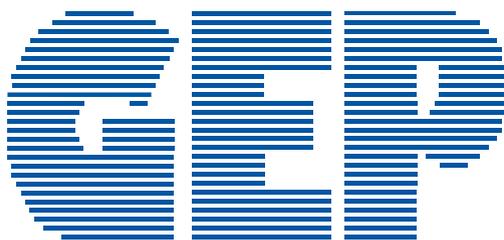
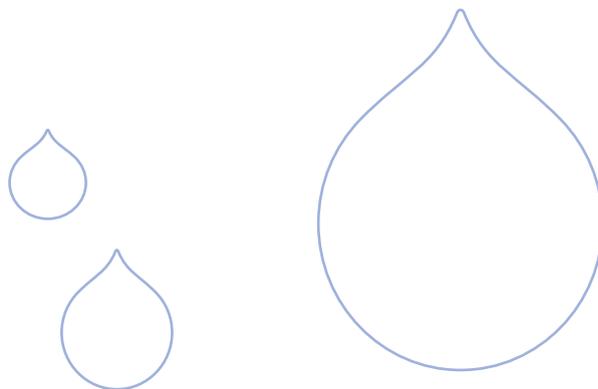


Progetto standard

Sistema informativo territoriale (GIS) congiunto
per la protezione delle risorse d'acqua potabile in casi di emergenza



RICERCHE IDROGEOLOGICHE E AMBIENTALI E SISTEMA INFORMATIVO GEOGRAFICO DEL PROGETTO GEP



www.gepgis.eu

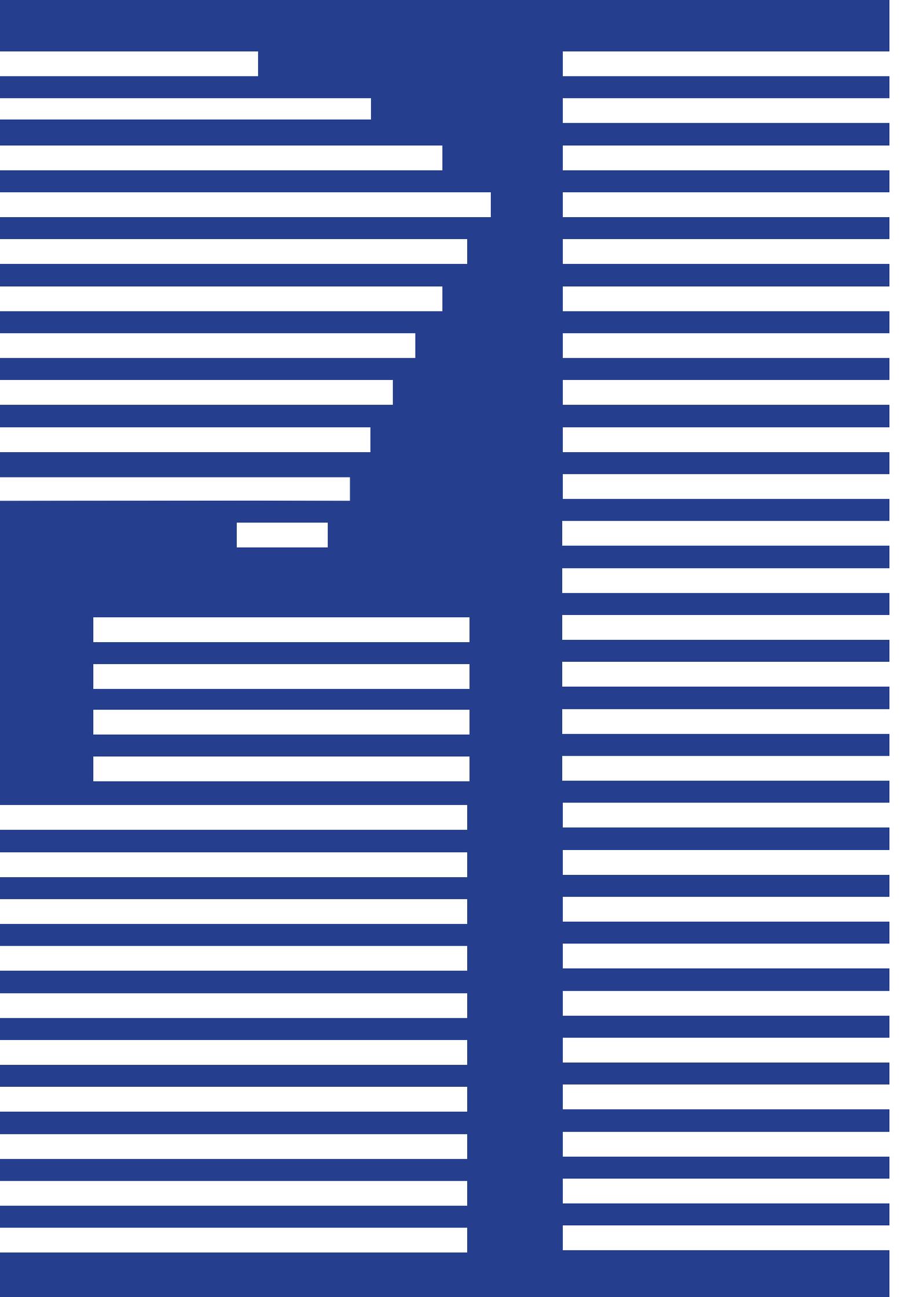


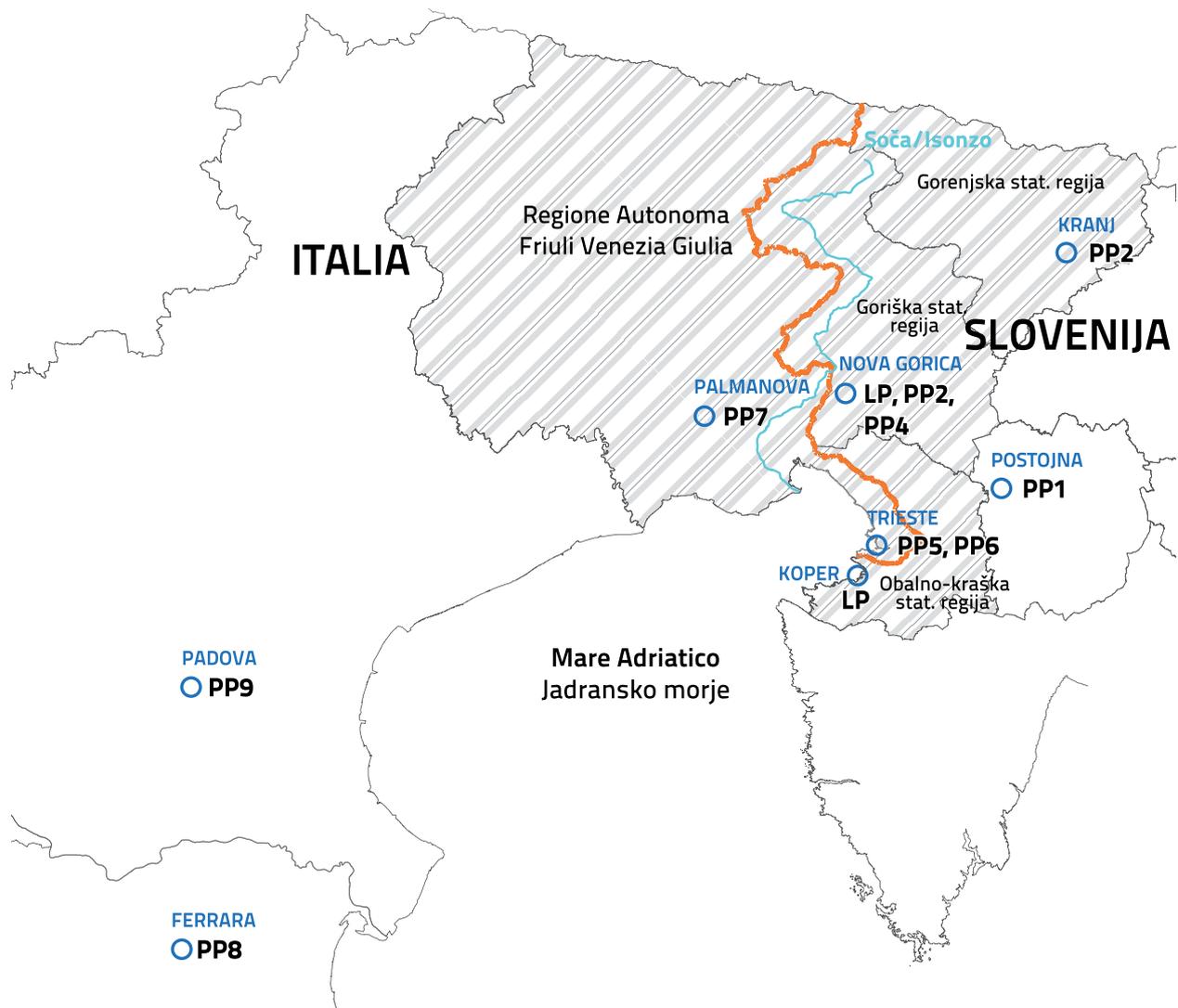
2007-2013
cooperazione territoriale europea
programma per la cooperazione
transfrontaliera
Italia-Slovenia
evropsko teritorialno sodelovanje
program čezmejnega sodelovanja
Slovenija-Italija



Investiamo nel
vostro futuro!
Naložba v vašo
prihodnost!
www.ita-slo.eu

Progetto cofinanziato dal Fondo europeo di
sviluppo regionale
Projekt sofinancira Evropski sklad
za regionalni razvoj





- Confine di stato Italia-Slovenia
- Partner
- Areale di studio del Progetto



RICERCHE IDROGEOLOGICHE E AMBIENTALI E SISTEMA INFORMATIVO GEOGRAFICO DEL PROGETTO GEP

Edito da: Università degli Studi di Trieste

Layout & Stampa: Divulgando srl

Tiratura: 150 copie

Luogo e data di stampa: Trieste, ottobre 2014



9 788883 035883 > ISBN 978-88-8303-588-3
eISBN 978-88-8303-589-0



EUT - Edizioni Università di Trieste
Via E. Weiss, 21 – 34128 Trieste, Italia – <http://eut.units.it>

Pubblicazione finanziata nell'ambito del Programma per la Cooperazione Transfrontaliera Italia-Slovenia 2007-2013, dal Fondo europeo di sviluppo regionale e dai fondi nazionali.

Il contenuto della presente pubblicazione non rispecchia necessariamente le posizioni ufficiali dell'Unione europea.

La responsabilità del contenuto della presente pubblicazione appartiene agli autori: Dipartimento di Scienze della Vita-Università degli Studi di Trieste, Dipartimento di Matematica e Geoscienze-Università degli Studi di Trieste, Geologija d.o.o. Idrija (consulente esterno LP), Naravoslovnotehniška fakulteta, Univerza v Ljubljani (consulente esterno LP), Inštitut za raziskovanje krasa ZRC SAZU, Nacionalni laboratorij za zdravje, okolje in hrano (Lokacija Nova Gorica), Dipartimento di Fisica e Scienze della Terra-Università degli Studi di Ferrara, Dipartimento Territorio e Sistemi Agro-Forestali-Università degli Studi di Padova.

SOMMARIO

RICERCHE IDROGEOLOGICHE E AMBIENTALI E SISTEMA INFORMATIVO GEOGRAFICO DEL PROGETTO GEP

INTRODUZIONE	3
1. I MODELLI IDROGEOLOGICI DELL'ALTOPIANO DI TRNOVO-BANJŠICE E DELL'ALTA PIANURA ISONTINA.....	5
1.1. IMPORTANZA E OBIETTIVO DEI MODELLI IDROGEOLOGICI	5
1.2. BASI IDROGEOLOGICHE	7
1.2.1. Ciclo dell'acqua.....	7
1.2.2. Fondamenti di idrogeologia	8
1.2.3. Acque sotterranee	9
1.2.4. L'acqua nel carso	9
1.3. IDROGEOLOGIA DELL'ALTOPIANO DI TRNOVO-BANJŠICE	11
1.3.1. Caratteristiche litostratigrafiche e strutturali dell'Altopiano di Trnovo-Banjšice ..	11
1.3.2. Caratteristiche idrogeologiche.....	12
1.3.3. Le grandi sorgenti carsiche	13
1.3.4. Vulnerabilità dell'acquifero	17
1.4. IDROGEOLOGIA DELL'ALTA PIANURA ISONTINA.....	19
1.4.1. Alta Pianura Isontina	19
1.4.2. Substrato	19
1.4.3. Caratteristiche idrodinamiche e idrochimiche	22
1.4.4. Caratteristiche climatiche	24
1.4.5. Vulnerabilità intrinseca	26
1.4.6. Centri di pericolo.....	27
2. METODI DI ELABORAZIONE DEI MODELLI IDROGEOLOGICI	29
2.1. STRUMENTI DI MODELLAZIONE	29
2.2. L'ACQUIFERO CARSIICO DELL'ALTOPIANO DI TRNOVO-BANJŠICE.....	30
2.3. L'ACQUIFERO DELL'ALTA PIANURA ISONTINA	32
3. LINEE GUIDA PER IL MONITORAGGIO DELLA QUALITÀ DELLE FONTI D'ACQUA CARSIICHE.....	35
3.1. LINEE GUIDA	35
3.2. MONITORAGGIO DELLA QUALITÀ DI FONTI D'ACQUA CARSIICHE NEI CASI DI EMERGENZA	37
3.2.1. Acquisizione di dati in casi di eventi straordinari.....	38
3.2.2. Monitoraggio e campionamenti	38
3.2.3. Elaborazione dei risultati dei rilievi e delle analisi	39
4. ANALISI TERRITORIALE E GESTIONE AMBIENTALE.....	41
5. GIS ACQUE POTABILI	49
RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI.....	53

INTRODUZIONE

Il progetto triennale di collaborazione transfrontaliera Italia-Slovenia denominato GEP (Sistema informativo territoriale (GIS) congiunto per la protezione delle risorse d'acqua potabile in casi di emergenza) si propone di creare un sistema congiunto di gestione degli interventi di Protezione civile nel caso di emergenze dell'acqua potabile, provocate da rischi tecnologici o naturali, sul territorio delle regioni statistiche Goriška, Gorenjska e Obalno-kraška e della Regione autonoma Friuli Venezia Giulia. Per pianificare le misure di emergenza è necessario prendere in considerazione le caratteristiche idrogeologiche dell'area. In base a queste, sarà possibile definire le modalità e le misure di diffusione di un eventuale inquinamento verso le fonti di acqua potabile e le conseguenze della contaminazione sulla loro qualità.

Un importante obiettivo del progetto è stato l'implementazione del GIS transfrontaliero relativo alle fonti di approvvigionamento idrico con l'elaborazione congiunta di carte della vulnerabilità e modellazioni numeriche dell'altipiano di Trnovsko-Banjške e della pianura dell'Isonzo. Tali aree sono state scelte in quanto sede dei principali punti di captazione delle acque potabili. I dati raccolti sono stati integrati su piattaforma GIS in un modello idrogeologico che riassume le caratteristiche di flusso dell'acqua e permette di prevedere la diffusione d'inquinamento nelle aree di ricarica delle fonti d'acqua potabile. Questo rende possibile, in caso di un eventuale inquinamento in una certa località, di individuare immediatamente quali sono le fonti d'acqua in pericolo e in quando tempo possa sopraggiungere l'inquinante.

Al fine di intervenire in modo tempestivo è necessario prevedere un monitoraggio qualitativo delle fonti in pericolo. La scelta dei punti di monitoraggio deve tener conto delle condizioni idrodinamiche al momento dell'emergenza e delle caratteristiche idrogeologiche dell'area. Di seguito vengono descritte le linee guida di base per il monitoraggio qualitativo delle risorse idriche in caso di emergenza.

Durante un'emergenza, il supporto fornito dal GIS permette anche ai non esperti nel campo dell'idrogeologia, un facile e veloce accesso alle informazioni relative alle fonti di acqua potabile in pericolo e aiuta a pianificare gli interventi immediati. Successivamente, grazie anche al supporto di esperti idrogeologi, le azioni da compiere possono essere pianificate con maggior dettaglio.

Partner progettuali coinvolti nei WP5, 6 e 7:

LP Nacionalni inštitut za javno zdravje (OE Nova Gorica, OE Koper)

Geologija d.o.o. Idrija (consulente esterno LP)

Naravoslovnotehniška fakulteta, Univerza v Ljubljani (consulente esterno LP)

PP1 Inštitut za raziskovanje krasa ZRC SAZU

PP2 Nacionalni laboratorij za zdravje, okolje in hrano (Lokacija Nova Gorica, Lokacija Kranj)

PP5 Dipartimento di Matematica e Geoscienze, Università degli Studi di Trieste

PP6 Dipartimento di Scienze della Vita, Università degli Studi di Trieste

PP8 Dipartimento di Fisica e Scienze della Terra, Università degli Studi di Ferrara

PP9 Dipartimento Territorio e Sistemi Agro-Forestali, Università degli Studi di Padova

1. I MODELLI IDROGEOLOGICI DELL'ALTOPIANO DI TRNOVO-BANJŠICE E DELL'ALTA PIANURA ISONTINA

1.1. IMPORTANZA E OBIETTIVO DEI MODELLI IDROGEOLOGICI

a cura di Goran Vižintin (NTF UL), Metka Petrič (IZRK ZRC SAZU)

Sul territorio transfrontaliero della regione statistica di Goriška e della Regione autonoma del Friuli Venezia Giulia, le due principali fonti d'acqua potabile sono rappresentate dall'acquifero carsico dell'Altopiano di Trnovo-Banjšice e dalla pianura alluvionale del fiume Isonzo. L'altopiano carsico di Trnovo-Banjšice, è sede di un importante acquifero che alimenta diverse sorgenti tra le quali una delle più importanti è la sorgente Mrzlek che fornisce l'acqua potabile a circa 45.000 persone in entrambi i lati del confine. Al piede dell'altopiano, sono presenti numerose altre sorgenti carsiche (Podroteja, Hubelj, Kajža, Hotešk), utilizzate a scopo idropotabile servendo circa 44.000 persone. L'acquifero alluvionale dell'Isonzo è captato dagli acquedotti di Trieste e Gorizia servendo oltre 350.000 abitanti.

Per proteggere queste importanti fonti d'acqua potabile in caso di calamità è fondamentale avere piena conoscenza delle caratteristiche idrogeologiche del bacino di alimentazione al fine di poter pianificare in modo tempestivo e adeguato gli interventi durante le emergenze. Le modalità ed i tempi con i quali un contaminante si diffonde in un acquifero può essere previsto solo attraverso una puntuale conoscenza del contesto geologico ed idrogeologico. Per tutto questo, è necessario realizzare un studio idrogeologico propedeutico all'elaborazione del modello.

Le attività svolte nelle due aree di studio del progetto GEP hanno portato all'integrazione dei dati bibliografici esistenti con quelli acquisiti con le nuove ricerche svolte ad hoc. A causa delle differenze nel comportamento fra acquiferi carsici e acquiferi alluvionali e per differenti metodologie usate per la loro esplorazione, nella prima fase dell'elaborazione del modello idrogeologico, i due acquiferi testati sono stati studiati separatamente. Uniti, invece, nell'ambito del GIS delle fonti di acqua potabile, consentono, nel caso di un eventuale inquinamento in una determinata località, di definire le fonti in pericolo e i tempi di arrivo delle sostanze contaminanti.

1.2. BASI IDROGEOLOGICHE

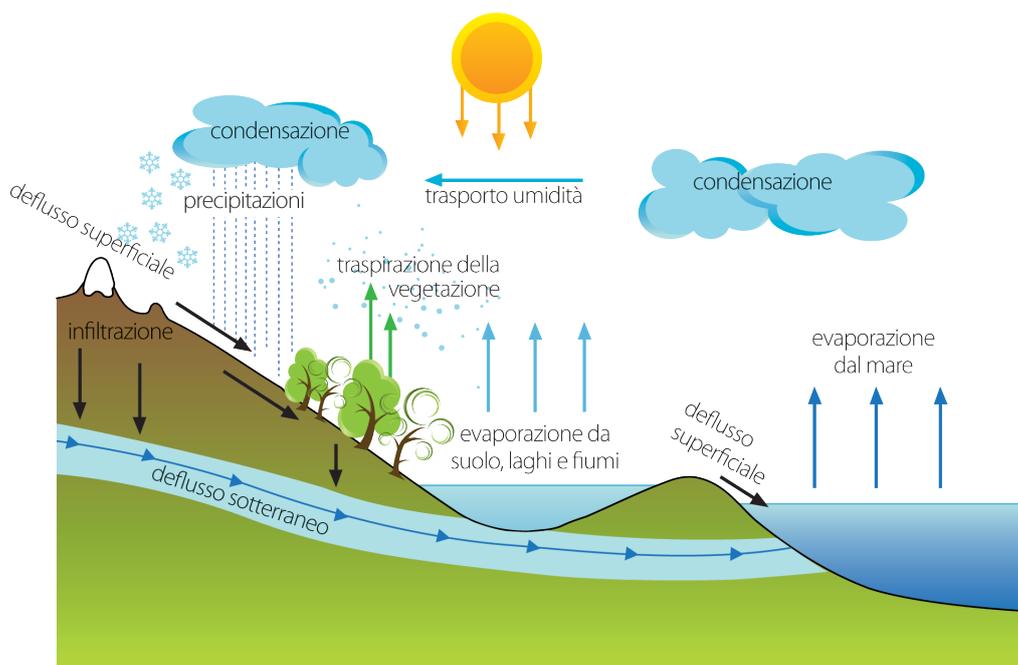
a cura di Goran Vižintin (NTF UL), Metka Petrič (IZRK ZRC SAZU)

1.2.1 Ciclo dell'acqua

Il ciclo dell'acqua descrive i processi di circolazione dell'acqua in natura. L'acqua è ovunque, è presente nell'atmosfera, nelle acque superficiali continentali, nei mari e nel terreno, all'interno della crosta. La zona dove avviene lo scambio di acqua tra atmosfera, acque di superficie, mari e terreno, è detta idrosfera. Tutti gli scambi che avvengono nell'idrosfera sono causati dal Sole. Il Sole, con i suoi raggi, fornisce un flusso costante di energia, che provoca l'evaporazione dell'acqua da ghiacciai, superfici innevate, stagni, laghi e oceani e l'evapotraspirazione di acqua dalla superficie del terreno. La maggior parte dell'acqua nell'atmosfera proviene dall'evaporazione degli oceani, piccola parte dalle acque superficiali continentali e dall'evapotraspirazione. Il sollevamento delle masse d'aria ed il conseguente loro raffreddamento, provoca la condensa, che porta a nebbia, brina, pioggia, grandine, neve e ghiaccio. Pioggia, grandine e neve, giunte al suolo generano di nuovo l'acqua. Se l'acqua cade su una superficie rocciosa, una parte defluisce in flussi di superficie, un'altra parte s'infiltra nel terreno. L'acqua infiltrata, se il terreno è poroso e permeabile si infiltra negli strati più profondi.

Nelle aree prese in considerazione dal Progetto GEP sono naturalmente presenti tutti gli elementi del ciclo dell'acqua. Il vapor d'acqua giunge dal mare Adriatico, dalle altre acque interne, si arricchisce dell'evapotraspirazione con l'aiuto della vegetazione e del suolo. Si solleva, si condensa sopra i massicci di alta montagna e riprecipita al suolo. Parte dell'acqua scende al mare in flussi di superficie, un'altra parte defluisce appena sotto la superficie e il resto viene accumulato nei terreni porosi e permeabili. Quanto immagazzinato nel terreno talvolta trabocca in superficie dando luogo alle diverse sorgenti. Le acque sotterranee ridiventano parte delle acque superficiali e il fiume Isonzo le porta nel mare Adriatico, completando così il ciclo dell'acqua.

L'idrogeologia è la disciplina che studia la distribuzione ed il flusso dell'acqua sotterranea e la sua comparsa in superficie.



Il ciclo dell'acqua.

1.2.2 Fondamenti di idrogeologia

Le rocce, dal punto di vista idrogeologico, vanno suddivise in base alla loro porosità, che può essere intergranulare, interstiziale (o fessurata), e mista fessurata/fratturata di natura carsica o no. Per comprendere la dinamica dei flussi delle acque sotterranee è molto importante conoscere le differenze tra i diversi tipi di roccia. Nell'area del progetto GEP si rinvennero rocce che hanno tutti e tre i tipi di porosità. Le rocce fessurate agiscono come una barriera idrica che, per la minore permeabilità, trattengono l'acqua; le rocce fessurate carsiche agiscono invece come collettori di acqua piovana, la trattengono e, quando a contatto con rocce fratturate, danno origine a grandi sorgenti. Gran parte dell'acqua contenuta negli acquiferi montani viene raccolta dal fiume Isonzo, il quale nel tratto inferiore di pianura scorre su rocce intergranulari, che in alcune parti lo alimentano, in altre lo drenano.

La dinamica del flusso dell'acqua nelle rocce carsificate è più veloce di quella nelle rocce intergranulari o solamente fessurate. Nelle rocce carsificate la velocità del flusso dell'acqua è anche di 100 metri o più al giorno, mentre nelle rocce intergranulari le velocità maggiori sono dell'ordine di appena 10 metri al giorno.

Indipendentemente dal tipo di porosità delle rocce, le acque sotterranee si trovano nelle falde acquifere. Una falda acquifera è una formazione geologica che permette il movimento dell'acqua nei pori o nelle fessure. In base alle loro caratteristiche idrodinamiche, le falde si suddividono in:

Falda libera: è costituita da acque sotterranee libere in superficie. La pressione sulla superficie idrica è uguale alla pressione atmosferica. In genere si mantiene uniforme, se alimentata da un fiume o dalle piogge.

Falda confinata: è limitata in basso e in alto da rocce impermeabili e l'acqua all'interno è sotto pressione. Tali falde acquifere sono anche dette falde artesiane: se vi pratichiamo un foro l'acqua si eleva o addirittura defluisce in superficie a causa della pressione.

Falda semiconfinata: è limitata in basso e in alto da rocce semimpermeabili, e quindi può essere anche alimentata dallo strato limite inferiore (letto) o superiore (tetto). L'alimentazione è proporzionale alla differenza di livello tra lo strato di deposito dell'acqua e il limite superiore o inferiore. La falda acquifera semiconfinata può essere vista come una falda acquifera composta da uno strato ben permeabile, ricoperto da uno strato meno permeabile, con una componente non trascurabile di flusso orizzontale.

Oltre a strati e formazioni geologiche che permettono il movimento dell'acqua, ci sono anche strati che, essendo scarsamente permeabili all'acqua, rendono difficile il movimento delle acque sotterranee. Questi strati sono molto importanti perché definiscono la direzione di movimento delle acque sotterranee e il suo accumulo nelle rocce acquifere. Questi strati si suddividono in:

- Strato semipermeabile (aquitard): è costituito da un mezzo a bassa permeabilità, che può trasmettere l'acqua solo lentamente.
- Strato impermeabile (acquitclode): ha una permeabilità così bassa che non può trasmettere; non è necessariamente asciutto.

1.2.3 Acque sotterranee

Possiamo studiare le acque sotterranee mediante pozzi che consentono la misurazione del gradiente idraulico o del livello della superficie piezometrica che divide la porzione satura dell'acquifero da quella insatura. I fori destinati all'osservazione dei livelli delle acque sotterranee sono detti piezometri e dovrebbero soddisfare i seguenti requisiti:

- devono essere ubicati in un sito che riflette l'effettivo stato della falda acquifera,
- devono essere costruiti in modo da prevenire la possibile contaminazione della falda acquifera dall'alto e il collegamento idraulico tra i vari strati,
- il filtro deve essere posizionato in modo da interessare tutta la falda acquifera o una parte significativa agli effetti idrodinamici (piezometro completo),
- il contatto tra l'interno del foro e l'acquifero deve essere il più possibile transitorio,
- il diametro del foro deve essere tale da permettere il monitoraggio delle acque.

I pozzi sono strutture destinate principalmente al prelievo, talora per pompaggio, di acque sotterranee. Possono essere adatti al campionamento delle acque sotterranee, purchè si tenga conto della loro funzione di prelievo delle acque sotterranee.

Per determinare le proprietà della falda dobbiamo avere almeno un pozzo e un piezometro; per determinare la direzione del flusso delle acque sotterranee in mezzi porosi sono sufficienti tre piezometri. Per determinare la direzione e la velocità del flusso di acque sotterranee in acquiferi fratturati carsici, abbiamo bisogno di eseguire esperimenti di tracciamento.

Nell'area di competenza del progetto GEP, piezometri e pozzi sono collocati in prevalenza nella Pianura Isontina italiana e sono stati usati per monitorare i livelli ed alcune caratteristiche chimico fisiche delle acque sotterranee in funzione dei punti di prelievo per l'approvvigionamento idrico.

1.2.4 L'acqua nel carso

Gli acquiferi carsici sono idrostrutture composte da rocce carbonatiche (per lo più calcari e dolomie) interessate da processi di corrosione e dissoluzione che generano i tipici morfotipi carsici superficiali e sotterranei. L'acqua meteorica si infila rapidamente attraverso la superficie rocciosa o il suolo, solitamente poco potente, raggiungendo il substrato. L'acqua si muove per lo più verticalmente dalla superficie attraverso i vuoti presenti nella massa rocciosa di diverse forme e misure (pori piccoli tra i granelli, fratture, canali carsici) fino a raggiungere la falda sotterranea. La parte superiore dell'acquifero, in cui i pori sono riempiti d'acqua soltanto in concomitanza delle precipitazioni, è denominata zona vadosa. La parte di acquifero nella quale i pori sono costantemente riempiti d'acqua viene denominata zona satura. In questa zona il flusso dell'acqua diviene prevalentemente orizzontale verso le sorgenti che rappresentano lo scolo naturale delle acque sotterranee.

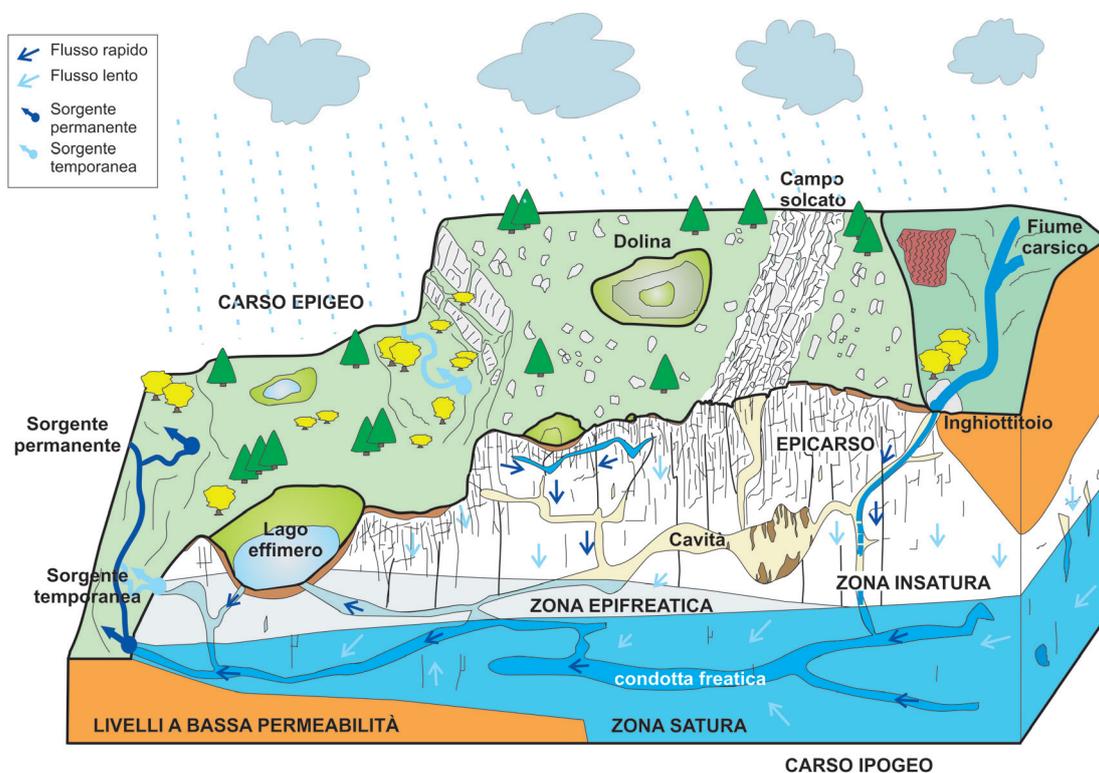
Nelle zone di contatto tra terreni carsificati e non ci possono essere inghiottitoi che catturano le acque di corsi d'acqua superficiali. Se questi sono contaminati rappresentano una via di infiltrazione veloce e concentrata delle sostanze inquinanti che attraverso i grandi condotti carsici sotterranei fluiscono rapidamente verso le sorgenti.

Data la struttura estremamente eterogenea degli acquiferi carsici i vuoti presenti nel sottosuolo assumono forme e dimensioni diverse e ciò favorisce un instaurarsi di flussi sotterranei variegati. I condotti carsici sono altamente permeabili, permettono all'acqua di fluire molto velocemente (anche fino a più di cento metri all'ora) e si possono drenare aree poste anche a distanze superiori alle decine di chilometri. Nei settori meno permeabili dell'acquifero il flusso può essere anche molto lento e l'acqua può permanere nella massa rocciosa anche per un periodo di tempo molto lungo.

La vulnerabilità degli acquiferi carsici ad inquinanti idroveicolati sia in superficie che in profondità risulta estremamente elevata. I processi di autodepurazione che si instaurano nel suolo e nell'insatura

sono poco efficaci in quanto l'infiltrazione è veloce, la filtrazione è minima e le velocità dei flussi è elevata: bastano poche ore ad un inquinante per attraversare la zona vadosa e raggiungere in pochi giorni le sorgenti. Una parte dell'inquinante però si ferma nelle zone meno permeabili e viene rilasciato lentamente nell'acquifero per giorni, settimane, mesi o anni.

L'idrodinamica dell'acqua di falda dipende non solo della struttura degli acquiferi, ma anche della distribuzione, quantità e intensità delle precipitazioni e queste si ripercuotono nelle variazioni di portata alle sorgenti. Contestualmente alla portata variano anche le caratteristiche fisiche e chimiche delle acque, confermando che le precipitazioni sono il principale veicolo di trasporto degli inquinanti nell'acquifero e quindi sono connesse alla qualità delle risorse idriche. Nei periodi di siccità più prolungata, quando le precipitazioni occasionali vengono trattenute soprattutto nella zona vadosa, il deflusso non aumenta molto e anche l'inquinamento alle sorgenti è minimo o non è presente. In queste condizioni, la qualità delle acque è relativamente buona (esclusi i casi di inquinamenti straordinari). Durante le intense precipitazioni, soprattutto in autunno, in concomitanza con le prime piene, dopo la siccità estiva, il flusso aumenta, si accrescono le portate alle sorgenti e la presenza degli inquinanti risulta elevata. Infatti, durante i periodi siccitosi si accumulano le sostanze derivanti dallo scolo di acque trattate e non trattate dei centri abitati che vengono scaricate nei fiumi carsici (e possono addirittura essiccare), dal dilavamento delle discariche, delle strade e dei terreni agricoli, ecc. si verifica cioè una concentrazione dei contaminanti in superficie, nelle zone vadose e nei letti dei corsi d'acqua che si mobilita solo con le prime precipitazioni. Questo ingente trasferimento di inquinanti in falda si traduce in un aumento delle concentrazioni misurate alle sorgenti con picchi che solitamente si esauriscono velocemente per il susseguirsi delle precipitazioni che provocano l'aumento dei flussi e quindi favoriscono i fenomeni di diluizione. Di conseguenza la qualità delle acque in queste fonti migliora. Solo nel caso di lunghi periodi con basse precipitazioni, come nelle annate 2011 e 2012, l'assenza dell'effetto di diluizione fa sì che l'inquinante continui a persistere ed essere presente in concomitanza di ogni precipitazione.



Modello schematico di acquifero carsico (Ravbar, 2007).

1.3. IDROGEOLOGIA DELL'ALTOPIANO DI TRNOVO-BANJŠICE

1.3.1 Caratteristiche litostratigrafiche e strutturali dell'Altopiano di Trnovo-Banjšice

a cura di Jože Janež (Geologija d.o.o.)

Il territorio dell'Altopiano di Trnovo-Banjšice è costituito da rocce prevalentemente carbonatiche di età triassica superiore, giurassica e cretacea. Rocce carbonifere, permiche e triassiche affiorano nei vicini territori di Idrija e di Tolmin. Il margine meridionale dell'altopiano di Trnovo, la valle del Vipacco, il margine occidentale dell'altopiano di Banjšice e la valle dell'Isonzo sono invece costituiti da rocce terrigene (Flysch) di età paleocenica ed eocenica.

In particolare, lungo il tratto superiore del torrente Zala, affiorano rocce carbonifere e permiche clastiche, dolomie e calcari del Permico Superiore, dolomie del Triassico inferiore, marne e scisti lenticolari, calcari oolitici, dolomie grigie e marne calcaree, dolomie dell'Anisico, conglomerati varicolori ladinici, arenarie e tufi. Nelle valli di Trebušica e di Zala affiora invece la dolomia cordevoliana. Nei ripidi pendii del margine settentrionale della Selva di Trnovo, nella valle di Trebušica e localmente in alcuni settori in destra orografica del torrente Zala, affiorano arenarie, scisti e dolomie.

La Dolomia Principale (Norico-Retico) costituita da dolomie grigie stratificate, affiora a partire dalla valle dell'Idrija e Most na Soči, per poi estendersi fino a Čepovanski dol, al margine settentrionale della Selva di Trnovo sopra Trebušica e alla valle di Belca. Affiora in corrispondenza degli altopiani di Zadlog e Črni Vrh, fino a Javornik, e sui fianchi del Monte Čaven. Sopra la Dolomia Principale si trova il Calcarea del Dachstein, un calcarea organogeno grigio-chiaro, che affiora con continuità tra la valle di Čepovan, la parte centrale dell'altopiano di Trnovo, Križna gora e Javornik.

Sopra i calcari e le dolomie del Norico-Retico si trovano in continuità stratigrafica le rocce del Giurassico. Sull'altopiano di Trnovo-Banjšice affiorano infatti rocce del Lias, del Dogger e del Malm. Queste hanno spessori che vanno da 1000 a 1500 metri e sono costituite da calcari oolitici compatti varicolori, calcari oolitici bianchi, dolomie da grigie a marroni, immergenti prevalentemente verso Sud-Ovest.

Seguono le rocce del Cretacico, che raggiungono complessivamente spessori compresi tra 2500 e 3000 metri. Il Cretacico inferiore è rappresentato da calcari da marroni a grigio-chiaro con livelli di dolomie granulari e bituminose. Seguono calcari grigi e calcari organogeni bianchi del Cretacico superiore. Nella parte nord-orientale, dalla valle di Avče il Cretacico superiore è tipicamente rappresentato dal Flysch e dal calcarea torbiditico di Volče. Su di esso si sono depositate brecce calcaree con lenti di marne ed arenarie con livelli di brecce (Scaglia). La successione carbonatica cretacea si chiude in discordanza erosiva con il Flysch terziario.

Nella zona di Banjšice, sopra i calcari del Cretacico inferiore e superiore si trovano le rocce paleoceniche ed eoceniche. Quelle di età paleocenica, rappresentate per lo più da marne rossastre, conglomerati calcarei e marne grigie, affiorano nella parte occidentale dell'altopiano di Trnovo-Banjšice e in corrispondenza delle finestre tettoniche nei dintorni di Idrija. Le rocce eoceniche sono invece rappresentate da un'alternanza di marne dal marrone al verdastro e da arenarie con selce.

Le brecce periglaciali che poggiano sul Flysch ai margini sudorientali dell'altopiano di Trnovo, da Vipava alla valle dell'Isonzo vicino a Mrzlek sono di età quaternaria. Fanno parte dell'Olocene anche le argille con inclusi rocciosi in depressioni della Selva di Trnovo e gli estesi versanti di detrito di falda che da Col a oriente giungono alla valle dell'Isonzo a occidente.

Il regime tettonico dominante è di tipo compressivo, con gli imponenti sovrascorrimenti tagliati, durante l'ultima fase tettonica alpina, da un fitto sistema di faglie subverticali. Da un punto di vista strutturale è caratteristica la ripetizione del Flysch paleocenico ed eocenico che costituisce vere e proprie unità strutturali comprese fra le più rigide piattaforme carbonatiche. Alla base della piattaforma sovrascorsa si trova l'unità strutturale di Hrušica. Nella zona di Idrija sulla unità di Hrušica, giace il calcare cretaceo e sopra questo la piastra dolomitica del Trias superiore in assetto stratigrafico rovesciato. Sopra questa unità strutturale carbonatica è posizionata la potente unità strutturale di Trnovo, costituita da rocce di età da carbonifera ad eocenica. Questa unità costituisce in pratica l'intero Altopiano di Trnovo-Banjšice, Lokovec, Čepovanski dol e la valle di Trebušica.

La Linea di Idrija limita a Nord-Est il territorio. Parallellamente ad essa si sviluppa la Linea di Zala. La faglia a carattere regionale di Avšek, chiamata nella sua parte orientale anche Linea di Predjama, è visibile dalla valle dell'Isonzo, da Avče fino al margine della conca di Pivka. Nella parte sud-occidentale dell'Altopiano di Trnovo-Banjšice si trova la Linea della Raša, la quale poi è mascherata dal Flysch della valle del Vipacco in prossimità di Lijak. Queste faglie, insieme alle altre strutture tettoniche, orientate per lo più N-S, E-W e NNW-SSE, possono essere considerate importanti condizionamenti nello sviluppo dei fenomeni carsici e quindi delle caratteristiche idrogeologiche dell'Altopiano di Trnovo-Banjšice.

1.3.2 Caratteristiche idrogeologiche

a cura di Jože Janež (Geologija d.o.o.)

Le caratteristiche idrogeologiche dell'Altopiano di Trnovo-Banjšice dipendono dall'assetto litologico e strutturale, che a sua volta è la conseguenza del regime tettonico cenozoico e secondariamente dell'attività neotettonica di alcune faglie presenti sul territorio.

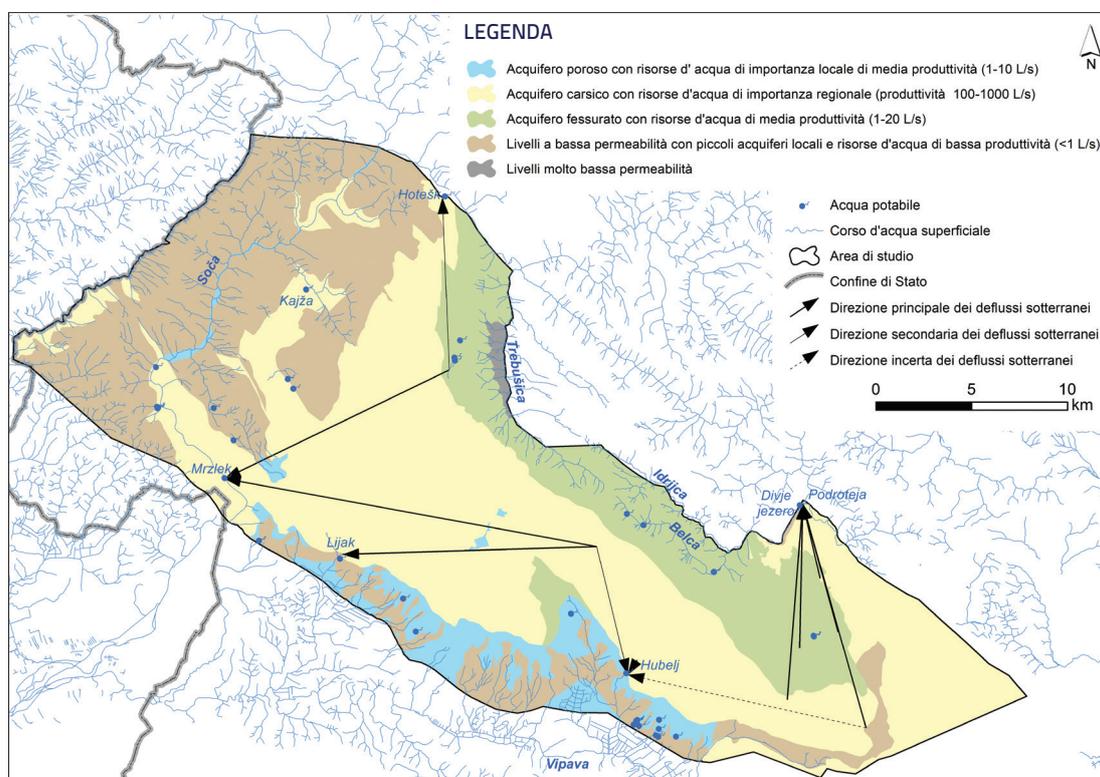
Il Flysch che affiora nella valle del Vipacco appartiene a due unità tettoniche distinte: la parte meridionale appartiene alla piattaforma di Komen, la parte settentrionale a quella del Nanos e Hrušica. Il Flysch dell'unità di Hrušica rappresenta nella valle di Vipacco un'entità impermeabile che funge da barriera naturale verso meridione e occidente. Verso Est invece il Flysch si assottiglia e diventa permeabile (Vodice, Lome, Novi Svet). Il flysch che affiora a circa 1000 m slm a Vodice immerge verso occidente. Lo ritroviamo a circa 300 m di quota nel territorio di Idrija sotto forma di scaglie tettoniche, mentre a Lijak è stato intercettato da un sondaggio a 16 metri di profondità. I sondaggi eseguiti a Prelesje (fino alla profondità di 220 m) e a di Deskle (fino alla profondità di 190 m) non hanno invece intercettato il Flysch. La morfologia e l'inclinazione di questa unità impermeabile guida i deflussi delle acque sotterranee carsiche verso occidente.

La parte centrale dell'acquifero carsico è costituita da rocce carbonatiche mesozoiche appartenenti all'unità strutturale di Trnovo. Tra il fiume Isonzo e Lijak le acque si trovano alla quota di 77 m slm, livello mantenuto costante dalla centrale idroelettrica di Solkan. Le acque sotterranee vengono rilevate a quote più alte, nella parte settentrionale di Banjšice (la sorgente Kajža è a 191 m slm) e nell'entroterra di Hubelj (fra 270 e 290 m slm).

Le acque sotterranee dell'acquifero carsico dell'Altopiano di Trnovo-Banjšice sgorgano in superficie nei settori marginali dell'altopiano dove la soglia impermeabile si trova più bassa in quota: vicino a Idrija, in corrispondenza delle sorgenti di Divje jezero e Podroteja, vicino ad Ajdovščina in corrispondenza della sorgente di Hubelj, vicino a Nova Gorica, in corrispondenza delle sorgenti di Lijak (saltuariamente) e di Mrzlek e infine presso la sorgente di Kajža, vicino a Kanal ob Soči.

Il confine settentrionale dell'acquifero carsico è costituito dalle rocce dolomitiche del Triassico superiore che risultano importanti acquiferi porosi per fessurazione (il crinale tra le valli di Čepovan e di Trebušica, Belca, Črni Vrh sopra Idrija). Le dolomie, alla base e lungo le valli di Trebušica e Belca, sono intercalate a rocce clastiche impermeabili che contribuiscono a sostenere le acque per limite di permeabilità.

Le breccie quaternarie a clasti grossolani e i depositi di versante di età olocenica raccolgono e trasportano minori quantità di acqua sotterranea e riforniscono numerose, localmente importantissime sorgenti di acqua.



Carta idrogeologica del territorio di studio dell'altopiano di Trnovo-Banjšice.

1.3.3 Le grandi sorgenti carsiche

a cura di Jože Janež (Geologija d.o.o.)

Podroteja e Divje jezero (Lago selvaggio)

Le sorgenti carsiche di Podroteja e Divje jezero si trovano nei pressi di Idrija, alla confluenza dei corsi d'acqua Idrija e Zala, ad una quota di 330 metri sopra il livello del mare. L'acqua proviene dai calcari scuri stratificati del Cretacico inferiore. La sorgente di Divje Jezero sgorga da una cavità suborizzontale esplorata dagli speleosubacquei fino ad una profondità di 160 metri. Nella sorgente Podroteja i condotti carsici sono assai stretti e quindi intransitabili.

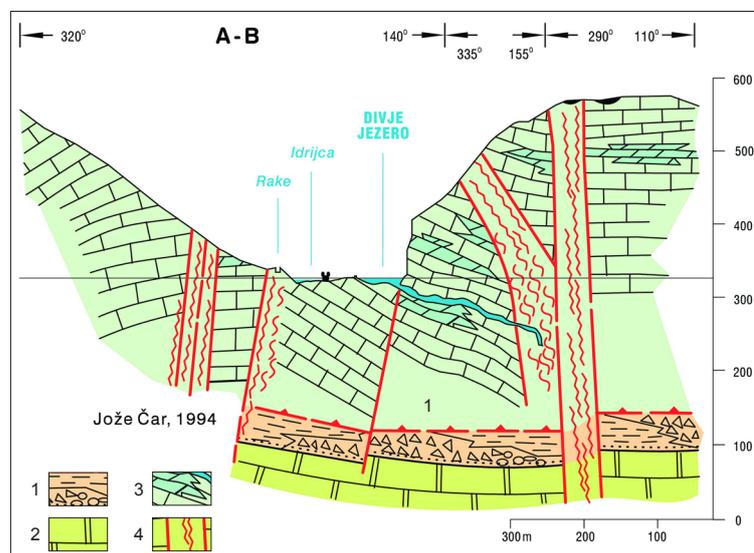
Il flusso di Podroteja in magra è di 200 l/s; dopo le precipitazioni, la portata sale anche a valori di migliaia di l/s. Divje jezero, una sorgente vauclusiana, durante i periodi di siccità non trabocca benchè nel bacino del sifone ci sia sempre dell'acqua, ma durante le piene le acque sono molto alte e si raggiungono portate di 10 m³/s.

Durante l'anno, la temperatura di Podroteja varia tra 7,2 e 9,8°C. D'estate, quando l'acqua è ferma, Divje jezero si scalda anche fino a 20°C. Dal punto di vista del chimismo, entrambe le acque delle sorgenti sono bicarbonato calciche magnesiache. Il rapporto Mg/Ca mostra la dominanza del substrato calcareo su quello dolomitico.

	Podroteja			Divje jezero		
	min	media	max	min	media	max
Temperatura (°C)	6,4	8,5	12	7,0	9,6	20,5
Durezza (°dH)	6,6	8,9	10,6	7,0	8,7	10,3
Ca (mg/l)	37,2	41,3	44,8	32,3	42,6	50
Mg (mg/l)	11,4	13,1	17,5	10,5	12,7	16,8
Mg/Ca (meq/l)	0,11	0,55	0,85	0,39	0,48	0,62

Chimismo delle acque di Podroteja e di Divje jezero.

A Podroteja e a Divje jezero l'oscillazione dei parametri chimici è in correlazione con le portate, o meglio con le precipitazioni. In particolare a Divje jezero dove tale dipendenza è più evidente. Podroteja è alimentata sia da acque carsiche molto profonde che da acque provenienti da territori non carsici.



Sezione geologica della sorgente Divje jezero. 1 – marna, arenaria, breccia calcarea – paleocene; 2 – calcare in strati potenti (Cretacico superiore); 3 – calcare in strati con vene dolomitiche (Cretacico inferiore); 4 – zona intensamente tettonizzata.

Hubelj

Il ripido versante della Selva di Trnovo sopra la sorgente di Hubelj è costituito da calcari granulari marroni chiari. In alcuni settori affiorano anche calcari oolitici e dolomie di età giurassica. Nella area sorgentifera affiorano calcari a stratificazione potente da 40 cm a 2 m, ma si possono trovare bancate potenti anche 10 m. Al di sopra del versante, invece, si trova il calcare massivo. Gli strati immergono da 30° a 60° verso sud-ovest. Solo nell'area della sorgente Hubelj immergono da 22° a 40° verso Sud.

Nel settore occidentale della sorgente, si rileva il contatto tra le rocce carbonatiche dell'Altopiano di Trnovo con il Flysch di età eocenica composto da un'alternanza di marne e arenarie potenti da 5 a 30 cm lungo la Linea di Avče-Dol, ad andamento subverticale. Nella parte orientale di Hubelj, il Flysch si trova al di sotto di una breccia di versante ad una quota 475 m s.l.m., a Hubelj, invece la quota è di 240 m. Di conseguenza, Hubelj giace in fondo a una depressione strutturale legata all'unità strutturale di Trnovo.

Le sorgenti emergono in una fascia estesa 70 m ad una quota compresa tra 240 m ad Occidente e 265 m s.l.m. ad Oriente. Le acque fuoriescono da discontinuità ampliate dai processi carsici. Sopra le sorgenti perenni si trovano poi anche due cavità: Veliki Hubelj e Hubljeva kuhinja. Veliki Hubelj è una grotta suborizzontale nella quale è sempre presente l'acqua, anche durante i periodi di magra e che a volte si attiva come sorgente di troppo pieno.

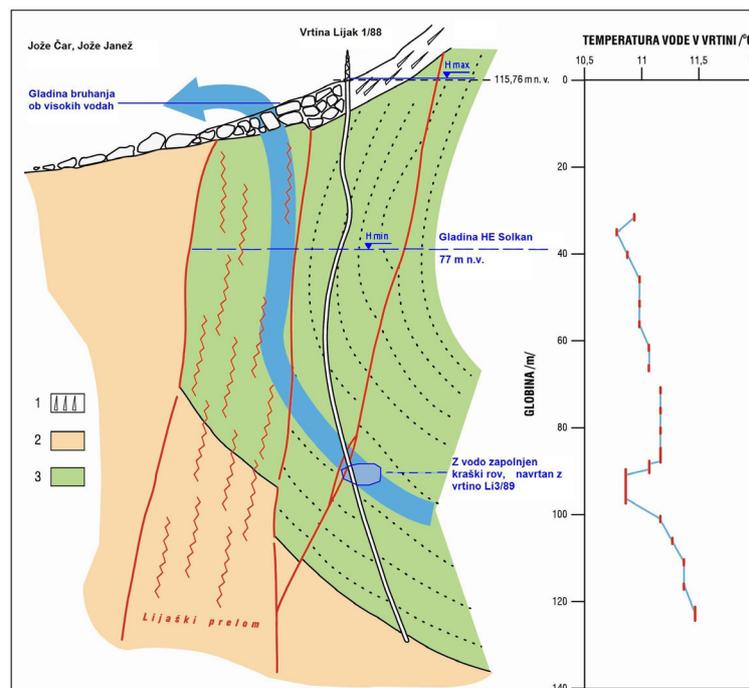
Lijak

La sorgente carsica di Lijak vicino a Nova Gorica rappresenta una particolarità idrogeologica in quanto si attiva con portate intense, ma di breve durata, solo pochi giorni all'anno. È una sorgente di troppo pieno, posta ad una distanza di 6 km dalle sorgenti sul Fiume Isonzo, che drena le acque dell'Altopiano di Trnovo durante i periodi di piena. Le pareti calcaree sopra Lijak appartengono al Cretacico superiore e sono separate dal Flysch nella valle del Vipacco da una faglia subverticale. I pozzi vicino a Lijak hanno intercettato cavità carsiche a circa 90 metri di profondità.

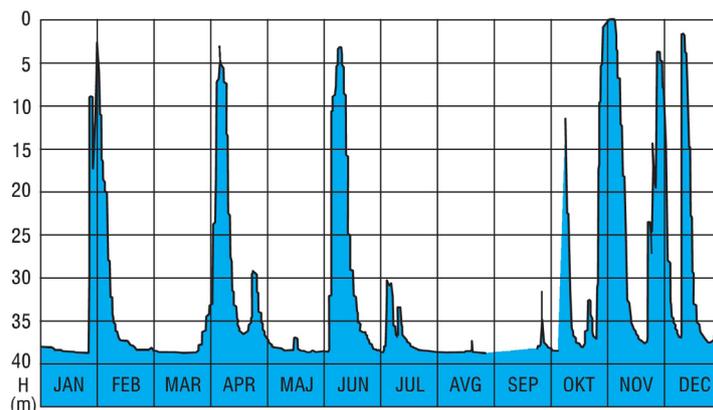
La sorgente Lijak si attiva da sette fino a dieci volte l'anno e le acque sgorgano per non più di 20 giorni in seguito a periodi di precipitazioni intense e continue. Dai monitoraggi fino ad ora eseguiti la portata massima misurata alla stazione di Šmihel ha raggiunto $32,6 \text{ m}^3/\text{s}$.

Nel piezometro posto a monte della sorgente, il livello dell'acqua sotterranea varia secondo il caratteristico regime carsico, con prolungati periodi di livelli bassi e brevi picchi nei quali il livello si alza anche più di 40 m. In seguito alle precipitazioni, il livello dell'acqua aumenta velocemente con incrementi anche di 13 m all'ora. Durante i periodi di magra, il livello si avvicina a quello del lago della centrale idroelettrica di Solkan (77 m s.l.m.). Ogni variazione artificiale del livello del lago di Solkan ha una ripercussione sul livello della falda nel piezometro. L'andamento delle acque sotterranee è tipico di un acquifero potente con una falda abbondante anche al di sotto del livello di base, come peraltro dimostrato dalle prime prove di pompaggio. Ciò fa di questa sorgente una tra le fonti di approvvigionamento più importanti e promettenti.

La durezza dell'acqua di Lijak varia tra 7,72 e $11,1^\circ\text{dH}$. Il Calcio ($45,7 - 75,0 \text{ mg/l}$) domina fortemente rispetto al Magnesio (da 1,7 a $5,2 \text{ mg/l}$). Il rapporto Mg/Ca (in meq/l tra 0,04 e 0,14) è indice di un acquifero prevalentemente calcareo.



Sezione geologica schematica della sorgente di Lijak.



Andamento del livello delle acque sotterranee nel piezometro Lijak 1 durante l'anno 1990.

Kajža

Nella valle di Avšček, a circa 2 km da Avče verso Kanal, ad un'altitudine di 191 m slm, si trova la sorgente Kajža. L'acqua sgorga da tre punti principali lungo una fascia di 20 m collegata alla faglia di Avče. La portata minima è di 7 l/s, quella massima può raggiungere anche i 2 m³/s. La temperatura oscilla tra 7,0 e 11,9°C. Ha un comportamento simile a quello delle altre sorgenti del margine meridionale e occidentale dell'altopiano.

L'acqua di Kajža è dolce e poco dura. La durezza varia tra 7,6 e 10,0° dH. L'acqua è di tipo carbonatico. Il calcio (52,1 a 67,1 mg/l) domina rispetto al magnesio (0,43 a 4 mg/l). Il rapporto Mg/Ca varia da 0,04 a 0,10 ed evidenzia un bacino di alimentazione costituito da rocce calcaree.

Mrzlek

Le sorgenti carsiche di Mrzlek si trovano nella valle dell'Isonzo, sopra Solkan. L'acqua sgorga ad una distanza di circa 400 m dal fiume Isonzo attraverso numerose venute su entrambe i versanti della valle. Le due sorgenti più importanti e con portate costanti si trovano sulla riva sinistra del fiume, con le sorgenti in destra che durante le piene contribuiscono ad aumentare notevolmente la portata complessiva. Da quando sull'Isonzo vicino a Solkan è stata costruita la diga, le sorgenti sono sommerse e le venute d'acqua si notano solo in occasione delle piene. In tali occasioni si osserva il fluire di acque pulite all'interno delle acque torbide dell'Isonzo.

Mrzlek è la sorgente più bassa di tutta l'idrostruttura dell'Altopiano di Trnovo-Banjšice. La sua ubicazione è legata alla struttura geologica e all'assetto strutturale dei calcari incisi in profondità dall'Isonzo tra Plave e Solkan. Contribuisce all'emergenza anche la faglia, rinvenibile poco a valle di Sveta Gora, in corrispondenza della quale il Flysch eocenico argina le acque carsiche dell'Unità geostrutturale di Trnovo, favorendo la loro fuoriuscita vicino a Solkan. A Ovest della faglia di Solkan il Flysch si trova ad una quota di 200 metri, mentre in corrispondenza della centrale idroelettrica di Solkan, un pozzo profondo 30 m non lo ha raggiunto. Evidentemente il Flysch si trova in profondità, sotto al letto del fiume.

Dato che la sorgente Mrzlek è sommersa dalle acque dell'Isonzo non può essere eseguito un monitoraggio diretto, ma la portata è stata stimata intorno a 500 l/s nei periodi di siccità, a 10 m³/s in regime normale e a 30 m³/s in piena.

La temperatura dell'acqua varia tra gli 8 e i 10°C ed è potabile. A volte l'acqua è torbida e dal punto di vista batterico non potabile, perciò viene trattata in un impianto di depurazione. Per quanto riguarda la durezza, le acque non si discostano molto da quelle dell'Isonzo, pur avendo un diverso rapporto Mg/Ca.

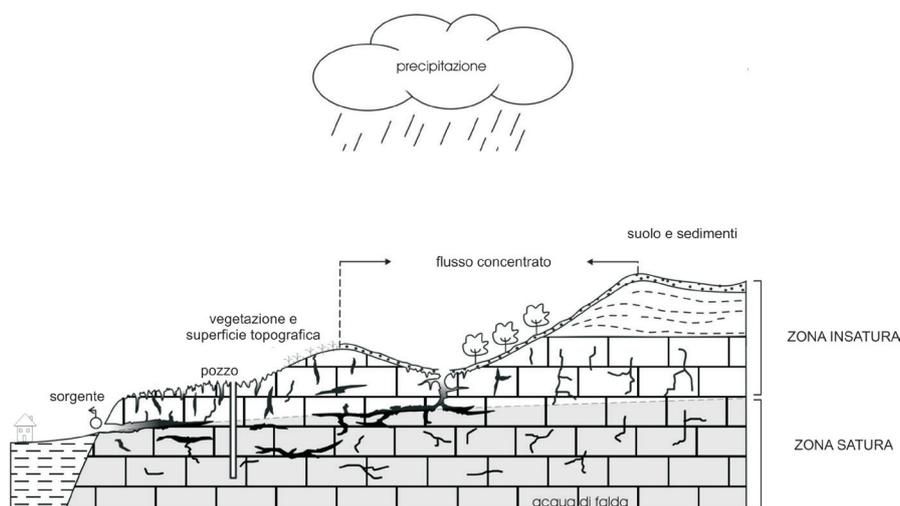
1.3.4 Vulnerabilità dell'acquifero

a cura di Goran Vižintin (NTF UL), Nataša Ravbar, Metka Petrič (IZRK ZRC SAZU), Jože Janež (Geologija d.o.o.)

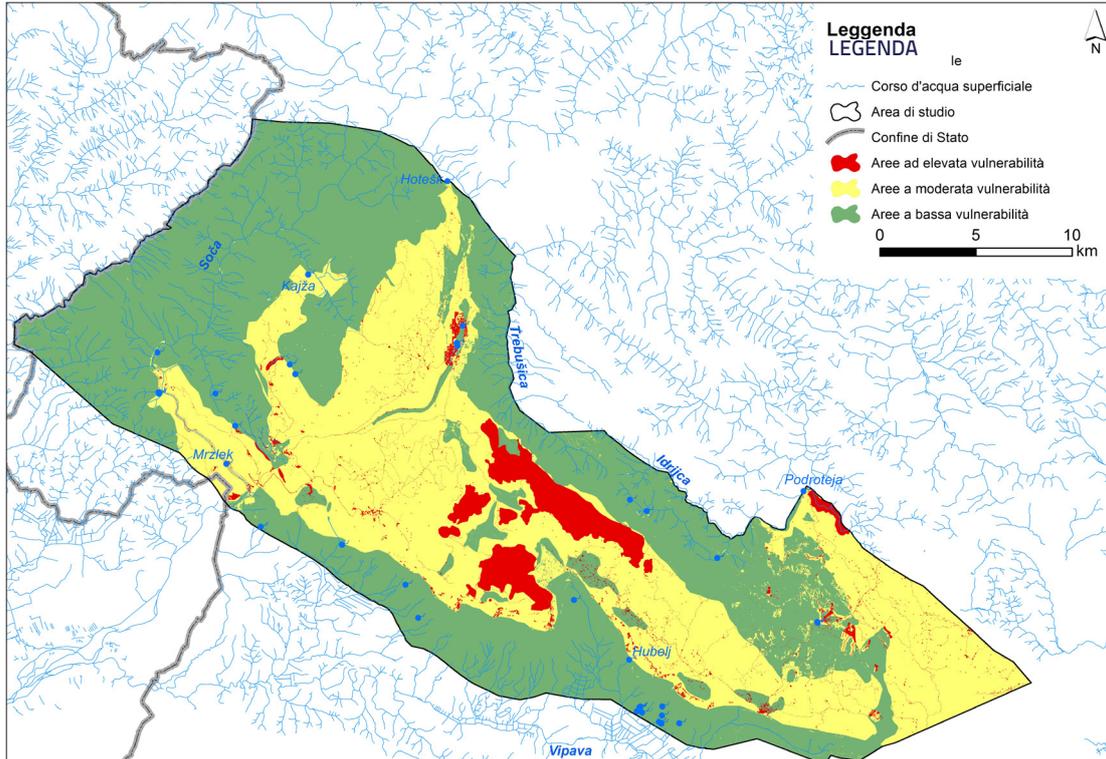
Su piattaforma GIS (ArcGIS 10.1, QGIS 2.2) è stato elaborato il modello idrogeologico dell'acquifero nel quale sono confluiti tutti i dati relativi alle caratteristiche idrogeologiche, alla permeabilità e alla vulnerabilità nei diversi settori dell'area indagata, alla velocità di flusso, alle aree di ricarica, ecc. Le informazioni di base sulle caratteristiche di deflusso delle acque e sulle principali sorgenti dell'altopiano di Trnovo-Banjšćice sono state riassunte nella carta idrogeologica. È stata elaborata la carta della vulnerabilità intrinseca che evidenzia le aree con diversa predisposizione all'inquinamento e la carta delle isoscroni che permette di stimare i tempi minimi di arrivo di un inquinante da un punto qualunque dell'area di studio fino alle singole sorgenti.

Il concetto di cartografia e di valutazione della vulnerabilità viene usato sempre più spesso per una difesa efficace delle risorse idriche perché rende possibile distinguere in un territorio aree a diverso grado di vulnerabilità, o meglio a diversa capacità autodepurante. In questo modo vengono distinti i territori ad alta vulnerabilità dai quali un inquinante raggiunge velocemente e senza abbattimento una sorgente da quelli a bassa vulnerabilità dai quali un inquinante transita lentamente e riesce nel tempo a degradarsi. Le carte che si vengono a redigere evidenziano con colori diversi i territori a diverso grado di vulnerabilità. Sull'Altopiano di Trnovo-Banjšćice si è scelto di applicare il metodo "Slovene approach" (Ravbar & Goldscheider, 2007), testato e validato in diverse aree carsiche.

È stata elaborata la carta della vulnerabilità per le cinque principali sorgenti dell'altopiano di Trnovo-Banjšćice: Mrzlek, Kajža, Hotešk, Hubelj e Podroteja. Questa è stata elaborata tenendo in considerazione tutti i parametri che regolano il flusso dell'acqua dal momento dell'infiltrazione fino all'emersione alle sorgenti. Si tratta di caratteristiche geologiche, geomorfologiche, speleologiche, idrogeologiche, pedologiche e relative alla vegetazione. In aggiunta a tutto ciò sono state prese in considerazione anche le caratteristiche meteorologiche e sull'uso del suolo.



Sezione schematica di acquifero carsico: sono evidenziati i principali parametri che influiscono nella redazione della carta della vulnerabilità (adattato da Andreo et al., 2009).



La carta della vulnerabilità dell'Altopiano di Trnovo-Banjšice.

1.4. IDROGEOLOGIA DELL'ALTA PIANURA ISONTINA

a cura di Luca Zini, Franco Cucchi, Francesco Treu, Sara Biolchi, Chiara Boccali, Silvia Cleva, Enrico Zavagno (DMG-UniTS), con il contributo di Marco Borga, Francesco Marra, Davide Zoccatelli, Giulia Zuecco (UniPD) e Massimiliano Fazzini, Sabrina Russo, Carmela Vaccaro (UniFE)

1.4.1 Alta Pianura Isontina

La Pianura Isontina rappresenta la parte più orientale della Pianura Friulana. È costituita dai depositi alluvionali quaternari dei fiumi Isonzo, Torre, Judrio, Versa e Vipacco ed è suddivisa in Alta Pianura a Nord e Bassa Pianura a Sud dalla Fascia delle Risorgive.

L'Alta Pianura è delimitata a Nord e a Nord-Est dalle colline del Collio e di Vertoiba, costituite dalle marne e arenarie appartenenti alla Formazione del Flysch, ad Ovest dall'alveo ghiaioso del Torrente Torre, a Sud-Est dai rilievi calcarei del Carso. È costituita da depositi grossolani permeabili che ospitano una potente falda freatica alimentata dalle precipitazioni e dalle dispersioni dei fiumi. Il Torre e lo Iudrio, infatti, rimangono secchi per buona parte dell'anno mentre l'Isonzo disperde quasi un terzo della sua portata nelle alluvioni.

Muovendosi verso Sud, l'acquifero freatico si interdigita in numerosi acquiferi confinati sovrapposti, prodotti dall'alternanza di sedimenti fini (limi e argille) e grossolani (sabbie e ghiaie), che caratterizza la Bassa Pianura. A causa di questa graduale diminuzione di permeabilità verso meridione, parte delle acque della falda freatica emergono lungo la cosiddetta Fascia delle Risorgive.

L'area considerata occupa circa 147 Km² ed interessa 23 comuni, di cui 20 in Italia e 3 in Slovenia. I depositi alluvionali sono attraversati da oltre 1550 perforazioni di cui il 31.8% è rappresentato da pozzi ad uso domestico, il 23.5% da pozzi ad uso ignoto, il 15% da pozzi industriali, il 6.8% da pozzi ad uso agricolo ed irriguo, il 5.4 % da pozzi per uso potabile e acquedottistico, lo 0.5% da pozzi per uso ittogenico, il 3% è rappresentato da sondaggi meccanici e il rimanente 14% è di utilizzo vario. I prelievi complessivi ammontano a quasi 2 m³/sec (Zini et al., 2011).

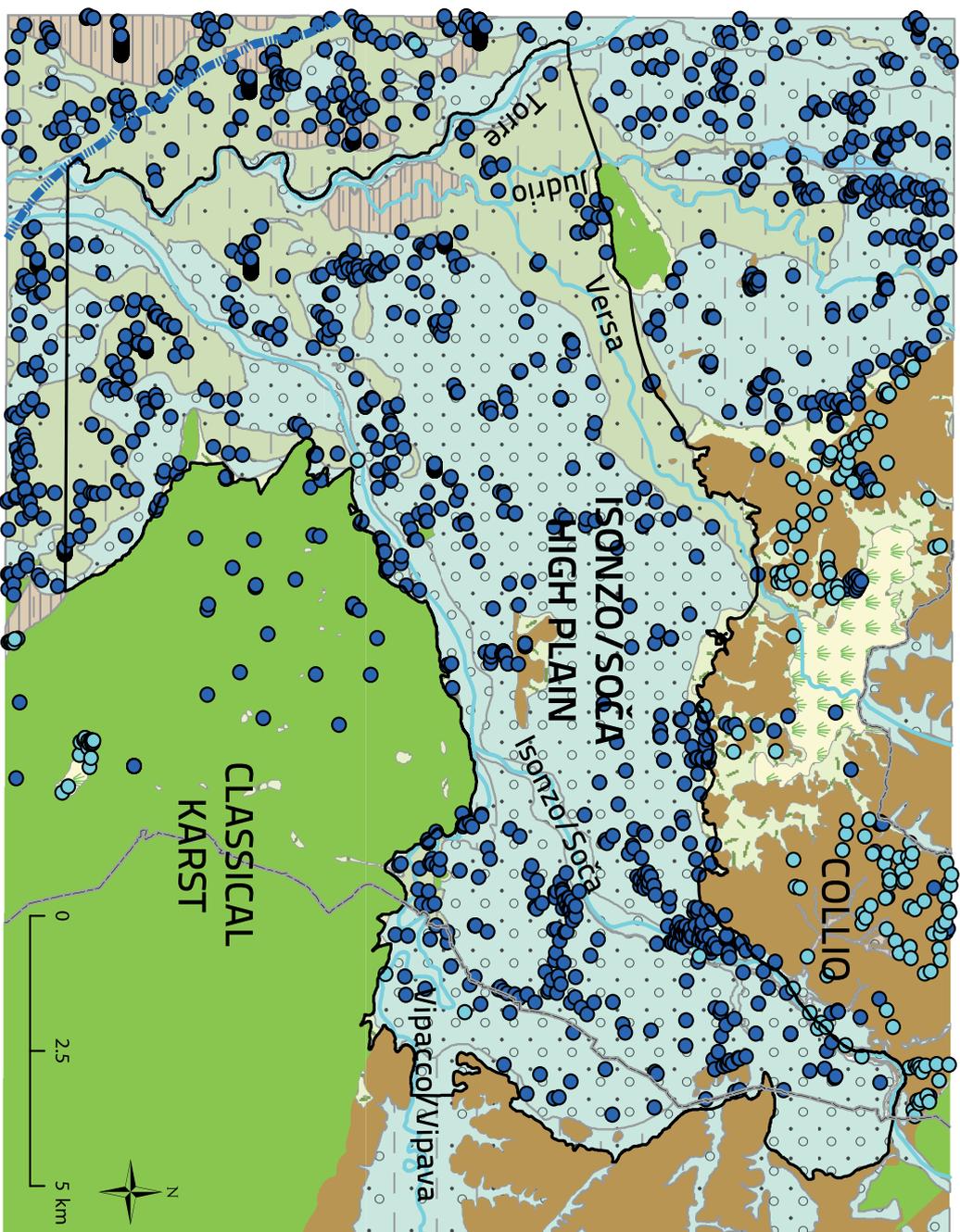
1.4.2 Substrato

Per l'elaborazione del modello idrogeologico è necessario ricostruire il "contenitore" delle alluvioni della pianura, definendo l'andamento del substrato roccioso costituito da arenarie e marne di età eocenica a settentrione e da calcari di età cretacico-paleogenica a meridione. A tale scopo sono stati presi in considerazione i dati da bibliografia (Stefanini & Cucchi, 1976; R.A.F.V.G., 1990; Cucchi & Berlasso, 1991; Nicolich et al., 2004; Zini et al., 2011), 243 stratigrafie (di cui 55 raggiungono il basamento), 197 sondaggi elettrici verticali (di cui 47 raggiungono il substrato) e sono stati eseguiti ex novo 3 profili sismici e 3 tomografie elettriche.

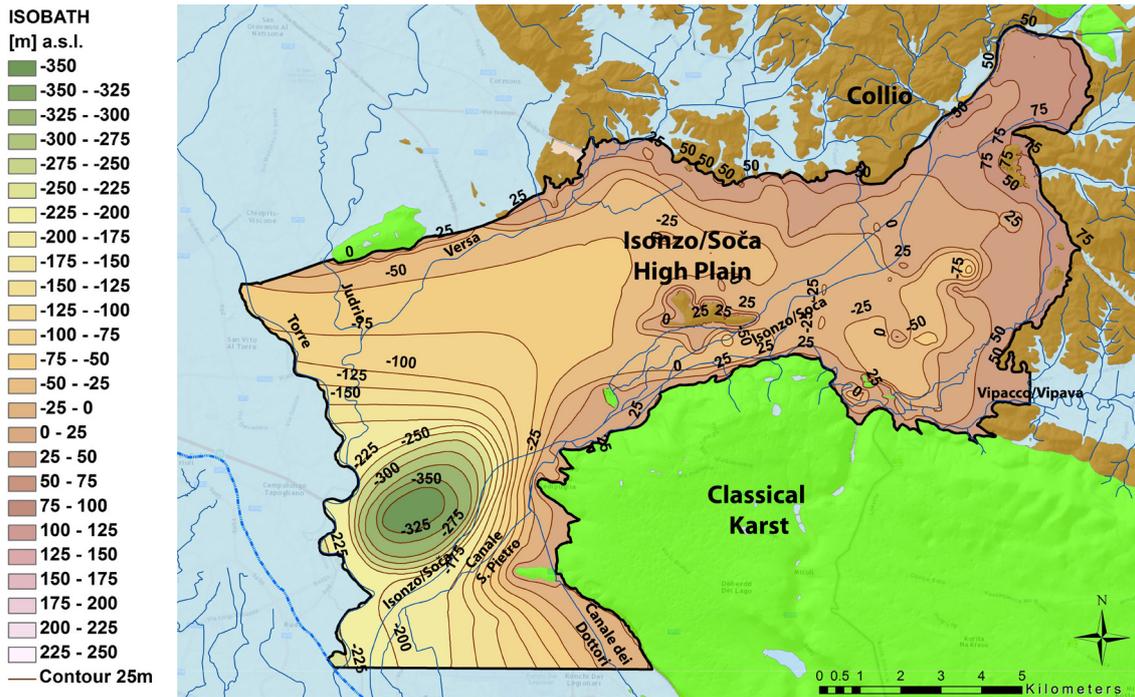
La mappa delle isobate (linee di equal quota) del substrato roccioso evidenzia una morfologia sepolta complessa, caratterizzata da valli e rilievi prodotti dai processi erosivi e dai movimenti tettonici passati. La mappa mette in risalto una depressione a Sud di Gorizia, dove il basamento arriva a oltre -100 m, e un approfondimento che inizia nel comune di Mariano del Friuli a quota -50 m, per spingersi gradualmente fino ad oltre -350 m nella zona di Villesse.

La mappa delle isopache (linee di equal spessore) delle alluvioni, che si ottiene sottraendo al Modello Digitale del Terreno i valori delle isobate, mostra che lo spessore dei depositi di pianura raggiunge 100 m nella depressione a Sud di Gorizia, 75 m nell'area compresa tra Farra e Medea e oltre 350 m nell'area di Villesse.

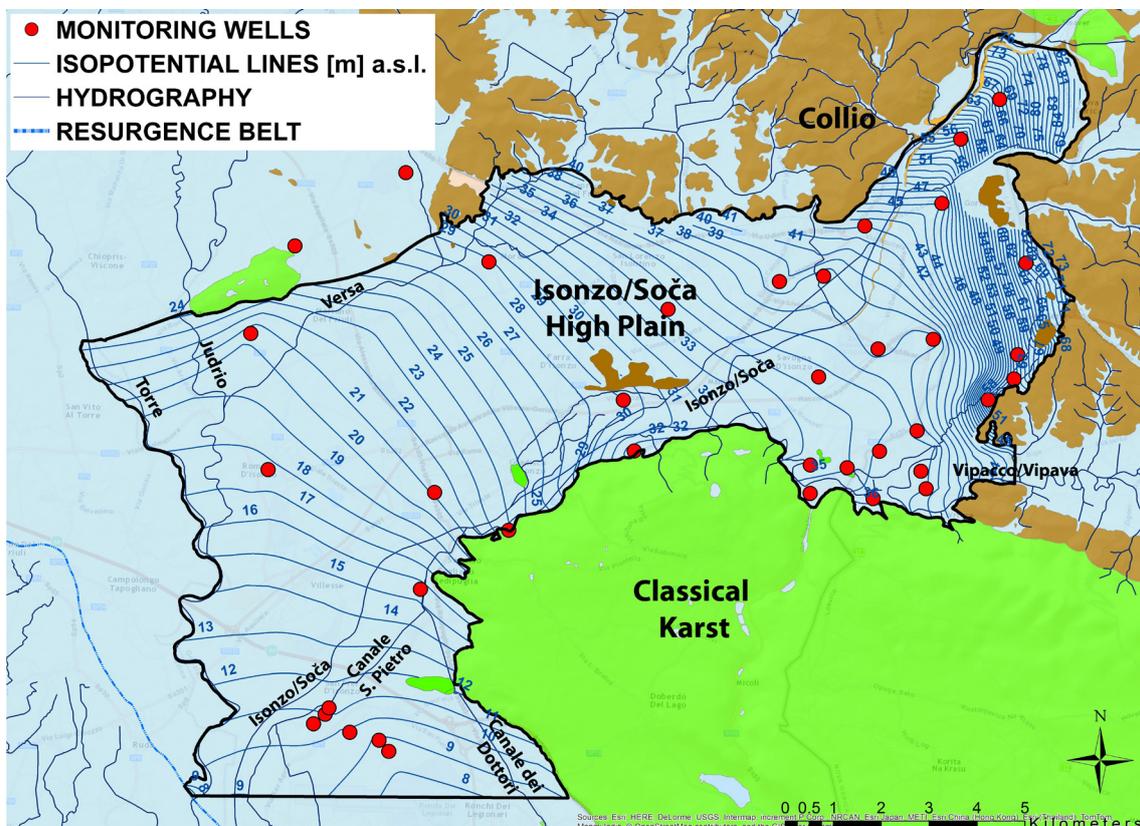
-  breccie e conglomerati
-  depositi eluvio-colluviali
-  depositi palustri
-  ghiaie
-  ghiaie e sabbie
-  ghiaie sabbie e argille
-  ghiaie e sabbie cementate
-  argille
-  argille sabbie e ghiaie
-  sabbie
-  sabbie e argille
-  depositi di versante
-  Flysch
-  calcarei e dolomie
-  corsi d'acqua principali
-  Linea delle Risorgive
-  pozzi
-  sorgenti



Carta geologica dell'Alta Pianura Isontrina.



Mappa delle isobate, quote del substrato roccioso tracciate ogni 25 metri e riferite al livello medio del mare.



Mappa delle isofreatiche relative al periodo di massimo impinguamento della falda registrato nella prima decade di febbraio 2014. I punti in rosso sono i pozzi monitorati, le linee blu le isofreatiche (quote della falda freatica espresse in metri sul livello medio del mare).

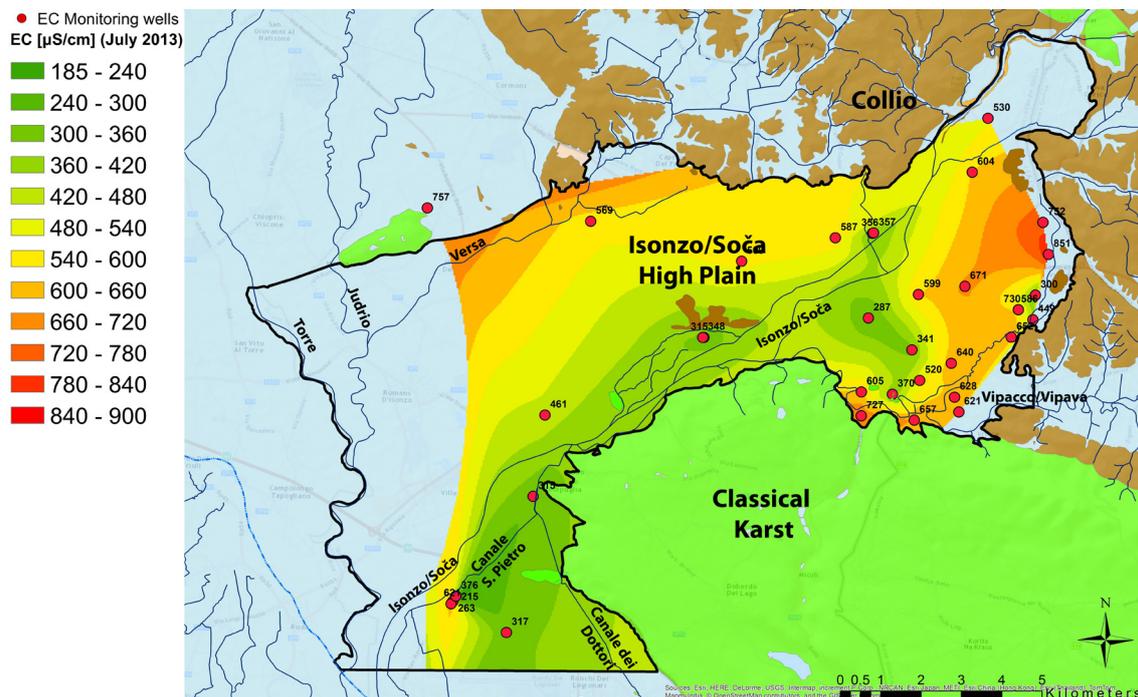
1.4.3 Caratteristiche idrodinamiche e idrochimiche

Per la valutazione delle caratteristiche idrodinamiche del modello dell'Alta Pianura Isontina sono stati raccolti dati bibliografici, dati di monitoraggio pregressi e si è eseguita una campagna di monitoraggio ad hoc (Stefanini, 1978; Mosetti, 1983; Cucchi et al, 1999a; Gerdol, 2013).

Sulla base dei livelli idrici misurati in una quarantina di pozzi nel periodo dicembre 2012-febbraio 2014 si sono elaborate diverse mappe delle isofreatiche (linee di egual quota della falda) tra cui quelle relative al periodo di magra di agosto 2013 e quelle di massimo impinguamento della falda registrato nella prima decade di febbraio 2014. L'andamento delle isofreatiche evidenzia una direzione generale di deflusso che si mantiene per lo più perpendicolare ai corsi d'acqua e va dapprima da Est verso Ovest per poi flettere verso Sud. Si nota un flusso verso il Vallone di Doberdò, condizionato probabilmente dalla morfologia del substrato roccioso e dal suo incarsimento.

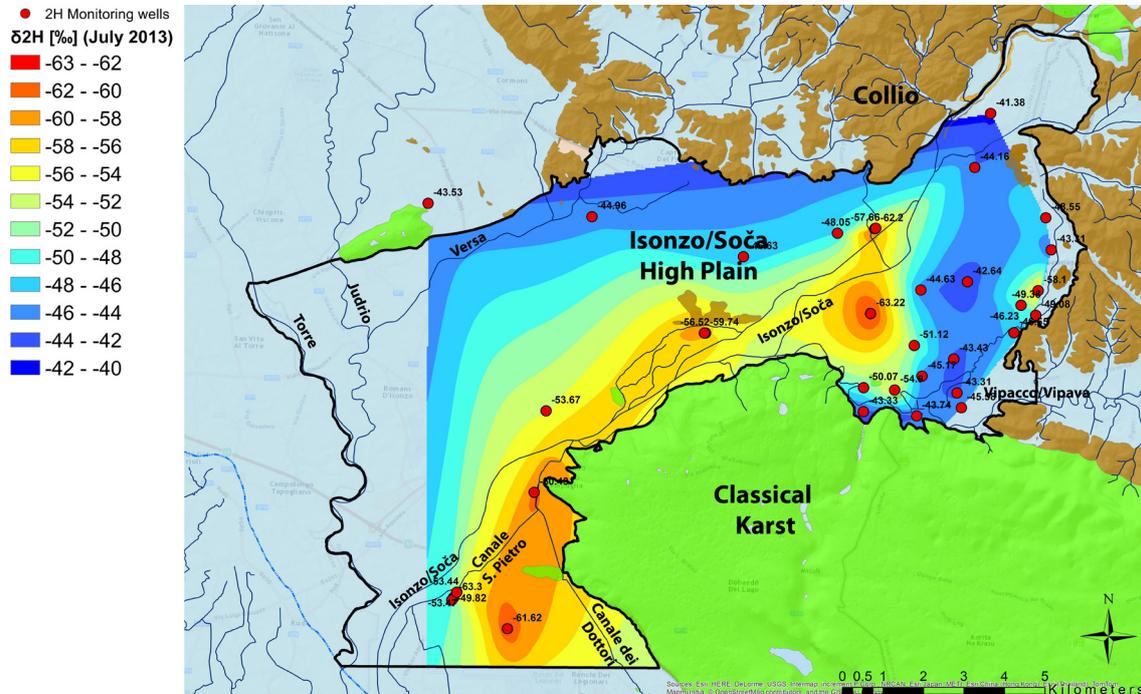
Per la valutazione delle caratteristiche idrochimiche del modello dell'Alta Pianura Isontina sono stati usati dati chimici (concentrazioni degli ioni principali e degli elementi in traccia) e isotopici (isotopi stabili dell'acqua, ^{18}O e ^2H) provenienti da bibliografia, da monitoraggi pregressi e da una campagna di prelievi eseguiti ad hoc (Cucchi et al 1999b; Zini et al., 2008; Gerdol, 2013).

La facies idrochimica dominante delle acque di falda è quella bicarbonato calcica e/o magnesiacca con concentrazioni più o meno significative di solfati. Tale facies è coerente con le litologie presenti nelle zone di provenienza, in prevalenza calcari e dolomie. La distribuzione delle concentrazioni dei nitrati, come di altri elementi minori, evidenzia in modo chiaro che lungo il fiume Isonzo la falda è povera in elementi per effetto della diluizione mentre allontanandosi dal fiume risulta più ricca in ioni.



Mappa della distribuzione dei valori di conducibilità idraulica [$\mu\text{S}/\text{cm}$] per il periodo di luglio 2013.
I punti in rosso rappresentano i pozzi monitorati.

Considerazioni simili sono confermate dalla variabilità spaziale dei valori dei rapporti di abbondanza degli isotopi dell'ossigeno e dell'idrogeno. I valori più negativi in ^2H si hanno in corrispondenza del fiume Isonzo mentre in sinistra e specialmente in destra la falda ha composizione isotopica meno negativa. Le acque del fiume Isonzo, che provengono da un bacino in cui le precipitazioni sono a quota elevata, hanno valore molto negativo, mentre quello delle precipitazioni in pianura è meno negativo.



Mappa della distribuzione dei valori del deuterio espressi in $\delta^2\text{H}$ per il periodo di luglio 2013. I punti in rosso rappresentano i pozzi monitorati.

1.4.4 Caratteristiche climatiche

Al fine di determinare la precipitazione efficace annua si è considerato il periodo 1981-2010 utilizzando i valori di precipitazione giornaliera di 15 stazioni e quelli di temperatura giornaliera di 10 stazioni, sia italiane che slovene.

Postaja	Delež (m s.l.m.)	Povprečna letna količina padavin 1981-2010 (mm)	Povprečna letna temperatura 1981-2010 (°C)
Alberoni	-1	1053	-
Bilje	49	1379	12.3
Borgo Grotta	274	1212	12.2
Fossalon	0	1007	13.9
Godnje	327	1370	11.3
Gorizia	61	1364	13.6
Grado	1	965	14.6
Hrusica pri Colu	865	1895	-
Lokve	970	2312	-
Mrzla Rupa	954	2572	-
Postojna	554	-	9.1
Razdrto	564	1528	-
Sempas	124	1446	-
Slap	172	1434	12.1
Trieste	34	965	15.0
Vedrijan	247	1609	-
Vogel	1535	-	4.7

Stazioni pluviometriche e termometriche considerate.

Dall'analisi delle serie trentennali dei dati di precipitazione risulta che Mrzla Rupa e Lokve sono le stazioni che mediamente hanno le più alte cumulate mensili per tutti i mesi dell'anno e la più alta media delle precipitazioni cumulate annuali. Le precipitazioni cumulate mensili e la precipitazione media cumulata annuale più basse e sono state individuate a Trieste e Grado.

Sempas è la stazione che meglio rappresenta la "situazione media" delle precipitazioni cumulate annuali.

Dall'analisi dei dati di precipitazione è emerso, inoltre, che il mese in cui mediamente si raggiunge la minima cumulata estiva è luglio, mentre la minima cumulata invernale si ha in febbraio. La massima precipitazione cumulata primaverile si ha normalmente a giugno tranne che per le due stazioni di Mrzla Rupa e Lokve, in cui la massima cumulata primaverile è raggiunta rispettivamente in aprile e maggio. La massima precipitazione cumulata autunnale è stata osservata, per le stazioni a quote inferiori a 100 m, in settembre, per le altre stazioni, da ottobre a novembre.

Per quanto riguarda i dati di temperatura si osserva che la temperatura media annua più elevata si ha a Trieste e Grado, i valori minimi nelle stazioni alle quote più alte e nell'entroterra, cioè Vogel e Postojna. Slap risulta essere la località più rappresentativa delle temperature medie annue. Il mese con valori di temperatura media più bassi è gennaio, il mese con medie più elevate è luglio.

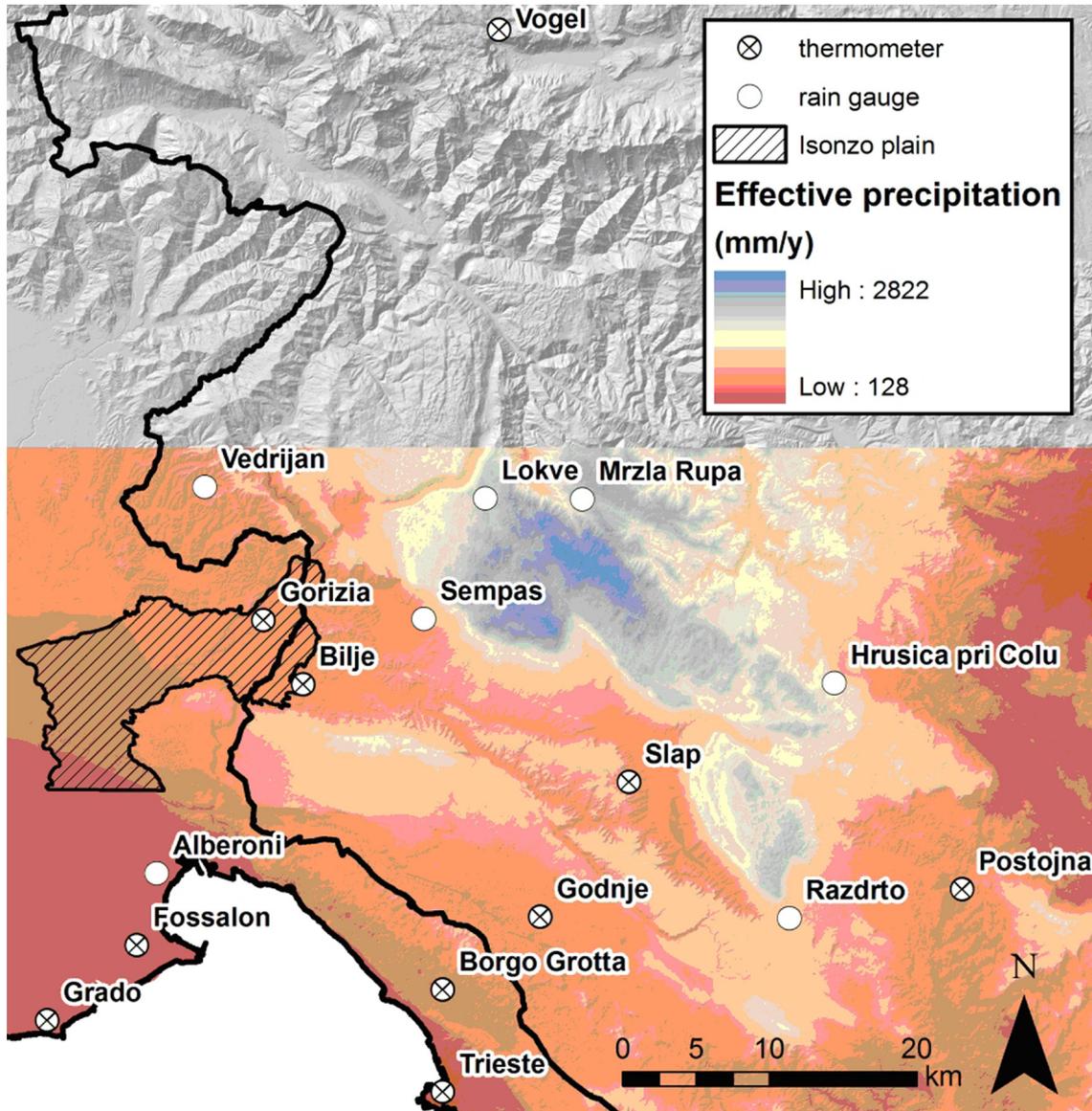
Al fine di calcolare le precipitazioni e le temperature spazialmente distribuite nell'area di studio in funzione dell'orografia sono state studiate le relazioni tra quota delle stazioni, precipitazioni e temperature medie annue utilizzando il metodo co-kriging.

La precipitazione efficace (Pe) nell'Alta Pianura Isontina e nelle zone limitrofe è stata calcolata secondo la formula:

$$Pe = P - Er$$

dove Er è l'evapotraspirazione media annua e P la precipitazione media annua.

L'evapotraspirazione media annua è stata determinata in base al metodo di Turc (Turc, 1954, 1955).



Mapa della precipitazione efficace.

1.4.5 Vulnerabilità intrinseca

La vulnerabilità intrinseca di un acquifero è la sua predisposizione a ingerire e diffondere, anche mitigandone gli effetti, una sostanza che può produrre impatto sulla qualità delle acque sotterranee, nello spazio e nel tempo.

Per la valutazione della vulnerabilità intrinseca dell'acquifero freatico dell'Alta Pianura Isontina è stato utilizzato il metodo SINTACS (Civita & De Maio, 2000; Civita et al., 2001), un protocollo a punteggi e pesi che prende in considerazione sette parametri: la soggiacenza (o profondità dalla superficie) della falda (S), l'infiltrazione efficace (I), l'effetto di autodepurazione dell'insaturo (parte di sottosuolo compresa tra suolo e acquifero) (N), la tipologia dei terreni di copertura e del suolo (T), le caratteristiche idrogeologiche dell'acquifero (A), la conducibilità idraulica dell'acquifero (C) e l'acclività della superficie topografica (S).

A ciascun parametro, suddiviso per intervalli di valore, viene assegnato un punteggio crescente da 1 a 10 in funzione dell'importanza che esso assume nella valutazione complessiva della vulnerabilità. Il territorio viene quindi suddiviso in celle alle quali è attribuito come valore la somma dei sette punteggi, opportunamente pesati a seconda della situazione idrogeologica riscontrata. Normalizzando (riportando) a 100 i valori delle celle, si ottiene la mappa della vulnerabilità intrinseca. Essa viene suddivisa in 6 classi a seconda del punteggio ottenuto (molto bassa da 0 a 24, bassa da 24 a 36, media da 36 a 49, alta da 49 a 69, elevata da 69 a 79, estremamente elevata da 79 a 100). Nel caso specifico il territorio dell'area in studio è stato suddiviso con una maglia regolare a celle di 10 metri.

La soggiacenza (S) è stata ricavata sottraendo al Modello Digitale del Terreno i valori delle isofreatiche relative al massimo impinguamento della falda del febbraio 2014. I valori di soggiacenza vanno da pochi metri lungo gli alvei dei corsi d'acqua e le zone più depresse, fino a oltre 35 metri nella zona della città di Gorizia.

L'infiltrazione efficace (I) è stata ricavata dalla mappa delle precipitazioni efficaci calcolate per l'ultimo trentennio. L'infiltrazione risulta variare da 40 a oltre 700 mm/annui in funzione della permeabilità dei suoli.

Dai dati puntuali ricavati da 210 litostratigrafie si è calcolato l'effetto di autodepurazione del non saturo (N) considerando solo i livelli compresi tra il piano campagna e la falda in piena. I valori risultano compresi tra 5 e 9.

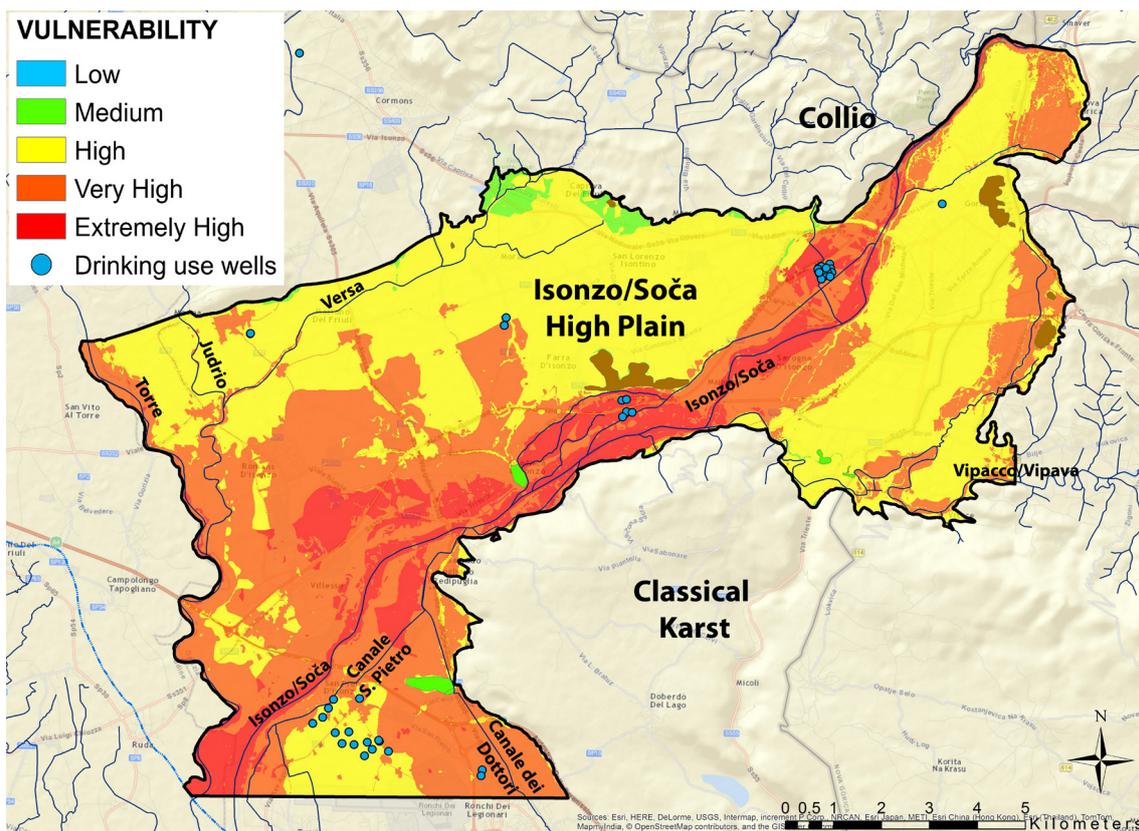
Sempre dai dati puntuali ricavati dalle 210 litostratigrafie, considerando però i livelli compresi nella zona satura d'acqua, si sono calcolate le caratteristiche idrogeologiche dell'acquifero (A) i cui valori risultano compresi tra 6 e 9.

Per la capacità di attenuazione del suolo (T) si è utilizzata la mappa del suolo attribuendo a ciascuna cella un punteggio in base alla tipologia di copertura.

Per valutare la conducibilità idraulica K (C) si sono eseguite ad hoc 3 prove di pompaggio su acquifero e 4 slug test oltre ad utilizzare il metodo approssimato della portata specifica. La conducibilità idraulica risulta elevata, con valori che vanno da 10^{-2} a 10^{-4} m/s e punteggi compresi tra 7 e 10.

Utilizzando il Modello Digitale del Terreno si è elaborata la mappa delle pendenze. I valori di pendenza nella pianura sono in genere modesti e quindi i punteggi relativi all'acclività della superficie topografica (S) sono elevati.

Dalla somma dei sette indici SINTACS e normalizzando il risultato a 100, si è ottenuta la mappa della vulnerabilità intrinseca. La vulnerabilità risulta essere estremamente elevata per l'11% del territorio considerato, elevata per circa il 37%, alta per circa il 49%, media per il 2% e bassa per l'1%. In genere la vulnerabilità è maggiore nelle zone pianeggianti caratterizzate da valori elevati di conducibilità idraulica associati a minime profondità della falda. È da tenere presente che le prese acquedottistiche sono ubicate in zone altamente vulnerabili.



Mappa della vulnerabilità. In colore azzurro vulnerabilità bassa, in verde media, in giallo alta, in arancione elevata, in rosso estremamente elevata. I punti in celeste rappresentano i pozzi ad uso idropotabile.

1.4.6 Centri di pericolo

L'inquinamento delle acque sotterranee, nello spazio e nel tempo, è connesso nella quasi totalità dei casi direttamente o indirettamente alle attività antropiche. Le fonti di inquinamento sono infatti associate ad una vasta serie di attività industriali, agricole, commerciali e domestiche. Dal punto di vista dello spazio occupato si distinguono i centri di pericolo puntuali (per esempio un pozzo perdente) e le fonti diffuse di pericolo (ad esempio un'area industriale). Ad integrare la mappa della vulnerabilità intrinseca sono stati pertanto raccolti e digitalizzati ex novo i centri di pericolo puntuali e non puntuali dell'area considerata. In particolare: acque di rifiuto civili e rifiuti solidi urbani, stoccaggio di liquidi, traffico e trasporti, servizi ricreativi, attività estrattive in esercizio e abbandonate, impianti industriali, generatori di energia elettrica, magazzini industriali, allevamento animali, agricoltura e altri pericoli generici. La mappatura offre un quadro aggiornato e d'insieme dei potenziali centri di pericolo.

È stata valutata la pericolosità di ciascun centro di pericolo allo scopo di stabilirne la compatibilità con la protezione delle risorse idriche sotterranee. Tra i diversi metodi di valutazione del peso relativo d'impatto dei centri di pericolo si sono utilizzati sistemi a punteggio che offrono un modello di previsione rapida del possibile inquinamento di una fonte idropotabile da parte di un centro di pericolo (Trevisan et al., 1998; Civita & Zavatti, 2006).

RINGRAZIAMENTI

per la collaborazione, la passione e la disponibilità dimostrate:

AcegasApsAmga s.p.a., ARPA FVG Laboratorio e Dipartimento di Gorizia, ARPA FVG Laboratorio Unico Multisito, ARPA FVG Sede Centrale, Irisacqua S.r.l., Servizio disciplina servizio idrico integrato, gestione risorse idriche, tutela acque da inquinamento – R.A.F.V.G., Servizio Geologico - R.A.F.V.G.

2. METODI DI ELABORAZIONE DEI MODELLI IDROGEOLOGICI

a cura di Goran Vižintin (NTF UL)

2.1. STRUMENTI DI MODELLAZIONE

Si sono eseguite modellazioni per calcolare i tempi e le modalità di deflusso delle acque sotterranee nei due siti test, l'Altopiano di Trnovo-Banjšice e la Pianura alluvionale del fiume Isonzo, al fine di visualizzare le eventuali situazioni di pericolo per le risorse idriche. Come detto, il progetto GEP tiene conto dei problemi relativi a due acquiferi ben diversi, quello dell'Altopiano di Trnovo-Banjšice, intensamente carsificato con circolazione veloce nelle rocce fessurate carsiche che agiscono da grandi collettori dell'acqua piovana e quello freatico a porosità intergranulare della Pianura Isontina.

L'acquifero carsico alimenta grandi sorgenti che a loro volta alimentano il fiume Isonzo, l'acquifero alluvionale fornisce acqua a due grandi acquedotti.

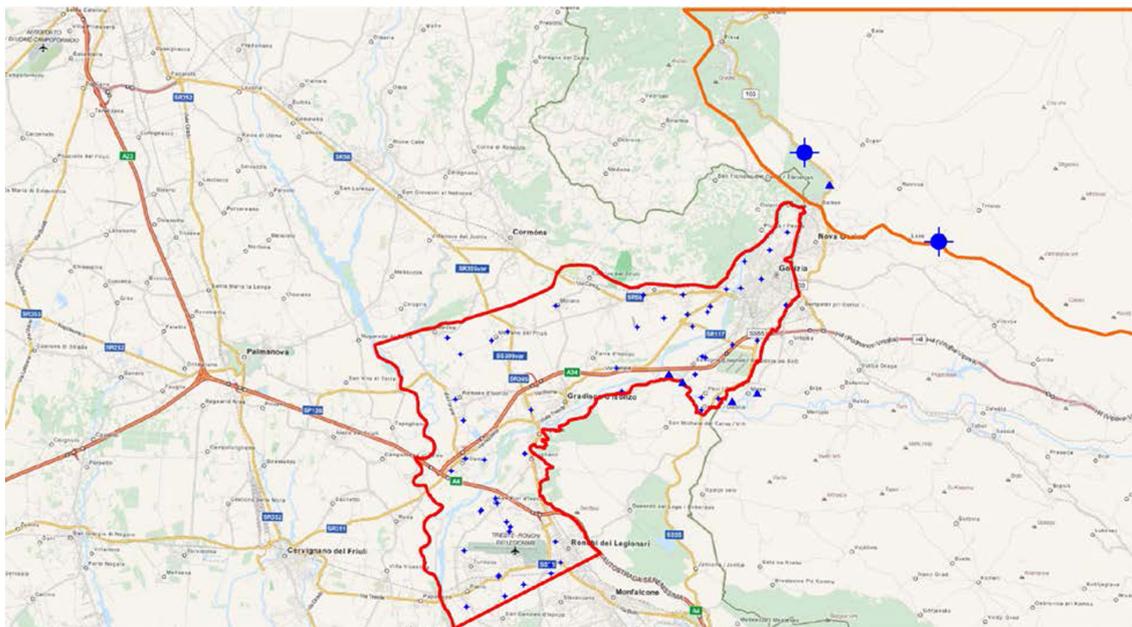
Nell'approntare i modelli è stato particolarmente importante comprendere il percorso naturale delle acque, dall'entità delle precipitazioni all'infiltrazione nel suolo, alla formazione di percorsi idrici nelle rocce, all'affiorare in superficie e infine al deflusso verso il mare attraverso corsi d'acqua superficiali (i fiumi Vipacco e Isonzo). Nella zona del fiume Isonzo le acque scorrono lungo argini di ghiaia e sabbia, il sottosuolo è ricco di acque sotterranee, che nel settore italiano vengono utilizzate sia per l'approvvigionamento idrico che per altri usi.

La varietà dei tipi di roccia richiede che la modellazione del flusso delle acque sotterranee e del trasporto di sostanze venga effettuata in vari modi. La pratica ci dice che la modellazione matematica del flusso e del trasporto di sostanze nelle acque sotterranee in rocce carsiche fessurate non dà i risultati desiderati, e perciò si è fatto ricorso a esperimenti di tracciamento. Negli strati di sabbia e ghiaia la dinamica idrica è ben diversa e la modellazione matematica è ampiamente consolidata, ha oggi raggiunto un avanzato grado di precisione.

I fiumi Vipacco e Isonzo costituiscono il canale di drenaggio principale della pianura e, oltre all'acqua, portano con sé ogni possibile contaminazione.

Entrambi i fiumi traggono tutte o parte delle loro acque nei tratti montani da un acquifero carsico potenzialmente soggetto a contaminazione. Entrambi i fiumi alimentano poi l'acquifero alluvionale. Data la profonda differenza fra i due acquiferi interessati, sono state eseguite modellazioni diverse, tenendo conto dei tempi di arrivo alle sorgenti carsiche degli eventuali contaminanti, dei tempi di trasferimento dalle sorgenti lungo i fiumi alla pianura, dei tempi di deflusso all'interno delle alluvioni della pianura.

In breve si potrebbe riassumere che l'area di modellazione comprende condizioni naturali diverse il che rende impossibile la produzione di un unico modello di trasporto di sostanze dalla fonte all'utente.



Visualizzazione delle aree di modellazione. La linea rossa indica i limiti del modello di flusso delle acque sotterranee nella zona alluvionale e quella arancione il limite delle aree carsiche. I piccoli punti blu sono piezometri in zona alluvionale, i triangoli blu sono stazioni fluviali, i grandi punti blu sono le sorgenti carsiche (Mrzlek a ovest e Lijak a est).

2.2. L'ACQUIFERO CARŠICO DELL'ALTOPIANO DI TRNOVO-BANJŠICE

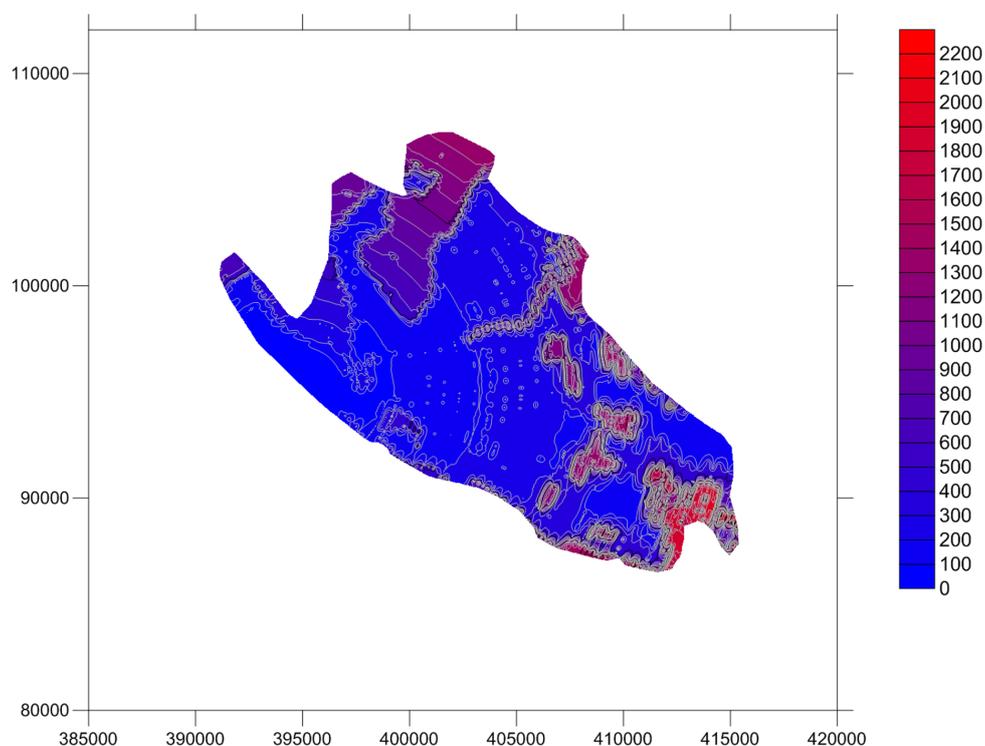
Data la natura eterogenea degli acquiferi carsici, l'analisi dei flussi tramite modelli matematici non fornisce risultati affidabili. Si è scelto perciò un approccio tradizionale tramite l'analisi dei dati carsici ed idrogeologici. Negli ultimi anni numerosi progetti di ricerca su diverse tematiche (geologiche, geomorfologiche, speleologiche, idrogeologiche, meteorologiche e idrologiche) comprendenti monitoraggi, analisi geochimiche e tracciamenti sono stati realizzati nell'area di indagine. (Placer & Čar, 1974; Habič, 1982; Habič, 1987; Čar & Gospodarič, 1988, Janež & Čar, 1990; Kranjc, 1997; Janež et al., 1997; Trček, 2003; Turk et al., 2013). Nell'ambito del progetto GEP, tutti i dati esistenti sono stati raccolti, criticamente valutati e integrati da nuove ricerche svolte ad hoc.

La carta di vulnerabilità elaborata serve quale base per analizzare la diffusione di eventuali sostanze inquinanti verso le principali fonti d'acqua potabile. Utilizzando il protocollo KARSYS è stata determinata per ogni sorgente l'estensione dell'area di ricarica e le principali direzioni di flusso della falda sotterranea. (Turk et al., 2013). L'analisi delle variazioni dei parametri fisici delle sorgenti (portata, temperatura, conducibilità elettrica) ha permesso di stimare le velocità e le modalità di risposta delle singole sorgenti agli eventi infiltrativi. Questi dati congiuntamente ai risultati delle prove con traccianti permettono di comprendere le modalità di trasferimento di un inquinante all'interno dell'acquifero. Negli ultimi anni sul territorio dell'altopiano di Trnovo-Banjšice, sono stati eseguiti molti tracciamenti. Sono stati usati differenti sostanze artificiali e differenti modalità d'iniezione in diverse condizioni idrologiche (Habič, 1982; Habič, 1987; Kranjc, 1997; Janež et al., 1997). I risultati sono stati dettagliatamente analizzati permettendo di delineare gran parte dei bacini di alimentazione delle sorgenti dell'altopiano, ma non permettendo di tracciare quello tra le sorgenti Podroteja e Hubelj. A tal guisa è stato eseguito un nuovo test di tracciamento all'interno del progetto GEP.

Il 20 aprile 2014, sul territorio di Malo Polje vicino a Col, sono stati iniettati 6 kg di Uranina. Si sono tenute sotto osservazione 7 sorgenti sulla zona marginale dell'altopiano di Trnovo-Banjšice. Alla fine di maggio il tracciante è stato rilevato nelle sorgenti di Podroteja e Divje Jezero. Le concentrazioni più alte si sono raggiunte alla fine di giugno del 2014. In funzione dei tempi di rilevamento del picco più alto di concentrazione (0.5 mg/m^3 a Podroteja e 0.37 mg/m^3 nel Divje Jezero) e della distanza con il punto di iniezione sono state valutate le velocità apparenti (Podroteja 6.7 m/h e Divje Jezero 5.8 m/h). Il tracciamento eseguito conferma che le acque sotterranee dal territorio di Malo Polje, non fluiscono verso la sorgente di Hubelj, ma verso Podroteja e Divje Jezero. In base a tutto questo è stata poi adeguatamente delineata l'estensione dell'area di ricarica di ambedue le sorgenti.

Non si è sviluppato un unico modello numerico ma si sono sviluppati un insieme di modelli che collegano rocce con diversa porosità in un sistema di modelli idrogeologici diversi. L'idea di base è la valutazione dei tempi e delle direzioni di flusso che portano l'inquinamento all'utente. Allo stesso tempo, si è deciso di calcolare il tempo minimo di transito che non tiene conto della possibile ritenzione degli inquinanti nella roccia e presuppone un'alimentazione costante della zona con acque piovane, il che rappresenta lo scenario peggiore.

I ricercatori dell'Istituto di ricerche carsiche di Postojna (ZRC SAZU) e il personale della ditta Geologija Idrija, d.o.o. hanno calcolato le velocità apparenti di tutti i tracciamenti eseguiti, mettendole poi in relazione con le relative condizioni idrologiche. Ciò ha permesso di stimare per ognuno dei territori per i quali era stata determinata la vulnerabilità, le velocità di flusso e le possibilità di trasferimento di un inquinante verso le diverse sorgenti. I dati raccolti sono rappresentati nella carta delle isocrone. Le isolinee sulla carta rappresentano i tempi minimi di trasferimento di un eventuale inquinante dall'area dell'incidente fino alle singole sorgenti. Dal punto di vista della progettazione degli interventi si sono tenute in considerazione le condizioni più sfavorevoli possibili: alto livello della falda e intense precipitazioni, cioè le condizioni nelle quali i flussi sono più veloci e il tempo di trasferimento dell'inquinante verso le sorgenti è minore. Per ognuna delle celle ($12.5 \text{ m} \times 12.5 \text{ m}$) nelle quali è stato suddiviso l'areale dell'acquifero carsico dell'altopiano di Trnovo-Banjšice, è



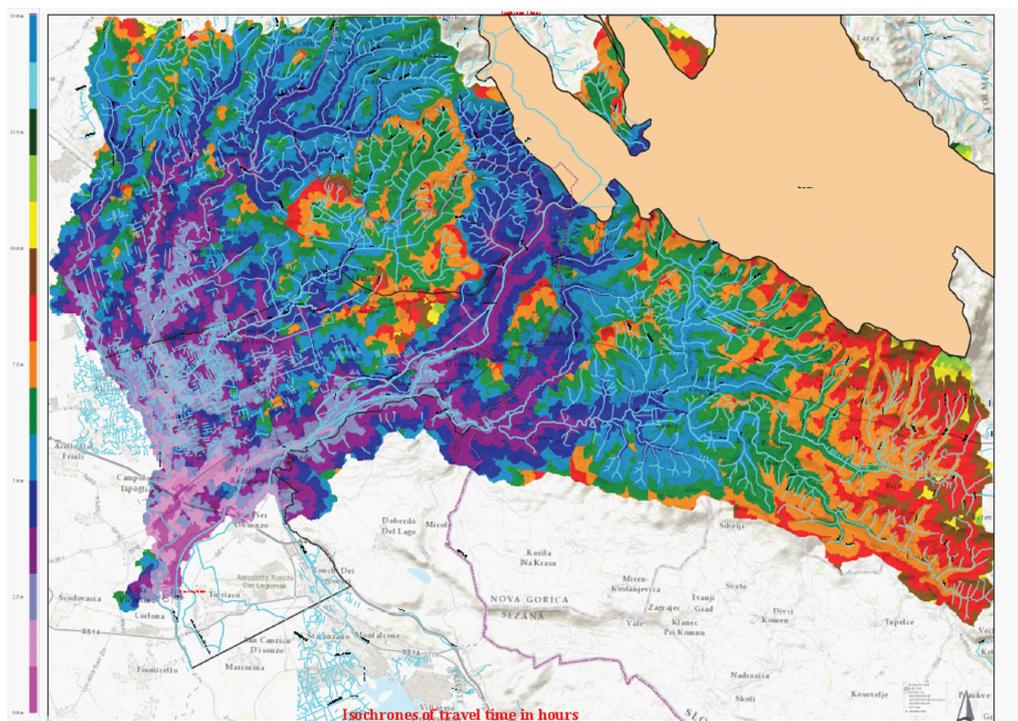
Modello temporale a celle, con scala oraria, per la sorgente Mrzlek. Coordinate Y (verso nord): 374 300-433 650 e X (verso est): 73.650-112.050, le dimensioni della cella sono di 25 x 25 metri. Isocrone del previsto tempo d'inquinamento minimo nelle più importanti fonti di acqua sul territorio dell'altopiano di Trnovo-Banjšice.

possibile stabilire quali sorgenti possono essere coinvolte in caso di inquinamento e qual è il tempo minimo di transito. Il modello tiene anche in considerazione il fatto che da uno specifico punto l'inquinante può raggiungere diverse sorgenti. A questo proposito va sottolineato che dall'Altopiano di Trnovo–Banjšice viene drenato il 98% dell'acqua delle sorgenti carsiche incluse negli strumenti di modellazione.

2.3. L'ACQUIFERO DELL'ALTA PIANURA ISONTINA

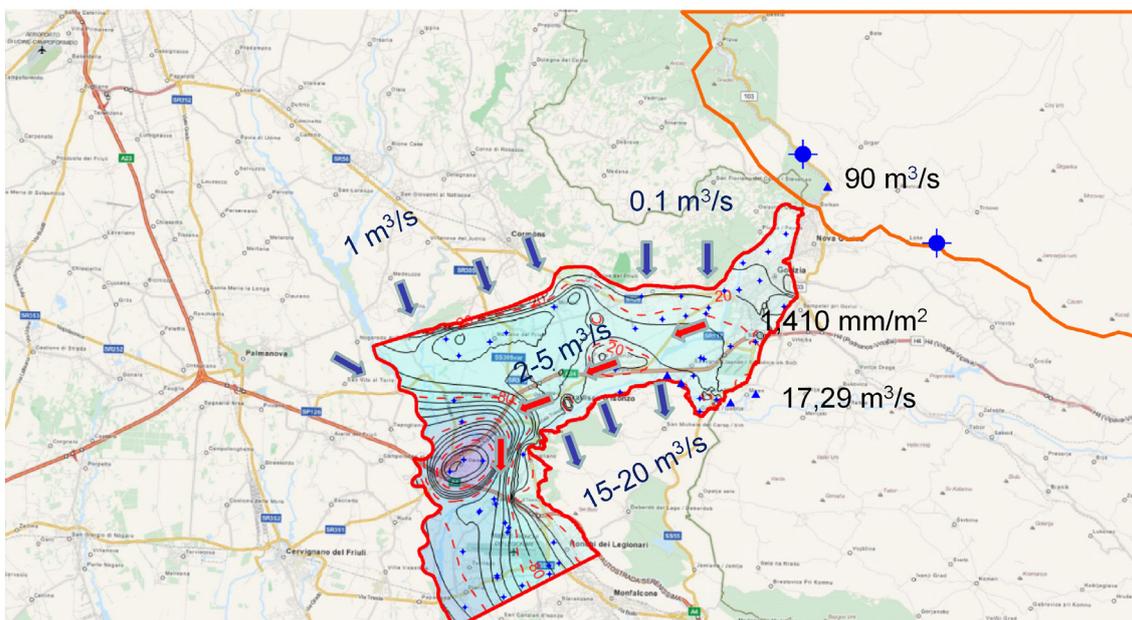
L'acqua, per lo più drenata dall'Altopiano di Trnovo-Banjšice nelle sorgenti di Hotešk, Kajža, Podroteja, Hubelj e Mrzlek e, occasionalmente in quella di Lijak, continua il suo percorso verso il fiume Isonzo. Tra Nova Gorica e Ajdovščina attraversa rocce con porosità fessurata sotto forma di corsi d'acqua superficiali. Lungo questo percorso, di tanto in tanto, si aggiungono acque derivanti dalle precipitazioni su queste rocce poco o molto poco permeabili. La contaminazione può tuttavia verificarsi anche in queste rocce a bassa permeabilità. Pertanto, gli strumenti di modellazione devono includere anche tale possibilità e si è creato un modello idraulico, che fornisce l'associazione temporale tra l'acqua nelle sorgenti, nei corsi d'acqua di superficie, il deflusso superficiale e l'acqua in argini di ghiaia e sabbia nella valle dell'Isonzo o nella zona di pianura. Il modello del deflusso di superficie è stato creato sulla base della tipologia del terreno, dell'acclività, della vegetazione e dell'uso del suolo, della rugosità del suolo e degli alvei fluviali. Lo scopo è quello di calcolare il tempo di percorso da qualsiasi punto dell'area considerata e quindi del modello a celle alla confluenza del fiume Isonzo con il fiume Torre.

I valori così ottenuti permettono di collegare l'inquinamento che si verifica nelle zone dei bacini facenti capo alle sorgenti carsiche e nelle altre aree connesse con i tratti del fiume Isonzo in cui l'acqua si infiltra nell'alveo e negli argini alluvionali sabbiosi e ghiaiosi della valle dell'Isonzo.



Modello a celle temporale, con scala oraria, per il deflusso di superficie e i corsi d'acqua di superficie. Coordinate Y (verso nord): 374.300–433.650 e X (verso est): 73.650–112.050, le dimensioni della cella sono di 25 x 25 metri.

Per costruire il modello si è utilizzato Visual ModFlow 2011.1, versione 4.6.0.161, che adotta il modello numerico di flusso delle acque sotterranee ModFlow (USGS). Il modello numerico si basa sulla soluzione di equazioni differenziali del flusso parziale attraverso un mezzo poroso basato sul metodo delle differenze finite.



Modello delle acque sotterranee nelle alluvioni della Pianura isontina: le frecce blu indicano gli effluenti a sud-est nel Carso e gli afflussi dal settore a nord-ovest. Le frecce rosse indicano le perdite alluvionali del fiume Isonzo. I piccoli punti blu sono i piezometri, i triangoli blu sono le stazioni fluviali, i grandi punti blu sono le sorgenti carsiche (Mrzlek a ovest e Lijak a est). La linea rossa indica i limiti della modellazione del flusso delle acque sotterranee, quella arancione il limite delle aree carsiche.

Le differenze finite sono utilizzate principalmente nei settori della modellazione regionale 2D o 3D del sistema a strato singolo o a strati multipli. Anche se i metodi delle differenze finite per la discretizzazione spaziale possono utilizzare reti di forme diverse, in pratica funziona principalmente su reti di forme semplici. D'altra parte, sono molto utili in caso di mezzi porosi eterogenei, in quanto permettono una buona descrizione dei problemi connessi con l'eterogeneità della struttura della falda con concentrazioni di reti in parti problematiche.

Le alluvioni ghiaioso sabbiose della valle dell'Isonzo contengono una falda freatica con ricche riserve idriche sotterranee. Il coefficiente di permeabilità (k) varia da $1 \cdot 10^{-4}$ a $1 \cdot 10^{-2}$ m/s. Il coefficiente S è stato stimato pari a 0.20, la quantità di pioggia è 1410 mm/anno, la quantità di ETR è stimata pari a 700 mm/anno. La differenza rappresenta l'infiltrazione efficace. Il monitoraggio dei piezometri ha fornito i dati atti a calibrare il modello. Si sono considerate le tre principali stazioni di pompaggio come un unico pozzo equivalente per analizzare il trasferimento delle acque contaminate nella falda. Ne consegue che il fiume Isonzo nel suo cammino attraverso il tratto a monte perde circa un quinto delle sue acque, il che è abbastanza coerente con le osservazioni dei ricercatori del Dipartimento di Matematica e Geoscienze dell'Università di Trieste. Le velocità di percorrenza dell'acqua nelle zone alluvionali sono notevolmente ridotte; se nel Carso e in superficie si è operato usando l'ora come unità di misura, nelle alluvioni si può parlare di mesi.

Come risultato importante della modellazione si può affermare che l'inquinamento in superficie delle acque in territorio sloveno non causerà la contaminazione immediata di fonti idriche in Italia. Vi sarà tutto il tempo quindi di porre in atto le misure cautelative, specie e doverosamente se si fosse in presenza di un inquinamento prolungato ed a lungo termine che contaminerà le acque ed i sedimenti alluvionali del fiume Isonzo nel tratto dallo sbocco in pianura fino alla Linea delle Risorgive.

3. LINEE GUIDA PER IL MONITORAGGIO DELLA QUALITÀ DELLE FONTI D'ACQUA CARSIICHE

a cura di Janja Kogovšek, Metka Petrič (IZRK ZRC SAZU)

3.1. LINEE GUIDA

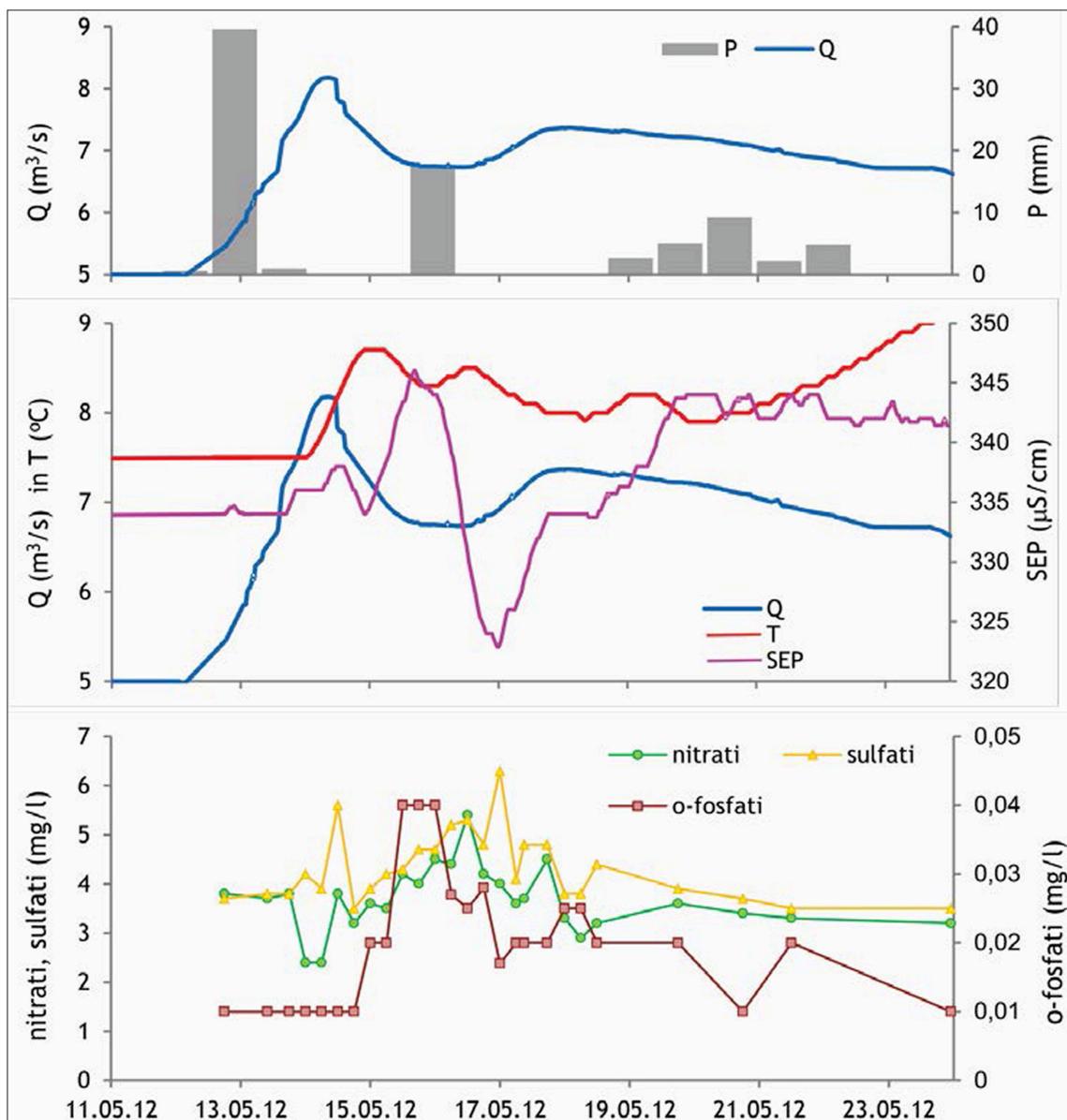
Le caratteristiche organolettiche delle fonti carsiche variano notevolmente nelle diverse condizioni idrologiche (morbida, piena, magra,...) e quindi nel programmare il monitoraggio della qualità delle acque in funzione preventiva delle contaminazioni, è necessario tenere conto del regime idrologico pregresso. Volendo riassumere l'intero spettro dello stato di qualità (i valori massimi e minimi degli elementi contaminanti), il monitoraggio va svolto in condizioni idrologiche differenti. Numerose ricerche eseguite (Kogovšek & Pipan, 2008a, 2008b; Kogovšek & Petrič, 2008) dimostrano che durante le piene che avvengono dopo un lungo periodo di siccità (sia in fase di aumento delle portate che in fase di decremento) è più semplice rilevare la presenza di sostanze contaminanti. Nel caso di precipitazioni intense è necessario campionare con continuità all'inizio della piena, nella fase di aumento, dopo il culmine di deflusso e al ritorno nelle condizioni di deflusso di partenza. Le variazioni in concentrazione delle sostanze cambiano molto velocemente durante le piene e perciò bisogna iniziare a campionare all'inizio delle precipitazioni per poi continuare il monitoraggio ad intervalli di 2-3 ore. È importante prendere più campioni durante il montare della piena in quanto in questo periodo, di solito, i cambiamenti del chimismo sono maggiori. Il monitoraggio della qualità delle fonti d'acqua carsiche, allora, è collegato direttamente alla dinamica del flusso idrico.

Le ricerche eseguite fino ad oggi hanno dimostrato che il trasporto delle sostanze inquinanti è significativo solamente in occasione di precipitazioni molto forti, perché queste comportano notevoli portate in uscita dalle sorgenti carsiche. Per pianificare quando e quanto campionare, si deve valutare preventivamente il regime delle precipitazioni e stabilire le condizioni al contorno necessarie al monitoraggio. La credibilità e la validità della valutazione dipendono dalla conoscenza del funzionamento del sistema carsico. Questa è sufficientemente completa solo nel caso che vi siano conoscenze scientifiche interdisciplinari pregresse.

Per pianificare il monitoraggio della qualità delle acque è necessario acquisire i dati sui deflussi nel tempo idrologico (almeno due anni) o almeno quelli sui livelli misurati su stramazzi o sezioni attrezzate. Contemporaneamente è molto utile misurare la temperatura e la conduttività elettrica delle acque, perché le variazioni nel tempo di questi parametri ci aiutano a definire il regime delle acque, il passaggio delle acque residenti e l'arrivo di quelle di neoinfiltrazione (che sono quelle che trasportano il contaminante), i caratteri di carsificazione dell'acquifero. Solo in base a questi dati è possibile interpretare i risultati delle analisi svolte. Le misurazioni dei parametri fisici descritti si possono eseguire senza grandi difficoltà e la strumentazione di misura e le attrezzature per la messa in posto sono relativamente economiche.

I punti di campionamento nei territori carsici sono di diverso tipo. Generalmente il monitoraggio della qualità si esegue nelle sorgenti carsiche. Tuttavia spesso molto importanti, se non essenziali, sono anche punti acqua di osservazione posti a notevoli distanze dalle sorgenti. Sono proprio le cavità carsiche che intercettando la falda profonda ci danno la possibilità di ottenere informazioni utili e in tempo. Purtroppo le difficoltà di accesso alle acque fluenti ipogee rendono oneroso il monitoraggio, possibile solamente con la messa in posto di stazioni di complessa manutenzione e per le quali è indispensabile personale qualificato. Gli esperti nel campo della qualità delle acque non sono in genere specializzati per scendere nelle profonde grotte carsiche. L'unica soluzione che si offre è la collaborazione con gli speleologi della zona. Negli acquiferi intergranulari la terebrazione di fori

consente di ottenere facilmente dati sulle caratteristiche delle acque, ma ciò non vale per gli acquiferi carsici, nei quali la circolazione delle acque è disomogenea e non univocamente prevedibile. Molto spesso i fori attrezzati a piezometro sono troppo poco rappresentativi per la descrizione dello stato della qualità delle acque di fondo utilizzate come risorsa idropotabile.



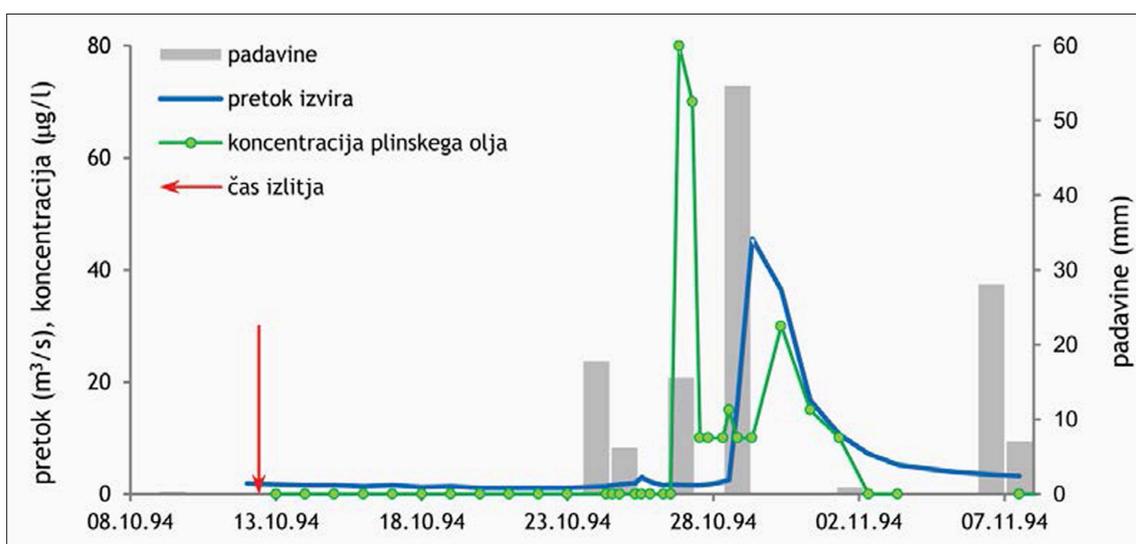
Andamento di precipitazioni (P), portata (Q), temperatura (T) e conduttività elettrica (EC) e risultati di analisi chimiche su campioni testati. Si evidenzia il tipico variare dei parametri nelle diverse condizioni idrologiche.

3.2. MONITORAGGIO DELLA QUALITÀ DI FONTI D'ACQUA CARSICHE NEI CASI DI EMERGENZA

Le linee guida generali qui descritte sono da seguire anche in eventi di emergenza, ma vanno adattate al fatto che in questi casi, si parla in genere di un episodio di inquinamento noto sia come punto di iniezione, sia come sostanza contaminante, sia come quantità sversata. Episodio che avviene in una idrostruttura di cui si conoscono le caratteristiche geologiche, idrogeologiche e idrodinamiche.

La diffusione delle sostanze, le direzioni di deflusso sotterraneo, le modalità di inquinamento dipendono soprattutto dalle caratteristiche idrogeologiche del territorio. Le direzioni e le caratteristiche del flusso dell'acqua e del trasporto di sostanze inquinanti si possono valutare solo in base alle ricerche idrogeologiche precedentemente svolte. I dati essenziali a grandi linee si trovano generalmente in letteratura. È necessaria tuttavia la collaborazione degli idrogeologi, per migliorare la certezza delle previsioni sulle modalità di diffusione e sul tempo di inquinamento nelle fonti di acqua interessate. Sono naturalmente di aiuto per reagire e intervenire nel modo più efficace, anche le esperienze pregresse su eventi di emergenza del passato (Drew & Hözl, 1999; Knez et al., 2011).

Sulle modalità di trasferimento degli inquinanti negli acquiferi carsici influiscono notevolmente anche le condizioni idrogeologiche. Durante i periodi di siccità, il percolio in profondità dei contaminanti è solitamente molto veloce, vista l'alta permeabilità dell'insaturo, ma giocano un ruolo fondamentale gli orizzonti meno permeabili dove gli inquinanti si accumulano. Sono però decisivi i ruoli dello stato idrologico pregresso della zona vadosa e la sua locale permeabilità complessiva. Diverso è infatti il fluire verso il livello di base in funzione sia del gradiente idraulico delle acque sia dell'ampiezza dei vani allagati e della loro continuità, che favoriscono il veloce spostamento verso i punti sorgentizi. Se, invece, la traduzione in profondità dell'inquinamento si svolge in modo disperso e meno intensivo è più facile che ci siano immagazzinamenti e lenti fluiscenti verso le sorgenti. Solo le precipitazioni intense durante o dopo l'incidente (anche dopo più mesi) spingono le acque contaminate verso le fonti. Quando, la zona vadosa, a causa di precedenti precipitazioni è saturata, il trasporto dell'inquinante verso le sorgenti procede velocemente.



A seguito di un incidente stradale avvenuto il 12 ottobre 1994 si è avuto uno sversamento di 16 m³ di gasolio. Il monitoraggio è inizialmente avvenuto una volta al giorno e, dopo le precipitazioni del 24 ottobre tre volte al giorno. Dopo un iniziale calo della concentrazione di gasolio avvenuto il 29 ottobre si è avuta una seconda ondata di contaminazione che non è stata seguita appieno perché era diminuita la frequenza dei campionamenti. È quindi opportuno continuare i campionamenti frequenti ben dopo i primi picchi. Durante il periodo di osservazione attraverso la sorgente è passato solamente il 0.5% del gasolio sversato.

3.2.1 Acquisizione di dati in casi di eventi straordinari

Per la valutazione della vulnerabilità di una sorgente carsica in caso di inquinamenti accidentali è preliminarmente necessario acquisire i dati essenziali sull'incidente e sulle condizioni idrauliche dell'acquifero.

Si devono definire:

- **La località in cui è avvenuto l'incidente:** coordinate esatte della località, modalità di sversamento e di infiltrazione;
- **Tipo e quantità del contaminante;**
- **condizioni idrologiche:** dati sulle portate o sui livelli di acqua nelle sorgenti interessate (dati tratti dall'operatore o dalla pubblicazione sul sito dell' Agenzia ambientale) e osservazione delle previsioni del tempo.

In base alle conoscenze pregresse e alle caratteristiche del territorio in cui è avvenuto l'incidente è necessario:

- definire le fonti in pericolo ed elaborare **la lista dei punti di campionamento;**
- organizzare il monitoraggio ed acquisire i dati registrati dalla rete di stazioni di misura in essere nel bacino di alimentazione delle sorgenti sulle **precipitazioni** e sui **deflussi** o sui **livelli nei punti di prelievo e/o misura;**
- elaborare il programma di **monitoraggio e campionamento.**

3.2.2 Monitoraggio e campionamenti

Per svolgere un efficace controllo sull'evoluzione della qualità delle acque in casi di incidente, è importante pianificare il campionamento. Dato che gli acquiferi carsici sono sistemi eterogeni con funzionamento estremamente complesso e reagiscono velocemente a cambiamenti delle condizioni idrologiche, per garantire un efficace monitoraggio della qualità delle acque è molto utile la collaborazione di esperti nel campo dell' idrogeologia carsica.

La progettazione dei tempi e dei modi di monitoraggio deve tenere conto sia delle modalità con cui è avvenuto lo sversamento che le caratteristiche climatiche precedenti e seguenti il momento di contaminazione:

- **Inquinamento in un corso d'acqua (deflusso veloce):** il primo campionamento va effettuato il prima possibile al fine di stabilire la qualità delle acque prima dell'incidente. Poi si campiona in un intervallo più lungo (per esempio una volta al giorno) ma con la contestuale analisi dei campioni. Quando si rileva l'arrivo del contaminante, di solito dopo le prime precipitazioni e il conseguente aumento di deflusso, si deve campionare con intervalli più brevi (ad esempio tre volte al giorno). Quando il livello di acqua si abbassa, l'intervallo può essere nuovamente prolungato (una volta al giorno) anche se in caso di precipitazioni successive, è possibile l'arrivo di ulteriori ondate di contaminazione pur nel quadro di un generale abbassamento delle concentrazioni.
- **Inquinamento sulla superficie carsica (l'infiltrazione e la contaminazione sono collegate al regime delle precipitazioni):** si consiglia di svolgere il primo campionamento al più presto possibile e di proseguire poi in un intervallo più lungo (ogni 2 o 3 giorni). Dopo precipitazioni abbastanza intensive da dar origine ad una piena, si dovrebbe campionare con intervallo più breve (2 o 3 volte al giorno). Quando le portate alle sorgenti diminuiscono l'intervallo può essere nuovamente prolungato. In caso di precipitazioni intense successive, è opportuno tornare a prelievi frequenti, consci che dopo ogni precipitazione abbondante aumenta notevolmente, in quantità e per lungo tempo, l'infiltrazione efficace.

La pianificazione dei campionamenti successivi è funzione dei risultati ottenuti: se si è accertato un inquinamento nelle acque sorgive l'intervallo di campionamento può essere limitato all'accertamento dell'abbassamento significativo dei tenori di contaminante nelle acque. Nel caso di sversamento superficiale, dato che il processo di infiltrazione può durare a lungo, andrebbe accertata la presenza di contaminante dopo le precipitazioni intense anche per lunghi periodi (uno o più anni).

3.2.3 Elaborazione dei risultati dei rilievi e delle analisi

L'elaborazione ed il confronto fra tutti i dati rilevati rende possibile la progettazione efficace del monitoraggio successivo alla contaminazione. In base ai dati sulla quantità dell'acqua fluita durante il periodo di osservazione (il deflusso) e in base alle concentrazioni dei parametri di contaminazione rilevati durante il monitoraggio, è possibile calcolare la quantità del contaminante complessivamente fluito attraverso la fonte d'acqua. Questo dato rende possibile la valutazione della possibilità di inquinamento in successive ondate di piena e la definizione dei tempi di monitoraggio necessari per dichiarare il cessare delle allerte e per assicurare la qualità della risorsa dopo un incidente nel tempo.

Anche il periodo di monitoraggio in una fonte di acqua carsica in cui non si è rilevato l'inquinamento dipende dalla quantità del contaminante versato, dalle caratteristiche idrogeologiche del territorio e dalle condizioni idrologiche all'atto dello sversamento (piena, magra, morbida...).

4. ANALISI TERRITORIALE E GESTIONE AMBIENTALE

a cura di Alfredo Altobelli, Katja Mignozzi, Rossella Napolitano, Mauro Scimone (DSV-UniTS)

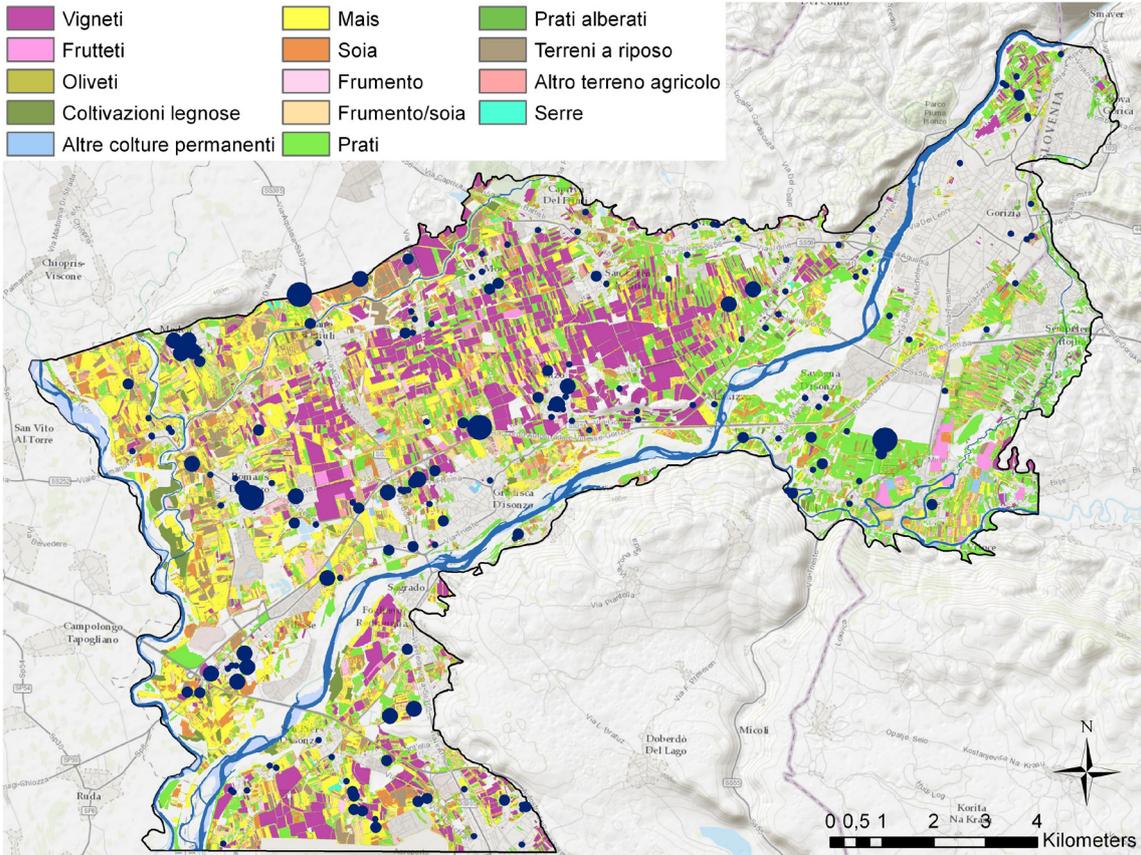
L'analisi territoriale e le proposte per una diversa gestione ambientale nell'area di studio della Pianura Isontina ha comportato l'applicazione di tecniche GIS integrate a sistemi di valutazione per la stima della pressione ambientale e a sistemi di supporto decisionale, utilizzando ArcGIS e GRASS GIS. Nello specifico, è stato elaborato un caso di studio in cui alle diverse categorie di uso del suolo sono stati attribuiti punteggi di pericolo derivanti da attività antropiche che possono produrre potenziale impatto sulla qualità dell'acquifero. Mediante l'applicazione di tecniche di Supporto Decisionale Spaziale (SDSS), si sono simulati degli scenari alternativi, che possono portare alla riduzione dell'impatto antropico e alla prevenzione di fattori di rischio di inquinamento connesso a queste attività.

A tale scopo sono state preparate le mappe riguardanti le fonti di pericolo puntuali e una mappa dell'uso del suolo generale. Alle fonti di pericolo puntuale sono stati attribuiti indici di pericolo (IP) secondo il sistema a punteggio descritto da Civita e Zavatti (2006). Alla mappa dell'uso del suolo generale, dove emergono maggiormente le fonti di inquinamento diffuso, quali le aree agricole, sono stati invece attribuiti dei fattori di pericolo (FP) che si basano sull'uso di pesticidi e fertilizzanti. Tali valori, combinati con coefficienti di correzione (es. tipo di pratiche agronomiche, zone climatiche, sistemi di irrigazione, ecc.) hanno quindi prodotto degli indici di pericolo (IP). L'attribuzione degli FP alle varie classi di uso del suolo agricolo è stata rivista ed integrata, aggiungendo delle categorie e modificando alcuni punteggi, rispetto a quelli proposti da Civita e Zavatti. Per elaborare una mappa complessiva dell'indice di pericolo è stato assegnato ad ogni pixel il valore massimo di IP fra quelli derivanti da tutti i layer utilizzati (es. i punti di passaggio dell'oleodotto in aree agricole o in aree boscate).

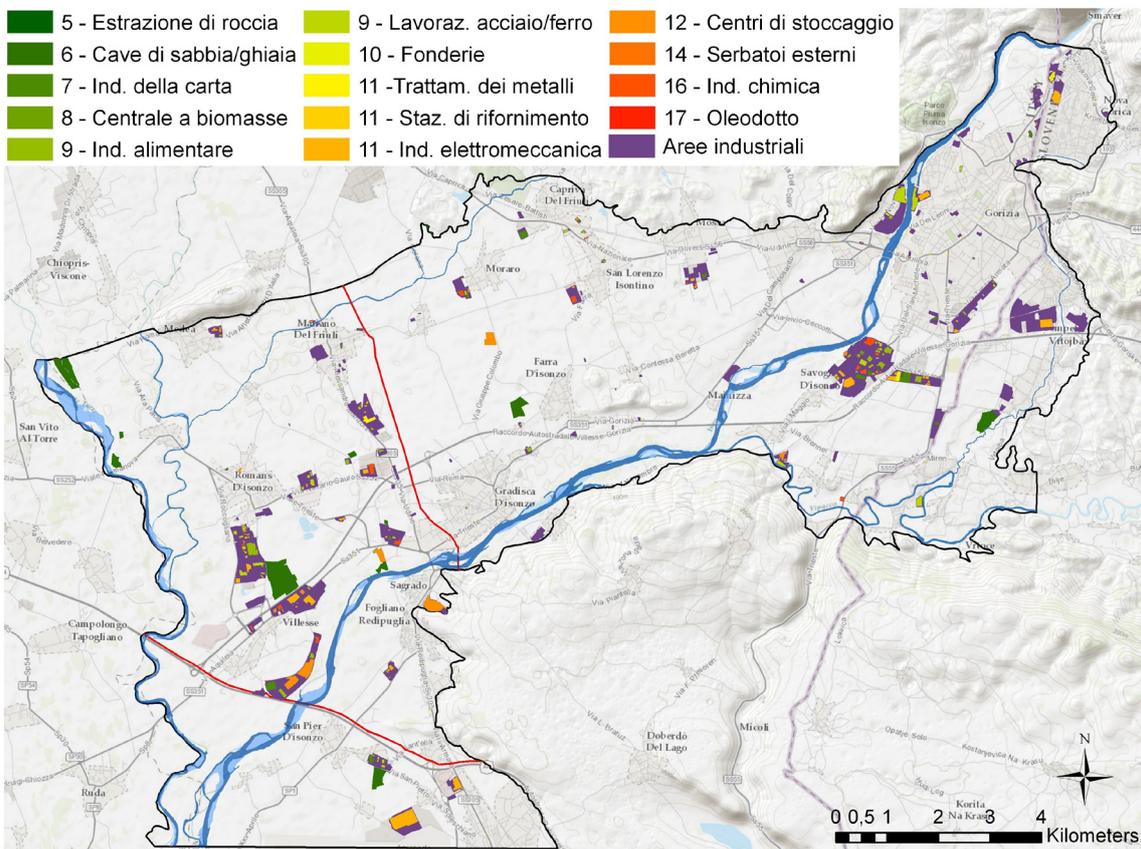
Nella mappa ottenuta i valori di IP variano da 0 a 19.2 e sono stati raggruppati in 5 classi di eguale ampiezza, da pericolo molto basso (1) a molto alto (5). Per una corretta interpretazione dei risultati, va comunque sottolineato che i valori non sono assoluti, ma vanno considerati relativamente all'area di studio.

Per una lettura più agevole della situazione territoriale vengono rappresentate tre mappe tematiche, relative rispettivamente all'attività agricola, all'attività industriale e all'urbanizzazione. Per quanto riguarda l'agricoltura, le colture a maggiore diffusione sono i vigneti, il mais e i prati. I fattori di pericolo variano da un minimo di 0 (terreni a riposo) ad un massimo di 10 (mais). Agli allevamenti è stato attribuito un punteggio di IP in base al loro valore di UBA/area. Nell'area si registrano parecchi allevamenti, ma solo alcuni intensivi, con un UBA maggiore di 100. Per l'industria e per le attività ad essa correlate i punteggi di pericolo variano da un minimo di 5 (estrazione di roccia) a un massimo di 17 (oleodotto). Le zone industriali più importanti sono dislocate nei comuni di Gorizia, Romans d'Isonzo e Villesse. Nella figura che rappresenta l'urbanizzazione viene mostrata solo la classificazione del tessuto urbano secondo aree provviste o meno di un sistema di fognatura. Infrastrutture e altre attività urbane che in qualche modo comportano una pressione, sono state omesse nella figura stessa, ma considerate nel calcolo della mappa di pericolo finale.

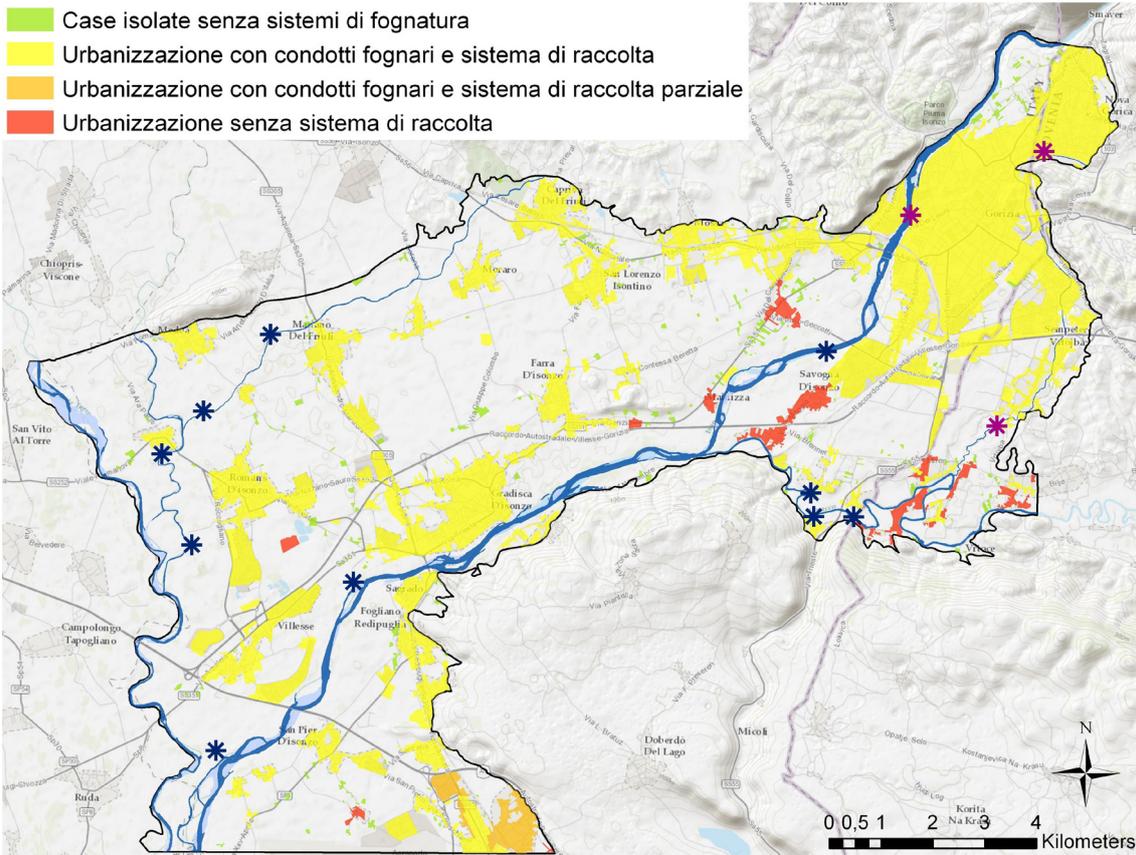
Il rischio di inquinamento delle acque sotterranee viene calcolato tenendo conto di diversi fattori, tra cui la pericolosità, la vulnerabilità e il valore del soggetto a rischio. Ai fini del presente caso di studio è stata prodotta una mappa semplificata di rischio di inquinamento delle falde acquifere moltiplicando la mappa di pericolosità con la mappa di vulnerabilità idrogeologica. I valori, che nel nostro caso variano da 0 a 25, sono stati raggruppati in 5 classi (da rischio molto basso a molto alto), il che ha consentito di individuare nell'area delle zone di particolare sensibilità "hot spot", identificabili con le aree a punteggio più elevato (classi 4 e 5).



Uso agricolo del suolo: colture agricole e allevamenti zootecnici sul territorio. Gli allevamenti (cerchi blu) hanno dimensione proporzionale al valore di UBA/area.



Uso industriale del suolo: individuazione delle attività industriali sul territorio.



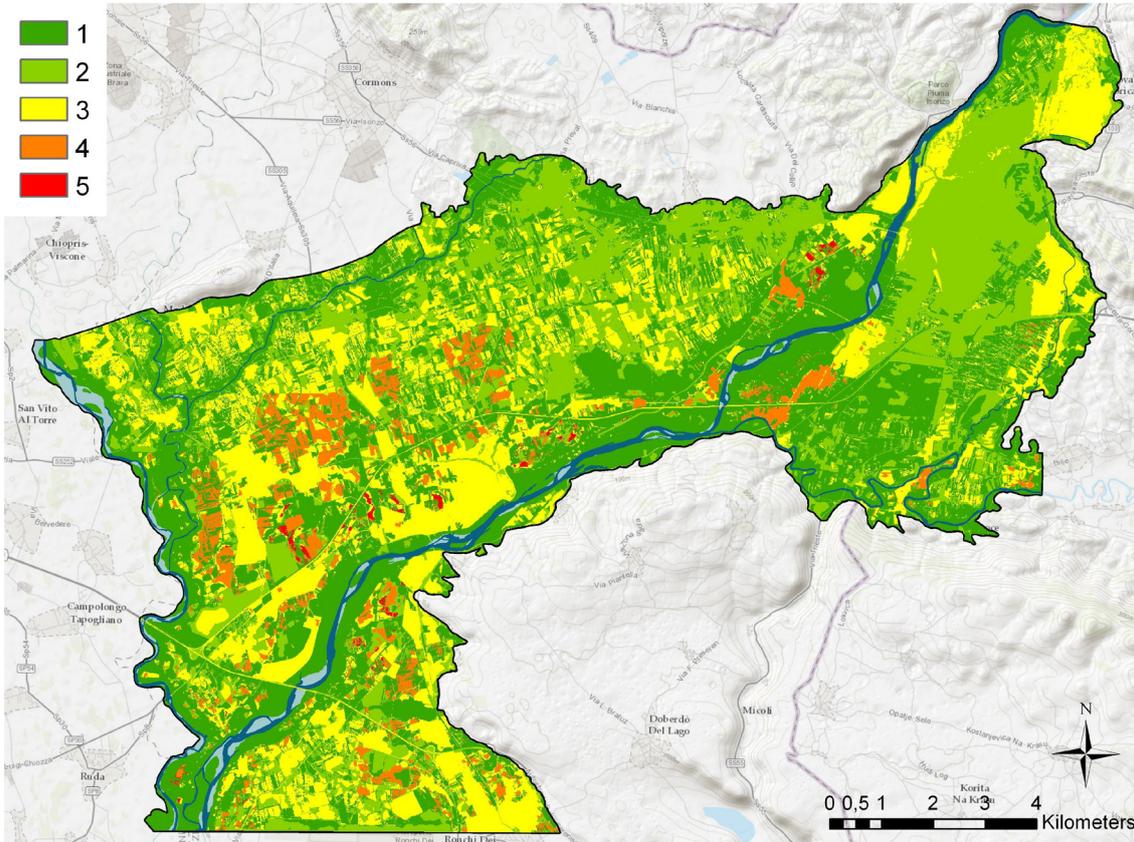
Urbanizzazione: classificazione delle aree urbane secondo pericolo crescente (da verde a rosso) in base al loro grado di connessione alla rete di raccolta dei reflui urbani. Sono indicati anche gli scarichi dei depuratori (asterisco blu) e i punti di scarico di reflui non trattati (asterisco rosso).

L'analisi degli hot spot, associata alla corrispondente tipologia di uso del suolo, porta ad alcune considerazioni:

- le aree più sensibili (classi 4+5) occupano complessivamente il 5% circa dell'area di studio, mentre le aree soggette a rischio medio (classe 3) occupano circa il 25% dell'area. Pertanto, il 70% dell'area si può ritenere soggetta a rischio di inquinamento relativamente basso (classi 1+2);
- si possono grosso modo individuare tre zone "hot spot", precisamente (1) una zona più estesa, nella parte centro-occidentale dell'area di studio, a N dell'Isonzo che ricade nei comuni di Romans d'Isonzo, Mariano del Friuli e Gradisca d'Isonzo, (2) una zona nella parte centro-occidentale, a S dell'Isonzo inclusa nel comune di Fogliano Redipuglia e (3) una zona nella parte centro-orientale, a N e a S dell'Isonzo, rispettivamente in località Mochetta e nel comune di Savogna d'Isonzo;
- considerando le attività antropiche associate a tali zone, si può asserire che nelle zone "hot spot" centro-occidentali il rischio è dovuto in gran parte all'agricoltura, specificamente al mais e ai vigneti, che assommano rispettivamente il 29% e il 24% delle aree a maggior rischio (classi 4+5), mentre nella zona centro-orientale il rischio dipende dall'urbanizzazione, specificamente legata all'assenza di sistemi fognari.

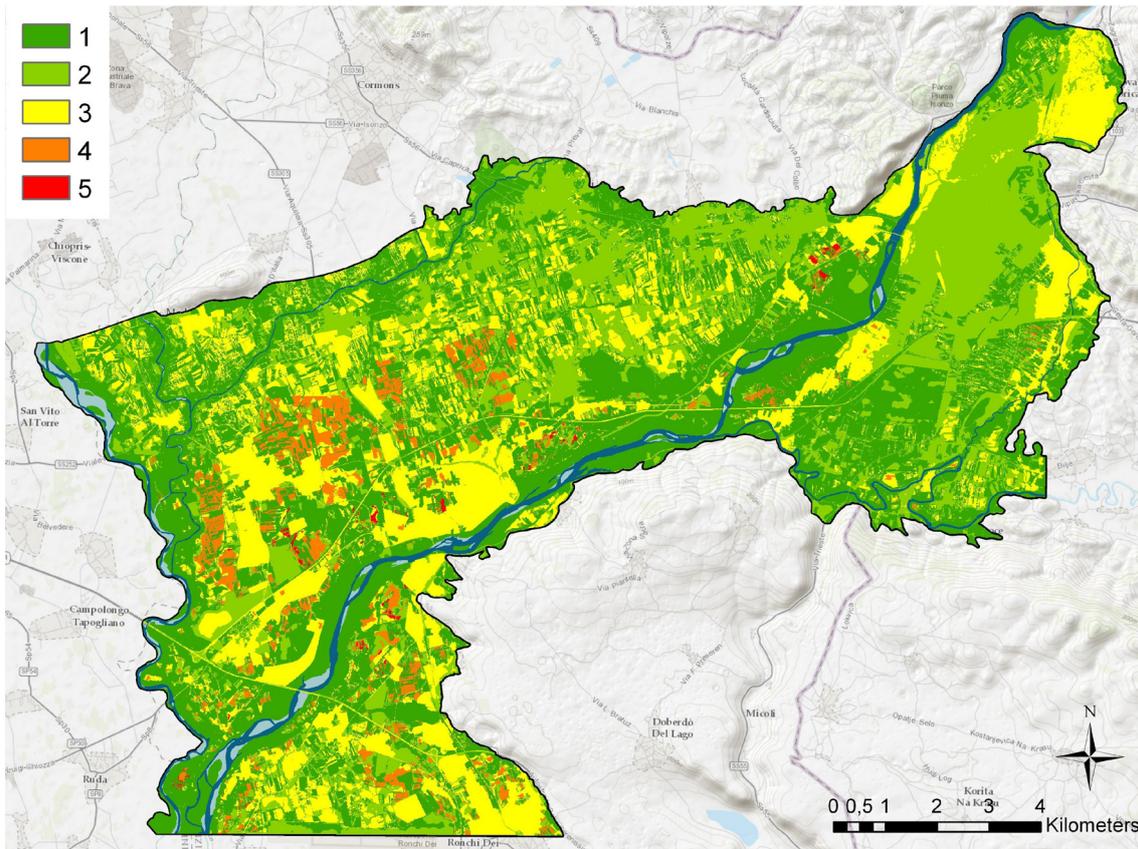
Tali considerazioni portano allo sviluppo di scenari alternativi per la gestione del territorio in modo da contribuire alla riduzione generale del rischio di inquinamento. Fra i possibili si riporta la simulazione di uno scenario (Scenario 1) che include due serie di azioni:

1. Urbanizzazione: comporta (i) la costruzione di una rete fognaria nelle zone sprovviste, ossia nel comune di Savogna d'Isonzo e nella località Mochetta (Italia) e il completamento della rete nelle zone parzialmente servite, come a Ronchi dei Legionari (Italia) e nelle frazioni di Miren



Mapa di rischio di inquinamento sull'acquifero: da rischio molto basso (1, verde scuro) a molto alto (5, rosso).

- e Bilje (Slovenia) (ii) la costruzione di un nuovo depuratore in area slovena (a Vrtojba), tale da convogliare tutti i reflui urbani dell'area, eliminando lo scarico diretto nel torrente Vrtojbrica e lo scarico nel torrente Koren, che in seguito viene captato e depurato dal sistema fognario Goriziano; (iii) la costruzione di un unico depuratore che serva tutta l'area Isontina con uno scarico diretto a mare, eliminando in tal modo tutti i depuratori presenti nell'area e situati sui corpi idrici. Tale scenario è in realtà in esecuzione per quanto riguarda il depuratore a Vrtojba (destinato a entrare a regime nel 2015), e in fase di progettazione avanzata riguardo all'area italiana con il progetto dell'impianto di depurazione a Staranzano.
2. Agricoltura: comporta l'applicazione di appropriate misure agro-ambientali come previsto dalla nuova Politica Agricola Comunitaria. Ad esempio, nel PSR del Friuli-Venezia Giulia 2014-2020 (attualmente in fase di esame presso la Commissione Europea) si annoverano le seguenti misure di maggior interesse per la conservazione della qualità degli acquiferi: inerbimento permanente dei frutteti e dei vigneti; diversificazione colturale per la riduzione dell'impatto ambientale: no-mais per più del 20% della SAU aziendale, conversione da seminativi a prato; mantenimento dei prati, dei prati stabili e dei pascoli; mantenimento di habitat e infrastrutture agro-ecologiche: filari e siepi, sistemi macchia-radura, stagni e laghetti ecc. Nello scenario proposto, viene simulato:
 - (i) l'inerbimento dei vigneti sul 50% dei campi a vigneto non inerbiti, scelti casualmente nell'area di studio, e che rappresentano circa 1/5 dei vigneti dell'area;
 - (ii) la conversione da mais a prato del 50% delle parcelle a mais, scelte casualmente nell'area di studio.



Mapa di rischio di inquinamento dell'acquifero, ottenuta dalla simulazione di azioni alternative (Scenario 1) sullo stato attuale di uso del suolo.

Il confronto fra la situazione attuale e la situazione simulata nello Scenario 1 è riassunto sinteticamente nella tabella sotto riportata.

CLASSE DI RISCHIO	ATTUALE (ha)	SCENARIO 1 (ha)	DS _{1-attuale} (%)	ATTUALE (%)	SCENARIO 1 (%)
1	6541.28	6950.61	6.3	44.7	47.4
2	3792.19	3748.23	-1.2	25.9	25.6
3	3559.47	3374.67	-5.2	24.3	23.0
4	712.78	545.45	-23.5	4.9	3.7
5	44.32	31.08	-29.9	0.3	0.2
	14650.04	14650.04			

Distribuzione delle classi di rischio antropico (ettari) nell'area di studio, differenza (%) delle singole classi derivante dall'applicazione di misure alternative ($DS_{1-attuale}$) e composizione (%) delle classi di pressione nello stato attuale e nello Scenario 1.

L'applicazione delle misure alternative comporta una riduzione in estensione di tutte le classi eccetto la prima, e in modo rilevante nelle classi a rischio più elevato (4 e 5). Di contro, la classe a minore rischio aumenta la sua estensione del 6.3%, pari in termini assoluti a più di 400 ettari. In termini di composizione percentuale, con l'applicazione di misure alternative le classi 4 e 5 passano cumulativamente dal 5.2% al 3.9%, e le classi a minore rischio (1 e 2) dal 70.6% al 73%.

La pianificazione di un tale scenario risulta quindi positiva in termini di diminuzione della pressione antropica sull'acquifero. L'utilizzo di tale metodologia può portare quindi all'elaborazione di numerosi scenari alternativi, in modo che il pianificatore a sua volta possa scegliere fra quelli più promettenti e allo stesso tempo realistici.

RINGRAZIAMENTI

Si ringrazia IrisAcqua e in modo specifico l'Ing. Furio Pillan per l'aiuto nella ricerca di dati e informazioni. Allo stesso modo si ringraziano gli Ing. Barbara Koncut e Matjaž Hvalič della società Vodovodi in kanalizacija Nova Gorica.

5. GIS ACQUE POTABILI

a cura di Edvard Grmadnik (NLZOH)

Il sistema informativo geografico GIS proposto per il Progetto GEP è l'aggiornamento di quello adottato con il progetto JEDIS che ha avuto luogo nel contesto di programma della collaborazione comunitaria INTERREG IIIA Italia-Slovenija 2000-2006.

Si è dimostrato che la selezione delle tecnologie dell'informazione basate interamente sui codici aperti è stata una buona scelta; visto che lo strumento selezionato dalla comunità "open source" ha continuato a svilupparsi, sono anche aumentate la sua funzionalità e capacità.

Per il progetto GEP si sono quindi aggiornati tutti i componenti del sistema aggiungendone alcuni nuovi. Il più utile aggiornamento è stata l'integrazione con gli altri componenti del web server del pacchetto software Geoserver.

Il software Geoserver permette l'elaborazione, la gestione e l'analisi dei dati spaziali, ed è inoltre in grado di elaborare una serie di formati grafici vettoriali e raster dati, quali ad esempio i file formato GeoTIFF, ECW, ArcGrid, JPEG2000.

Il software è stato collegato con il database relazionale PostgreSQL aggiornato che, in collaborazione con PostGIS, serve a salvare i dati.

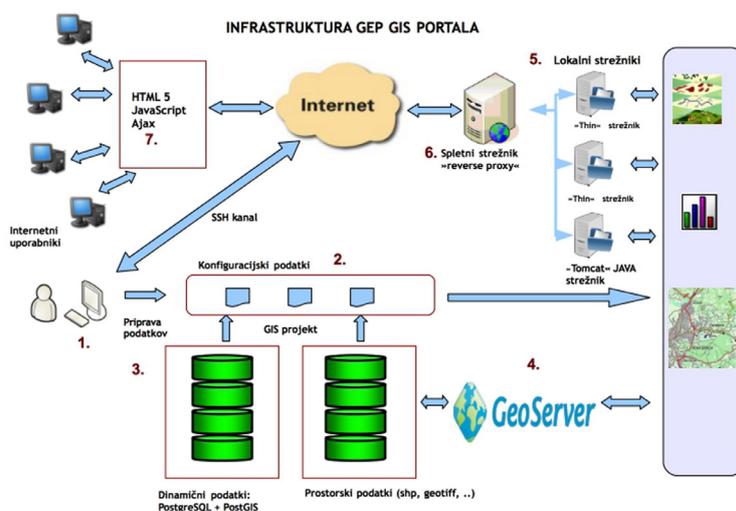
Una funzionalità importante di GeoServer, sono i servizi web certificati dall'Associazione Internazionale di OGC (Open Geospatial Consortium), come i WMS, WFS e WCS.

WMS (Web Map Service) è un servizio per la realizzazione e la diffusione delle mappe raster.

WFS (Web Feature Service) è un servizio per la ricerca e la diffusione dei dati.

WCS è un servizio per la ricerca e la diffusione di informazioni sui livelli selezionati in una determinata area.

Attraverso questi servizi on-line, i dati assunti nell'ambito del progetto GEP, possono essere inclusi in altri sistemi informatici GIS, usando gli standard menzionati. I programmi più noti che utilizzano i servizi web standard sono Google Earth e Quantum GIS.



L'infrastruttura dei server per il sistema geoinformatico. I dati vengono memorizzati in un database PostgreSQL o come i file(s) (3). Geoserver tramite i server locali (5) è associato con il web server frontale (proxy inverso, 6), che prevede una rapida comunicazione con gli utilizzatori finali (7), che utilizzano la moderna tecnologia web integrata nel web browser, come Ajax e HTML5 Internet.

L'interfaccia utente aggiornata rende possibile la commutazione dei vari livelli della mappa, così come la definizione dei nuovi strati/livelli.

Il Client Web utilizza la tecnologia dei servizi web secondo lo standard OGC internazionale, in modo che si possa definire un strato di mappatura anche da altri server che utilizzano questo standard.

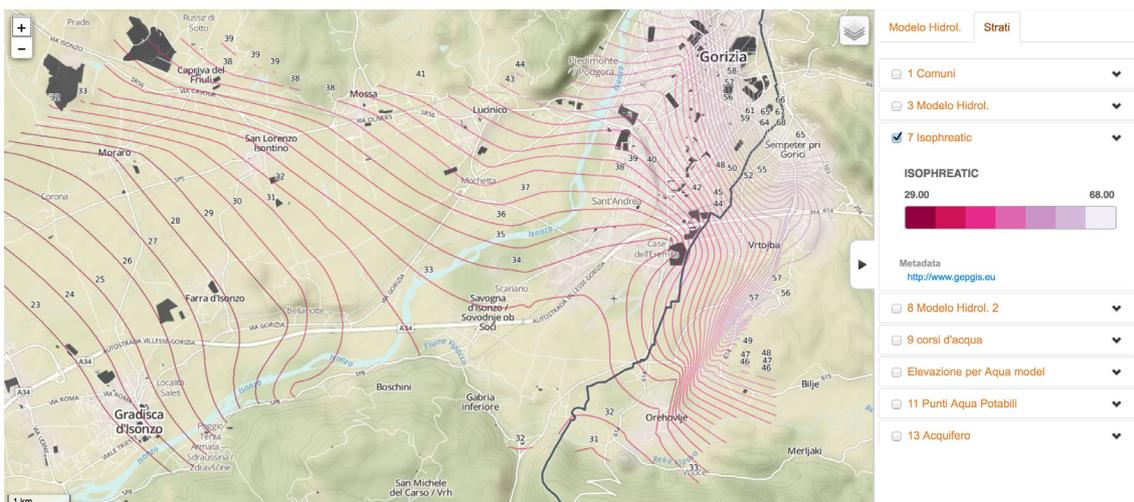


Web GEP client GIS.

I dati sono presentati in tre lingue: inglese, italiano e sloveno. La lingua si può impostare con un clic sulla bandiera corrispondente nell'angolo a destra in alto della finestra.

Per la visualizzazione dei singoli gruppi si può selezionare una scheda, ogni strato cartografico può essere incluso o escluso cliccando sul quadrato a sinistra in cui ogni strato è descritto.

La descrizione degli strati cartografici può essere ottenuta cliccando sulla freccia verso il basso nella descrizione di ogni strato. La linea con la descrizione dello strato può essere estesa e così si ottiene una descrizione più dettagliata.

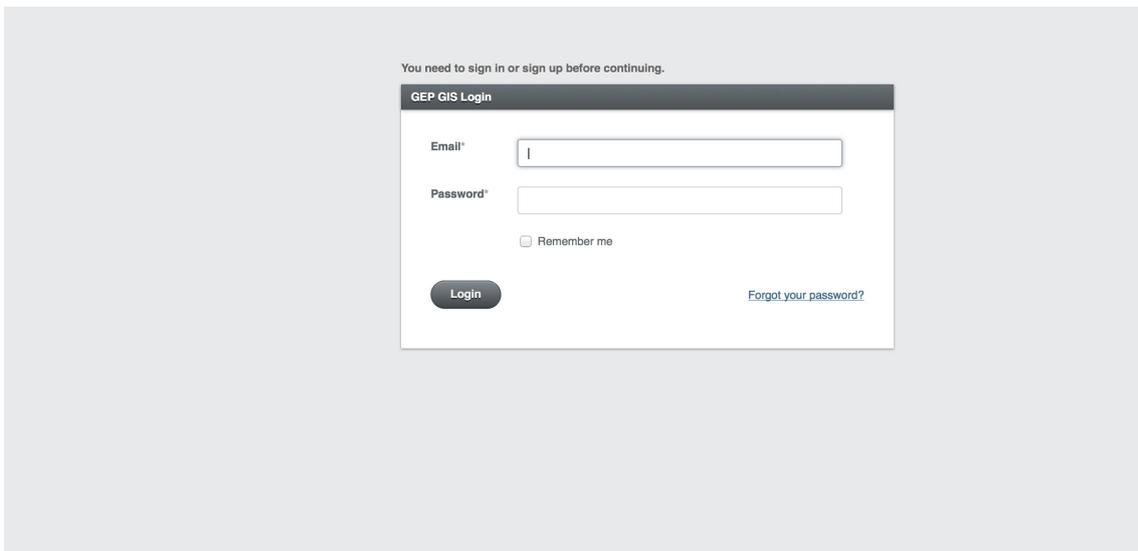


Descrizione di ogni strato.

I dati sulle risorse idriche e sugli incidenti, ai quali è possibile accedere utilizzando il portale GEPGIS, possono essere modificati.

Le caratteristiche dell'interfaccia web (interface) consentono, oltre le modifiche, la ricerca di dati specifici e l'esportazione dei dati in vari formati.

Altre funzioni dell'interfaccia web sono la modifica e l'aggiunta di nuovi strati cartografici e la modifica dei testi in diverse lingue.



Portale GEPGIS per la gestione dei dati delle risorse idriche e degli incidenti. Dopo l'accesso è possibile selezionare un particolare gruppo di dati e poi modificarlo.

ADMIN / **Waters** New Water

Batch Actions - All (2001) Slo (2019) It (982)

Id	Accepted name	Nation	Province	Municipality	Typology	Typol.	
3853	Reševnik	SLO		POSTOJNA	IZVIR	SPRING	View Edit Delete
3852	Pri Veliki smreki	SLO		POSTOJNA	IZVIR	SPRING	View Edit Delete
3850	Korotan	SLO		POSTOJNA	IZVIR	SPRING	View Edit Delete
3849	Mahnj II.	SLO		POSTOJNA	IZVIR	SPRING	View Edit Delete
3848	Mahnj I.	SLO		POSTOJNA	IZVIR	SPRING	View Edit Delete
3847	Lepena	SLO		POSTOJNA	IZVIR	SPRING	View Edit Delete
3846	Divji skedenj	SLO		POSTOJNA	IZVIR	SPRING	View Edit Delete
3845	Pjava reber	SLO		POSTOJNA	IZVIR	SPRING	View Edit Delete
3844	Tres	SLO		POSTOJNA	IZVIR	SPRING	View Edit Delete
3862	VB-4/80	SLO		KOMEN	VRTINA/VODNJAK	PHREATIC WELL	View Edit Delete
3840	ER-1	SLO		SEŽANA	VODOTOK	RIVER	View Edit Delete
3827	Tonaži-R3	SLO		IZOLA	VODOTOK	RIVER	View Edit Delete
3822	Zabrežnik	SLO		ŽIRI	VODOTOK	RIVER	View Edit Delete
3830	Tonaži-R5	SLO		IZOLA	VRTINA/VODNJAK	PHREATIC WELL	View Edit Delete

Filters

SEARCH NAME

SEARCH NATION

SEARCH PROVINCE

SEARCH MUNICIPALITY

Visualizzazione delle risorse idriche.

ADMIN / WATERS / / **Edit Water** New Water

id	3849
Aqueduct name	Malni II.
Nation	SLO
Province	
Municipality	POSTOJNA
Typology	IZVIR
Typ	1 Spring
Lng eu	442183.413757396
Lat eu	5074571.68753894
Dealer	Postojna, Pivka, Il. bistrica
Name	
Manager	Kovod Postojna

Modifica dei dati.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

Andreo, B., Ravbar, N., Vías, J.M., 2009: Source vulnerability mapping in carbonate (karst) aquifers by extension of the COP method: application to pilot sites. *Hydrogeology Journal* 17/3, 749-758.

Berlasso, G., Cucchi, F., 1991: Caratteristiche geologiche e strutturali della Bassa Pianura Isontina (Friuli - Venezia Giulia) - *Rend. Soc. Geol. It.*, 14, 13-16.

Carulli G.B. (2006) Carta geologica del Friuli Venezia Giulia & Note illustrative. Ed. Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia & Università di Trieste, 1 map 1:150.000 scale, 44 pp, Selca, Firenze.

Čar, J., Gospodarič, R., 1988: Geološka zgradba in nekatere hidrološke značilnosti bruhalnika Lijaka.- *Acta carsologica* 17, 3-32.

Civita, M.V., De Maio, M., 2000: Valutazione e cartografia automatica della vulnerabilità degli acquiferi all'inquinamento con il sistema parametrico: SINTACS R5, a new parametric system for the assessment and automatic mapping of groundwater vulnerability to contamination - Pitagora Editrice, Bologna, 240 pp.

Civita, M.V., De Maio, M., Farina, M., Zavatti, A., 2001: Linee guida per la redazione e l'uso delle carte della vulnerabilità degli acquiferi all'inquinamento - Agenzia Nazionale per la Protezione dell'Ambiente - Manuali e Linee guida, 1 CD, 100 pp.

Civita, M.V., Zavatti, A., 2006: Un manuale per l'analisi di sito e la valutazione del rischio di inquinamento - Pitagora Editrice, Bologna, 367 pp.

Cucchi F., Franceschini G., Zini L. (2009) Hydrogeology and geochemistry of the Friuli Venezia Giulia plain alluvial aquifers, northeastern Italy. In: Luka F. Konig & Jonas L. Weiss Eds. *Groundwater: Modelling, Management and Contamination*. NEW YORK: Nova Science Publishers. pp. 231-258.

Cucchi F., Marinetti E., Massari G., Oberti S., Piano C., Zini L. (1999) Carta della vulnerabilità intrinseca della pianura friulana. *Quad. Geologia Applicata, Atti 3° Conv. Naz. protezione e gestione delle acque sotterranee*, Parma, 1283-1289.

Cucchi, F., Massari, G., Oberti, S., 1999a: Fluttuazioni della falda freatica nell'Alta Pianura Friulana - Gortania, *Atti Museo Friul. di Storia Nat.*, 21, 39-51.

Cucchi, F., Massari, G., Oberti, S., 1999b: Il chimismo delle falde freatiche e artesiane della Pianura Friulana - *Quaderno del Museo Carsico Geologico e Paleontologico*, 7, 3-20.

Cucchi, F., Giorgetti, F., Gemitì, F., Massari, G., Oberti, S., 1998: Caratterizzazione geochimica delle falde acquifere della Pianura Friulana - *Atti della Giornata Mondiale dell'Acqua, Acque sotterranee: risorsa invisibile*, 61-71.

Drew, D., Hotzl, H. (ur.), 1999: *Karst Hydrogeology and Human Activities*.- A.A. Balkema, 322 pp, Rotterdam, Brookfield.

Gerdol, C., 2013: *Idrogeologia della Piana Isontina (ITA-SLO)* - Tesi di Laurea Magistrale in Geologia e Geologia Tecnica, Università di Padova.

Habič, P., 1982: Kraški izvir Mrzlek, njegovo zaledje in varovalno območje.- *Acta carsologica* 10, 45-73.

Habič, P., 1987: Sledilni poskus na kraškem razvodju med Idrijco, Vipavo in Ljubljano.- *Acta carsologica* 16, 105-119.

Internetni vir: <http://www.razvojkrasa.si/si/voda/>

Janež, J., Čar, J., 1990: Kraški izvir Kajža in njegovo zaledje.- *Acta carsologica* 19, 101-138.

- Janež, J., Čar, J., Habič, P., Podobnik, R., 1997: Vodno bogastvo visokega krasa. Geologija d.o.o, 167 pp, Idrija.
- Knez, M., Petrič, M., Slabe, T. (ur.), 2011: Krasoslovje v razvojnih izzivih na krasu I - Voda.- Založba ZRC, 167 pp, Ljubljana.
- Kogovšek, J., Petrič, M., 2008: Onesnaženje z avtocest in odlagališč odpadkov. V: Luthar, O. et al. (ur.), Kras [trajnostni razvoj kraške pokrajine].- Založba ZRC, str. 77-81, Ljubljana.
- Kogovšek, J., Pipan, T., 2008a: Kemijsko-fizikalne in biološke metode za ocenjevanje kakovosti kraških vodnih virov. V: Luthar, O. et al. (ur.), Kras [trajnostni razvoj kraške pokrajine].- Založba ZRC, str. 69-71, Ljubljana.
- Kogovšek, J., Pipan, T., 2008b: Monitoring fizikalnih, kemijskih in bioloških parametrov v izbranih kraških izviri, rekah in jami. V: Luthar, O. et al. (ur.), Kras [trajnostni razvoj kraške pokrajine].
- Kranjc, A. (ur.), 1997: Karst Hydrogeological Investigations in South-Western Slovenia.- Acta carsologica 26/1, 388 pp, Ljubljana.
- Mosetti, F., 1983: Sintesi sull'idrologia del Friuli - Venezia Giulia, Ente tutela pesca del Friuli - Venezia Giulia, Udine.
- Nicolich, R., Della Vedova, B., Giustiniani, M., Fantoni, R., 2004: Carta del sottosuolo della Pianura Friulana, Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia - Università degli Studi di Trieste.
- Petrič, M., Kogovšek, J., Pipan, T., Ravbar, N., 2008: Voda. V: Luthar, O. et al. (ur.), Kras [trajnostni razvoj kraške pokrajine].- Založba ZRC, str. 55-94, Ljubljana.
- Placer, L., Čar, J., 1974: Problem podzemeljske razvodnice Trnovskega gozda, Križne gore in Črnovrške planote.- Acta carsologica 6, 79-93.
- Ravbar, N., 2007: The protection of karst aquifers. A comprehensive Slovene approach to vulnerability and contaminant risk mapping. Založba ZRC, 254 pp, Ljubljana.
- Ravbar, N., Goldscheider, N. 2007: Proposed methodology of vulnerability and contamination risk mapping for the protection of karst aquifers in Slovenia. Acta Carsologica 36/3, 461-475.
- Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia, 1990: Catasto regionale dei pozzi per acqua e delle perforazioni eseguite nelle alluvioni quaternarie e nei depositi sciolti del Friuli-Venezia Giulia.
- REGIONE AUTONOMA FRIULI VENEZIA GIULIA, Servizio geologico (2009): Progetto CGT - Carta geologica tecnica del F.V.G. alla scala 1:5.000, Foglio Gorizia. Trieste.
- REGIONE AUTONOMA FRIULI VENEZIA GIULIA, Servizio geologico (2009): Progetto GEO-CGT - Carta di sintesi geologica del F.V.G. alla scala 1:10.000, Foglio Gorizia. Trieste.
- Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia, 2014. Italy - Rural Development Programme (Regional) - Friuli Venezia Giulia. Regione Friuli Venezia Giulia - Direzione centrale attività produttive, commercio, cooperazione, risorse agricole e forestali - Servizio sviluppo rurale.
- Stefanini, S., 1978: Le acque freatiche della regione: sintesi delle attuali conoscenze - Rassegna tecnica del Friuli Venezia Giulia, 2, 3-11.
- Stefanini, S., Cucchi, F., 1976: Gli acquiferi nel sottosuolo della Provincia di Gorizia (Friuli - Venezia Giulia) - Istituto di Ricerca sulle Acque, Roma.
- Trček, B., 2003: Epikarst zone and the karst aquifer behaviour. A case study of the Hubelj catchment, Slovenia.- Geološki zavod Slovenije, 100 pp, Ljubljana.
- Trevisan, M., Padovani, L., Capri, E., 1998: Pericolo di contaminazione delle acque sotterranee da attività agricole. Definizione degli indici di pericolosità ambientale - Pubbl. 1937 del GNDCI-CNR, 36 pp., Univ. Catt. Piacenza.

Turk, J., Malard, A., Jeannin, P.-Y., Vouillamoz, J., Masini, J., Petrič, M., Gabrovšek, F., Ravbar, N., Slabe, T., 2013: Interpretation of hydrogeological functioning of a high karst plateau using the KARSYS approach: the case of Trnovsko-Banjška planota (Slovenia).- *Acta carsologica* 42/1, 61-74.

Zini, L., Cucchi, F., Franceschini, G., Treu, F., 2008: Caratteristiche idrologiche e geochimiche delle riserve acquifere sotterranee della pianura del Friuli Venezia Giulia - Gortania - *Atti Museo Friul. di Storia Nat.*, 30, 5-30.

Zini, L., Calligaris, C., Treu, F., Iervolino, D., Lippi, F., 2011: Risorse idriche sotterranee del Friuli Venezia Giulia: sostenibilità dell'attuale utilizzo, Trieste.

[Redacted text block]

PARTNER



LP Nacionalni inštitut za javno zdravje



PP1 Inštitut za raziskovanje
krasa ZRC SAZU



NACIONALNI LABORATORIJ ZA
ZDRAVJE, OKOLJE IN HRANO

PP2 Nacionalni laboratorij
za zdravje, okolje in hrano



PP4 Uprava RS za zaščito in
reševanje



PP5 Dipartimento di
Matematica e Geoscienze
Università degli Studi di Trieste



PP6 Dipartimento di
Scienze della Vita
Università degli Studi di Trieste



PP7 Protezione Civile della
Regione Friuli Venezia Giulia



PP8 Dipartimento di Fisica
e Scienze della Terra
Università degli Studi di Ferrara



PP9 Dipartimento Territorio
e Sistemi Agro-forestali
Università degli Studi di Padova



ISBN 978-88-8303-588-3
eISBN 978-88-8303-589-0

gep@nijz.si

Progetto GEP finanziato nell'ambito del Programma per la Cooperazione Transfrontaliera Italia-Slovenia 2007-2013, dal Fondo europeo di sviluppo regionale e dai fondi nazionali.

Projekt GEP sofinanciran v okviru Programa Čezmejnega sodelovanja Slovenija-Italija 2007-2013 iz sredstev Evropskega sklada za regionalni razvoj in nacionalnih sredstev.



Ministero dell'Economia
e delle Finanze



REPUBLIKA SLOVENIJA
SLUŽBA VLADE REPUBLIKE SLOVENIJE ZA RAZVOJ
IN EVROPSKO KOHEZIJSKO POLITIKO