato alle riunioni e abbiamo studiato tutta la documentazione fornitaci dai partner. Gli studi sono serviti a produrre un modello teorico di pozzo che dia grandi risultati di affidabilità nel tempo applicato ai diversi acquiferi, infatti la localizzazione degli interventi è disposta in 3 aree diverse con problematiche e stratigrafie estremamente diseguali.

Durante il periodo di preparazione abbiamo eseguito un pozzo sperimentale presso la sede della ns azienda, per monitorare in condizioni veramente negative con continuità il nostro progetto sperimentale. La ns sede è situata sotto il livello del medio mare, le falde superficiali sono spesso salate e di tipo sabbioso-limoso.

Ci siamo concentrati sull'aspetto pulizia di acqua immessa. Il maggior problema di un pozzo di reimmissione in terreni fini non è dato dalla capacità di ricevere acqua dell'acquifero che è in grado di ricevere quanto è in grado di dare, bensì dal tipo di filtro. L'acqua di reimmissione spesso contiene elementi che ossigenati o scaldati aumentano le dimensioni creando sulla superficie delle tubazioni un velo o a volte anche delle apparenti colonie minerali. Queste formazioni gradatamente rallentano il flusso d'ingresso fino a fermarlo completamente in poco tempo.

In terreni con acquiferi di ghiaie con forti permeabilità questa problematica non esiste o si sente in maniera molto minore, le "fessure dei filtri" sono molto più grosse e i passaggi sono difficili da ostruire.

I modelli che abbiamo preparato corrispondono a pozzi che lavorano al contrario di come funzionano i pozzi di emungimento.

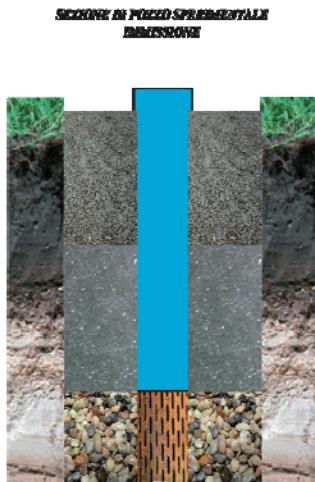
La tubazione del pozzo deve essere come un pozzo normale con superfici filtranti nella parte permeabile e cieche nella parte con l'argilla. Il tipo di superficie filtrante è stato scelto in funzione delle caratteristiche dell'acquifero, verificata mediante campionamenti prima dell'esecuzione del pozzo.

Il riempimento del perforo invece è stata eseguito in maniera estremamente accurata, in corrispondenza delle superfici filtranti va del dreno siliceo arrotondato e grossolano tipo "pisello" 5-8 in terreni fini come nel nostro caso, al di sopra un dreno calibrato con sfere di vetro e in sommità sabbia fine di fiume.

L'acqua di reimmissione non va all'interno della tubazione ma all'esterno, la sabbia di fiume laverà le prime impurità, il dreno in sfere di vetro favorisce il passaggio dell'acqua evitando la costruzione di ponti di impurità e rimanendo pulito e liscio nel tempo, il dreno grossolano inferiore favorisce l'ingresso di acqua pulita in falda. Il tubo centrale ha lo scopo di effettuare un controlavaggio qualora il dreno dovesse nel tempo intasarsi.

Questo tipo di pozzo realizzato in "laboratorio" ha dato ottimi risultati nel tempo, mantenendo la portata di immissione pressochè invariata nel periodo invernale in cui è stato provato.

Abbiamo potuto appurare che più è larga la parte superiore maggiore è la durata del tempo.



Pozzi:

Copparo FE : n° 5 pozzi superficiali (tra m.-12 e m.-20) e n°2 pozzi profondi a m.-50

Mereto UD : n° 8 pozzi di cui 3 superficiali (tra m.-7 e m.-15)

In tutti i pozzi sono state eseguite prove di portata per verificarne l'efficienza.

3.8.2 Prelievo di carote indisturbate mediante perforazione

Per la realizzazione dei pozzi piezometrici sono state adottando due metodologie di indagine



Perforazione del pozzo 8 e pozzo 9. Sistema di perforazione adottato per il recupero delle carote

- a) Perforazione a rotazione con carotaggio che ha consentito il recupero della carota adottando un sistema che consente di non contaminare la carota con il fluido di perforazione. Questo sistema complesso adottato per i primo trentacinque metri ha consentito di ottimizzare il sistema di perforazione con l'utilizzo dell'utensile di taglio più adatto alla presenza di sabbie sciolte alternate a argille coesive.



Inserimento delle camicie nel pozzo 8 eseguito nel settore nord occidentale dell'area test e che ha raggiunto l'acquifero confinato A1.



Perforazione a rotazione con distruzione di nucleo. Questo sistema permette di riconoscere la stratigrafia ma il campione è contaminato con i fanghi di perforazione per cui è possibile recuperare la frazione sabbiosa solo ai fini della descrizione della litologia ma le analisi chimiche sono qualitative. La ditta Botti ha eseguito perforazioni con carotaggio continuo nel pozzo P8 del sito di Ponte San Pietro a Copparo che hanno consentito il prelievo di carote indisturbate mentre per l'installazione degli altri piezometri sono stati installati i piezometri mediante carotaggi a distruzione di nucleo. In tutti i casi sono stati prelevati campioni ma solo i campioni a carotaggio continuo sono stati interessati da tutto il ciclo di analisi.

Perforazione dei pozzi piezometrici nell'acquifero confinato A0 eseguiti nel settore Nord est dell'Invaso di Ponte San Pietro.

5.1.3.9 ACTION 10: Supporto idrogeologico

Under action 10, several activities were carried in order to enhance the knowledge on the local hydrogeology. Also, some support was granted to the other actions by suggesting guidelines for hydrological investigation and monitoring. An assessment on the monitoring results was carried out and a conceptual model for each test site was drafted and calibrated according to the observed results in order to explain the groundwater flow.

The first activity carried out, was a collection of geological and hydrogeological bibliography and cartography, with the support of partners of University of Udine and University of Ferrara. During the duration of the project several field trips to the test sites were organized with different purposes, and were often preceded with a small report with recommendations for the next activities. This way it was possible to deliver a relatively regular support. Field trips were fundamental for the terrain understanding, data gathering and to discuss the problems with other partners.

After achieving the understanding of the regional geological and hydrogeological background, a set of hydrogeological tests was recommended and its results were interpreted under this action. With the experimental data several analytical simulations, with sensibility analysis, were carried out, recharge rates were calculated and the influence area of the recharge structures was estimated.

Mereto di Tomba

An evaluation on the long term piezometer data was carried out in the Mereto di Tomba region – Alta Pianura Friuliana, left side of the Tagliamento River. As expected the results show a long term and systematic lowering of the piezometric levels, not followed by the evolution in the precipitation. Without surprise, the levels drop from north to south, according to the gradient, and West to East, as the influence of Tagliamento becomes lower. The evolution of levels shows a seasonal variation, but hardly follows a uniform pattern, with fluctuations in the yearly amplitudes and peaks always in different months. The degree of influence of the precipitation or the Tagliamento flow is still unclear, as we lack data from the hydrometric stations. However, it is safe to affirm that the river influence in the aquifer recharge in the Mereto test site is minimal.

For the estimation of hydrogeological properties of the vadose zone a sample of soil was collected in Mereto and interpreted with the Hazen Formula (1892, 1911) and a permeability of $2,3 \cdot 10^{-4}$ m/s was estimated which was consistent with the one estimated in a small infiltration test carried out at the bottom of the pond ($1,5 \cdot 10^{-4}$ m/s).

This result was used to calculate the infiltration ratio with the Green-Ampt equation (1911) which was estimated in 118 l/s in stabilized conditions, if the water head is kept on its maximum. This figure was off course, highly dependent on permeability, and, although the pond never operates at its maximum capacity, the following recharge experiments showed that this figure was largely overestimated. This calculation disregarded the presence of a perched aquifer, meanwhile discovered.

As for the aquifer characteristics, additionally pumping tests were recommended in order to further tune this model. Pumping tests specifications were delivered to all partners. The pumping test carried out was not as conclusive as expected, since no drawdown was registered in the nearby observation piezometer (8 m distant). This is probably a cause of the low power of the pump (conditioned by the piezometer diameter) and the aquifer high

transmissivity. However, a quick analysis through the steady state mode (Logan approach, through the specific capacity) indicates a transmissivity of 731 m²/d ($8,5 \cdot 10^{-3}$ m²/s) and a permeability of 36,5 m/d or $4,2 \cdot 10^{-4}$ m/s.

Those data were used in a preliminary simulation. Todd, Jacob-Bears and Wyssling formulas for groundwater flow were used to estimate the influence area, the results are presented in figure 1.

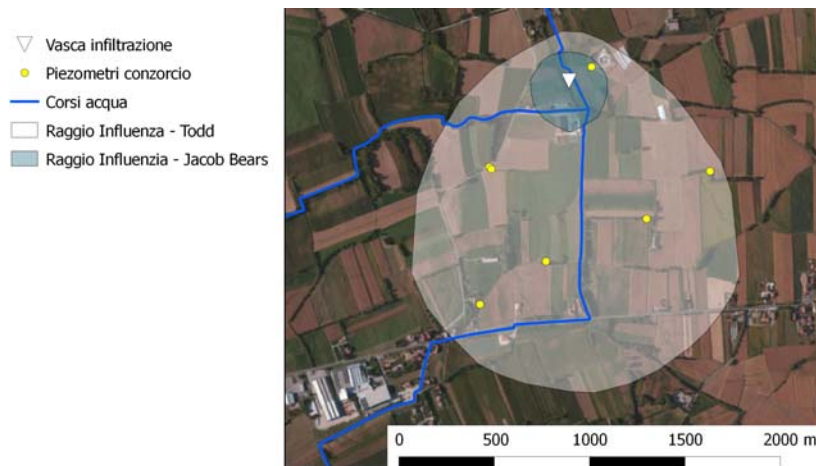


Figure 1 - Estimated influence area of the artificial recharge in the Mereto test site calculated with the Todd and Jacob-Bears formula. Gradient: 0.001; Time: 180 days; Flow: 118 l/s

According to the Todd formula, an area of around 120 ha would be positively affected with the MAR facility. However, this would just be true if the recharge would be carried out uninterrupted for a long period of time, a situation that is not possible due to the restrictions in the water use during the summer season, and the project timeframe. As the water availability for recharge is estimated in 180 days, the induced recharge would affect at least an area of 6 ha, with an almost round shape (due to the low gradient) and with 1,9 hm³ of water stored. In this situation Piezometer PZ6, located upstream of the recharge pond, would be the only piezometer where variations could be measured.

In short, the preliminary hydrogeological analytical calculations were fundamental for the review of the monitoring network, as it identified the need for the construction of new piezometers.

During the construction of the new piezometers a perched aquifer was identified which may have influence in the infiltration process. This fact together with the recharge results obliged a significantly adaptation of the initial conceptual model, as it confirms the presence of a low permeability strata located 15 m below ground.

Two CTD divers were installed in two piezometers for monitoring the groundwater level, temperature and conductivity.

The flow into the pond was greatly reduced due to technical details from the hydraulic structures, and so a medium flow of 13 l/s was induced into the pond, with a stabilization of the water level in the pond at around 1,5 meters high. These results call for a revision of the hydraulic vertical gradient (together with the pond size), with a reverse application of the Green-Ampt application. The new vertical hydraulic gradient for the entire percolation zone was estimated in $3,1 \cdot 10^{-5}$ m/s (2,7m/d). With this result, we can estimate that the Mereto test site would have a capacity for infiltrating 25.7 l/s.

The monitoring results showed that the recharge had little influence in the aquifer piezometric level, due to its high transmissivity which easily “dissolved” the infiltrated water. The results on the water quality were more conclusive, with a clear reduction of the electrical conductivity and nitrate and a small increase in the sulphate concentration, showing a clear mix of surface and groundwater, even in the well located 70 meters northeast (upstream). A tracer test with fluorescein was conducted to confirm the results, and to prove the recharge efficiency. The results showed that the flow in the main aquifer is not linear, but that there are several infiltration pathways, which reach the aquifer in 2 to 4 days. The peak infiltration in the perched aquifer is felt after 8 hours.

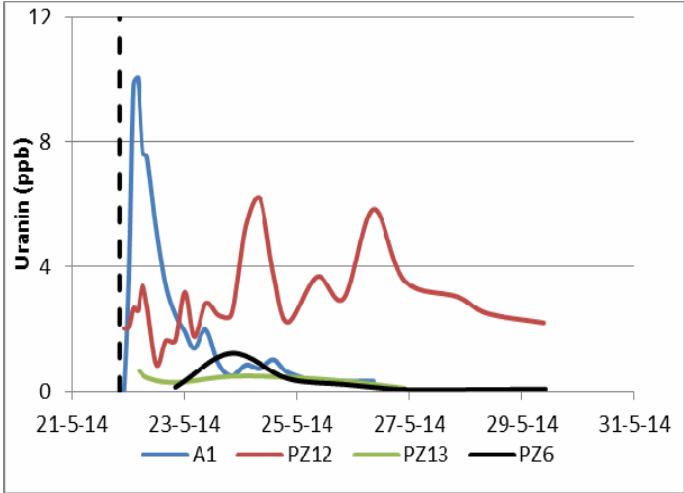


Figure 2 – Fluorescein concentration in the observed piezometers.



Figure 3 – Injection of Fluorescein in the Mereto Infiltration Pond.

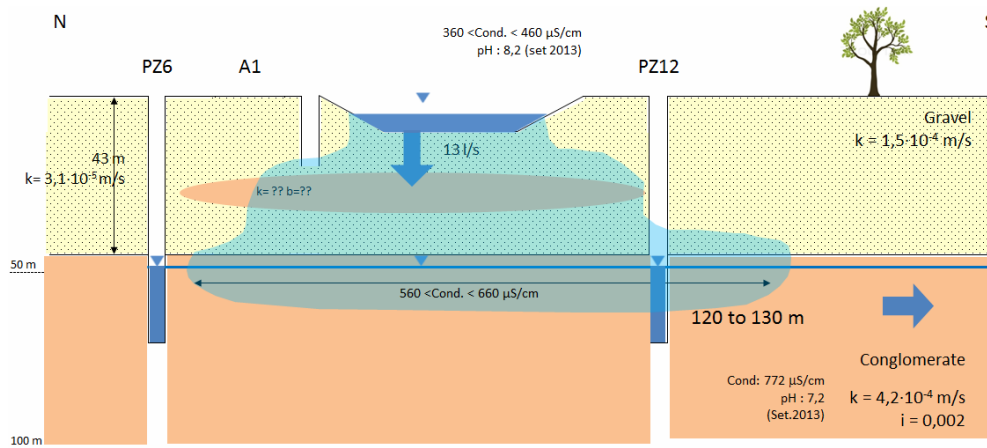


Figure 4 – Mereto Site Conceptual Model.

Zona Industriale di Ponte Rosso

In the Zona Industriale di Ponte Rosso (ZIPR) area, the site conceptual model was taken from the investigations carried out from the Udine University. However, for a fine tuning, it was requested the realization of a pumping test. Pumping tests specifications were delivered to all partners.

The pumping test carried out was not as conclusive as expected, since no drawdown was registered in the nearby observation piezometer and a very small drawdown was registered in the piezometer subject to the test. The cause was the low pump power (conditioned by the piezometer diameter) and the aquifer high transmissivity. However, a quick analysis through the steady state mode (Logan approach, through the specific capacity) indicates a transmissivity of 9024 m²/d ($9,0 \cdot 10^{-2}$ m²/s) and a permeability of 546 m/d or $6,23 \cdot 10^{-3}$ m/s.

Data regarding the outflow of the industrial effluent to the phytodepuration pond was also gathered with the industrial consortium. In average, the daily flow is of about 2216 m³/day. The availability of water for recharge might be slightly lower due to water loses in the phytodepuration system by evapotranspiration or infiltration. In August, vacation time, the flow might be reduced to 600 m³/day.

Therefore, a set of three to four basins working in parallel should be constructed in order to guarantee that the system is dimensioned for all periods, and that the basic maintenance can be carried on, without closing or compromising the MAR operation activities.

The use of MAR in ZIPR is, however a little conditioned due to the shallow groundwater level, but it may be extremely useful in terms of a contingency control for the groundwater quality.

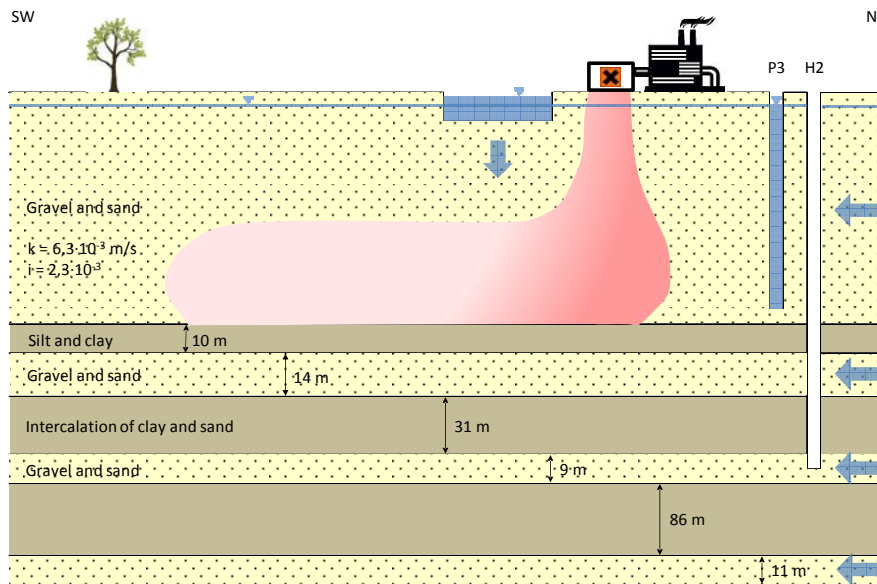


Figure 5 – ZIPR site Conceptual Model

Copparo

The geology of the Copparo test site is relatively complex and it was necessary an exhaustive investigation of the wells stratigraphy to understand it. Also, remarkable is the presence of a regional scale paleochannel network, identified with geomorphological methods (ADD BIO). The exact location, dimensions and thickness of the paleochannel were estimated with geophysical profiling, but still need to be improved.

In an initial phase the pond was intended to work as a reservoir for later well injection in the deep salty aquifer whose top was located around 17 meters deep. However, legal constrains obliged to turn to the direct infiltration of pond into the first confined aquifer, which could correspond to the paleochannel.

It was recommended the construction of new piezometers to effectively monitor the infiltration results. Its characteristics were:

- Total depths of around 20 m, depending on the stratigraphic profile. Always important to reach the second layer of clay. Screened depths to be decided according to the stratigraphy.
- Casing with diameters of 100 mm PVC, with possibility of placing a pump for water sampling.
- In the case that the piezometers didn't cross the first clay level (possibly paleochannel) the drilling should go on till the second confined aquifer with brackish water.

The aquifers hydraulic characteristics (paleochannel and main aquifer) were calculated through several pumping tests. General guidelines were delivered to the partners.

The interpretation of the pumping test (using the Cooper-Jacob method) in the shallow piezometers (paleochannel) averages $4,2 \cdot 10^{-5}$ m/s. As for the storage coefficient, it was estimated in $1,5 \cdot 10^{-4}$, which is typical of a confined aquifer, although locally unconfined. As for the deep salty aquifer, its permeability was estimated in $1,2 \cdot 10^{-4}$ m/s.

In a first approximation the recharge flow was calculated, with a derivation of the Darcy's law at around 10,5 l/s, considering that the pond bottom, would correspond to the base of the first confined aquifer.

Nevertheless, batimetric measurements conducted in the pond showed that it is rather shallow, with maximum depths of around 8 meters, rendering the previous estimations useless, and asking for a model calibration. Therefore, the conceptual model was redefined considering that the pond bottom was in hydraulic connection with the aquifer at 9 m depth.

The hydraulic connection seems to be relatively weak, demonstrated by the difference on the water level (0,43 m in September 2013) between the piezometric level in the piezometers located 19 meters away from the margin of the lake and the lake level itself. These differences are due to the high evaporation during summer time, and due to the fact that only a part of the pond area is in connection with the aquifer, corresponding to the paleochannel.

Furthermore, it is not clear if all the area of the paleochannel was explored for clay, and if there were some clogging phenomena. Nevertheless using the values of the divers located in the piezometer and in the pond (for the hydraulic gradient) and the climatic information to estimate the evaporation (Penman, 1948), it is estimated that the connection area would average 2340 m². A few sediments were collected from the bottom of the lake in order to access this situation.

Therefore, in normal operation if an increase of water head in the pond of 1,1 meters is induced, we estimate the infiltration in the aquifer in the order of 6 l/s.

The infiltration in Copparo started on the May 20th, 2014 with an inflow from the channel to the pond of around 3 l/s. This value was later increased to 10 l/s. There are a few evidences of the effectiveness of the recharge in Copparo, such as a salt front displacement (identified through geophysical methods) and a small reduction of the water electrical conductivity in the piezometer P13.

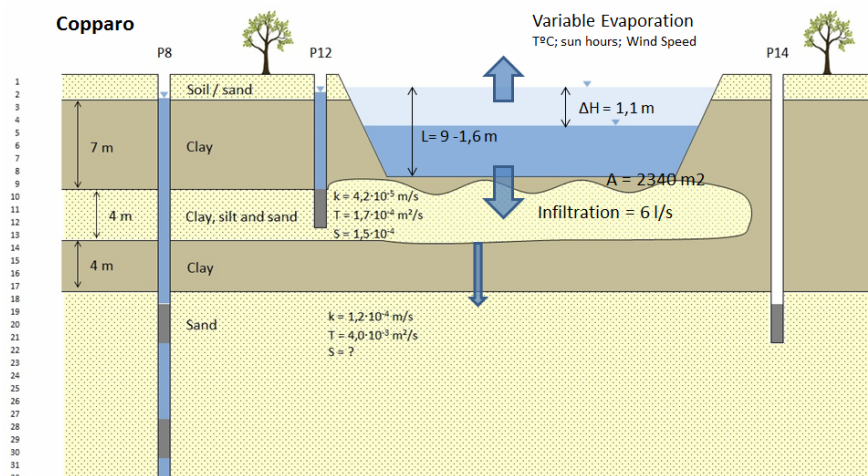


Figure 6 – Copparo site Conceptual Model.

5.1.3.10 ACTION 12: L'analisi ambientale e socio-economico della Ricarica Artificiale

Under the action 12 the impact of artificial recharge in the local and regional environment was evaluated, using different technics such as a conceptual DPSIR model and a cost-benefit evaluation.

3.10.1 Environmental Impacts

A research on the scientifically bibliography about artificial recharge was carried out, with special focus on environmental impacts, operational problems and mitigation solutions. The most common impacts are described in the following tables.

Table 1 - Regional environmental impacts

Impact	Signal	Importance	Observations	Mitigation
Groundwater Quantity	Positive	Depends	Only possible negative consequence is the rotting of deep root in shallow unconfined aquifers	Not required
Water extraction cost	Positive	Depends	---	Not required
Groundwater quality	Depends	Depends	Depends on water source and aquifer quality. Chemical reaction that can take place between two different water types can lead to the precipitation or dissolution of certain minerals.	Water treatment plants
Water treatment cost	Depends	Depends	---	Pre-treatment
Sea water barrier	Positive	Depends	---	Not required
Subsidence mitigation	Positive	Low to Medium	Effective in preventing anthropogenic subsidence. Has a minor effect in «reversing» subsidence	Not required
Summer stream flow	Positive	Depends	---	Not required

Table 2 – Local environmental impacts and operational issues

Impact	Signal	Importance	Observations	Mitigation
Algae and microorganism growth	Negative	Depends	Generally algal blooms are related with pollutant loads, particularly nitrates and phosphorus. Can be responsible for pests such as mosquitos and midges. Operational Issue	Herbicides Natural predators Pre-Water treatment Infiltration management
Clogging	Negative	From low to high	The most reported problem in managed aquifer recharge. Operational issue	Scrubbing the infiltration top layer or by applying a sand filter (Basins) Backwashing (Wells).
Plagues	Negative	Depends	---	Herbicides Natural predators
Creation of wetlands	Generally positive	Depends	Wetlands have a positive effect for the ecosystem balance, by creating new habitats and enhancing local biodiversity. Possible creation of new leisure areas.	---
Evaporation losses	Negative	Low	---	Can be reduced with vegetation shadow

This list was applied to all test sites considering different classification parameters (significance, signal, temporal and special dimension, probability duration and reversibility), and under the assumption of constant recharge operations. All test site showed to have different benefits for the environment: Mereto test site was particularly useful for the groundwater quality improvement, ZIPR test site, would have been beneficial for the stream network and its ecosystem and the Copparo site was undoubtedly good for the biodiversity. A resume of the significance of the impact by sector is presented in the following table:

Table 3 - Summary of the Impacts in the WARBO test sites at a long term (0 equals to neutral; + equals to positive and – to negative. One signal: low significance; Two signals: medium significance; Three Signals: significant; Four signals: very significant;)

Impact/Benefit	Mereto	ZIPR	Copparo
Groundwater Quantity	+ (in suspended aquifer)	□	+
Water extraction cost	0	0	0
Groundwater quality	++	□	+
Water treatment cost	0	0	0
Sea water/fossil water barrier	0	0	+
Subsidence mitigation	0	0	0
Superficial stream flow	0	++	+
Algae and microorganism growth	□	?	?
Clogging	□	□	0
Plagues	□	?	□
Biodiversity improvement	+	+	+++
Evaporation losses	□	□	□ □ □

3.10.2 DPSIR Model

A DPSIR conceptual model was drafted for the groundwater stress problems, in its broader sense to be applied in any region of the world, considering off course minor changes. All parameters related with groundwater problems are systemized in drivers, pressures, state, impact or response, and a set of indicators is recommended.

As expected, the DPSIR scheme who aims to address the problems of the groundwater stress, still has connections to the surface water management. Groundwater recharge comes mainly from the surface/river infiltration, and it is, in almost all cases, discharged in the superficial network after utilization, where it can be again recharged. A comprehensive survey and characterization of the parameters who affect the groundwater mismanagement impacts was created, in order to enhance the understanding, administration, and education on this kind of environmental problems. The defined Impact parameters have complex relationships with feedback cycles encountered. The role of Managed Aquifer Recharge was highlighted. It is by excellence the technical response for addressing aquifer and groundwater problems. In theory and if effectively applied at a suitable scale it can positively tackle the negative impacts brought to the system, through the Pressure parameters. It influences the State parameters such as groundwater quality and quantity with positive feedback in the Impacts. The effects of the artificial recharge in the system are highlighted in the following figure.

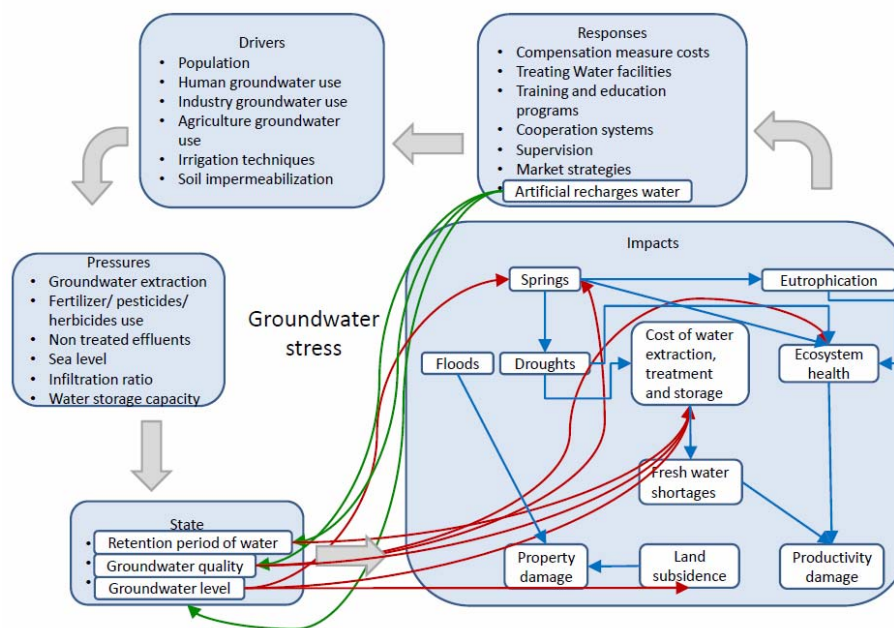


Figure 7 – Feedback cycles of the artificial recharge in the DPSIR system.

As well as other technical Responses, artificial recharge shouldn't be used as the only alternative. As its effects "short-circuits" through the DSPSIR system towards the State parameters, a rebound effect may occur, with a decrease in the water efficiency use and in the aquifer water extractions.

Therefore, this technology shouldn't be presented as a "silver bullet" solution, but rather as a technical mitigation alternative. Improvements in the water use efficiency, reduction of extraction and pollution load control can't be overlooked, even with the potential of the MAR

to ease the impacts of an unsustainable water use. This scheme was applied to the Mereto and ZIPR areas.

A Cost Benefit Analysis (CBA) was also carried out for all the three test sites, considering they were fully operational during 30 years with a 1% discount rate. The estimated cost of the infiltrated volume is presented in the following table.

Table 4 -Summary of the Costs in the WARBO test sites in a 30 years period (considering 1% as the discount rate)

Costs	Mereto	ZIPR	Copparo
Investment	105 000.00 €	85 000.00 €	60 000.00 €
Minimum Operation cost (yearly)	9 400.00 €	17 800.00 €	8 600.00 €
30 years Minimum Operation (1%)	326 977.98 €	619 171.07 €	299 150.07 €
Total 30 years cost	431 977.98 €	704 171.07 €	359 150.07 €
Yearly Infiltration (m ³)	860 000	730 000	189 216
30 years Infiltration (m ³)	25 800 000	21 900 000	5 676 480
€/infiltrated m ³ (1%)	0.017 €	0.032 €	0.063 €

It was concluded that all test sites can have an economic sense, if certain constrictions are fulfilled. Mereto test site might make economic sense, if there is a strong political will to improve the current groundwater bodies' quality status. MAR activities might even be used in a diffuse pollution offsetting perspective. It shall be added that although large water volumes are infiltrated, its access didn't become any easier, unless the groundwater exploitation paradigm could be changed to the less reliable perched aquifer.

In ZIPR the MAR can be useful if there is a strong political power to control and enforce the load of contaminants in the stream network, or to demand a MAR technology as a contingency plan for an accidental spill.

Copparo, might be an example of the possibility of creating fresh water reserves in water bodies/zones under threat or with poor quality. It also might be possible to the administration to predict the construction of these MAR infrastructures as a compensation measure to the environmental impacts (e.g. Landscape and Groundwater vulnerability increase) of the sediments and mineral extractions.

The development of the action 12 was constricted due to the lack of available data, specially biodiversity related in all test sites. The conversion of benefits in the ecosystem services into a monetary unit proved to be extremely difficult due to the low use of the groundwater resources in the area, and a subjective approach was chosen instead.

5.2 Dissemination actions

5.2.1 ACTION 11: Obiettivo - Diffusione

L'obiettivo dell'azione è di promuovere la diffusione di notizie, competenze e conoscenze per creare una solida cultura tecnico scientifica capace di comprendere le motivazioni che considerano la Ricarica Artificiale quale possibile soluzione per la tutela e la salvaguardia della risorsa Acqua. In particolare OGS, assieme a tutti i partner, mira a stimolare la creazione di efficaci canali di comunicazione e di scambio con scuole, università, istituti di ricerca, enti, imprese ed associazioni, nell'ambito delle possibili soluzioni per affrontare il problema della scarsità idrica. Per questo sono state promosse dai partner di WARBO campagne di comunicazione e informazione aperte a tutti (presentazioni dimostrative per le scuole e Università, laboratori didattici, organizzazione di conferenze scientifiche e divulgative a livello locale, regionali, nazionali e internazionale per la diffusione dei risultati, aggiornamento sito web e la realizzazione di brochure, articoli/pubblicazioni a valenza tecnico-scientifica).

Tutte le attività di divulgazione programmate sono state portate a termine. Grazie alla proroga concessa al progetto WARBO è stato possibile portare a termine la Scuola Estiva 2014 che è stata programmata a Lisbona (settembre 2014) più una serie di eventi nazionali e internazionali ritenuti dai partner di progetto strategici ai fini della divulgazione, sia per l'importante valenza che ricoprono a scala nazionale che Internazionale, sia per l'aspetto scientifico - pubblicazione articoli-abstract: il Geofluid di Piacenza, il WDSA2014 di Bari. per gli abstract e presentazioni prodotte.

Di seguito si elencano gli eventi dove il WARBO è stato per l'occasione oggetto di presentazione delle problematiche di ricarica artificiale (tavole rotonde, convegni nazionali etc.), di presentazione delle attività e risultati derivanti le azioni stesse di progetto nonché di didattica per le scuole a vario grado di istruzione:

5.2.2 Dissemination: attività di disseminazione

Gennaio 2012. Presso il Consiglio Comunale di San Vito al Tagliamento: Progetto scuola - "L'acqua" conferenza per sensibilizzazione agli studenti e i cittadini di San Vito a non sprecare l'acqua. CONFERENZE NAZIONALI

Marzo 2012. Attività svolte per la sensibilizzazione delle problematiche di degrado delle risorse idriche: presso il Polo Chimico Biomedico dell'Università di Ferrara, conferenza Dipartimento di Scienze della Terra dal titolo: "L'acqua da dove proviene e dove va". CONFERENZE NAZIONALI

Marzo 2012. Presentazione progetto WARBO in occasione della Giornata Mondiale dell'Acqua – WWD 2012 sarà organizzata dal progetto WARBO in data presso il Parco delle Fonti di Torrate di Chions – PN. LABORATORIO DIDATTICO - CONFERENZE INTERNAZIONALI

Giugno 2012. Dipartimento di Geoscienze dell'Università degli Studi di Padova. "Tecniche di perforazione per MAR". SEMINARI

Settembre 2012. Open Day 2012, manifestazione scientifica organizzato da OGS presso l'OGS, Borgo Grotta Gigante con target di disseminazione per i soggetti quali Istituzioni e Centri di Ricerca, scolastiche e realtà territoriali. DIDATTICA

Ottobre 2012. Conferenza problematiche mondiali dell'acqua dal titolo "Water footprint" caffè San Marco di Trieste con riflesso su attività di progetto WARBO. CONFERENZE NAZIONALI

Ottobre 2012. Conferenza in ambito della Settimana del Pianeta Terra "L'acqua invisibile. Per un uso consapevole dell'oro blu" presso la scuola superiore di Malignani – Udine. CONFERENZE NAZIONALI

Dicembre 2012. Sharp Project - Sustainable Hydro Assessment and Groundwater Recharge Projects organizzato da Agenzia regionale per lo sviluppo rurale (ERSA) è partner del progetto Sustainable Hydro Assessment and Groundwater Recharge, finanziato dal Programma Interreg IVC 2007-2013. WORKSHOP

Febbraio 2013. Presso il Consiglio Comunale di San Vito al Tagliamento: Progetto scuola. Proposta d'incontro sensibilizzazione acqua e avanzamento progetto Warbo. CONFERENZE NAZIONALI

Marzo 2013. Giornata Mondiale dell'Acqua – WWD 2013 sarà organizzata dal progetto WARBO in data presso il Parco delle Fonti di Torrate di Chions – PN. LABORATORIO DIDATTICO - CONFERENZE INTERNAZIONALI

Marzo 2013. Polo Chimico Biomedico dell'Università di Ferrara, conferenza dal titolo: Cosa rischiamo con il tempo e la neve? Rischi ambientali presenti e futuri del nell'ambito delle manifestazioni UNIJUNIOR. CONFERENZE NAZIONALI

Marzo 2013 conferenza sul progetto WARBO presso 'ISIT "Bassi-Burgatti" di Cento circa 75 studenti. Evento con la partecipazione del partner di WARBO. CONFERENZE NAZIONALI

Marzo 2013 Laboratorio didattico sulle analisi in situ delle caratteristiche geochimiche dell'acqua (4 ore) + Laboratorio didattico di analisi della biodiversità (4 ore) dedicato a 20 studenti del liceo Classico Ariosto di Ferrara. LABORATORIO DIDATTICO

Marzo 2013 Campus de Caparica, 07 e 08 de março de 2013 Faculdade de Ciências e Tecnologia Universidade Nova de Lisboa "9º Seminário sobre águas subterrâneas". SEMINARI

Marzo 2013 conferenza sul progetto WARBO presso il liceo Ariosto di Ferrara partecipazione prevista di circa 90 studenti. Evento con la partecipazione del partner di WARBO. CONFERENZE NAZIONALI

Aprile 2013. Conferenza sul Management sulla Ricarica Artificiale (MAR) indirizzata ai professori delle Scuole della Regione Istriana (Croazia) presso La Regione Istriana a Pola, organizzato dai partner del progetto. CONFERENZE NAZIONALI

Aprile 2013 laboratorio didattico sperimentale di tre giorni sulla divulgazione del progetto WARBO attraverso opere artistiche concordato all'interno del percorso di formazione delle

classi 4 e 5 del Liceo Artistico Dosso Dossi di Ferrara partecipazione prevista di circa 30 studenti. LABORATORIO DIDATTICO

Aprile 2013 giornata studio sul comunicare i cambiamenti climatici e il ciclo dell'acqua: il ruolo della mitigazione della ricarica artificiale sull'impatto climatico – progetto WARBO con il coinvolgimento di 32 studenti del Master di Comunicazione scientifica dell'Università di Ferrara. GIORNATA DI STUDIO

Aprile 2013 EGU-European Geosciences Union Assemblea Generale 2013 Vienna | Austria | 07-12 aprile 2013. WORKSHOP

Aprile 2013: Seminario presso la SISSA (Scuola Internazionale Superiore di Studi Avanzati) di Trieste , “Le problematiche Internazionali dell'acqua”. SEMINARI

Maggio 2013 Conferenza progetto WARBO presso il Consorzio Zona Industriale Ponte Rosso – San Vito al Tagliamento, con tematica: “Progetto WARBO e problematiche di MAR nelle aree test”. CONFERENZE NAZIONALI

Maggio 2013 giornata studio sul comunicare il ciclo dell'acqua e la biodiversità: la ricarica artificiale e il progetto WARBO con il coinvolgimento di 32 studenti del Master di Comunicazione scientifica dell'Università di Ferrara. GIORNATA DI STUDIO

Maggio 2013 Progetto SHARP - Sustainable Hydro Assessment and Groundwater Recharge Projects “Incontro tecnico di comunicazione e disseminazione del progetto con i portatori di interesse del territorio regionale. WORKSHOP

Maggio-Giugno 2013. Laboratorio didattico sul Management sulla Ricarica Artificiale (MAR) presso le scuole di Fiume e Rovigno, della Regione Istria (Croazia). SEMINARI

Giugno 2013 ed era invece previsto per Settembre 2013. Open Day 2013, manifestazione scientifica organizzato da OGS presso l'OGS, Borgo Grotta Gigante con target di disseminazione per i soggetti quali Istituzioni e Centri di Ricerca, scolastiche e realtà territoriali. aspetto tecnologico/scientifico adottata nel progetto. DIDATTICA

Giugno 2013 San Vito in Fiore, è stata allestita una mostra corredata da poster e strumentazione sismica di OGS. DIDATTICA

Giugno 2013. Dipartimento di Geoscienze dell'Università degli Studi di Padova. “Tecniche di perforazione per MAR”. SEMINARI

Agosto 2013 Goldschmidt conference. Firenze 25-30 agosto 2013. CONFERENZE INTERNAZIONALI

Settembre 2013 IX edizione del Forum Italiano di Scienze della Terra “Le Geoscienze per la Società” CONFERENZE NAZIONALI

Settembre 2013 Spagna 15th Annual Conference of the International Association for Mathematical Geoscience. WORKSHOP

Settembre 2013. Quartiere Espositivo Ferrara “RemTech Expo”, presentazione progetto WARBO. CONFERENZE NAZIONALI

Settembre 2013. Scuola Estiva presso Università degli Studi di Ferrara - Dipartimento di Scienze della Terra, Ferrara. Evento organizzato dai partner di WARBO. SCUOLA ESTIVA

Settembre 2013: Geoitalia2013 - IX edizione del Forum Italiano di Scienze della Terra “Le Geoscienze per la Società”. Pisa WORKSHOP

Gennaio 2013. Workshop sul Progetto WARBO presso la "Faculté des Sciences et Techniques Département de Géologie (G2FS) Université Moulay Ismail - BP. 509 Boutalamine Errchidia Maroc (MA). CONFERENZE INTERNAZIONALI

Marzo 2014. Giornata Mondiale dell’Acqua – WWD 2014 – “Progetto WARBO” sarà organizzata dal progetto WARBO presso il Parco delle Fonti di Torrate di Chions – PN. Target di disseminazione comprende i seguenti soggetti: Istituzioni locali preposte alla politica dell’utilizzo delle acque, Associazioni imprenditoriali, Associazioni cooperative, Istituzioni e centri di ricerca, Istituzioni scolastiche, Imprese e Associazioni locali. LABORATORIO DIDATTICO - CONFERENZE INTERNAZIONALI

Giugno 2014. Dipartimento di Geoscienze dell’Università degli Studi di Padova. “Tecniche di perforazione per MAR”. SEMINARI

Luglio 2014 - (Bari) 16th Conference on Water Distribution System Analysis, WDSA 2014 (<http://www.water-system.org/wdsa2014/>). CONFERENZE INTERNAZIONALI

Settembre 2014 - (Ferrara) RemTech Expo 2014

(<http://www.remtechexpo.com/it/remtech/programma-completo/icalrepeat.detail/2014/09/18/198/-/progetto-life-warbo>). Giornata studio sul progetto WARBO, mattina 9.00 -13.00 confronto con altri progetti LIFE + (Aqur, LIFERii e Zeolife) che si occupano di metodologie di ricarica artificiale e di depurazione delle acque al fine di definire linee guida condivise. Pomeriggio confronto presso lo stand dei progetti INTERREG Italia Slovenia (GOTRAWAMA, ASTIS e GEP) sulle problematiche di gestione e degrado delle risorse idriche e analisi delle direttive UE. WORKSHOP

Settembre 2014 - (Copparo) Settembre copparese

Intervento finale di animazione legato all’apertura alla cittadinanza del bacino e l’illustrazione dei risultati ottenuti durante il periodo della Fiera del “Settembre Copparese”, momento di massimo afflusso di persone anche dall’esterno del territorio e di visibilità delle iniziative.

Settembre 2014 - (Ferrara) Notte dei ricercatori

Università di Ferrara presenta i risultati del progetto WARBO alla città di Ferrara. (<https://www.facebook.com/nottedeiricercatori>). SEMINARI-DIDATTICA

Ottobre 2014 - (Lisbona) Summer School -TARH

Come da Deliverable prevista dal progetto “Atti della scuola estiva per dottorandi presso TARH” e da azione 11. Il suo posticipo deriva dal fatto che si vuol presentare dati più completi del progetto WARBO nel contesto internazionale oltre che per il periodo di ottobre che coinciderebbe anche con l’inizio delle attività didattiche all’interno delle istituzioni (Università etc...). SCUOLA ESTIVA

Ottobre 2014 - (Piacenza) Workshop Geofluid

Sessione dedicata su tematica “Ricarica delle falde: l'esperienza italiana nel contesto europeo”. Con la partecipazione/organizzazione della La Scuola Superiore Sant' Anna di Pisa. CONFERENZE NAZIONALI-INTERNAZIONALI

Marzo 2015. Giornata Mondiale dell'Acqua – WWD 2015 è organizzata dal progetto WARBO presso il Parco delle Fonti di Torrate di Chions – PN. LABORATORIO DIDATTICO - CONFERENZE INTERNAZIONALI

5.3 Evaluation of Project Implementation

In merito alla metodologia di ricarica è stato necessario modificare il metodo di ricarica programmata nell'area test di Copparo, in quanto le prime indagini geofisiche e geochemiche hanno evidenziato la presenza di acqua salmastra fossile sconosciuta nella zona di Ponte San Pietro, la esecuzione di pozzi di ricarica avrebbero potuto incrementare la distribuzione e la successiva ricarica veicolare l'acqua salata verso le falde superficiali, di conseguenza la metodologia utilizzata è stata quella delle vasche di infiltrazione. Questo fatto ha incrementato l'area di intervento rispetto a quello programmato, modificato le dimensioni dei canali di infiltrazione e reso necessario l'utilizzo della quantità d'acqua di ricarica molto superiore. Pur con questo inconveniente non programmato in quanto ignoto, la metodologia si è dimostrata vincente in quanto i risultati alla fine sono risultati molto superiori a quelli programmati.

Per le motivazioni qui esposte l'impianto di ricarica di Ponte San Pietro è stato finalizzato ad azioni di ricarica per infiltrazione, la cui efficienza è favorita dalla presenza dei sedimenti sabbiosi di un paleovalle che è in comunicazione idraulica con il sistema multiacquifero A0 il quale a sua volta ha interazioni con l'acquifero confinato A1.

I rilievi idrogeologici e le analisi chimiche condotte sugli acquiferi dell'area industriale di Ponte Rosso hanno consentito di diversificare che l'inquinamento a Zn rilevato nelle fasi progettuali è stato risolto attraverso un ammodernamento degli impianti di zincatura che insistono nel sito per cui le acque depurate non hanno più questo problema. Mentre per quanto riguarda la fitodepurazione sulla base dell'impianto di Ponte Rosso e del piccolo invaso di fitodepurazione di Ponte San Pietro Copparo si è evidenziata una bassa efficienza degli impianti solo a *Phragmites communis*, che va bene nelle prime fasi di funzionamento degli impianti grazie alla rapidità di crescita ma pone problemi nel medio e lungo periodo in quanto la capacità fitodepurante diminuisce nel tempo per bioaccumulo negli apparati radicali dei metalli presenti nelle acque e questo pone problemi di gestione della biomassa che fra l'altro avendo poco potenziale energetico non è accolta negli impianti di biomassa. Inoltre le vasche di fitodepurazione in estate soffrono di surriscaldamento e le basse acque in cui vivono tendono a concentrare i sali per evaporazione per cui invece di un miglioramento si assiste nel periodo estivo a un lieve peggioramento delle acque in uscita rispetto alle caratteristiche delle acque conferite dall'impianto di depurazione. Inoltre questi impianti risentono molto del ciclo vegetativo per cui hanno quasi nulla di efficacia nei periodi autunnali e primaverili quando maggiore è la necessità di fitodepurare le acque per la gestione degli eventi brevi ed intensi. Si è quindi proposto di integrare gli impianti con metodologie più innovative che prevedono l'integrazione della *Phragmites communis* con altre piante palustri come ad esempio con l'impianto di *Typha latifolia* associata alla piantumazione di alberi locali in rapida crescita come *Salix rubra* e *S. alba*, ed alberi sempre verdi quali il *Quercus ilex* ed altre specie autoctone palustri che potranno esprimere il loro potenziale nei prossimi anni. La fitodepurazione con alberi di alto fusto consente di mitigare la temperatura nei canali e nell'invaso di fitodepurazione, che nel periodo estivo produce uno stress termico con

riduzione delle specie termosensibili, migliorando contemporaneamente la qualità falda acquifera e la biodiversità.

Infine questi alberi producono biomassa ad elevata cattura di GHG per cui collaborano al raggiungimento degli obiettivi di abbattimento dei gas climalteranti.

Dal progetto sono emersi gravi problemi di inquinamento diffuso da metalli tossico-nocivi quali As, B, Zn, Cr, Ni, V e Co. E' stato necessario comprendere l'origine e verificare l'efficacia della ricarica pre contrastare questi problemi. Dalle indagini effettuate sono emersi i seguenti risultati:

1) La sorgente dell'inquinamento sono acque fossili metanifere che risalgono per cause naturali in corrispondenza di strutture tettoniche attive a cui si aggiunge il degrado dei pozzi metaniferi abbandonati realizzati prima del 1962. La ricarica artificiale è risultata efficace per compensare questi apporti per cui è un ottimo metodo con cui ridurre l'inquinamento diffuso ma la reale efficacia del metodo potrà essere definita da una prosecuzione del monitoraggio in quanto il breve periodo dei progetti LIFE da solo indicazioni di massima ma solo periodi più prolungati possono fornire modelli statisticamente attendibili sulle dinamiche di acquiferi così complessi. Considerato che il problema dei pozzi orfani affligge non solo la pianura padana ma tutte le aree di pianura alluvionale che sono state interessate da attività di sfruttamento minerario le ricadute l'analisi delle dinamiche di degrado e contaminazione delle risorse idriche è fondamentale per la salvaguardia di habitat di elevato pregio ed il progetto ha contribuito a far emergere questo grave problema fornendo anche procedure innovative per la loro analisi a basso costo.

2) Le analisi in microraman e EDXRF hanno consentito di analizzare le interazioni acqua roccia e identificare fasi minerali che ospitano gli elementi tossico-nocivi. Questa analisi ha consentito di riconoscere in sorgenti naturali la maggior parte delle cause di inquinamento mentre per Cu e Zn la responsabilità dell'inquinamento delle acque e del suolo è legato a pratiche agricole non opportune. Le analisi descritte abbinate all'analisi dei processi di trasferimento dei metalli tossico-nocivi apportati dalle acque fossili e dal suolo in alcuni dei principali prodotti agroalimentari coltivati nell'intorno del test site di Ponte San Pietro ha permesso di verificare che per Cr, V, CO e Ni non si hanno trasferimenti alle matrici fluide e alla biosfera.

Le attività di ricarica artificiale condotte a Mereto di Tomba hanno messo in luce il potenziale della diffusione di questi piccoli impianti per ricaricare l'acquifero senza apporti di nitrati

L'esperienza condotta a Copparo ha consentito di verificare l'importante ricaduta che l'utilizzo dell'impianto di ricarica per lo stoccaggio delle piene può avere non solo per la ricarica ma anche per la biodiversità, rafforzamento dei corridoi fluviale e soprattutto per combattere l'invasione di specie aliene. Si sottolinea infatti che:

1. L'apertura del collegamento con il canale irriguo per la fornitura dell'acqua di ricarica a Ponte San Pietro ha favorito l'insediamento, nella vasca di fitodepurazione, di rane locali a rischio di estinzione. Su tali specie, protette dalla L.R. n.11 del 7 novembre 2012, l'Università di Ferrara, la Provincia ed il Comune di Copparo, hanno messo a punto un progetto di cattura e riproduzione controllata ai fini di ripopolamento, che vede l'invaso di Ponte San Pietro un sito test ideale per tali attività sia di cattura sia di successivo rilascio finalizzato appunto al ripopolamento.

2. L'assenza di collegamenti fra l'invaso di cava e la rete irrigua aveva favorito la crescita smisurata della specie aliena *Procambarus clarkii*, gambero della luisiana, che mette in serio pericolo sia le specie locali sia le rive dei canali con azioni di perforazione. Grazie alle attività di ricarica ed alla realizzazione del collegamento con la rete di canali irrigui sono state favorite le ingressioni di pesci e tartarughe locali che competono con le specie aliene e

attragono una più diversificata avifauna consentendo una maggiore azione di predazione nei confronti del gambero della Luisiana, consentendo un maggiore equilibrio ecologico tra le specie.

3. Il ruolo positivo svolto nel periodo di ricarica artificiale dal piccolo impianto di fitodepurazione delle acque fornite per la ricarica ha supportato il Comune di Copparo nella realizzazione della grande opera di collegamento dell'invaso con il Canal Naviglio ispirato ad un modello di manutenzione "gentile" New Watercourse Act, che consente il regolare deflusso delle acque in un habitat favorente lo sviluppo della flora e della fauna e, nel contempo, riduce le attività di manutenzione dei fondali acquatici. In queste condizioni si garantisce il deflusso minimo vitale "canale di corrente", la sua funzionalità per la gestione delle piene ed inoltre si limita lo sfalcio, consentendo di ridurre le spese di manutenzione delle sponde oltre a permettere il confinamento delle specie infestanti a vantaggio di specie utili.

Il progetto WARBO ha confermato l'importanza di ricarica artificiale nella pianificazione territoriale per migliorare la resilienza di scenari futuri secondo l'IPCC. L'utilizzo degli invasi di cava ai fini della ricarica artificiale consente di riqualificare gli acquiferi, contrastando la salinizzazione e contaminazione da metalli tossici nocivi di origine naturale e rappresenta anche un importante strumento di gestione di corpi idrici in aree climaticamente fragili o caratterizzate da risorse fossili nel sottosuolo.

5.4 Analysis of long-term benefits

1. Environmental benefits
 - a. Direct / quantitative environmental benefits

Il rapporto dell'ONU sulle previsioni di crescita della popolazione mondiale sostengono che nei prossimi decenni il pianeta dovrà sostenere un incremento demografico di circa 5 miliardi di persone. La crescita si concentrerà soprattutto nei centri urbani la cui popolazione costituirà circa l'80% di quella globale. Questi dati diventano ancora più allarmanti se valutati contestualmente ai rapporti della UNCCD (United Nations – Convention to Combat Desertification) che mette in guardia dal rischio di impoverimento delle terre coltivabili, dall'aumento dell'inquinamento e dall'uso irrazionale delle risorse idriche. Con i risultati del progetto si somministrano elementi utili ad una visione integrata funzionale all'evidente complessità. Da una parte si evidenziano le condizioni di inseparabilità delle questioni suolo-acqua-energia e dall'altra sono richiamate quelle tecnologie utili e sostenibili in grado di affrontare positivamente le grandi emergenze che il mondo dovrà fronteggiare: suolo-acqua ed energia.

I risultati ottenuti permettono di promuovere un'azione complessa, multidisciplinare e interdisciplinare, in grado di integrare nuove tecnologie innovative per incrementare la disponibilità idrica, contemporaneamente, preservare il suolo di inquinanti (dispersione d'acqua non completamente depurata alla uscita dei depuratori) ed evitare la desertificazione dovuta ad acque salmastre. Concretamente, benché alla fine del progetto i benefici più lampanti è quello del miglioramento qualitativo, i benefici quantitativi sono da attendersi a periodi più lunghi ma anche ininterrotti nel tempo.

- b. Relevance for environmentally significant issue or policy areas (e.g. industries sectors with significant environmental impact, consistency with 6 or 7 , (as applicable) EU Environmental Action Programme and/or important environmental principles, relevance to the EU legislative framework (directives, policy development, etc).

Con l'aggravarsi del rapporto tra disponibilità e necessità di risorse idriche a causa del cambiamento climatico e da cause antropiche, queste sfide diventano sempre più cruciali. L'aumento previsto delle temperature e la diminuzione di precipitazioni piovose porta infatti ad una riduzione delle risorse e contemporaneamente a un aumento della domanda, questo aspetto richiederà iniziative per rafforzare le infrastrutture, oltre a modificare la gestione disunita della risorsa idrica, indirizzando i maggiore utilizzatore, agricoltura e industria, a un uso più ragionevole della risorsa idrica.

Il punto di riferimento per quanto riguarda specificatamente i temi dell'acqua, è la Direttiva Quadro Acque 2000/60/CE che obbliga alla protezione delle acque superficiali interne, delle acque di transizione, delle acque costiere e sotterranee; tutto ciò soprattutto attraverso l'ottimizzazione degli usi e promovendo l'integrazione delle normative riguardanti l'acqua.

La Direttiva si fonda sui principi di precauzione, prevenzione nonché sul lato delle politiche economiche dei principi "full cost recovery" e "polluter's pay".

Tutto questo mirato ad " un utilizzo idrico sostenibile fondato sulla protezione a lungo termine delle risorse idriche disponibili", in un piano non più settoriale ma globale, riferito a tutti i corpi idrici e per tutti gli usi che ne vengono fatti dall'uomo.

Si tratta di principi che ritroviamo negli obiettivi, applicazione e risultati del progetto WARBO.

2. Long-term benefits and sustainability
 - a. Long-term / qualitative environmental benefits

L'utilizzo di acqua è in crescita costante a causa di molteplici fattori tra cui l'aumento della popolazione mondiale, il miglioramento della qualità di vita e dei consumi ad essa associati ed i mutamenti climatici e idrografici che si verificano sul lungo periodo. Se consideriamo queste premesse, gestire e governare la risorsa acqua (water management) ed il suo utilizzo rappresenta una delle più grandi sfide che la collettività si trovi ad affrontare su scala globale, motivo per cui delle criticità derivanti dalla sua gestione è divenuto centrale all'interno del dibattito mondiale, ad ogni livello: economico, politico, istituzionale e sociale.

Le ragioni alla base di questo interesse nei confronti per l'acqua è che l'acqua pur essendo una risorsa rinnovabile, essa è una risorsa disponibile in quantità limitata. Infatti in un certo periodo di tempo, la precipitazione media (come valore medio annuo) è sempre limitata ad una determinata quantità, lo stesso vale per la quantità di acqua che ricarica le riserve di acque sotterranee o di un fiume. L'acqua piovana può essere utilizzata nella produzione agricola e l'acqua dei fiumi e delle falde acquifere può essere utilizzata per l'irrigazione o per usi domestici o industriali, ma non si può usare più acqua di quella disponibile. Non si può prendere di più da un fiume della sua portata in un certo periodo e nel lungo termine non si può prendere più acqua dai laghi e dai serbatoi di acque sotterranee rispetto al tasso con cui si ricaricano.

E' in questo scenario che si inserisce il progetto WARBO con la finalità di dare un valido contributo alla disponibilità idrica sempre più insicura, mediante l'utilizzo delle acque in surplus con la tecnica MAR e l'utilizzo delle acque reflue (il riutilizzo dell'acque reflue dopo una accurata depurazione potrebbe essere utile per il fabbisogno di più di 34 Ml di italiani).

Altro beneficio ambientale di grande importanza è la riqualificazione ambientale dalle aree test di Copparo e la ZIPR

- b. Long-term / qualitative economic benefits (e.g. long-term cost savings and/or business opportunities with new technology etc., regional development, cost reductions or revenues in other sectors)

Le tecnologie e la strumentazione utilizzata per la realizzazione del progetto è da considerarsi d'avanguardia, ma l'evoluzione tecnologica viaggia a una velocità sempre maggiore sviluppando tecnologie in costante evoluzione, in particolare le nanotecnologie, e a costi minori. Durante la fase di realizzazione del progetto queste affermazioni sono state verificate e molto spesso si sono dovute modificare le tecnologie proposte per adeguarsi a una tecnologia più evoluta ma non solo nel campo del hardware ma anche in quello del software.

In futuro, crediamo che con nuove tecnologie e conoscenze in continuo sviluppo si possa incrementare i benefici quantitativi e qualitativi e a costi minori, ferma restando la filosofia cardine del progetto. Questo sviluppo creerà la necessità di nuove figure professionali, incremento della produzione tecnologica in certi settori e un abbassamento dei costi della gestione idrica integrata, e nei settori industriali dove l'acqua può essere riutilizzata creando un risparmio energetico di trasporto e di conseguenza un grosso risparmio economico.

Con particolare riferimento al riuso delle acque per agricoltura, industria, questo richiede, a differenza della situazione attuale, norme chiare, realistiche, in grado di assicurare stabilmente la copertura dei costi di gestione.

- c. Long-term / qualitative social benefits (e.g. positive effects on employment, health, ethnic integration, equality and other socio-economic impact etc.)

Il miglioramento qualitativo della risorsa idrica porterà benefici sanitari, l'utilizzo delle metodologie collaudate ed affidabili contribuirà all'incremento di posti lavoro a livello di tecnici e professionisti in quanto stakeholders sia pubblici che privati iniziano a essere orientati all'utilizzo della metodologia MAR e anche al riutilizzo delle acque reflue depurate. I partner del Comune di Copparo, hanno fatto dei grossi investimenti nell'area test, quindi c'è la certezza della continuità del progetto, non solo, sono in corso altri miglioramenti e sviluppi nell'area.

L'area test di ZIPR ha iniziato la fitodepurazione con la valutazione sorta durante lo sviluppo del progetto WARBO, è in fase di valutazione la eventualità di costruire una piccola centrale idroelettrica, con tecnologia brevettata da poco, con il piccolo salto dell'acqua depurata alla fine del laghetto di fitodepurazione che poi va a finire in un canale di raccolta, ciò permetterebbe all'impianto di depurazione di essere autosufficiente in termini energetici e diminuire la produzione di CO₂ derivante dall'impianto stesso attualmente in uso.

L'area più promettente, anche se con tempi leggermente più lunghi, è Mereto dove le infrastrutture esistenti, in seguito ai ottimi risultati del progetto WARBO, potrà essere utilizzate in maniera più completa permettendo un incremento notevole delle acque di ricarica, con benefici qualitativi e quantitativi sulla falda freatica della Alta Pianura friulana. Una volta che l'impianto di Mereto sarà a regime saranno riattivati altre 2 infrastrutture, sempre di proprietà della Regione Friuli Venezia Giulia, situata a qualche decina di km tra di loro e tra Mereto nella Alta Pianura Friulana.

Sono attualmente in corso delle consultazioni per la collaborazione con i risultati del progetto LIFE CAMI e LIFE+ WARBO nella attuazione del Piano di Gestione della Acque con la Regione FVG al momento in fase di redazione.

- d. Continuation of the project actions by the beneficiary or by other stakeholders.

In dettaglio il Deliverable: Annex 57 – Coinvolgimento degli stakeholder dove sono indicati i stakeholder interessati ai risultati del progetto e alle azioni prossime (innovazioni tecnologiche etc...) da farsi nei territori di propria competenza.

3. Replicability, demonstration, transferability, cooperation: Potential for technical and commercial application (transferability reproducibility, economic feasibility, limiting factors) including cost-effectiveness compared to other solutions, benefits for stakeholders, drivers and obstacles for transfer, if relevant: market conditions, pressure from the public, potential degree of geographical dispersion, specific target group information, high project visibility (eye-catchers), possibility in same and other sectors on local and EU level, etc.

Per affrontare gli aumenti della domanda di acqua, è necessario individuare soluzioni sostenibili in grado di tutelare l'ambiente ed evitare ulteriori conseguenze in termini di consumo di risorse idriche non rinnovabili ed emissione di CO2 associate alla generazione di energia. Poiché l'area Comunitaria è provvista di un potenziale elevato in termini di acque per la ricarica artificiale, riutilizzo di acque reflue e necessità di fermare l'avanzamento del cuneo salino, le tecnologie e metodologie applicate nello sviluppo del progetto, che rientra anche nelle politiche di mitigazione del cambiamento può essere applicato in qualsiasi altro contesto territoriale fermo restando i parametri da adattare in base alle caratteristiche dell'area scelta.

Replicabilità:

A conclusione del progetto si sono evidenziate gli elementi che rendono replicabile l'esperienza condotta nel progetto e gli elementi che è opportuno tenere in considerazione nel realizzare il trasferimento di tale progetto ad altri settori geografici. In effetti, un aspetto chiave che emerge dalla realizzazione del progetto è proprio la sua replicabilità in diverse realtà con problematiche affini.

Questo aspetto, già previsto in fase di preliminare di stesura del progetto, si è dimostrato essere effettivamente realizzabile, proprio in virtù dei settori che hanno composto il progetto e la sua realizzazione ma anche in virtù dei risultati ottenuti nelle tre diverse area test.

Gli elementi chiave che rendono il progetto replicabile sono sostanzialmente:

- l'approccio al contesto della risorsa idrica, permette di andare oltre i primi risultati ottenuti affrontando una problematica di rilevanza mondiale e quindi oltre la semplice problematica di un'area geografica limitata, permettendo inoltre a tutti gli addetti al settore di adottare una prospettiva più ampia che offre opportunità di innovazione numerose, efficaci e perseguibili;
- la struttura del progetto, che combina un'analisi del contesto e delle opportunità di innovazione disponibili per far fronte alle tematiche della sostenibilità della risorsa idrica.
- l'approfondimento di temi rilevanti a livello nazionale ed internazionale e con risvolti importanti a livello locale (test diversi nelle tre aree considerate), la riduzione degli impatti ambientali negativi affrontati e il miglioramento efficacia nella soluzione dei problemi ;
- il coinvolgimento diretto nel progetto di autorità di gestione, stakeholders, imprese, consumatori, ecc, con studio minuzioso e la discussione delle loro aspettative e delle loro preoccupazioni;
- la formulazione di soluzioni innovative concrete per le autorità competenti e la loro diffusione a tutte gli Enti preposte alla gestione del territorio.

Dimostrazione:

Al fine di accostare saldamente i vincoli tra le attività di ricerca pregressa, sviluppo tecnologico e la loro applicabilità nelle tematiche obiettivo del progetto, verificata la validità della loro applicazione sono state evidenziate agli stakeholders (campo industriale e commerciale), le capacità innovativa e la vitalità tecnica di nuovi risultati in modo di

incoraggiare l'adozione di tecnologie di recente sviluppo nel affrontare problematiche concrete. Il documento riporta informazioni relative a 17 progetti e comprende una descrizione sullo stato attuale della conoscenza, un'attestazione degli obiettivi dimostrativi del progetto, una breve panoramica del contenuto del lavoro e del ruolo di ciascun partner nel progetto. E' anche compreso un breve resoconto dei piani di valorizzazione e dell'identificazione ed interazione con i gruppi destinatari per il grande pubblico. Questi uditori sono creati e sviluppati nell'ambito di ciascun progetto dimostrativo e sono composti dalle parti aventi un interesse potenziale sui risultati della ricerca.

Trasferibilità:

Gli obiettivi del progetto WARBO sono assolutamente in linea con le normative e gli obiettivi da raggiungere sia a livello Comunitario che internazionale nell'ambito dell'uso sostenibile della risorsa idrica. Ed in effetti, un potenziamento delle metodologie e tecnologie può avere risultati importanti nella disponibilità della risorsa idrica. Questo è l'approccio adottato sia dalla Comunità Europea che da Enti internazionali nelle politiche di sostegno e sviluppo dei diversi settori ambientali. Per questo, riteniamo che tale approccio sia positivo e possa portare al successo una replicabilità del progetto ad altre aree geografiche..

Cooperazione:

L'elemento dominante del progetto sta nel fatto di aver affrontato una problematica che necessita di soluzioni immediate per evitare gravi conseguenze attuali ma anche future via via più pesanti a livello mondiale. Questo orientamento ha consentito di individuare innovazioni sia tecniche che organizzative che coinvolgono un'ampia fascia del mondo civile, politico, agricolo, industriale, ecc e di conseguenza si sono stabiliti un certo numero di possibilità sia nazionali che internazionali per la applicazione dei risultati del progetto.

4. Best Practice lessons: briefly describe the best practice measures used and if any changes in the followed strategy could lead to possible adjustment of the best practices

I temi affrontati nel corso del progetto, già di per sé interessanti in virtù delle attuali politiche europee e nazionali in vigore, si sono dimostrati di assoluta attualità, sia presso gli stakeholders che presso i gestori pubblici e privati. La metodologia inter e pluridisciplinare è sicuramente la migliore pratica per affrontare il problema specifico non di meno il coinvolgimento diretto dei gestori preposti ha permesso la valutazione in tempo reale dei risultati e le eventuali modifiche da apportare per raggiungere gli obiettivi programmati. Sono interventi onerosi e di lunga programmazione, ed anche per questo fatto vanno orientati verso un uso plurimo delle acque ed una valorizzazione anche in termini ambientali.

5. Innovation and demonstration value: Describe the level of innovation, demonstration value added by EU funding at national and international level (including technology, processes, methods & tools, organisational & co-operational aspects);

La partnership in possesso di conoscenza specializzata ad ampio spettro ha avuto un ruolo importante nell'identificazione dei problemi e nell'affrontare la loro soluzione in ogni fase del ciclo idrico per realizzare metodologie e tecnologie per la gestione idrica.

I sistema di monitoraggio, caratterizzazione petro-fisica e geochimica degli acquiferi, gli schemi di alimentazione e controllo, utilizzo di sensori remoti, creazione di nuovi software di modellazione idrica, etc., molte di questo progettati appositamente per il progetto, hanno permesso di raggiungere gli obiettivi. La diffusione capillare delle metodologie e risultati durante tutte le fase del progetto hanno consentito l'inserimento delle tematiche in molte realtà del territorio sia a livello nazionale che internazionale. Proprio in queste giorni molti dei partner sono stati contattati da centri di ricerca e Ente pubblici e private chiedendo la collaborazione per presentare progetto nell'ambito H2020.

E' da sottolineare che pur con n idee vincente la partnership non sarebbe stata in grado di portare a termine un progetto dalla importanza del WARBO senza il contributo economico decisivo di LIFE+.

6. Long term indicators of the project success: describe the quantifiable indicators to be used in future assessments of the project success, e.g. the conservation status of the habitats / species.

I risultati ottenuti dal progetto dal punto di vista qualitativo sono già in corso, contribuendo all'abbassamento del contenuto di nitrati nella falda freatica della Alta Pianura Friulana, miglioramento qualitativo delle acque reflue della Zona Industriale del Ponte Rosso (ZIPR) e il bloccaggio della risalita d'acque salmastre nell'area di Copparo, questi miglioramenti sono incrementati con il passare del tempo. A queste miglioramenti sono da associare il ripristini e ampliamento degli habitat di molte tipi di piante e animali nelle tre aree in particolare a Copparo.

6. Comments on the financial report

6.1. Summary of Costs Incurred

PROJECT COSTS INCURRED				
	Cost category	Budget according to the grant agreement*	Costs incurred within the project duration	%**
1.	Personnel	1.049.472,00	1.204.661,40	114,79
2.	Travel	256.697,00	94.858,72	36,95
3.	External assistance	128.800,00	129.034,01	100,18
4.	Durables: total <u>non-depreciated</u> cost			
	- <i>Infrastructure sub-tot.</i>			
	- <i>Equipment sub-tot.</i>	248.800,00	152.299,75	61,21
	- <i>Prototypes sub-tot.</i>			
5.	Consumables	68.650,00	58.522,11	85,25
6.	Other costs	29.861,00	22.094,22	73,99
7.	Overheads	67.000,00	111.114,08	165,84
	TOTAL	1.849.280,00	1.772.584,29	

*) If the Commission has officially approved a budget modification indicate the breakdown of the revised budget. Otherwise this should be the budget in the original grant agreement.

***) Calculate the percentages by budget lines: e.g. the % of the budgeted personnel costs that were actually incurred

1. Il personale: il costo sostenuto per il personale è superiore del 14,79% rispetto a quello programmato in quanto la richiesta di proroga di 6 mesi concessa dalla Commissione ha allungato i tempi di attività.

2. Viaggi: Costo sostenuto è inferiore del 63,05% rispetto a quello programmato, dovuto.

- Interruzione attività di rendicontazione del partner ARPA al 31/12/2013.
- la zona test di Mereto scelta dopo la approvazione del progetto ha diminuito notevolmente il costo del partner UNIUD dovuto alla vicinanza della zona test a la loro sede.
- In fase progettuale sono stati considerati una serie di incontri, indicativamente bisettimanale, per esaminare dati, risultati, problemi, ecc. In fase attuativa si è verificata la possibilità che tali incontro fossero fatti per via telematica e valutazione di dati e risultati consultati in tempo reale sul sito WEB del progetto, tali soluzione ha dato dei ottimi risultati abbattendo notevolmente i costi di viaggio e missioni da parte di tutti i partner.

3. Assistenza esterna: Costi sostenuti 0.18% si può considerare coincidente con quello programmato.

4. Durables: totale costo non ammortizzato. Costo sostenuto inferiore del 38.79% rispetto a quello programmato.

- L'acquisto del Georesistivimetro da parte del partner OGS per l'azione 4 è stato sospesa in quanto tale strumentazione poteva essere sostituita da strumentazioni innovative acquistate dal partner OGS prima dalla approvazione definitiva del progetto WARBO.

- I costi per la costruzione del prototipo di monitoraggio automatico da parte del partner Eurekos sono risultati molto più economici con l'acquisto di parte elettroniche di ultima generazione.

- La Workstation- Massa Storage ha dovuto essere acquistata dal partner UNIPD per necessità interne prima della approvazione del progetto.

5. Materiali di consumo Costo sostenuto inferiore del 14.75% rispetto a quello programmato, differenza deriva dal fatto che i partner UNIUD e UNIFE hanno utilizzato i reagenti chimici già in loro possesso, quindi acquistati con altri finanziamenti.

6. Altri costi Costo sostenuto inferiore del 26.01% rispetto a quello programmato, dovuto alla impossibilità di assicurare la strumentazione lasciata per certi periodi in campagna.

7. Le spese generali. Overheads richieste in fase progettuali sono stato erroneamente valutate con un valore inferiore al 3% del total costo invece che del 7% come si deve fare, motivo per cui c'è un differenza del 65.84%.

6.2. Accounting system

//

6.3. Partnership arrangements

//

6.4. Auditor's report/declaration

Name and address of the external auditor, if required under the terms of the Common Provisions. The auditor's report (to be included with the financial report) must follow the format of the standard audit report form available on the LIFE website, in particular the auditor must in section 7 clearly state that the financial report is in compliance with the LIFE+ Programme Common Provisions, the national legislation and accounting rules.

Auditor Data:	
Auditor	
Nome e Cognome	Andrea Zampar
Indirizzo	Via del Fiume Vecchio 13/1
Città	Cervignano del Friuli (UD)
Nazione	Italia
Iscrizione registro revisori contabili nr.	157712

6.5 Summary of costs per action

Action no.	Short name of action	1. Personnel	2. Travel and subsistence	3. External assistance	4.a Infrastructure	4.b Equipment	4.c Prototype	5. Purchase or lease of land	6. Consumables	7. Other costs	TOTAL
action 1 OGS	"Gestione"	50.504,55	4.589,75	4.978,77		0,00			75,90	1.058,71	61.207,68
action 2 UNIUD	"GIS indicatori e idrogeologia"	106.021,89	3.672,27	0,00		0,00			4.101,95	248,66	114.044,77
action 3 ARPA	"DPSIR"	34.206,29	541,13	0,00		0,00			0,00	0,00	34.747,42
action 4 OGS	"Geometria e dinamica"	298.508,75	39.163,54	5.559,68		34.252,98			9.678,06	0,00	387.163,01
action 5 UNIPD	"Modelli"	122.008,07	5.744,85	0,00		13.691,15			2.610,78	1.275,00	145.329,85
action 6 COPPARO	"Ricarica acquifero salato"	33.380,68	2.398,42	14.808,36		0,00			0,00	4.942,25	55.529,71
action 7 UNIFE	"Qualità idrochimica e biologica e traccianti"	162.612,37	3.601,38	19.397,36		82.486,50			2.120,34	3.723,85	273.941,80
action 8 EUREKOS	"TGRA"	49.953,84	4.076,59	24.646,40		9.146,94			12.247,80	0,00	100.071,57
action 9 BOTTI	"Pozzi"	68.866,31	3.134,78	44.593,31		4.547,00			24.404,69	7.721,18	153.267,27
action 10 TARH	"Costi/benefici"	119.421,93	11.390,11	0,00		4.899,18			1.489,07	982,32	138.182,61
action 11 OGS	"Diffusione"	66.749,09	8.576,93	10.050,13		0,00			1.161,81	0,00	86.537,96
action 12 TARH	"Supporto idrogeologico"	92.427,63	7.968,97	5.000,00		3.276,00			631,71	2.142,25	111.446,56
Over-heads											111.114,08
	TOTAL	1.204.661,40	94.858,72	129.034,01	0,00	152.299,75	0,00	0,00	58.522,11	22.094,22	1.772.584,29

Please comment on any major discrepancies between this table and the summary of costs per action set out in the grant agreement (form FB or R2).

7. Annexes

I deliverable, ossia gli Annex 1,2,3,4,5 sono stati consegnati nell'Inception Report.

Dal 20 al 34 riguardano i Deliverable consegnati per il Mid-term Report; il resto sono rapporti tecnici che non sono stati richiesti ma che sono integrativi all'attività svolta.

Quelli di seguito elencati completano lista completa dei deliverable prodotti per il progetto, ossia dall'Annex 37 all'Annex 68 (in formato cartaceo ed elettronico):

- Annex 37 - Report tecnico idrogeochimico e geoelettrico per la Procedura VIA della proposta di ricarica artificiale
- Annex 38 - Acquisizione dei dati e correlazioni fra restituzione termometrica e parametri elettrici
- Annex 39 - Rapporto indagine pozzi
- Annex 40 - Analisi intermedia dello "Stato" ed individuazione mediante la metodologia DPSIR dei determinanti e delle pressioni
- Annex 41 - Individuazione dei siti idonei alla RA e caratterizzazione idrogeologica
- Annex 42 - Formulazione del modello preliminare della ricarica artificiale
- Annex 43 - Profili sismici 3D delle aree del progetto e telerilevamento sulle caratteristiche dei suoli e della vegetazione
- Annex 44 - Monitoraggio multidisciplinare con il protocollo WARBO delle aree di sperimentazione
- Annex 45 - Profili sismici passivi, profili GPR, sismica attiva, VSP e telerilevamento
- Annex 46 - Modello definitivo della risposta dinamica degli acquiferi interessati alla ricarica artificiale
- Annex 47 - Verifica della risposta biologica, geochemica e geoelettrica del sistema di ricarica artificiale
- Annex 48 - Analisi dello "Stato" ed individuazione mediante la metodologia DPSIR dei determinanti e delle pressioni
- Annex 49 - Rapporto sul protocollo multidisciplinare WARBO
- Annex 50 - Definizione dei protocolli per la modellizzazione idrogeologica della ricarica artificiale dei corpi acquiferi
- Annex 51 - Protocolli idrogeologici per la scelta delle aree di intervento, delle modalità di monitoraggio e della valutazione dell'efficacia della ricarica artificiale
- Annex 52 - Applicazione della metodologie DPSIR nell'aria friulana e valutazione delle potenzialità di riutilizzo di acque reflue nella ricarica con sistema AFI
- Annex 53 - Modello concettuale multidisciplinare del sistema R.A e mappe geofisico-idrogeochimico-petrofisiche
- Annex 54 - CD e Brochure prodotte nell'ambito delle attività didattiche per le scuole
- Annex 55 - Risultati del monitoraggio dell'efficacia delle nuove tipologie di Pozzi mirati a ottimizzare la R.A. con il protocollo multidisciplinare WARBO
- Annex 56 - Risultati del monitoraggio delle acque superficiali e sotterranee mediante sonde multiparametriche e prelievi periodici e risposta TGRA
- Annex 57 - Coinvolgimento degli stakeholder
- Annex 58 - Atti della scuola estiva per dottorandi presso TARH
- Annex 59 - Modello definitivo integrato WARBO comprendente la modellizzazione delle dinamica degli acquiferi e i indicatori essenziali per il monitoraggio e indici di qualità
- Annex 60 - 2 Pubblicazioni scientifiche e 2 partecipazioni a congressi internazionali

- Annex 61 - Modelli innovativi della dinamica degli acquiferi sottoposti a R.A e supporto all'aggiornamento delle Direttive Europee sull'acqua e raggiungimento degli obiettivi della WFD
- Annex 62 - Protocollo multidisciplinare WARBO e valutazione della trasferibilità del protocollo ad altre realtà europee
- Annex 63 - Modello costi –benefici
- Annex 64 - Parametri e indici descrittivi degli aspetti ambientali e socioeconomici della RA
- Annex 65 - After LIFE Communication plan
- Annex 66 - Brochure delle attività degli stakeholder CD rom e di un DVD divulgativi delle attività di progetto e dei risultati ottenuti
- Annex 67 - Giornata divulgativa di fine progetto
- Annex 68 - Layman's Report

7.1 Administrative annexes

Cartacei:

- o Chiarimenti e documenti richiesti con nota prot. ENV/E-4/GC/TF Ares (2014) 1277780 dd. 24/04/2014 "Informazioni aggiuntive al Rapporto Intermedio"
- o Chiarimenti e documenti richiesti con nota prot. ENV/E-4/GC/TF/nl/Ares (2014) 2279471 dd. 09/07/2014 "Visita di monitoraggio del 12 e 13 maggio"
- o Chiarimenti e documenti richiesti con nota prot. ENV/E-4/RN/ae/Ares (2014) 147963 dd. 14/01/2015 "Visita di monitoraggio del 27 novembre 2014"
- o Independent Audit Report in originale
- o Standard Payment Request and Consolidated Statement for the Project
- o Financial Statement of the Individual Beneficiary in originale - OGS
- o Financial Statement of the Individual Beneficiary in originale - Università' degli Studi di Ferrara
- o Financial Statement of the Individual Beneficiary in originale – Università' degli Studi di Udine
- o Financial Statement of the Individual Beneficiary in originale – Università' degli Studi di Padova
- o Financial Statement of the Individual Beneficiary in originale – ARPA FVG
- o Financial Statement of the Individual Beneficiary in originale – Comune di Copparo
- o Financial Statement of the Individual Beneficiary in originale – Botti Elio Sas
- o Financial Statement of the Individual Beneficiary in originale - TARH
- o Financial Statement of the Individual Beneficiary in originale – EurekaS Srl

Su supporto informatico:

- o Cartella "Financial Statement pdf" contenente versione pdf degli statements di ciascun partner (vedi sopra) + il Consolidated Statement of the Project
- o Cartella "Financial Statement xls" contenente versione xls degli statements di ciascun partner (vedi sopra)
- o Cartella "Risposta a lettera dd. 24.04.14" contenente copia pdf di "Chiarimenti e documenti richiesti con nota prot. ENV/E-4/GC/TF Ares (2014) 1277780 dd. 24/04/2014 "Informazioni aggiuntive al Rapporto Intermedio"
- o + relativi allegati

- o Cartella “Risposta a lettera dd. 09.07.14” contenente copia pdf di “Chiarimenti e documenti richiesti con nota prot. ENV/E-4/GC/TF/nl/Ares (2014) 2279471 dd. 09/07/2014 "Visita di monitoraggio del 12 e 13 maggio” + relativi allegati
- o Cartella “Risposta a lettera dd. 14.01.15” contenente copia pdf di “Chiarimenti e documenti richiesti con nota prot. ENV/E-4/RN/ae/Ares (2014) 147963 dd. 14/01/2015 "Visita di monitoraggio del 27 novembre 2014”
- o Copia pdf dell’Independent Audit Report
- o Copia pdf di Standard Payment Request
- o Formato .xls delle tabelle “Project costs incurred”, Summary costs per action” e “Auditor data”

7.2 Technical annexes

//

7.3 Dissemination annexes

7.3.1 Layman's report

E’ allegato in forma cartacea e digitale alla documentazione del Final Report (riferimento, Annex 68 – Latman’s Report).

7.3.2 After-LIFE Communication plan – for LIFE+ Biodiversity and LIFE Environment Policy and Governance projects

E’ allegato in forma cartacea e digitale alla documentazione del Final Report (riferimento, Annex 65 - After LIFE Communication plan) prodotto come Deliverable di progetto.

7.3.3 Other dissemination annexes

Non sono stati allegati alla presente tutto ciò che concerne la multimendialità e i prodotti in formato elettronico, per comodità e presa visione diretta del materiale di disseminazione il tutto è stato inserito nel sito web di WARBO, accessibili dai link di menù, sotto la sezione “Pubblicazioni e diffusione”.

7.4 Final table of indicators

Si riportano le tabelle degli indicatori nell’ Annex 69 - Outcomes_final_tables.

.

Daniel NietoYabà

Coordinatore del progetto WARBO
