



# LE ACQUE DEL CARSO CLASSICO

Progetto **HYDROKARST**  
Projekt

**VODONOSNIK KLASIČNEGA KRASA**

2015

Franco Cucchi, Luca Zini, Chiara Calligaris

EUT

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](http://www.ita-slo.eu)  
Progetto cofinanziato dal Fondo europeo di  
sviluppo regionale  
Projekt sofinancira Evropski sklad  
za regionalni razvoj

Il progetto ha come obiettivo prioritario la tutela e la gestione coordinata dell'acquifero del Reka-Timavo attraverso il monitoraggio quantitativo e qualitativo delle acque ipogee e del territorio del Carso Classico. Gli output previsti dalla realizzazione del progetto consistono nella realizzazione di un unico e comune database georeferenziato dei dati idrodinamici, idrochimici e biologici, di basi cartografiche unificate, nella predisposizione di accordi di cooperazione e di azioni per la promozione ed attuazione di sistemi per la riduzione delle emissioni inquinanti con particolare riferimento all'acqua potabile, lo sviluppo di sistemi di intervento congiunti nelle situazioni di emergenza, lo sviluppo di strategie congiunte per prevenire e ridurre i rischi, la promozione di interventi per il risparmio idrico, l'efficienza nella gestione della rete idrica ed il miglioramento della qualità dell'acqua potabile.

*Glavni cilj projekta je usklajeno upravljanje in zaščita vodonosnika Reka-Timava preko količinskega in kakovostnega spremljanja podzemnih voda in območja klasičnega Krasa. Rezultati izvajanja projekta so vzpostavitev enotne georeferencirane podatkovne baze hidrodinamičnih, hidrokemijskih in bioloških podatkov, enotnih kartografskih podlag, sklenitev protokolov o sodelovanju in določitev ukrepov za promocijo in uresničenje sistemov za zmanjšanje onesnaževalnih emisij, predvsem tistih, ki se nanašajo na pitno vodo, razvoj sistemov skupnega poseganja v nujnih primerih, oblikovanje skupnih strategij za preprečevanje in zmanjševanje tveganj, promocija posegov za varčevanje z vodo, učinkovito upravljanje vodovodnega omrežja in izboljšanje kakovosti pitne vode.*

Cover and layout:  
Divulgando Srl, Trieste – [www.divulgando.eu](http://www.divulgando.eu)  
EUT – Edizioni Università di Trieste

© copyright Edizioni Università di Trieste, Trieste 2015

All rights reserved.  
This book may not be translated, reproduced, adapted or electrically stored, in whole or part, by any means (including microfilms, photocopies and other reproductions), in any country.

ISBN 978-88-8303-621-7  
E-ISBN 978-88-8303-622-4

EUT – Edizioni Università di Trieste  
Via Weiss, 21 – 34128 Trieste, Italy  
<http://eut.units.it>  
<https://www.facebook.com/EUTEdizioniUniversitaTrieste>

La presente pubblicazione è reperibile all'indirizzo:  
Publikacija je objavljena na:  
This publication is available at:  
[www.hydrokarst-project.eu](http://www.hydrokarst-project.eu)

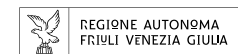
PARTNER  
PROJEKTNI PARTNERJI



Geološki zavod Slovenije



Società del Gruppo Hera



Direzione Centrale Ambiente, Energia e Politiche per la Montagna  
Servizio gestione risorse idriche







# LE ACQUE DEL CARSO CLASSICO

Progetto  
*Projekt* **HYDROKARST**


***VODONOSNIK KLASIČNEGA KRASA***

**2015**

Franco Cucchi, Luca Zini, Chiara Calligaris

EUT EDIZIONI UNIVERSITÀ DI TRIESTE





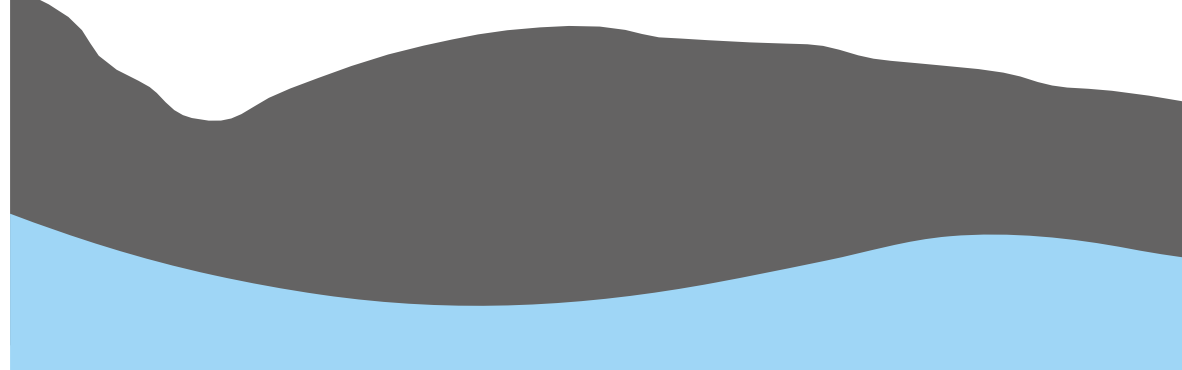
Polla a mare delle sorgenti di Aurisina.

*Vodna žila nabrežinskega izvira.*



# Indice

## Kazalo



<b>Premessa</b>	<b>7</b>	<b>Predgovor</b>	<b>7</b>
<b>Il Progetto HYDROKARST</b>	<b>9</b>	<b>Projekt HYDROKARST</b>	<b>9</b>
<b>Ringraziamenti</b>	<b>12</b>	<b>Zahvala</b>	<b>12</b>
<b>1. Il Carso Classico, inquadramento geografico e storico</b>	<b>15</b>	<b>1. Klasični Kras, geografska in zgodovinska opredelitev</b>	<b>15</b>
1.1. Definizione geografica del territorio competente al Carso Classico nella sua accezione scientifica e storica	20	1.1. Geografska definicija območja, ki spada h klasičnemu Krasu z znanstvenega in zgodovinskega vidika	19
<b>2. Geologia e geomorfologia del Carso Classico</b>	<b>23</b>	<b>2. Geologija in geomorfologija klasičnega Krasa</b>	<b>23</b>
2.1 Litologia e assetto strutturale	23	2.1 Litologija in strukturna razčlenitev	23
2.1.1 Unità litostratigrafiche	24	2.1.1 Litostratografske enote	24
2.1.2 Depositi di copertura e depositi di terra rossa	32	2.1.2 Krovna sedimentna plast in rdeča prst	32
2.1.3 Condizioni paleoambientali	33	2.1.3 Paleoekologija	33
2.1.4 Assetto strutturale	34	2.1.4 Tektonika	34
2.2 Morfologia carsica	38	2.2 Morfologija krasa	38
2.2.1 Grotte di San Canziano	44	2.2.1 Škocjanske jame	42
2.2.2 Abisso dei Serpenti	45	2.2.2 Kačna jama	43
2.2.3 Abisso di Trebiciano	46	2.2.3 Labodnica pri Trebčah	44
2.2.4 Grotta Meravigliosa di Lazzaro Jerko	46	2.2.4 Jerkova jama	45
2.2.5 Grotta Gigante	47	2.2.5 Briška jama	46
2.2.6 Grotta Antonio Federico Lindner	48	2.2.6 Lisičja luknja	47
2.2.7 Le gallerie delle Sorgenti del Timavo	50	2.2.7 Izviri Timave	48
<b>3. Il modello idrogeologico</b>	<b>53</b>	<b>3. Hidrogeološki model</b>	<b>53</b>
3.1 L'acquifero del Carso Classico	53	3.1 Vodonosnik klasičnega Krasa	53
3.1.1 Gli inghiottitoi	54	3.1.1 Požiralniki	54
3.1.2 L'infiltrazione diffusa	55	3.1.2 Razpršeno napajanje	55
3.1.3 Le sorgenti	55	3.1.3 Izviri	55
3.1.4 Le finestre sul percorso ipogeo	58	3.1.4 Vodokazna brezna	58
3.2 La Carta Idrogeologica del Carso Classico	62	3.2 Hidrogeološka karta klasičnega Krasa	61



<b>4. La rete di monitoraggio</b>	<b>65</b>	<b>4. Mreža opazovalnih mest</b>	<b>65</b>
4.1 Il piezometro di Štorje	67	4.1 Opazovalna vrtna v Štorjah	76
4.2 Il monitoraggio in continuo	72	4.2 Kontinuirana opazovanja podzemne vode	72
4.3 Caratterizzazione geochimica e microbiologica dell'acquifero del Carso Classico	76	4.3 Geokemijske in mikrobiološke značilnosti vodonosnika klasičnega Krasa	76
4.3.1 L'approccio metodologico	79	4.3.1 Metodološki pristop	79
4.3.2 Presentazione dei dati e discussione	81	4.3.2 Predstavitev podatkov in razprava	81
4.3.3 Conclusioni	88	4.3.3 Zaključki	87
<b>5. I test di tracciamento</b>	<b>91</b>	<b>5. Sledilni poskusi</b>	<b>91</b>
5.1 Introduzione	91	5.1 Uvod	91
5.2 L'iniezione e il campionamento	92	5.2 Injiciranje in vzorčenje	92
5.3 I risultati del test di tracciamento	93	5.3 Rezultati sledenja	93
5.4 Conclusioni	97	5.4 Sklep	96
<b>6. Il ruolo e l'importanza della fauna nelle ricerche idrogeologiche</b>	<b>99</b>	<b>6. Vloga in pomen živalstva v hidrogeoloških raziskavah</b>	<b>99</b>
6.1 Introduzione	99	6.1 Uvod	99
6.2 Le ricerche sulle forme di vita negli ambienti acque ipogei nel Carso Classico	103	6.2 Zgodovina raziskav življenja v podzemnem vodnem okolju na klasičnem Krasu	103
6.3 Metodi di tracciamento dei collegamenti idrologici per mezzo degli organismi	107	6.3 Metode za sledenje hidroloških povezav s pomočjo organismov	106
6.4 Conclusioni	109	6.4 Sklep	109
<b>7. Le portate delle sorgenti</b>	<b>111</b>	<b>7. Pretok izvirskih voda</b>	<b>111</b>
7.1 Premessa	111	7.1 Uvod	111
7.2 Attività svolta dalla Regione Friuli Venezia Giulia	112	7.2 Dejavnosti Avtonomne dežele Furlanije-Julijске krajine	112
7.3 Strumenti di misura	113	7.3 Merilne naprave	113
7.4 Approccio, punti di misura, caratteristiche delle sezioni di misura	115	7.4 Pristop, meritvene točke, značilnosti območij merjenja	115
7.5 Primi risultati, prospettive, conclusioni	120	7.5 Prvi rezultati, perspektive, zaključki	120
<b>8. AcegasApsAmga: analisi della stabilità della rete di distribuzione, delle perdite degli acquedotti e dei tratti inefficienti della rete</b>	<b>125</b>	<b>8. AcegasApsAmga: analisi della stabilità della rete di distribuzione, delle perdite degli acquedotti e dei tratti inefficienti della rete</b>	<b>125</b>
8.1 Cenni storici	125	8.1 Zgodovinski pregled	125
8.1.1 Gli acquedotti romani	125	8.1.1 Rimski vodovodi	125
8.1.2 L'acquedotto teresiano	126	8.1.2 Terezijanski vodovod	126
8.1.3 L'acquedotto di Aurisina	126	8.1.3 Nabrežinski vodovod	126
8.1.4 L'acquedotto di Zaule	127	8.1.4 Žavejski vodovod	127
8.2 L'acquedotto Giovanni Randaccio	128	8.2 Vodovod Giovanni Randaccio	128
8.2.1 Il primo nucleo dell'acquedotto	128	8.2.1 Prvo jedro današnjega vodovoda	128
8.2.2 La realizzazione	128	8.2.2 Izgradnja	128
8.2.3 Gli ampliamenti	128	8.2.3 Širitve	128
8.2.4 I primi inquinamenti del Timavo	129	8.2.4 Prva onesnaženja Timave	129
8.2.5 Il potenziamento della captazione al Sardos e stazione di presa al Sablici - Moschenitze	130	8.2.5 Okrepitev črpanja iz Sardočevih izvirov in črpalna postaja Sablič - Moščenice	130

8.3	L'acquedotto dell'Isonzo	133
8.3.1	Le indagini del 1920 e del 1950	133
8.3.2	Il nuovo progetto negli anni '70 ed inizio dell'opera	134
8.4	I problemi dell'utilizzo delle acque carsiche a scopo potabile	135
8.4.1	Origini e portate	135
8.4.2	Le caratteristiche di qualità	136
8.4.3	I controlli di qualità	137
8.5	L'acquedotto oggi	138
8.5.1	La rete di distribuzione	138
8.5.2	La valutazione delle perdite e l'individuazione dei tratti inefficienti	142
8.5.3	Gli interventi migliorativi: la distrettualizzazione	142
8.5.4	La verifica dei trend nell'uso del territorio e le necessità di approvvigionamento idrico	144
8.5.5	La programmazione futura e casi studio	145

## 9. Kraški vodovod Sežana: analisi di stabilità della rete di distribuzione, verifica dei trend nell'uso del territorio e delle necessità di approvvigionamento idrico 151

9.1	L'approvvigionamento idrico del Carso nel passato	151
9.2	L'approvvigionamento idrico oggi	154
9.2.1	Klariči – il punto di prelievo dell'acquedotto di Brestovica	155
9.2.2	L'acquedotto del Nanos e gli acquedotti locali	156
9.3	Il sistema dell'acquedotto KVS	156
9.4	Monitoraggio e qualità dell'acqua potabile	157
9.5	Il sistema centrale di controllo CNS (Centralni Nadzorni Sistem)	157

## 10. La protezione delle acque sotterranee 161

10.1	Carta della vulnerabilità	161
10.2	Carta della vulnerabilità delle acque sotterranee	164
10.2.1	Parametro O	164
10.2.2	Parametro C	165
10.2.3	Parametro P	167
10.2.4	Carta della VAS	169
10.3	Carta della vulnerabilità delle captazioni	170
10.4	Conclusioni	171
10.5	Centri di pericolo	173

## Bibliografia 175

### Tavole fuori testo

- Tavola 1 – Carta Geologica del Carso Classico
- Tavola 2 – Carta Geomorfologica del Carso Classico
- Tavola 3 – Carta Idrogeologica del Carso Classico
- Tavola 4 – Carta dell'Uso del Territorio del Carso Classico
- Tavola 5 – Carta della Vulnerabilità del Carso Classico

8.3.	<i>Soški vodovod</i>	133
8.3.1	<i>Raziskave v letu 1920 in v letu 1950</i>	133
8.3.2	<i>Novi projekt iz sedemdesetih let in začetek gradnje</i>	134
8.4.	<i>Problemi z uporabo kraških pitnih voda</i>	135
8.4.1	<i>Izvor in količine vode</i>	135
8.4.2	<i>Značilnosti in kakovost</i>	135
8.4.3	<i>Kontrola kakovosti</i>	137
8.5	<i>Vodovod danes</i>	138
8.5.1	<i>Distribucijsko omrežje</i>	138
8.5.2	<i>Vrednotenje izgub in odkrivanje neučinkovitih odsekov</i>	142
8.5.3	<i>Izboljšave: delitev na podomrežja (distrikte)</i>	142
8.5.4	<i>Preverjanje trendov v uporabi na ozemlju in potreb po oskrbi z vodo</i>	145
8.5.5	<i>Bodoče načrtovanje in študijski primeri</i>	145

## 9. Kraški vodovod Sežana: analiza stabilnosti distribucijske mreže, pregled trendov v potrošnji na ozemlju in posledičnega oskrbovanja z vodo 151

9.1	<i>Vodooskrba Krasa nekoč</i>	151
9.2	<i>Vodooskrba Krasa danes</i>	154
9.2.1	<i>Klariči – vodni vir Brestoviškega vodovoda</i>	155
9.2.2	<i>Nanoški vodovod in lokalni vodovodi</i>	155
9.3	<i>Vodovodni sistem KVS</i>	156
9.4	<i>Nadzor in kakovost pitne vode</i>	157
9.5	<i>CNS - Centralni nadzorni sistem</i>	159

## 10. Zaščita podzemnih voda 161

10.1	<i>Karte ranljivosti</i>	161
10.2	<i>Karta ranljivosti podzemnih voda</i>	164
10.2.1	<i>Faktor O</i>	164
10.2.2	<i>Faktor C</i>	164
10.2.3	<i>Faktor P</i>	165
10.2.4	<i>Karta VAS</i>	167
10.3	<i>Karta ranljivosti vodnih virov</i>	167
10.4	<i>Zaključki</i>	170
10.5	<i>Obremenjevalci podzemnih voda</i>	172

## Viri 175

### Priloge

- Priloga 1 – Geološka karta klasičnega Krasa*
- Priloga 2 – Geomorfološka karta klasičnega Krasa*
- Priloga 3 – Hidrogeološka karta klasičnega Krasa*
- Priloga 4 – Karta rabe tal na klasičnem Krasu*
- Priloga 5 – Karta ranljivosti vodnih virov na območju Klasičnega Krasa*





Il Timavo.

*Reka Timava.*



# Premessa

## Predgovor

Nell'era della globalizzazione e delle iniziative di gestione congiunta dei beni comuni al fine di migliorare l'utilizzo delle risorse, preservarne la quantità e soprattutto la qualità, nasce il Progetto HYDROKARST finanziato con i fondi dell'Unione Europea nell'ambito dei progetti strategici di cooperazione transfrontaliera. Lo studio ha come obiettivo prioritario la tutela e la gestione coordinata dell'acquifero del Reka-Timavo attraverso il monitoraggio quantitativo e qualitativo delle acque ipogee nel territorio del Carso Classico. Affronta il tema dell'acqua quale bene primario non solo come oggetto di ricerca in senso stretto, ma anche in chiave applicativa coinvolgendo, in qualità di Partner di Progetto, quanti si occupano della distribuzione dell'acqua potabile: AcegasApsAmga e Kraški Vodovod.

Le basi gettate attraverso questa collaborazione vogliono essere solamente un preludio a quella che sarà in futuro una reale gestione congiunta di un bene che deve essere considerato primario. I risultati raggiunti dall'ambizioso progetto, hanno la pretesa di voler diventare la base scientifica su cui predisporre accordi di cooperazione dedicati alla promozione ed attuazione di sistemi di riduzione delle emissioni inquinanti, allo sviluppo di sistemi di intervento congiunti nelle situazioni di emergenza, all'elaborazione di strategie univoche per la prevenzione e la riduzione dei rischi. Prospettiva futura è inoltre la promozione di interventi per il risparmio idrico, l'efficienza nella gestione della rete idrica ed il miglioramento della qualità dell'acqua potabile, non solo per noi oggi, ma anche per le generazioni future.

Va fatto un doveroso e sentito ringraziamento a tutti coloro che hanno collaborato alla buona riuscita del progetto permettendo di aggiungere un tassello importante al puzzle della conoscenza scientifica.

Sara Vito  
Assessore Ambiente ed Energia  
Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia

*Progetto HYDROKARST è nato in un'epoca di globalizzazione e di iniziative per la gestione coordinata dei beni comuni, al fine di migliorare l'utilizzo delle risorse, preservarne la quantità e soprattutto la qualità, nasce il Progetto HYDROKARST finanziato con i fondi dell'Unione Europea nell'ambito dei progetti strategici di cooperazione transfrontaliera. Lo studio ha come obiettivo prioritario la tutela e la gestione coordinata dell'acquifero del Reka-Timavo attraverso il monitoraggio quantitativo e qualitativo delle acque ipogee nel territorio del Carso Classico. Affronta il tema dell'acqua quale bene primario non solo come oggetto di ricerca in senso stretto, ma anche in chiave applicativa coinvolgendo, in qualità di Partner di Progetto, quanti si occupano della distribuzione dell'acqua potabile: AcegasApsAmga e Kraški Vodovod.*

*Sodestvovanje različnih projektnih partnerjev je postavilo izhodišča za bodoče skupno upravljanje dobrine, ki jo moramo obravnavati kot primarno. Doseženi rezultati tega ambicioznega projekta naj postanejo znanstveni temelj, na podlagi katerega se lahko sklenejo nadaljnji sporazumi o sodelovanju, namenjeni promociji in uresničenju sistemov za zmanjšanje onesnaževalnih emisij, razvoju sistemov skupnega ukrepanja v nujnih primerih ter oblikovanju enotnih strategij za preprečevanje in zmanjševanje tveganj. V prihodnosti naj bi dodatno razvili tudi promocijo posegov za varčevanje z vodo, učinkovito upravljanje vodovodnega omrežja in izboljšanje kakovosti pitne vode – ne samo za nas, ampak tudi za kasnejše rodove.*

*Nazadnje naj gre iskrena zahvala vsem, ki so pripomogli k uspehu projekta in omogočili, da smo dodali pomemben kamenček mozaiku znanstvenih raziskav tega območja.*

Sara Vito  
Odbornica za okolje in energijo  
Avtonomna dežela Furlanija-Juljska krajina



3° ramo del Timavo.

*Tretji rokav reke Timave.*





# Il Progetto HYDROKARST

## Projekt HYDROKARST

FRANCO CUCCHI

Dipartimento di Matematica e Geoscienze, Università degli Studi di Trieste

Dopo quasi 200 anni dalle prime ricerche sul Timavo, prende il via il Progetto HYDROKARST nato dalle idee di ricercatori italiani e sloveni che da anni studiano insieme l'idrogeologia carsica ([www.hydrokarst-project.eu](http://www.hydrokarst-project.eu)). Il progetto ha come obiettivo la gestione coordinata e la tutela dell'acquifero transfrontaliero del Reka-Timavo attraverso l'istituzionalizzazione di una rete di monitoraggio quantitativo e qualitativo delle acque ipogee e del territorio del Carso Classico.

Il progetto si propone di garantire, attraverso delle partnership stabili, una gestione sostenibile della risorsa acqua rafforzando quella coesione territoriale transfrontaliera che deve portare alla redazione di protocolli congiunti per permettere di uniformare le metodologie di raccolta dati e la loro rappresentazione e codifica, primo passo per la definizione delle aree di salvaguardia delle sorgenti e dei pozzi captati a scopo idropotabile. Va ricordato che ad oggi, le acque del Reka-Timavo non sono legalmente tutelate, cosa che invece accade per quelle del fiume Isonzo-Soča.

Il progetto è suddiviso in sette diversi Workpackages (WP).

**WP1:** Progettazione e costruzione del quadro logico per la gestione del progetto. Monitoraggio coordinamento e rendicontazioni.

**WP2:** Ideazione, preparazione e definizione dell'idea progettuale.

**WP3:** Raccolta ed elaborazione dei dati idrodinamici, idrochimici e biologici dell'acquifero del Reka-Timavo.

*Skoraj dvesto let po prvih raziskavah reke Timave so italijanski in slovenski raziskovalci, ki že več let skupaj preučujejo kraško hidrogeologijo, oblikovali Projekt HYDROKARST ([www.hydrokarst-project.eu](http://www.hydrokarst-project.eu)). Cilj projekta je koordinirano upravljanje in zaščita čezmejnega vodonosnika Reka-Timava z institucionalizacijo omrežja za količinsko in kakovostno spremljanje podzemnih voda na območju klasičnega Krasa.*

*Namen projekta je, da se z vzpostavitvijo stalnega partnerstva zagotovi trajnostno upravljanje vodnega vira, čezmejna teritorialna kohezija in priprava skupnih strokovnih podlag, ki bodo omogočale poenotenje metodologij zbiranja, prikazovanja in kodifikacije podatkov, kar je prvi korak v smeri definicije zaščitene območij izvirov in zajemališč pitne vode. Naj spomnimo, da vse do današnjih dni vodonosnik Reka-Timava ni bil deležen nikakršne pravne zaščite – v nasprotju na primer s Sočo (Isonzo).*

*Projekt sestavlja sedem različnih delovnih sklopov (WP):*

**WP1:** *Oblikovanje "storitvenega sistema" in priprava logičnega okvira za upravljanje projekta. Spremljanje projekta, koordiniranje in finančno poročanje.*

**WP2:** *Oblikovanje, priprava in določitev projektne ideje.*

**WP3:** *Meritve in obdelava hidrodinamičnih podatkov vodonosnika Reka-Timava.*



**WP4:** Vulnerabilità degli acquiferi carsici e protocolli di individuazione delle aree di salvaguardia. Uso del suolo. Analisi della stabilità della rete di distribuzione e delle necessità di approvvigionamento idrico.

**WP5:** Elaborazione della cartografia unificata del Carso Classico.

**WP6:** Elaborazione di protocolli per la gestione condivisa delle risorse e delle riserve acquifere del Carso Classico.

**WP7:** Piano di comunicazione.

La fase di condivisione dati ha portato alla realizzazione di una base cartografica unificata e di una banca dati georeferenziata (GIS) di tutto il bacino del Carso Classico. Attraverso la raccolta dati prima, e l'elaborazione poi, si è giunti alla definizione di un modello concettuale dell'intero acquifero del Reka-Timavo. Buona parte di questi dati hanno successivamente permesso l'elaborazione delle carte di vulnerabilità, a loro volta determinanti per la delimitazione delle aree di salvaguardia.

Il monitoraggio della rete acquedottistica di distribuzione e la realizzazione di interventi per il risparmio idrico hanno permesso di promuovere progetti di minimizzazione delle perdite, ottimizzando tratti poco efficienti delle reti.

Scopo ultimo del progetto era pertanto l'elaborazione:

- di accordi di cooperazione e di azioni per la promozione ed attuazione di sistemi per la riduzione delle emissioni inquinanti con particolare riferimento all'acqua potabile;
- di sistemi di intervento congiunti nelle situazioni di emergenza;
- di strategie congiunte per prevenire e ridurre i rischi;
- di interventi per il risparmio idrico, l'efficienza nella gestione della rete idrica ed il miglioramento della qualità dell'acqua potabile.

**WP4:** *Ranljivost kraških vodonosnikov in protokoli za določitev vodovarstvenih območij. Raba tal. Analiza stabilnosti distribucijskega omrežja in potreba po vodni preskrbi.*

**WP5:** *Priprava skupnih kartografskih prikazov matičnega Krasa.*

**WP6:** *Priprava protokolov za skupno upravljanje virov in zalog matičnega Krasa.*

**WP7:** *Komunikacijska kampanja o razvoju projekta in doseženih ciljih.*

*Faza izmenjave podatkov je omogočila vzpostavitev enotnih kartografskih podlag in enotne georeferencirane podatkovne baze (GIS) za celotno območje matičnega Krasa. Z zbiranjem in obdelavo podatkov smo izdelali konceptualni model celotnega vodonosnika Reka-Timava. Ti podatki so nadalje omogočili izdelavo kart ranljivosti, ki so bistvenega pomena za določitev vodovarstvenih območij.*

*Spremljanje distribucijskega vodovodnega omrežja in izvajanje ukrepov za varčevanje z vodo je omogočilo implementacijo projektov za zmanjšanje izgub z izboljšavami na neučinkovitih delih omrežja.*

*Končni cilj projekta je torej:*

- *sklenitev protokolov o sodelovanju in določitev ukrepov promocije in uresničenja sistemov za zmanjšanje onesnaževalnih emisij, predvsem tistih, ki se nanašajo na pitno vodo;*
- *razvoj sistemov skupnega poseganja v nujnih primerih;*
- *oblikovanje skupnih strategij za preprečevanje in zmanjševanje tveganj;*
- *promocija posegov za varčevanje z vodo, učinkovito upravljanje vodovodnega omrežja in izboljšanje kakovosti pitne vode.*



## I partner del progetto sono: / *Partnerji*:

**Lead Partner (LP)**, Dipartimento di Matematica e Geoscienze dell'Università degli Studi di Trieste

**Project Partner (PP1)**, Geološki zavod Slovenije

**Project Partner (PP2)**, Znanstvenoraziskovalni center Slovenske akademije znanosti in umetnosti - Inštitut za raziskovanje krasa

**Project Partner (PP3)**, AcegasApsAmga Gruppo Hera

**Project Partner (PP4)**, Kraški Vodovod Sežana d.o.o.

**Project Partner (PP5)**, Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia – Direzione centrale ambiente, energia e politiche per la montagna

**Project Partner (PP6)**, Nacionalni inštitut za biologijo.



# Ringraziamenti

La riuscita del Progetto HYDROKARST è intimamente legata all'impegno profuso dai ricercatori e dal personale afferenti agli Enti Partner e al contributo dei molti che hanno fornito dati e dei tanti che si sono semplicemente resi disponibili alla collaborazione. Di chi, in campagna, in grotta, in laboratorio, nelle aule, negli studi, di fronte a un PC o ad uno strumento, ha con noi e per noi raccolto, sviluppato ed interpretato i dati necessari alla completezza delle attività.

A nome mio e di chi con me ha lavorato durante il triennio di progetto, voglio in particolare ringraziare per il contributo grande o piccolo, ma sempre importante, dato da:

- Fabiana Pieri, che ha guidato con competenza e capacità la fase istruttoria, quella gestionale e relazionale del Progetto;
- Giorgio Tunis, che ci ha aiutato, con Tea Kolar-Jurkovšek e Ladislav Placer, nella cartografia geologica;
- Fabio Gemiti, che da chimico ed amante delle acque carsiche ha dato stura alle sue conoscenze;
- Acquedotto del Carso S.p.A. – Duino Aurisina e
- IRIS – Isontina Reti Integrate e Servizi S.p.A., per i dati forniti relativamente alle loro reti di distribuzione;
- Azienda Agricola Castelvecchio, nelle persone di Saverio di Giacomo e Roberto Zorzi, per aver consentito i campionamenti e il monitoraggio nei loro pozzi;
- Ente Regionale Sviluppo Agricolo – ERSA – e
- il Centro infrastrutturale per la pedologia e la tutela dell'ambiente per le informazioni e la cartografia pedologica messe a disposizione;
- Direzione Regionale Vigili del Fuoco per il Friuli Venezia Giulia, nella persona dell'ing. Antonio Sia;
- Istituto Nazionale di Oceanografia e di Geofisica – OGS, per le facilitazioni logistiche ai Filtri di Aurisina durante il monitoraggio;
- le guide e il personale della Grotta di San Canziano (Park Škocjanske jame);
- le guide e il personale della Grotta Gigante, e in particolare Thomas Demarchi e Fulvio Forti;

# Zahvala

*Uspeh Projekta HYDROKARST je tesno povezan s trudom raziskovalcev in osebja raznih projektnih partnerjev ter z dragocenimi prispevki vseh tistih oseb, ki so nam posredovale podatke ali so bile enostavno pripravljene sodelovati pri raznih aktivnostih. Njim in vsem, ki so na terenu, v jamah, laboratorijih, predavalnicah, kabinetih, pred računalniki ali meritvenimi napravami z nami zbirali in analizirali podatke, potrebne za izvedbo projektnih aktivnosti, gre moja iskrena zahvala.*

*V svojem imenu in v imenu vseh, ki so z mano sodelovali v teh treh letih, kolikor je trajal projekt, bi se rad posebej zahvalil za pomemben – pa čeprav neznoten – prispevek k uspehu projekta, ki so nam ga nudili:*

- *Fabiana Pieri, ki je strokovno in zavzeto vodila pripravljajno fazo in administrativne vidike projekta ter poročanje;*
- *Giorgio Tunis, ki nam je s Teo Kolar-Jurkovšek in Ladislavom Placerjem pomagal pri geološki kartografiji;*
- *Fabio Gemiti, ki nam je kot kemik in ljubitelj kraških voda razprl svojo zakladnico znanja;*
- *Kraški vodovod (Acquedotto del Carso S.p.A.) – Devin-Nabrežina in družba IRIS – Isontina Reti Integrate e Servizi S.p.A., ki sta nam posredovala podatke v zvezi z vodovodnim omrežjem;*
- *turistična kmetija Calstelvecchio, predvsem Saverio in Giacomo Zorzi, ki sta nam omogočila vzorčenje in spremljanje voda njihovih zajemališč;*
- *Deželni zavod za razvoj kmetijstva (Ente Regionale Sviluppo Agricolo) ERSA in*
- *Infrastrukturni center za pedologijo in varstvo okolja, ki sta nam dala na razpolago podatke in pedološke karte;*
- *deželna gasilska služba (Direzione Regionale Vigili del Fuoco per il Friuli Venezia Giulia), predvsem inženir Antonio Sia;*
- *Nacionalni inštitut za oceanografijo in geofiziko (Istituto Nazionale di Oceanografia e di Geofisica) OGS, ki nam je nudil logistično pomoč pri raziskavah v Brojenci;*
- *vodiči in osebje Parka Škocjanske jame;*
- *vodiči in osebje Briške jame, predvsem Thomas Demarchi in Fulvio Forti;*



- Yacht Club Adriaco, Autorità Portuale di Trieste, Gruppo Comunale Protezione Civile Trieste, Armatori della Classe Zero per l'esperienza velica;
  - Divulgando Srl, per il supporto informatico tecnico e artistico;
  - Videoest, per l'attività promozionale;
  - Si ringraziano Matejka Grgič e Concetta Pitta (Slov.I.K.) per la consulenza linguistica.
- 
- Si ringraziano sentitamente gli speleologi e i Gruppi Grotte italiani e sloveni che hanno collaborato al monitoraggio ed alle esplorazioni speleosubacquee, e nello specifico l'équipe del National Cave Diving Commette della FFESSM, Moreno Tommasini (Club Alpinistico Triestino), Sergio D'Ambrosi con Paolo Guglia (Società Adriatica di Speleologia), Paolo Slama (Gruppo Grotte XXX Ottobre), "Lele" Crevatin e Franci Gabrovšek (RKI-ZRCSAZU);
  - Si ringraziano Ivano Di Fant e Alberto Deana della U.O. idrografica regionale, Andrea Marin, la famiglia Zobec e il personale AcegasApsAmga dell'acquedotto Randaccio, per la disponibilità durante le misure idrodinamiche sul Timavo;
  - Si ringraziano Edi Gherghetta per l'aiuto alla "scoperta" delle sorgenti del Lisert e Francesco Radetic e Sidonja Radetic per la disponibilità a campionare nelle loro proprietà private, nonché Igor Croselli;
  - Per quanto riguarda le cavità, quasi tutti i dati sono stati ricavati dal Catasto regionale delle Grotte del Friuli Venezia Giulia per la parte italiana e dal Catasto Grotte Sloveno per quella slovena, e quindi un grazie agli speleologi che hanno contribuito nel tempo alla compilazione delle schede relative;
  - Per l'aiuto nella raccolta dati sui punti di pericolo e sui punti acqua, oltre che per il contributo nella lunga fase di informatizzazione, si ringraziano Katja Mignozzi, Rossella Napolitano, Francesco Treu, Enrico Zavagno.

Il Project Leader  
prof. Franco Cucchi

- *jadralni klub Yacht Club Adriaco, tržaška pristaniška oblast, tržaška civilna zaščita in Armatori della Classe Zero, ki so nam bili na razpolago s svojim dragocenim znanjem na področju jadranja;*
  - *podjetje Divulgando Srl, ki nam je pomoč nudilo na področju računalništva, tehnologije in oblikovanja;*
  - *podjetje Videoest s promocijsko dejavnostjo;*
  - *Zahvaljujemo se Matejki Grgič in Concetti Pitta (Slov.I.K.) za jezikovno svetovanje.*
- 
- *Posebej se zahvaljujem speleologom in jamarskim skupinam iz Italije in Slovenije, ki so sodelovale pri monitoriranju in jamarsko-potapljaških raziskavah; posebej se zahvaljujem ekipi National Cave Diving Commette FFESSM, Morenu Tommasiniju (Club Alpinistico Triestino), Sergiu D'Ambrosiju in Paolu Guglii (Società Adriatica di Speleologia), Paolu Slama (Gruppo Grotte XXX Ottobre), "Leleju" Crevatinu e Franciju Gabrovšku (RKI ZRC-SAZU);*
  - *zahvaljujem se gospodu Ivanu Di Fantu in gospodu Albertu Deani z deželne hidrografske službe (U.O. idrografica regionale), dr. Andrei Marinu, družini Zobec in osebju AcegasApsAmga štivanskega vodovoda za razpoložljivost med izvajanjem hidrodinamičnih meritev v Timavi;*
  - *zahvaljujem se gospodu Ediju Gherghetti za pomoč pri "odriranju" izvirov pri Moščenicah ter gospodu Francescu Radetiču in gospe Sidonji Radetič, ki sta nam omogočila izvajanje meritev na njihovih zemljiščih; zahvala tudi gospodu Igorju Croselliju;*
  - *skoraj vsi podatki o jamah so bili zbrani v Deželnem katastru jam Fulranije-Julijske krajine (Catasto regionale delle Grotte del Friuli Venezia Giulia – za jame na italijanski strani meje) in v Katastru slovenskih jam (za jame na slovenski strani); zahvaljujem se vsem tistim speleologom, ki so skozi čas vestno popisovali posamezne jame;*
  - *za pomoč pri zbiranju podatkov o izpostavljenih mestih in vodnih površinah ter za pomoč v dolgi fazi računalniške obdelave podatkov se zahvaljujem Katji Mignozzi, Rosselli Napolitano, Francescu Treu, Enricu Zavagnu.*

Vodja projekta  
prof. Franco Cucchi





**Piega nei calcari presso Bagnoli della Rosandra.**

*Razpoka v apnencu pri Boljuncu.*



# Il Carso Classico, inquadramento geografico e storico

## *Klasični Kras, geografska in zgodovinska opredelitev*

FRANCO CUCCHI, LUCA ZINI, CHIARA CALLIGARIS

Dipartimento di Matematica e Geoscienze, Università degli Studi di Trieste

“Carsologia” è il nome della disciplina scientifica che studia gli ambienti carsici, “fenomeni carsici” sono i processi morfogenetici tipici di questi ambienti, “morfologie carsiche” sono le forme che il territorio assume in conseguenza dell’evolversi dei processi morfogenetici. “Carsismo” è il termine che congloba tutte le fenomenologie connesse, distinte anche in forme di “carsismo sotterraneo” ed in forme di “carsismo epigeo”.

Nella Encyclopedia of Caves and Karst Sciences (2004, a cura di John Gunn), alla voce “karst” si legge: *“karst” is the germanicization of a regional place name, “Kras” (Slovenian) or “Il Carso” (Italian) given to the hinterland of Trieste Bay in the northwest Dinaric area (Gams, 2003; Jones & White, 2012). It is believed to derive from a pre-Indo-European word “karra” meaning stone... Already in Roman times (Latin = Carsus) it defined “stony ground”.... The name was promulgated by travellers in the 17th and 18th centuries and in the 19th century became widely adopted to describe the similar limestone landscapes extending from north Italy to Greece. The “father” of karst studies, Jovan Cvijić, confirmed it when he entitled the first major western monograph on solutional landscapes “Das Karstphaenomen” in 1893. Sawicki (1909) expanded it as the global term for such topographies when describing tropical sites he had visited. It is the accepted term in China, the other great historic centre of dissolutional landscape studies.*

La radice “carso” prende quindi origine dal nome della regione geografica del Carso di Trieste, cioè dell’area sita alle spalle del Golfo di Trieste, analizzata per prima dagli studiosi di carsologia e presa come riferimento per le altre regioni carsiche e perciò detta anche “Carso Classico”. A sua volta il toponimo “Carso” prende origine dalla radice paleo-

*“Krasoslovje” je znanstvena veda, ki proučuje kraško okolje, „zakrasevanje“ so morfogenetski procesi, ki so tipični za ta okolja, „kraški pojav“ označuje oblike, ki nastanejo v teh okoljih kot posledica morfogenetskih procesov. „Kras“ je izraz, ki označuje pojave, nastale zaradi procesov zakrasevanja in vključuje tako podzemne kot površinske kraške pojave.*

*V knjigi Encyclopedia of caves and karst sciences (2003, uredil John Gunn) je ob geslu „karst“ (avtor Derek Ford) zapisano: “karst” is the germanicization of a regional place name, “Kras” (Slovenian) or “Il Carso” (Italian) given to the hinterland of Trieste Bay in the northwest Dinaric area (Gams, 1993). It is believed to derive from a pre-Indo-European word “karra” meaning stone... Already in Roman times (Latin = Carsus) it defined “stony ground”.... The name was promulgated by travelers in the 17th and 18th centuries and in the 19th century became widely adopted to describe the similar limestone landscapes extending from north Italy to Greece. The “father” of karst studies, Jovan Cvijić, confirmed it when he entitled the first major western monograph on solutional landscapes “Das Karstphaenomen” in 1893. Sawicki (1909) expanded it as the global term for such topographies when describing tropical sites he had visited. It is the accepted term in China, the other great historic centre of dissolutional landscape studies.*

*Koren besede „kras“ izhaja torej iz imena geografskega območja tržaškega Krasa, se pravi območja nad Tržaškim zalivom, ki so ga strokovnjaki krasoslovja kot prvega raziskali in uporabili kot referenco za ostala kraška območja, zaradi česar ga tudi imenujejo „klasični Kras“. Toponim „Kras“ sam pa izhaja iz paleoindoevropskega korena*



oindoeuropea “kar” o “karra” che significa roccia, pietra, e dalla quale sono derivati numerosi altri toponimi quali Carnia, Carinzia, Carniola.

Elemento fondamentale e nel contempo caratteristico degli ambienti carsici è la presenza di roccia calcarea, affiorante e modificata dai processi carsogenetici con forme spesso originali e fantasiose che colpiscono l’immaginazione umana. Nelle aree carsiche le forme erosive sono sostituite da forme dissolutive, quali conche chiuse, doline, crepacci. Sono poi frequenti le cavità, vuoti scavati nella roccia e percorsi talora da acque sotterranee.

Il processo della dissoluzione carsica consiste nella messa in soluzione di roccia da parte dell’acqua, sia essa pioggia, che scorrimento superficiale, che percolazione attraverso il suolo e le fratture della roccia stessa. Il fenomeno della dissoluzione è facilitato dal fatto che le acque vengono acidificate da anidride carbonica proveniente dall’aria e dal suolo. È un processo chimico in cui avvengono fenomeni di interscambio fra le tre fasi, l’aria contenente  $CO_2$ , la roccia contenente  $CaCO_3$ , la soluzione liquida in cui i composti chimici sono generalmente dissociati in ioni.

I calcari, detti anche, con le dolomie, rocce carbonatiche, sono rocce sedimentarie formatesi per lo più in ambiente marino e strettamente dipendenti dall’attività di organismi (quali alghe, coralli, molluschi, briozoi, echinodermi, foraminiferi, ecc.). Le sostanze precipitate per saturazione ed i materiali detritici dei resti di organismi si depongono ed accumulano sui fondali, subiscono nel tempo la diagenesi che porta alla compattazione ed alla cementazione dei sedimenti, cioè alla roccia vera e propria.

Il Carso è un plateau calcareo posto fra il livello del mare e i 600 m di quota, che si estende presso il Golfo di Trieste, lembo nord-orientale del Mare Adriatico. Il centro dell’area può essere visto nell’abitato di Sežana, attraversato dal  $45^\circ 45'$  parallelo nord e dal  $14^\circ 00'$  meridiano Est.

Fisiograficamente ha confini abbastanza netti: il Golfo di Trieste e la bassa bordura costiera in Flysch a SW, la Pianura Friulana ed il fiume Isonzo a ovest e nord-ovest. Il limite nord-est si trova nella valle della Vipava (Vipacco), quello orientale nei tozzi rilievi della regione del Pivka,

„kar“ oziroma „karra“, ki pomeni skala, kamen, iz katerega so bila izpegljana še številna druga imena kot Karnija, Koroška, Kranjska.

*Temeljni in obenem prepoznavni element kraškega okolja je prisotnost apnenčaste kamnine, ki so ji kraškogenetski procesi marsikje dali originalne in domiselne oblike, ki presenečajo človeško domišljijo. Erozijske oblike na kraških omočjih, nastale zaradi raztapljanja komnin, predstavljajo zaprte kotanje, doline, razpoke. Pogoste so tudi podzemeljske jame, izdolbene v skalovju, po katerih lahko tečejo podzemne vode.*

*Proces raztapljanja kraških površin nastaja ob stiku z vodo – to so lahko deževnica, površinski tokovi ali pa voda, ki pronica skozi tla in skalne razpoke v kamnino. Pojav raztapljanja omogoči dejstvo, da vodo zakisa ogljikov dioksid v zraku in tleh. Med kemičnim postopkom pride do medsebojne izmenjave v treh fazah, in sicer v zraku, ki vsebuje  $CO_2$ , na skali, ki vsebuje  $CaCO_3$ , ter v raztopini, v kateri so kemične spojine v obliki ionov.*

*Apnenci, ki jim skupaj z dolomiti pravimo tudi karbonatne kamnine, so sedimentne kamnine, ki nastanejo predvsem v morskem okolju in so zelo odvisne od delovanja organizmov (kot so alge, korale, školjke, mahovnjaki, iglokožci, luknjičarke itd.). Kemično oborjene snovi in odpadki organizmov se usedajo in kopičijo na dnu ter so s časom podvrženi diagenezi, ki povzroča strjevanje in cementiranje usedlin, ter nastanek dejanske kamnine.*

*Kras (pisan z veliko začetnico) je apnenčasta planota, ki sega od morske gladine na severovzhodnem predelu Jadranskega morja ob Tržaškem zalivu pa do 600 m nadmorske višine. Osrednji del območja bi lahko opredelili nad Sežano, kjer se sekata severni vzporednik  $45^\circ 45'$  in vzhodni poldnevnik  $14^\circ 00'$ .*

*Geografske meje so precej jasno začrtane: Tržaški zaliv in nizko flišno obrežje na jugozahodu, Furlanska nižina in reka Soča na zahodu in severozahodu. Severovzhodna meja je Vipavska dolina, vzhodna pa grobi reliefi območja reke Pivke, ki napaja Postojnsko območje. Še dlje proti jugovzhodu bi lahko določili mejo ob neprepustnem flišnem pasu pri Brkinih in dolini reke Reke (gornja Timava) do reliefov Čičarije ter kraške planote pri Materiji in Podgorskem krasu.*





Figura 1.1  
Stralcio dalla Nova  
descriptione del Friuli  
del 1561 di un anonimo  
geografo: IL CHARSO  
(in carta).

Slika 1.1  
Izsek iz dela Nova  
descriptione del Friuli,  
(neznani geograf, 1561):  
IL CHARSO (papier).



Čeprav ni posebno visok, Kras preseneča zaradi svoje fiziografske podobe: njegove skale se dvigujejo iz morja kot navpični klifi; globoko vrezane doline, kakršna je Dolina Glinščice, so skoraj povsem alpskega videza. Kras se razprostira v notranjost proti slovenskim planotam Trnovskega gozda in Nanosa z obširnimi planotami, rahlo nagnjenimi proti zahodu, ki jih razgibajo številne depresije dolinskega značaja in nekaj vrstnih gričevnatih brd. Razprostira se v smeri dinarskih kraških planot, se pravi severozahodno-jugovzhodno, dolg je 40 km in širok 13 km, obsega približno 750 km<sup>2</sup> in se dviga od 168 m v vasi Martinščina (bližnji vrh Trstelj sicer meri 643 m n.m.v.) do 450 m v naselju Lokev (Strmec ima 593 m n.m.v. in Veliko Gradišče 741 m n.m.v.).

Podnebje je sredozemsko na območju tržaške obale, celinsko v notranjosti, s suhim poletjem, mrzlimi zimami in včasih tudi obilnimi padavinami, pogosto tudi z burjo in mrzlim severoseverovzhodnim vetrom. Obkrožajo ga planote od 800 do 1000 m visokega Trnovskega gozda in masiva Snežnika, ki se dviga od 1.000 do 1.200 m. Samo območje Krasa pa je sicer nizka planota. Oljka, tipično sredozemsko drevo, uspeva le na omejenem obmorskem pasu: ne prenese namreč mrzlih zim na notranjem delu Krasa.

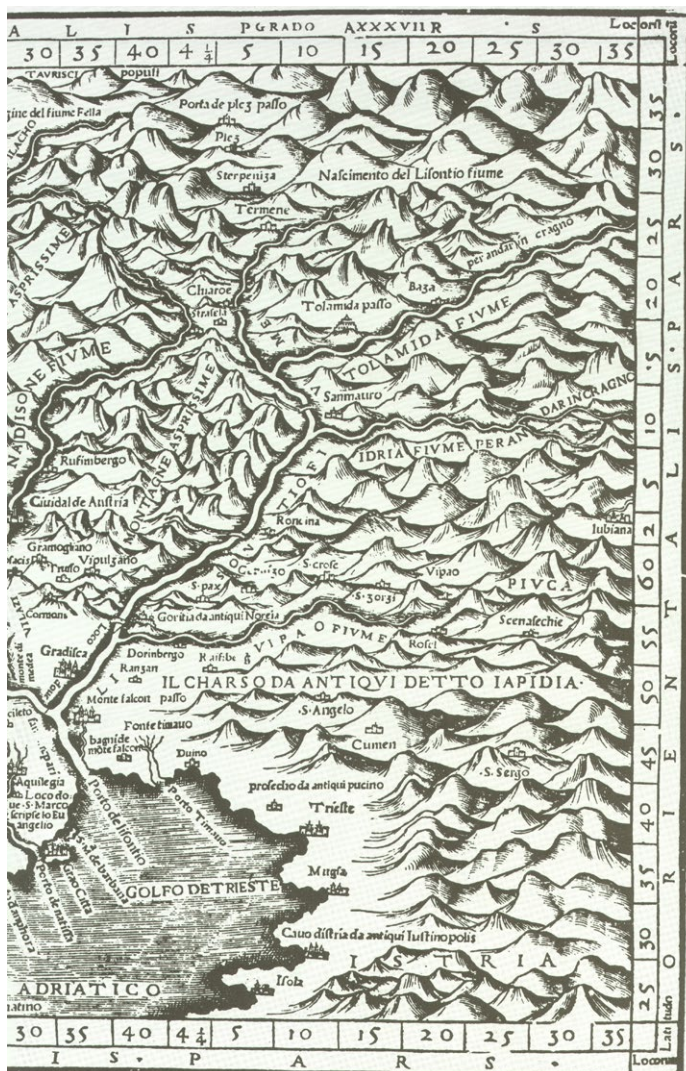
Dejstvo, da je Kras fiziografsko, pa tudi geomorfološko zelo homogeno območje, s tipičnimi kraškimi pojavi, je pripomoglo k temu, da je s časom prišlo do posvojitve tega izraza v strokovni literaturi.

Klasični Kras nenazadnje predstavlja tržaško zaledje in „vrata na vzhod“, pomembno vozlišče med Sredozemljem in Evropo, Padsko nižino (Furlanska nižina je podaljšek Padske) in Balkanskim polotokom. Dinarsko gorovje ločuje Ljubljansko kotlino od Jadrana: sedlo pri Postojni je najnižji prehod (610 m n.m.v.) med tema dvema svetovoma, se pravi med Alpami in Dinarskim gorovjem, med Sredozemljem in Jadranom ter srednjo Evropo in Donavo.

Valvasor, eden od najnatančnejših in najbistrejših opazovalcev zemljepisnih pojavov vseh časov, je leta 1689 zapisal: „[...] razen tega na mnogih krajih vlada tu veliko pomanjkanje sveže vode [...] Tu so tla vseskozi in čez vsako mero kamnita [...] Na nekaterih krajih se sicer človek lahko par milj daleč ozira okoli sebe, vendar vidi vse sivo in zelo malo zelenega, ker zemljo povsod pokrivajo kamni [...] Imajo pa

**Figura 1.2**  
Stralcio dalla Vera  
descrizione del Friuli del  
1553 di Giovanni Andrea  
Vavassori: il CHARSO DA  
ANTIQUI DETTO IAPIDIA  
(in carta).

**Slika 1.2**  
Izsek iz dela Vera  
descrizione del Friuli  
(Giovanni Andrea  
Vavassori, 1553):  
CHARSO DA ANTIQUI  
DETTO IAPIDIA (papir).





il corso d'acqua che alimenta il postumiese. Ancora più a sud-est, il confine può essere tracciato lungo la fascia impermeabile a Flysch dei Colli di Brkini e la valle del fiume Reka (il Timavo superiore), con i rilievi della Čičerija e del plateau carsico di Materija e del Podgorški Kras.

Anche se non è a quote elevate, il Carso impressiona per il suo aspetto fisiografico: si eleva bruscamente dal mare con alte pareti a falesia e valli fortemente incise ad aspetto quasi alpino, quali la Val Rosandra. Si addentra all'interno verso gli altopiani sloveni della selva di Tarnova (Trnovski Gozd) e del Monte Nanos con estesi tratti tabulari appena inclinati verso occidente, movimentati da numerosissime depressioni doliniformi e alcuni morbidi allineamenti collinari. Si allinea in direzione "dinarica", cioè NW SE, è lungo circa 40 km e largo fino a 13 km, copre circa 750 km<sup>2</sup>, elevandosi dai 168 m di S. Martino del Carso (ma il vicino monte Trstelj ha la cima a 643 m s.l.m.) ai 450 m di Lokev (ma il monte Strmec è a 593 m s.l.m. e il monte Veliko Gradišče è a 741 m s.l.m.).

Il clima è mediterraneo lungo il litorale triestino, continentale verso l'interno, con estati secche, inverni freddi e precipitazioni anche intense accompagnate spesso dalla bora, il freddo vento da NNE. Circondato da rilievi quali il Trnovski Gozd, con quote sugli 800-1000 m, e il massiccio del Snežnik, che si eleva fino a 1.000-1.200 m, il Carso è un basso altopiano. L'olivo tuttavia, l'essenza tipica del Mediterraneo, alligna solamente in una ristretta fascia presso il mare: non resiste infatti ai freddi inverni del Carso interno.

Il fatto che il Carso abbia una sua precisa unità fisiografica, oltre che geomorfologica, ha favorito nel tempo la simbiosi fra unità topografica e significato scientifico fenomenologico.

In fondo il Carso Classico, come hinterland di Trieste è la "Porta d'Oriente", uno snodo importante fra Mediterraneo ed Europa, fra la Pianura Padana (di cui quella Friulana è estensione) e la Penisola balcanica. La Catena Dinarica separa il bacino di Ljubljana (Lubiana) dall'Adriatico: la sella di Postojna (Postumia) è il passaggio meno elevato (610 m s.l.m.) fra questi due mondi, cioè fra le Alpi e le Dinaridi, fra il Mediterraneo e l'Adriatico e l'Europa Centrale e il Danubio.

Il Valvasor, il più attento, acuto osservatore geografo di tutti i tempi, nel 1689 scriveva: ... *li vi si trova un ampio deserto con laghi di ac-*

*na določenih krajih tako imenovane luže (ali kale) [...] Na mnogih krajih tudi nimajo gozdov, pa tudi zelo malo obdelovanih polj in njiv. Toda to pomanjkanje lesa in sveže vode prebivalcem osladi in nadomesti vino, to je dobre kakovosti, in sicer tako rdeče kot tudi belo raznih vrst [...]*

## **1.1 Geografica definicija območja, ki spada h klasičnemu Krasu z znanstvenega in zgodovinskega vidika**

*Klasični Kras je obširno, morfološko enotno kraško območje, ki leži jugovzhodno od Soče in sega do Postojne. Zanj je značilna prisotnost raznovrstnih površinskih in podzemnih kraških pojavov, ki so tako pogosti, obširni in značilni, da je območje postalo univerzalni simbol kraške fenomenologije.*

*Območje je topografsko in geografsko opredeljeno ne samo na podlagi prisotnosti krednih in terciarnih apnencev in dolomitov, ki sicer z absolutno gotovostjo določajo meje klasičnega Krasa, temveč predvsem zaradi svojih geoloških značilnosti.*

*Ta opredelitev je seveda razvidna tudi iz stare in sodobne kartografije, ki prikazuje območje. Že leta 1500 (Slika 1.1 in 1.2), ko so nastale prve zadostno verodostojne kartografske upodobitve evropske fiziografije, so obstajale topografske informacije, ki opredeljujejo območje. Seveda so informacije včasih nenatančne ali celo napačne, kljub temu pa je zelo pogosto, se pravi v absolutni večini kart, razvidna iskrena želja, da bi se z imenom opredelilo točno določeno območje, ker ga pač označujejo samosvoje značilnosti.*

*Prisotnost apnencev na površju in v podzemlju je omogočila poseben geomorfološki razvoj: krajinskim spremembam v širšem pomenu, ki nastopijo zaradi normalnih erozijskih dejavnikov, so se pridružile te, ki so vezane na korozijo kamnin. Na tak način se je s časom razvil eden najbolj popolnih in očarljivih primerov krasa na svetu.*

*Površinska in podzemeljska evolucija, vezana na prisotnost kamnin, primernih za razvoj kraških pojavov, se je začela 15 milijonov let po tem, ko je geodinamična interakcija med evropsko in afriško plo-*

*qua pura... la Terra è diffusamente pietrosa... in più punti lo sguardo si estende miglia lontano, ma tutto è grigio, nulla è verde, ovunque vi è roccia... in altri posti la gente convive con abbondanti acque lacustri... talvolta gli abitanti non hanno un bosco e sopravvivono con minuti campi coltivati. Gli abitanti, che cercano lontano la legna e l'acqua, li rimpiazzano con il vino, che è di buona qualità, rosso o bianco, di vario tipo...*

## **1.1 Definizione geografica del territorio competente al Carso Classico nella sua accezione scientifica e storica**

Il Carso Classico è una vasta unità morfocarsica che si estende a SE dell'Isonzo fino a Postumia, caratterizzata dalla presenza di tutte le forme carsiche epigee ed ipogee possibili, sempre con densità, ampiezza e tipologia tali da aver fatto dell'area il simbolo universale delle fenomenologie carsiche.

Al di là dalla distribuzione sul territorio delle rocce calcaree o calcareo dolomitiche di età da cretacea a terziaria che definiscono con assoluta certezza i limiti competenti al Carso Classico, l'area, proprio per le sue caratteristiche geologiche, assume configurazione topografica - geografica particolare.

Tale configurazione emerge naturalmente anche dalla cartografia, antica e moderna, con cui è rappresentata l'area. Fin dal 1500, epoca in cui compaiono le prime rappresentazioni cartografiche sufficientemente veritiere della fisiografia europea, vi sono indicazioni toponomastiche che individuano l'area (Figure 1.1 e 1.2). Certamente talora le indicazioni sono pressappochiste, se non errate. Tuttavia vi è molto spesso, cioè nell'assoluta prevalenza delle carte, una trasparente volontà di evidenziare tramite il nome una ben precisa regione, evidentemente per le sue peculiari caratteristiche.

La presenza di calcari in superficie ed in profondità ha comportato un'evoluzione geomorfologica particolare: all'evoluzione del paesaggio (qui inteso nella sua accezione più ampia) per i normali fatti erosivi si sono aggiunti infatti quelli legati alla corrosione delle rocce.

*ščo povzročila, da se je planota nagubala, fragmentirala in prišla na površje. Proces se je nadaljeval, se prilagodil na območni geodinamični razvoj in tako povzročil nastanek razčlenjene kraške planote, obsežnega območja, kjer so kraški pojavi po številu, tipologiji, obsegu in razširjenosti zelo značilni.*





Si è venuto così nel tempo ad evolvere uno dei più completi ed affascinanti esempi di carsismo nel mondo.

L'evoluzione superficiale e quella profonda, legate alla presenza di rocce carsificabili, sono iniziate circa 15 milioni di anni fa, quando l'interazione geodinamica fra le placche europea ed africana ha portato al piegamento, alla frammentazione ed all'emersione della piattaforma. Essa è proseguita, adattandosi all'evoluzione geodinamica regionale, dando origine a quello che è oggi l'articolato Altopiano del Carso, ampia area in cui i fenomeni carsici assumono numero, tipologia, entità, diffusione assolutamente particolari.



**Figura 1.3**  
Immagine tratta dalla  
Carta geologica della  
Venezia Giulia del 1922 di  
Federico Sacco.  
Si identifica bene  
l'areale competente al  
Carso Classico, come  
l'area verde bordata dal  
marrone.

**Slika 1.3**  
Izsek iz dela Carta  
geologica della Venezia  
Giulia (Federico Sacco,  
1922). Jasno je začrtano  
območje matičnega Krasa  
– zelena površina z rjavim  
robom.



Vaschetta di corrosione nei campi  
solcati di Borgo Grotta Gigante.

*Škavnica v škrapljah pri Briščikih.*





# Geologia e geomorfologia del Carso Classico

## *Geologija in geomorfologija klasičnega Krasa*

FRANCO CUCCHI\*, SARA BIOLCHI\*, LUCA ZINI\*, BOGDAN JURKOVŠEK\*\*, TEA KOLAR-JURKOVŠEK\*\*

\* Dipartimento di Matematica e Geoscienze, Università degli Studi di Trieste

\*\* Geološki zavod Slovenije

### 2.1 Litologia e assetto strutturale

Nel Carso Classico affiorano litotipi carbonatici (calcari e, subordinatamente, dolomie) molto recentemente riuniti in unità litostratigrafiche ancora informali e provvisorie a superamento delle numerose attribuzioni precedenti. La successione stratigrafica del Carso è stata infatti oggetto di studio da parte di numerosi Autori fin dal secolo scorso. G. Stache in particolare ha pubblicato nel 1882 una monografia che resta tuttora una fonte di dati e di informazioni di cui tutti i successivi Autori hanno tenuto conto.

Dalla collaborazione tra geologi sloveni e italiani, attivata nell'ambito del Progetto HYDROKARST, è emersa la necessità di unificare le unità formazionali e la loro nomenclatura. Estraeendo, di comune accordo, i dati litostratigrafici, paleontologici, mineropetrografici raccolti sul campo dai geologi italiani e sloveni, si è giunti alla compilazione di una Carta geologica unitaria del Carso Classico (Tavola 1) che fa parte dei prodotti del Progetto e le cui peculiarità sono qui descritte ed illustrate. La carta geologica nasce dalla sintesi, dall'unione e dall'omogeneizzazione di precedenti lavori, sia da parte italiana (Martinis, 1951; D'Ambrosi, 1953; Cucchi et al., 1987; Carulli, 2006; Cucchi & Piano, 2013) che slovena (Buser, 1968, 1967; Buser et al., 1967; Pleničar et al., 1973; Jurkovšek, 2010). Nella descrizione sono proposti molti dati già noti in letteratura e altri di recente acquisizione e non ancora editi.

### 2.1 Litologija in strukturna razčlenitev

*V kraškem svetu se pojavljajo različni litotipi karbonatnih kamnin (pretežno apnenci in dolomiti), ki so ponekod združeni v trenutno še neformalne litostratigrafske enote. Imena tistih enot, ki so že formalizirane so pisana z veliko, neformalizirane pa z malo začetnico. S stratigrafskim zaporedjem tega prostora so se podrobno ukvarjali številni avtorji že od konca 19. stoletja dalje. Med njimi je bil G. Stache, ki je že leta 1882 objavil monografijo o razvoju krednih in paleogenskih plasti Klasičnega Krasa.*

*Ob usklajevanju geoloških podatkov na italijanski in slovenski strani Krasa smo v sklopu Projekta HYDROKARST poskusili kartografsko čimbolj poenotiti vse litostratigrafske enote. Na osnovi skupnega dogovora smo uskladili vse litostratigrafske, paleontološke in mineraloške - petrografske podatke, ki so jih na terenu zbrali italijanski in slovenski geologi. Izrisali smo enotno geološko karto Klasičnega Krasa (Priloga 1), ki je sestavni del tega projekta. Predstavljena geološka karta je nastala na osnovi prirejenih in poenotenih predhodnih del, tako italijanskih (Martinis, 1951; D'Ambrosi, 1953; Cucchi et al., 1987; Carulli, 2006; Cucchi & Piano, 2013) kot slovenskih geologov (Buser, 1968, Buser et al., 1967; Pleničar et al., 1973; Jurkovšek, 2010; Jurkovšek et al., 1996, 2013). Predstavljene so številni podatki, ki so v literaturi že znani, mnogo pa je novosti, ki so bile ugotovljene kasneje in še niso bile objavljene.*

## 2.1.1 Unità litostratigrafiche

Le rocce che affiorano sul Carso Classico appartengono ad una successione di piattaforma carbonatica, definita da Velič et al. (2002) e Vlahović et al. (2005) come Piattaforma Carbonatica Adriatica (AdCP), che ha una potenza complessiva di circa 6.000 m e la cui radice è del Giurassico inferiore. Nel Carso affiora la sola sequenza cretaco-paleogenica, con spessore superiore ai 2.000 m (Figura 2.1), che inizia con la formazione di Brje (Cretaco inferiore), seguita dalla formazione

## 2.1.1 Litostratigrafiche enote

*Kamnine, ki gradijo klasični Kras, so nastajale na obsežni karbonatni platformi, ki jo Velič in sodelavci (2002) in Vlahović in sodelavci (2005) imenujejo Jadranska karbonatna platforma (AdCP), Jurkovšek in sodelavci (2013) pa Jadransko-dinarska karbonatna platforma. Skupna debelina mezozojskih karbonatnih kamnin, nekdanje karbonatne platforme je preko 6.000 m, na Krasu pa izdajajo le kredne i paleogenske plasti v skupni debelini več kot 2.000 m (Slika 2.1).*

ETA STAROST	SIMBOLO SYMBOL	m	LITOSTRATIGRAFISKE ENOTE (SLOVENIJA)	UNITÀ LITOSTRATIGRAFICHE (ITALIA)
PALEOGENE/PALEOGEN	Eocene Eocen		Fliš	Flysch
		< 50 m	Prehodne plasti	Strati transizionali
	Paleogene Paleogen	50-350 m	Alveolino-numulitni apnenec	Calcarei ad Alveoline e Nummuliti
		70-250 m	Trsteljska formacija	Formazione Liburnica C
CRETACICO SUPERIORE/ZGORNJA KREDA	MAAST.	50-300 m	Liburnijska formacija	Formazione Liburnica A e B
	CONIACICO-SANTONIANO-CAMPAJANO CONIACIO-SANTONIO-CAMPANIO	emerzija	emerzija	emersione
		150-400 m	Lipiška formacija b. Tomajski apnenec	Calcarei di Aurisina (parte superiore) b. Calcarei di Tomaj
	TURGONIANO TURGONI	230-500 m	Sežanska formacija a. Komenski apnenec	Calcarei di Aurisina (parte inferiore) a. Calcarei di Comeno
		<200 m	Repenska formacija a. Komenski apnenec	Calcarei di Zolla a. Calcarei di Comeno
	ALBANO-CENOMANIANO ALBI-CENOMANI	300-700 m	Povirska formacija a. Komenski apnenec DO = Dolomit	Formazione di Monrupino Calcarei di Monte Coste DO = Dolomie
		>500 m	Brška formacija DO = Dolomit	Formazione di Brje DO = Dolomie
CRETACICO INFERIORE/SPODNJA KREDA	VALANGIANO-APTIANO VALANGIANO-APTIO			

Figura 2.1  
Colonna stratigrafica.

Slika 2.1  
Geološki stolpec.



di Povir (Cretacico inferiore-superiore). Continua con le formazioni di Repen e dei Calcari di Aurisina (Cretacico superiore) e si chiude con la Formazione Liburnica, che include il limite Cretacico-Paleogene. Le unità successive, di età paleogenica, sono rappresentate dalla Formazione di Trstelj e dai Calcari ad Alveoline e Nummuliti.

La sequenza carbonatica termina con gli Strati Transizionali ed è seguita dalla deposizione del Flysch (Eocene).

### **2.1.1.1 Formazione di Brje (Berriasiano?-Valanginiano-Aptiano)**

La Formazione di Brje ha uno spessore di 500 m ed è composta da dolomie nella parte inferiore e da calcari nella parte superiore, tipici di ambiente lagunare di piattaforma poco profondo e a bassa energia. Il contenuto fossilifero è rappresentato da Requinidi (rudiste), gasteropodi, miliolidi, coralli e idrozoi (Jurkovšek et al., 2013). Il limite superiore corrisponde ad un brusco abbassamento del livello del mare tra l'Aptiano e l'Albiano, che ha provocato la deposizione di un livello di breccia riconoscibile lungo l'intera Piattaforma Carbonatica Adriatica (Tišljär & Velic, 1991; Vlahovič et al., 2005).

### **2.1.1.2 Calcari di Monte Coste e Formazione di Monrupino – Formazione di Povir (Albiano-Cenomaniano)**

La Formazione di Povir, comprensiva, come età e litologia, delle formazioni dei Calcari di Monte Coste e della Formazione di Monrupino riconosciute in Italia, ha alla base calcari stratificati, localmente tabulari, scuri, con tessitura tipo mudstone - wackestone, ricchi in foraminiferi. Frequenti sono i livelli brecciati legati alla fase tettonica sinsedimentaria della piattaforma e le tasche micritiche rossastre di origine paleocarsica. Seguono boundstone e floatstone a Requinidi in strati metrici, packstone a Nerineidi e livelli di tempestiti organizzati in cicli metrici. In Italia questi calcari prendono il nome di Calcari di Monte Coste e si chiudono con un livello dolomitico carsificato sottostante a breccie scure dolomitizzate. Superiormente si trova una breccia dolomitica legata alle fasi di emersione della piattaforma durante l'attività tettonica Cenomaniana che ha provocato localmente fenomeni di carsificazione ed

*Najstarejše so plasti Brske formacije (spodnja kreda), na kateri ležijo karbonatne kamnine Povirske formacije (spodnja in zgornja kreda). Nato sledita Repenska formacija in nabrežinski apnenci (zgornja kreda). Po emerzijski fazi sledijo plasti Liburnijske formacije, ki zajema tudi mejo med kredo in paleogenom. Mlajše paleogenske enote so zastopane s Trsteljsko formacijo (paleocen – eocen) in Alveolinsko-numulitnim apnencem (eocen).*

*Tipično platformsko karbonatno zaporedje prekrivajo hemipelagične Prehodne plasti (eocen), nad katerimi leži formacija Fliša (eocen).*

### **2.1.1.1 Brska formacija (berriasij ?- valanginij - aptij)**

*Brska formacija je debela več kot 500 m in je v spodnjem delu sestavljena iz dolomitov, v zgornjem delu pa iz apnencev. Te plasti so značilne za plitvo karbonatno platformo z razmeroma nizkim energijskim indeksom. Med fosili prevladujejo lupine mehkužcev (rudisti, druge skupine školjk in polži), luknjičarke (pretežno miliolide), korale in trdoživnjaki (Jurkovšek et al., 2013). Zgornja meja formacije ustreza naglemu padcu morske gladine pod rob karbonatne platforme med aptijem in albijem, kar je povzročilo sedimentacijo breče, ki je prepoznavna vzdolž celotne Jadranske karbonatne platforme (Tišljär & Velic, 1991; Vlahovič et al., 2005).*

### **2.1.1.2 Povirska formacija - graški apnenci in repentaborska formacija (albij - cenomanij)**

*Povirska formacija na slovenski strani Krasa je starostni in litološki ekvivalent graških apnencev in repentaborske formacije na italijanski strani. V sklopu te enote prevladujejo temnejše obarvani plastoviti apnenci tipov mudstone in wackestone, ki lokalno vsebujejo številne foraminifere. Pogoste so tudi plasti breče, ki so nastale zaradi sinsedimentarne tektonike, in žepi rdečkastega sedimenta paleokraškega izvora. Navzgor sledijo debelejšje plasti apnencev tipa boundstone in floatstone z rudisti, packstone z nerineidami in plasti s cikličnimi tempestiti. V Italiji se te plasti imenujejo graški apnenci, ki se zaključijo z dolomitom. Nad njim leži dolomitna breča, ki je vezana na faze dvigovanja platforme med tektonskimi premiki v cenomaniju, ki so povzročile lokalne kraške pojave in erozijo, kar v Italiji nakazuje prehodno območje z repentaborsko*

erosione e che in Italia segna il passaggio alla Formazione di Monrupino. Sulla breccia dolomitica giacciono dolomie grigio-chiare e grigio-scure con laminazioni nerastre, dolomie nere cristalline a grana minuta, a stratificazione decimetrica-metrica, con frequenti tasche di dolomie e calcari micritici rosso-giallastri ed alternanze calcareo-dolomitiche (Colizza et al., 1989). Seguono calcari scuri con rudiste, *Chondrodonta Johanna*e e foraminiferi che includono localmente calcari tabulari, laminati con selce e resti fossili di pesci. L'unità ittiolitica è definita Komen Limestone (da Palci et al., 2008) e caratterizza una facies che si ripete nel tempo. Lo spessore della Formazione di Povir in territorio sloveno varia tra 300 e 600 m. In Italia i Calcari di Monte Coste hanno spessore fra 350 e 400 m. La Formazione di Monrupino è spessa da 300 a 700 m.

### **2.1.1.3 Calcari di Zolla – Formazione di Repen (Cenomaniano superiore-Turoniano)**

La deposizione della Formazione di Repen, comprensiva, come età e litologia della Formazione dei Calcari di Zolla in Italia, coincide con la sommersione della piattaforma verificatasi tra il Cenomaniano e il Turoniano (Vlahović et al., 2005). È costituita da calcari micritici stratificati con faune tipicamente pelagiche, localmente con frammenti bioclastici, tipiche di un ambiente a bassa energia (Jurkovšek et al., 2013). Nella parte mediana si rinviene un sottile livello di calcari tabulari con pesci e rare ammoniti (facies dei calcari di Komen), legato ad un evento anossico oceanico, avvenuto a livello globale, durante la trasgressione Cenomaniano-Turoniano (Cavin et al., 2000; Jurkovšek et al., 1996; Jurkovšek, 2010). La parte superiore della formazione è data da calcari bioclastici, molto importanti dal punto di vista economico, costituiti da mudstone, ricristallizzati e ripuliti dalle impurità, passanti a floatstone a rudiste (radiolitidi e caprinidi). La Formazione di Repen ha uno spessore di almeno 200 m.

*formacijo. Na dolomitni breči ležijo svetlo sivi in temno sivi dolomiti s črnimi laminiranimi polami, temno sivi kristalasti dolomiti z decimetrsko do metrsko plastovitostjo s pogostimi žepi dolomitnih ter mikritnih rdečerumenih apnencev in izmenične apnenčevo - dolomitne plasti (Colizza et al., 1989). Sledijo temno sivi apnenci z rudisti, školjkami vrste *Chondrodonta johanna*e in foraminiferami. V tem sklopu plasti se pojavlja tudi vložki takoplastovitega, ploščastega in laminiranega apnenca z rožencem in fosilnimi ostanki rib. Jurkovšek et al. (2013) in Palci et al. (2008) imenujejo to enoto Komenski apnenec, ki se v podobni facialni obliki pojavlja tudi v drugih kraških formacijah. Povirska formacija na slovenskem ozemlju je debela od 300 do 600 m; v Italiji graški apnenci dosegajo debelino med 350 in 400 m, Repentaborska formacija pa je debela od 300 do 700 m.*

### **2.1.1.3 Repenska formacija – colski apnenci (zgornji cenomanij - turonij)**

*Sedimentacija Repenske formacije, ki je po starosti in litologiji ekvivalentna italijanski colski formaciji, sovpada z evstatičnim dvigom morske gladine med cenomanijem in turonijem in potopitvijo velikega dela platforme (Vlahović et al., 2005, Jurkovšek et al., 2013). V njej prevladujejo mikritni apnenci s tipično pelagično favno in lokalnimi bioklastičnimi sedimenti. Na splošno so te plasti značilne za okolje z nizkim energijskim indeksom (Jurkovšek et al., 2013). V osrednjem delu je ozek pas tankoplastovitih, ploščastih in laminiranih apnencev, ki vsebujejo ribe in redke amonite (facies je podoben Komenskemu apnencu). Te plesti so povezane z drugim krednim oceanskim anoksičnim dogodkom med cenomanijem in turonijem (Cavin et al., 2000; Jurkovšek et al., 1996; Jurkovšek, 2010). Zgornji del formacije vsebuje debelo zaporedje pretežno masivnih bioklastičnih apnencev, ki imajo velik ekonomski pomen. Sestavljajo jih mikritni apnenci (mudstone), ki prehajajo v floatstone z rudisti (pretežno z radiolitidi in kaprinidami). Celotna Repenska formacija je lahko debela več kot 200 m.*



#### **2.1.1.4 Calcari di Aurisina – Formazioni di Sežana e di Lipica (Turoniano-Campaniano)**

La Formazione di Repen termina con un drastico abbassamento del livello del mare alla fine del Turoniano (Haq et al., 1987), quando inizia la deposizione dei calcari biomicritici di ambiente marino poco profondo della Formazione di Sežana (Turoniano superiore-Santoniano inferiore), che corrisponde in Italia alla parte inferiore dei Calcari di Aurisina. Alla base si trovano calcari oncolitici caratterizzati da lenti bioclastiche a rudiste, tipici di un ambiente lagunare di piattaforma interna, dove le rudiste, appartenenti per lo più al genere *Hippuritella*, si accumulano sotto forma di cluster (Tišljar et al., 2002). Seguono calcari da mediamente stratificati a massivi (biomicritici e biopelmicritici di colore grigio-olivastro) caratteristici di un ambiente ad energia da bassa a molto bassa. I microfossili sono per lo più bentonici. Lo spessore totale varia tra 230 e 500 m. Anche in questa formazione si trova un'unità di calcari tabulari in facies di Komen con mudstone-wackestone bioclastici selciferi, pochi foraminiferi planctonici e pesci (Cavin et al., 2000; Jurkovšek et al., 1996).

La Formazione di Lipica, che corrisponde in Italia alla parte superiore dei Calcari di Aurisina, è composta alla base da calcari bioclastici mediamente grigi, a grana fine con piccoli frammenti di molluschi e da calcari bioclastici e a foraminiferi (packstone-floatstone) con frammenti di rudiste, echinodermi e briozoi (Cucchi et al., 1987; Jurkovšek et al., 2013). Tra i foraminiferi presenti si ricorda la *Keramosphaerina tergestina*, che è osservata in un orizzonte ben definito in tutto il Carso Classico e consente pertanto di ricondurre questi depositi al tardo Santoniano (Jurkovšek et al., 1996; Caffau et al., 2001; Venturini, 2005). I calcari biomicritici e biosparitici grigio-chiari, da massivi a stratificati con matrice micritica parzialmente o completamente ripulita e abbondanti resti fossili di rudiste, coralli, idrozoi e brachiopodi sono molto importanti dal punto di vista economico sia in Italia che in Slovenia (Figura 2.2). La parte superiore della formazione è composta da calcari micritici bioclastici con foraminiferi bentonici tipici del Campaniano. Biostromi a rudiste o strati di boundstone a rudiste sono qui più rari e più sottili. Lo spessore varia tra i 150 e i 400 m. In Slovenia, a nord della Linea di Divača, solitamente alla base, si trovano i Calcari di Tomaj, spessi 40 m, e composti

#### **2.1.1.4 Sežanska formacija in Lipiška formacija – nabrežinski apnenci (turonij - campanij)**

*Repenska formacija se zaključuje z naglim evstatičnim upadom morske gladine v turoniju (Haq et al., 1987), ko se prične proces sedimentacije plitvomorskih biomikritnih apnencev najnižjega dela Sežanske formacije (zgornji turonij - spodnji santonij), kar v italijanskem prostoru ustreza spodnjemu delu nabrežinskih apnencev. V osnovi tega zaporedja plasti so pogosto onkolitni apnenci, prepoznavne pa so tudi po bioklastičnih lečah z rudisti ali z drobirjem rudistnih lupin. Te plasti so značilne za lagunsko okolje notranjega dela platforme. Med rudisti se prvič pojavijo rudisti rodu *Hippuritella*, ki so lokalno združeni v šopke in manjše grozde (Tišljar et al., 2002). Nad njimi sledijo pretežno olivno sivi srednje plastoviti biomikritnimi in biopelmikritnimi apnenci, značilni za okolje z nizkim energijskim indeksom. Mikrofosili so večinoma bentonski. Njihova skupna debelina se spreminja od 230 do 500 m. Tudi v tej formaciji se nahaja enota ploščastih in laminiranih apnencev v faciesu Komenskega apnenca (mudstone - wackestone) z rožencem. Od fosilov so pogosti ostanki rib (Cavin et al., 2000) in kopenskih rastlin (Dobruskina et al., 1999) ponekod pa so zastopane tudi planktonske foraminife (Jurkovšek et al., 2013).*

*Lipiška formacija, ki v italijanskem prostoru ustreza zgornjemu delu nabrežinskih apnencev, je v osnovi sestavljena iz srednje sivih drobnokratnih bioklastičnih apnencev tipov packstone in floatstone z delci rudistov, iglokožcev in briozojev (Cucchi et al., 1987; Jurkovšek et al., 2013). Med foraminiferami je pogosta vrsta *Keramosphaerina tergestina*, ki te plasti uvršča v zgornji santonij (Jurkovšek et al., 1996; Caffau et al., 2001; Venturini, 2005). Svetlo sivi debeloplastoviti do masivni biomicritni in biosparitni apnenci z deloma ali popolnoma izprano mikritno osnovo, ki vsebujejo številni fosile rudistnih lupin, koral in trdoživnjakov, imajo velik ekonomski pomen tako na slovenski kot na italijanski strani Krasa (Slika 2.2). Zgornji del Lipiške formacije je sestavljen pretežno iz bioklastičnih mikritnih apnencev z bentonskimi foraminiferami, značilnimi za campanij. Biostrome in bioherme z rudisti so na tem območju redkejši in manjši.*

*Na slovenski strani Krasa se v Lipiški formaciji severno od Divaške-*

da calcari bituminosi, sottilmente stratificati, tabulari e laminati di colore da grigio a nero, con locali noduli di selce, resti fossili di piante, pesci, vertebrati, ammonoidi e conifere (Summesberger et al., 1996; Dobruskina et al., 1999; Jurkovšek & Kolar-Jurkovšek, 1995, 2007). Sono tipici di un ambiente deposizionale leggermente più profondo e possono essere associati alla trasgressione santoniano-campaniana che ha interessato la Piattaforma Carbonatica Adriatica (Gušić & Jelaska, 1993; Jurkovšek et al., 1996). Il tetto dei Calcari di Aurisina è sigillato da una superficie di emersione della piattaforma con evidenze di paleocarsismo tra cui una breccia bianco-rosea a *Microcodium*.

*ga preloma pojavlja Tomajski apnenec, ki dosega v najdebelejših delih skupaj z mejnimi plastmi do 40 m. Temno siv do črn Tomajski apnenec je tanko plasovit, ploščast in laminiran. Je močno bituminozen in pogosto vsebuje pole in gomolje roženca. Od fosilov so pogoste ribe (Cavin et al., 2000), amoniti (Summesberger et al., 1996), kopenske rastline (Dobruskina et al., 1999) in drugi fosili (Jurkovšek in Kolar-Jurkovšek, 1995, 2007). Litološki razvoj in fosili kažejo značilnosti nekoliko globljega sedimentacijskega okolja z močnim vlivom pelagične morske favne zaradi splošnega evstatičnega dviga morske gladine v santoniju in campaniju, ki je močno vplival na sedimentacijo tudi v drugih delih Jadranske karbonatne platforme (Gušić & Jelaska, 1993; Jurkovšek et al., 1996, 2013). Tako Lipiška formacija kot nabrežinski apneneci se na vrhu*



**Figura 2.2**  
**Calcare bioclastico, Cava di Lipica**  
**(Formazione di Lipica).**

**Slika 2.2**  
**Bioclastični apnenec, kamnolom**  
**Lipica (Lipiska formacija).**



### 2.1.1.5 Formazione Liburnica A e B (Maastrichtiano-Paleocene)

La parte inferiore della Formazione Liburnica è composta da calcari bioclastici, micritici, stratificati e di colore grigio scuro. Sono comuni frammenti di rudiste e foraminiferi, tra cui si ricorda la *Rhapydionina liburnica*, del Maastrichtiano (Caffau et al., 1998). Il limite Cretacico-Paleogene è contenuto all'interno di una breccia intraformazionale, che può essere spessa da 20 cm a qualche metro, contenente clasti appartenenti alle formazioni cretacicche. Presenta una matrice micritica con materia organica e *Microcodium* (Košir, 2004) e può contenere anche caliche, stromatoliti e bioturbazioni (Tunis et al., 2011). In alcune località del Carso l'evento, noto come limite K/T, è stato verificato con prove paleontologiche, quali la scomparsa dei fossili cretacicci e la successiva comparsa dei primi fossili paleocenici, geochimiche quali tenori anomali dell'iridio e shift negativo del  $\delta^{13}\text{C}$ , e paleomagnetiche, quali la presenza di  $\text{Ch}^{29}\text{R}$  (Drobne et al., 1987; Dolenc & Pavšič, 1995; Dolenc et al., 1995; Ogorolec et al., 1995; Pirini Radrizzani et al., 1987; Pugliese et al., 1995; Tewari et al., 2007). Sulla base del limite K/T, Cucchi & Piano (2013) suddividono la Formazione Liburnica in due sottounità, il Liburnico A e il Liburnico B, rispettivamente di età tardo cretacicca e paleocenica.

Gli strati di età Daniano sono costituiti da calcari molto più scuri, fino a neri, leggermente marnosi, con tessitura mudstone-wackestone, lamine stromatolitiche a stratificazione da centimetrica a decimetrica e numerose evidenze di paleocarsismo. Tra i fossili, si trovano bivalvi, piccoli gasteropodi, alghe calcaree, miliolidi e foraminiferi, tra cui la *Banghiana hanseni* (Drobne et al., 2007). Lo spessore varia da 50 a 130 m nella parte settentrionale del Carso, mentre può superare i 200 m nella parte meridionale.

### 2.1.1.6 Formazione Liburnica C – Formazione di Trstelj (Paleocene)

La Formazione di Trstelj è suddivisa in 2 unità (Košir, 2003): Lower Trstelj Beds (Formazione Liburnica c) e Upper Trstelj Beds, che in Italia comprende la parte inferiore dei Calcari ad Alveoline e Nummuliti. La pri-

zaključujejo s paleokraško površino. Splošno znano emerzijsko fazo poleg značilnih paleokraških pojavov označuje pojav plasti svetlo rožnate emerzijske breče in majhni žepi boksita. Debelina Lipiške formacije je odvisna zlasti od trajanja emerzijske faze in niha med 150 in 400 m.

#### 2.1.1.5 Liburnijska formacija (maastrichtij - paleocen)

Spodnji del Liburnijske formacije je sestavljen iz bioklastičnih, mikritnih, plastnatih in temno sivih apnencev. V njih so ponekod fragmenti bournonij in giroplever ter foraminifere, med katerimi je pomembna maastrichtijska vrsta *Rhapydionina liburnica* (Caffau et al., 1998; Jurkovšek et al., 1996). Meja med kredo in paleogenom se nahaja v plasti intraformacijske breče, ki je lahko debela od 20 cm do nekaj metrov in vsebuje klaste krednih apnencev. Jasno je vidna mikritna osnova z organsko snovjo in strukturami mikrokodijev (Košir, 2004), pogosti pa so tudi pojavi stromatolitov (Tunis et al., 2011). V nekaterih predelih Krasa je bila kredno-terciarna meja dokazana z izginotjem krednih in pojavom prvih paleocenskih fosilov in ne nazadnje z geokemičnimi raziskavami, ki slonijo na povečani vsebnosti iridija in negativnem zasuku  $\delta^{13}\text{C}$  (Drobne et al., 1987; Dolenc in Pavšič, 1995; Dolenc et al., 1995; Ogorolec et al., 1995; Pirini Radrizzani et al., 1987; Pugliese et al., 1995; Tewari et al., 2007). Na italijanski strani meje sta Cucchi & Piano (2013) na osnovi položaja kredno-terciarne meje razdelila liburnijsko formacijo v dve podenoti: liburnijsko enoto A in liburnijsko enoto B, ki ustrezata obdobjema zgornje krede in paleocena.

Danijske plasti tvorijo temno sivi, skoraj črni apnenci, z rahlo vsebnostjo glinaste komponente in s strukturo mudstone-wackestone, centimetrskes do decimetrskes stromatolitne plasti ter številne paleokraške tvorbe. Med fosili so pogoste školjke, drobni polži, apnenčeve alge, miliolide in druge foraminifere, med katerimi je tudi *Banghiana hanseni* (Drobne et al., 2007).

Debelina Liburnijske formacije na severnem delu Krasa znaša od 50 do 130 m, na južnem delu pa ponekod preseže 200 m.

#### 2.1.1.6 Trsteljska formacija (paleocen)

Trsteljska formacija se deli na dve enoti (Košir, 2003): Spodnje trsteljske plasti (=liburnijska formacija C) in Zgornje trsteljske plasti, ki na itali-

ma unità è composta da calcari massivi bioclastici che alla base presentano una breccia di emersione grigio scura con abbondanti Miliolidi nella matrice. Oltre ai Miliolidi, le associazioni fossilifere sono rappresentate da foraminiferi, alghe, coralli, briozoi, bivalvi, gasteropodi ed echinodermi, a conferma della tendenza all'approfondimento. L'età è Thanetiano inferiore e lo spessore varia tra 40 e 150 m. L'unità superiore è costituita da calcari massivi grigio chiari-biancastri con alghe coralline (packstone e wackestone). Corrispondono ad una variazione nell'ambiente deposizionale con un aumento della componente micritica (energia inferiore), una profondità maggiore della rampa ed occasionali incrementi dell'energia dovuti ad eventi di tempesta o a correnti di fondo che hanno provocato la deposizione di frammenti bioclastici. Il contenuto fossilifero è rappresentato da Assiline, Miliolidi e alghe. L'età è Thanetiano superiore e lo spessore varia dai 30 ai 100 m.

#### **2.1.1.7 Calcari ad Alveoline e Nummuliti (Eocene)**

La sequenza carbonatica termina con i Calcari ad Alveoline e Nummuliti, costituiti alla base da calcari grigi molto fossiliferi (prevalentemente packstone), ricchi di macroforaminiferi (Alveoline e rarissime Nummuliti) che si associano a Miliolidi, alghe corallinacee, coralli ed echinidi, depositatisi in un ambiente di piattaforma aperta in debole approfondimento. Nella parte alta sono presenti litofacies di piattaforma aperta, quali wackestone/packstone ricchi di Alveoline, Nummuliti e Orbitolites e altre caratterizzate da una discreta energia idrodinamica tipica di ambiente meno profondo (grainstone bioclastici). L'età è Ilerdiano e lo spessore è inferiore ai 70 m nel settore settentrionale del Carso, mentre supera i 300 m nel settore meridionale (Cucchi & Piano, 2013; Jurkovšek et al., 2013).

#### **2.1.1.8 Strati Transizionali e Flysch (Eocene)**

Durante l'Eocene chiudono la deposizione di piattaforma, che subisce un definitivo annegamento, marne emipelagiche, calcari marnosi e alternanze calcareo marnose, che prendono il nome di Strati Transizionali - Transitional Beds - (Otoničar, 2007; Tarlao et al., 2005; Burelli et al., 2008). Sono costituiti da calcisiltiti peloidali con foraminiferi planctonici, calcareniti-calciruditi bioclastiche con locali noduli di selce; la parte

*janskem ozemlju zajemajo spodnji del alveolino-numulitnih apnencev. Prva enota je sestavljena pretežno iz debeloplastovitih in masivnih bioklastičnih apnencev s številnimi miliolidami, v bazi katerih leži temno siva breča. Poleg miliolid so prisotne tudi druge foraminifere, alge, korale, mahovnjaki, školjke, polži in iglokožci. Te plasti so uvrščene v paleocen, njihova debelina pa je od 40 do 150 m.*

*Zgornje trstelske plasti sestavljajo debeloplastoviti do masivni, svetlo sivi do beli apnenci tipa packstone in wackestone s pogostimi koralinacejami. Gre za sedimente z nižjim energijskim indeksom in z večjo vsebnostjo mikritne komponente, ki kaže na nekoliko globji del rampe. V nekaterih nivojih je opazno občasno povečanje energije vode zaradi nevihtnih pojavov ali talnih tokov, ki so povzročili sedimentacijo bioklastičnega materiala. Fosilni ostanki pripadajo pretežno foraminiferam rodov Assilina in Operculina ter miliolidam, pogoste pa so tudi alge. Debelina tega zaporedja plasti znaša od 30 do 100 m.*

#### **2.1.1.7 Alveolino-numulitni apnenci (eocen)**

*Karbonatno zaporedje plasti na Krasu zaključuje formacija Alveolino-numulitni apnencev, ki jo v veliki meri gradijo sivi neizrazito plastoviti apnenci tipa packstone s številnimi velikimi foraminiferami, med katerimi prevladujejo alveoline in numulitine. Pogoste so tudi miliolide, koralinaceje, korale in drobci iglokožcev. Te plasti so nastajale v okolju odprte in plitve platforme. V višjih nivojih formacije so prisotni sedimenti bolj odprte platforme tipa wackestone - packstone, ki so bogati z alveolinami, numulitinami in orbitoliti. Zanje je značilna zmerna energijska hidrodinamika, tipična za nekoliko plitvejšo okolje (bioklastični mikrosparit, grainstone). Te plasti so uvrščene v ilerdij, njihova debelina pa znaša manj kot 70 m v severnih predelih Krasa, medtem ko v južnih predelih presega 300 m (Cucchi & Piano, 2013; Jurkovšek et al., 2013).*

#### **2.1.1.8 Prehodne plasti in fliš (eocen)**

*V eocenu je platforma razpadla in se pričela diferencialno pogrezati. Nad platformskimi karbonati se je pričela sedimentacija hemipelagičnih plasti, ki so združene v enoto Prehodne plasti (Tarlao et al., 2005; Otoničar, 2007; Burelli et al., 2008; Jurkovšek, 2010). Sestavljajo jih peloidni kalci-*



superiore è composta da marne basali, con una forte diminuzione del contenuto di carbonato. Al top si trovano frequentemente uno o più livelli conglomeratici, caratterizzati da clasti arrotondati di grainstone a macroforaminiferi, inglobati in matrice marnosa (Figura 2.3). L'età è Ypresiano medio-Cuisiano inferiore, lo spessore non supera i 50 m.

All'annegamento della piattaforma carbonatica, segue la deposizione dei sedimenti torbiditici del Flysch, costituiti da un'alternanza di livelli di marne siltose ed arenarie con spessori variabili. La potenza delle marne varia da millimetrica a decimetrica, quella delle arenarie da centimetrica a metrica. Le arenarie, che in genere predominano rispetto alle marne, sono discretamente classate con dimensione media dei granuli di 0,1-0,2 mm circa e presentano cemento carbonatico. Il contenuto mineralogico è dato da rari feldspati, miche, minerali pesanti (Cr-spinello e

*siltiti s planktonskimi foraminiferami in bioklastični kalkareniti do kalciruditi lokalno z roženčevimi gomolji. V zgornjem delu se pojavlja »bazalni lapor« z močnim upadom vsebnosti karbonata. Pogosti so tudi pojavi konglomerata z laporasto – glinastim vezivom in makroforaminiferami. Prehodne plasti avtorji uvrščajo od srednjega ypresija do spodnjega cuisija (Slika 2.3). Debelina prehodnih plasti ne presega 50 m.*

*Poplavitvi karbonatne platforme in sedimentaciji Prehodnih plasti sledi formacija Fliša, za katero je značilna turbiditna sedimentacija z menjavanjem glinastih plasti in peščenih plasti z različno zrnavostjo. Glinene plasti so običajno debele od nekaj milimetrov do nekaj decimetrov, plasti peščenjaka pa so od centimetrskeske do metrske debeline. Mineraloško vsebujejo redke glinence, filosilikate, težke minerale (kromospinel in granat) in pirit (Lenaz & Princivalle, 1996). Fosili v flišnih plasteh so zelo redki in pripada-*



**Figura 2.3**  
**Strati Transizionali, Moccò (San Dorligo della Valle, Trieste).**

**Slika 2.3**  
**Prehodne plasti, Zabrežec (Dolina, Trst).**

granato) e pirite (Lenaz & Princivalle, 1996). Sono praticamente sterili, anche se oltre a rarissime Globigerine (rimaneggiate) sono stati rinvenuti rari echinidi e molluschi. Le marne, dalla tipica composizione mineralogica data da micrite, argilla e una percentuale variabile di silt, sono talvolta ricche di Foraminiferi planctonici del tipo Globigerine. Grazie alle datazioni sul nanoplancton è stato possibile attribuire l'età del Flysch al Luteziano superiore (Bensi et al., 2007) e al Cuisiano (De Zanche et al., 1967).

## **2.1.2 Depositi di copertura e depositi di terra rossa**

**2.1.2.1 I depositi alluvionali quaternari** coprono la terminazione occidentale del Carso Classico in corrispondenza delle pianure dei fiumi Reka, Isonzo e Vipacco. Si tratta di ghiaie, in matrice sabbiosa debolmente limosa, a stratificazione orizzontale ed incrociata, talvolta con intercalati livelli, lenti e lingue di sabbie e peliti la cui frequenza aumenta verso la parte distale del sistema deposizionale. Nel sottosuolo del delta del Timavo i depositi sono costituiti in prevalenza da limi e sabbie fini con intercalazioni argillose.

**2.1.2.2 I depositi di versante** si rinvencono solo localmente. Sono costituiti da ciottoli e blocchi angolosi, mal classati, a litologia delle rocce locali che, nel territorio esaminato sono prevalentemente rocce carbonatiche e subordinatamente arenaceo marnose, con tessitura da aperta a parzialmente aperta. I clasti hanno dimensioni eterometriche con punte massime anche superiori al metro (Cucchi & Piano, 2013).

**2.1.2.3 I Depositi di terra rossa**, anche di notevole spessore (oltre i 10 m), sono localizzati nelle depressioni e negli avvallamenti carsici dove hanno subito processi di accumulo ad opera del vento e delle acque di ruscellamento superficiale, particolarmente attivi nel Pleistocene. I suoli dal punto di vista granulometrico sono generalmente piuttosto fini con percentuali di silt comprese tra il 30 e il 60 % e argilla tra il 70 e il 30%, mentre la frazione sabbiosa è solitamente inferiore al 5%.

Dal punto di vista composizionale si tratta di materiali essenzialmente allumosilicatici con SiO<sub>2</sub> attorno al 50%, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> attorno al 20% e FeO

*jo v glavnem globigerinam ter odlomkom iglokožcev in mehkužcev. Gline z značilno mineralno sestavo so ponekod bogate s planktonskimi foraminiferami med katerimi prevladujejo globigerine. S pomočjo raziskave nanoplanktona in numulitin je bilo mogoče uvrstiti del flišnih kamnin v lutecij (Bensi et al., 2007) in v cuisij (De Zanche et al., 1967).*

### **2.1.2 Krovna sedimentna plast in rdeča prst**

**2.1.2.1 Kvarterni sedimenti (aluvij)** se nahajajo na območju rečnih dolin Reke, Soče in Vipave. Gre za tipične prodnate in peščene rečne sedimente z lokalno povečano vsebnostjo blatne komponente. Pogoste so leče in vložki peska in pelitnih glin, katerih pogostnost narašča z oddaljevanjem od osrednjega dela sedimentacijskega telesa. Pod površjem delte reke Timave so usedline v največji meri sestavljene iz blata in finega peska z vmesnimi plastmi ilovice.

**2.1.2.2 Pobočne usedline (koluvij)** imajo različno litološko sestavo, ki zavisi od lokalne geološke zgradbe. V sklopu preučevanega ozemlja gre predvsem za karbonatne kamnine in podrejene peščene in glinaste plasti s strukturo, ki ima značilno odprto do delno odprto poroznost. Klasti so heterometrične velikosti z maksimalnimi bloki večjimi od enega metra. (Cucchi & Piano, 2013).

**2.1.2.3 Rdeča prst** je lahko debela več kot 10 m. Akumulirala se je v vrtačah in kraških dolinah kot posledica sedimentacijskih procesov s pomočjo vetra in vode, ki je tekla po površju. Ti pojavi so bili še posebno dejavni v pleistocenu. Tla imajo z vidika zrnatosti na splošno precej fino strukturo z deležem zrn v razponu med 30 in 60 % ter z ilovico med 70 in 30 %, medtem ko je delež peska ponavadi manjši od 5 %.

Glede na sestavo gre za materiale, ki so v osnovi alumosilikati z vsebnostjo SiO<sub>2</sub> okrog 50 %, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> približno 20 % in FeO s povprečjem približno 8 %. Vsi ostali elementi so na splošno v nižjih koncentracijah z odstotnimi deleži, ki se gibajo okrog 2 % za MgO, CaO in K<sub>2</sub>O (Spada et al., 2002). Med elementi, prisotnimi v sledih, so zastopani krom, barij in cirkonij (Spada et al., 2002). Z mineralološkega vidika so tovrstna tla običajno pokrita s kremenom in redkimi glinenci. Med ilovnatimi minera-



con una media attorno all'8%. Tutti gli altri elementi sono in genere in concentrazioni piuttosto basse con percentuali che si aggirano attorno al 2% per MgO, CaO e K<sub>2</sub>O (Spada et al., 2002). Tra gli elementi in tracce sono relativamente consistenti i contenuti di cromo, bario, zirconio (Spada et al., 2002). Mineralogicamente tali suoli sono caratterizzati dalla presenza di quarzo e rari feldspati. Tra i minerali argillosi si nota la presenza di illite, clorite e montmorillonite. Inoltre, nella frazione sabbiosa, sono presenti delle fasi accessorie come rutilo, tormalina, granato, Cr-spinello, corindone, ematite, staurolite, anfibolo e zircone (Lenaz et al., 1996). Le evidenze granulometriche, chimiche, isotopiche e mineralogiche, fanno supporre che tali suoli non siano da considerare il residuo insolubile derivante dalla dissoluzione e alterazione dei carbonati (o, per lo meno, che non sia questa l'unica sorgente), ma che siano il risultato della pedogenesi di depositi eolici (Loess), derivanti dall'alterazione e dal disfacimento delle rocce allumosilicatiche di tipo arenaceo e marnoso che caratterizzano il flysch.

### 2.1.3 Condizioni paleoambientali

La successione è testimonianza di un'evoluzione paleoambientale complessa che ha coinvolto la piattaforma facendola passare attraverso diverse facies marino lagunari alternate a emersioni, anche significative, fino all'annegamento finale.

Schematicamente si possono ipotizzare le seguenti condizioni: ambienti di piattaforma interna protetta (formazioni di Brje, dei Calcari di Monte Coste, di Monrupino e parte inferiore dei Calcari di Zolla), sovente caratterizzati da condizioni anossiche ed intensa evaporazione (lenti e livelli dolomitici), da rapide oscillazioni del livello marino, con alternanze di fasi lagunari evaporitiche, episodi marini e presenza di locali emersioni (lenti calcaree e brecce rosso giallastre legate a processi carsici).

Gli eventi biologici significativi sono due: la comparsa di esemplari di requinidi (Calcari di Monte Coste) e la comparsa delle radiolitidi (parte alta della Formazione di Monrupino e patch-reef dell'intervallo inferiore dei Calcari di Zolla).

Seguono ambienti di retroscogliera più aperta (parte superiore dei Calcari di Zolla e Calcari di Aurisina) con diffusi e potenti depositi bioher-

*li izstopajo ilit, klorit in montmorilonit. Poleg tega so v peščenih strukturi prisotni še dodatni elementi kot so rutil, turmalin, granat, kromov spinel, korund, hematit, stavrolit, ambifol in cirkon (Lenaz et al., 1996). Granulometrične, kemične, izotopske in mineralološke analize, da se tovrstna tla ne morejo obravnavati samo kot rezultat raztapljanja in spreminjanja karbonatov, temveč so tudi posledica pedogeneze eolskih sedimentov ter spreminjanja in razpadanja alumosilikatnih kamnin peščenega in glinastega tipa, ki so značilne za fliš.*

### 2.1.3 Paleoekologija

*Zaporedje plasti Klasičnega Krasa priča o paleookoljskih spremembah, ki so zajele karbonatno platformo. Zastopani so različni facialni tipi kamnin značilnih za morsko okolje, ki so tesno povezani z globalnimi nihanji morske gladine in tektonskimi dogajanjem na karbonatni platformi vse do njenega razpada in dokončne potopitve.*

*Starejši del karbonatnega zaporedja plasti (Brska formacija, formacija graških apnencev, repentaborski apnenci in spodnji del colskih apnencev) pripada okolju zaščiteni platforme s pojavi anoksičnih razmer in intenzivnega izhlapevanja (leče in plasti dolomita). Zanj so značilna nihanja morske gladine z izmenjavanjem lagunskih evaporitnih faz in občasni lokalni dvigi nad morsko gladino (karbonatne breče in breče rdečkasto rumene barve, vezane na paleozakrasevanje).*

*Sledijo nekoliko bolj odprta okolja (zgornji del colskih apnencev in nabrežinski apnenci ter Repenska, Sežanska in Lipiška formacija) z obsežnimi biohermami, ki so v večji meri posledica bujnega razvoja rudistov (radiolitidi in hipuritidi). Ta okolja so bila zaradi tektonskih in evstatičnih dogodkov bolj izpostavljena umiku morja in s tem pojavom paleozakrasevanja (svetlo rdečkasta breča, različne usedline na paleoreliefu so vidne v zgornjemu delu nabrežinskih apnencev in Lipiške formacije).*

*Na prehodu med kreda in terciarjem so bila sedimentacijska okolja občasno podvržena sladkovodnemu vplivu in anoksičnim pogojem (spodnji del Liburnijske formacije). Ta se naprej razvijejo v popolnoma morskima okolja, značilna za notranji del karbonatne platforme (Trsteljska formacija). Zaključni pečat karbonatnemu zaporedju notranjega dela*

mali dovuti principalmente allo sviluppo delle Rudiste (Radiolitidi ed Hip-puritidi). Quindi, per crisi orogenetica, gli ambienti recifali sono soggetti a fasi di emersione con paleocarsismo diffuso (breccia bianco-rosea, depositi di cavità e paleocavità appartenenti alla parte superiore dei Calcari di Aurisina).

Succedono al passaggio K/T ambienti tendenti all'anossia (intervallo inferiore della Formazione Liburnica), che si evolvono in ambienti di piattaforma carbonatica interna più aperta (Formazione di Trstelj). Chiudono la successione carbonatica ambienti di piattaforma carbonatica interna sempre più aperta e ambienti litorali a ridotta profondità (Calcari ad Alveoline e Nummuliti), soggetti nella parte alta ad influenze terrigene sempre maggiori, fino all'annegamento ed alla rapida e potente copertura torbida.

### 2.1.4 Assetto strutturale

Le rocce che affiorano sul Carso Classico testimoniano l'evoluzione di una piattaforma carbonatica dove, dall'Aptiano (circa 120 milioni di anni fa) all'Eocene inferiore (circa 50 milioni di anni fa), si verificò con notevole continuità una sedimentazione di tipo carbonatico. La piattaforma aveva un tasso di subsidenza variabile, come risulta dal fatto che la potenza di quasi tutte le unità diminuisce, anche notevolmente, da est verso ovest. La fascia di maggiore instabilità doveva essere ubicata in corrispondenza dell'allineamento Sistiana – Monte Ermada – Miren, lungo il quale variazioni laterali di facies e di spessore sono particolarmente frequenti.

Gli avvenimenti successivi alla sedimentazione, cioè le fasi compressive legate alle orogenesi alpina e dinarica, hanno comportato, in un periodo di tempo compreso tra 35 e 20 milioni di anni fa, con particolare veemenza e con movimenti più lenti fino ad oggi, l'innalzamento, il piegamento e la dislocazione della successione carbonatica e del flysch. Numerose sono le evidenze di questi movimenti, anche se dall'emersione del Carso in poi (ultimi 20 milioni di anni circa), gli agenti atmosferici ed il mare hanno modellato variamente la superficie del Carso stesso.

La geometria assunta dal Carso Classico è infatti il risultato dell'a-

*karbonatne platforme, ki se vedno bolj odpira, kakor tudi plitvim obmorskim okoljem dajejo Alveolinsko-numulitni apnenci, vse dokler se dokončno ne potopijo in jih prekrijejo hemipelagične Prehodne plasti in Fliš.*

### 2.1.4 Tektonika

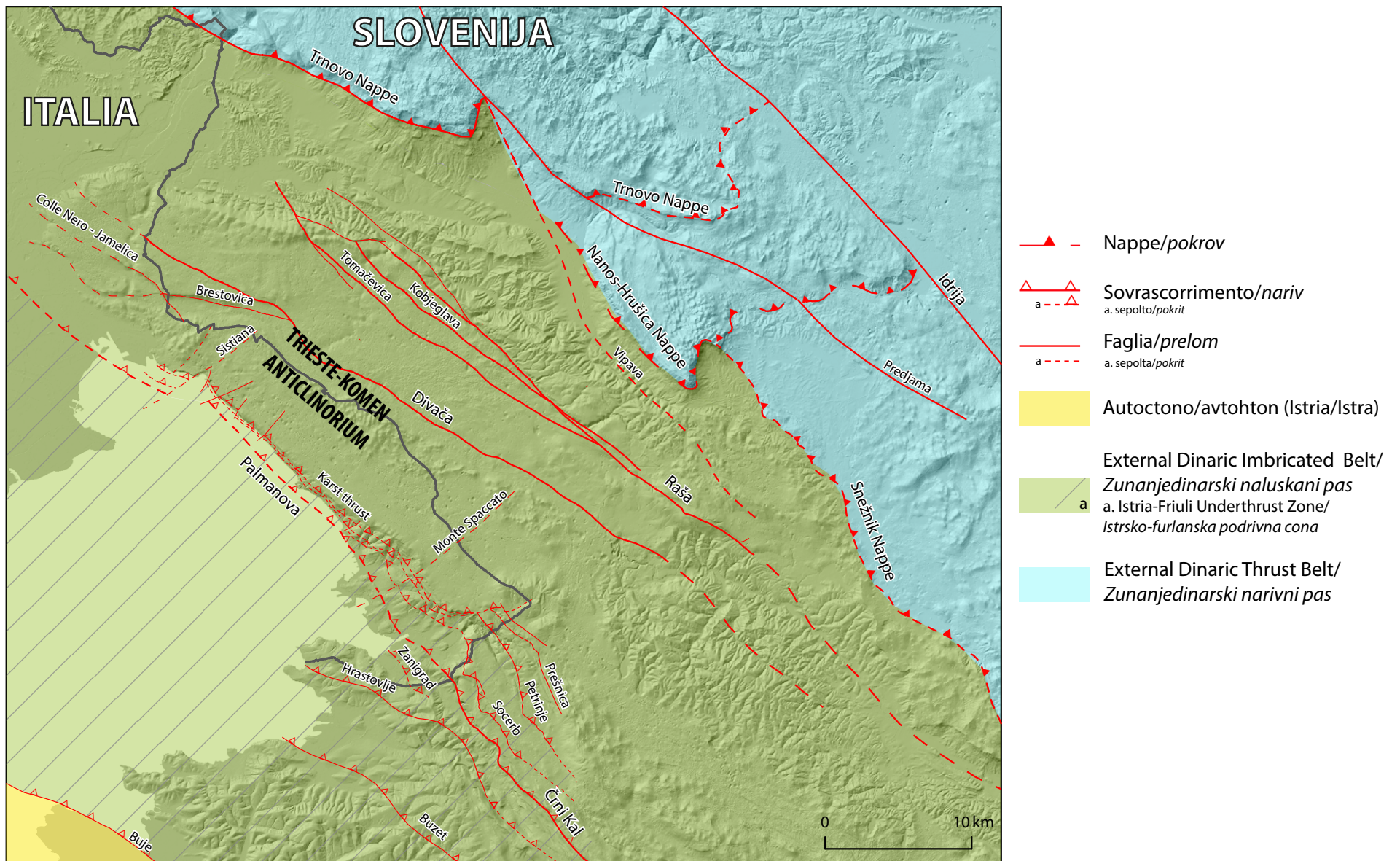
*Kamnine pričajo o kredni evoluciji severnega dela karbonatne platforme, na kateri so od valanginija (pred okrog 125 milijoni let) do spodnjega eocena (pred okrog 50 milijoni let) bolj ali manj kontinuirano nastajale karbonatne kamnine Krasa. Platforma je imela spremenljivo stopnjo subsidence, kar izhaja iz dejstva, da moč skoraj vseh enot močno upada od vzhoda proti zahodu. Pas največje nestabilnosti je opazen med Sesljanom, Grmado in Mirnom, vzdolž katerega so lateralne spremembe faciesov in debelin izredno pogoste.*

*Nadaljnje dogajanje po sedimentaciji, se pravi v fazi kompresije, vezane na alpsko in dinarsko orogenezo, je v obdobju, ki se je pričelo odvijati pred 35 do 20 milijoni leti, povzročilo dvigovanje, gubanje in spremembe v zaporedju med karbonatnimi kamninami in flišem. To premikanje je vidno na mnogih mestih, čeprav so od obdobja, ko je prišel Kras na površnje, in pozneje (približno zadnjih 20 milijonov let) atmosferski dejavniki in morje različno spreminjali njegovo površino.*

*Geometrija, ki jo je prevzel matični Kras, je namreč rezultat pomikanja jadranske mikroplošče proti severu, ki je ob trku z evrazijsko ploščo postopno rotirala v obratni smeri od urinega kazalca. Glavni tektonski fazi sta bili dve: dinarska v pretežni smeri kompresije od SV - JZ in neoalpska s pretežno kompresijo v smeri od SSV - JJZ do S - J. Rezultat tega je nagubanost in narivi ter drsenje plasti nad drugimi in regionalne razpoke ter zmični prelomi. V tem kontekstu je v topografskem in geomorfološkem smislu najbolj izrazita strukturalna enota Kraški nariv, ki se je razvil v dinarski smeri SZ-JV in je zgrajen iz kamnin karbonatnega kredno-paleogenskega zaporedja.*

*Z geodinamičnega vidika predstavlja Kras na zahodu najbolj zunanji del Dinarske verige (Slika 2.4). Ta predel Dinaridov predstavljajo trije veliki sistemi narivov, ki so nagnjeni proti SV. Od SV proti JZ, si sledijo (Placer, 1981; Placer et al., 2010): 1. **Zunanjedinarski narivni pas**, ki zajema več narivnih enot, razporejenih ena nad drugo (Trnovo, Hrušica,*





**Figura 2.4**  
**Schema tettonico.**

**Slika 2.4**  
**Tektonska skica.**

vanzamento verso nord della microplacca Adria che scontrandosi ed indentandosi con la Placca eurasiatica ha subito una progressiva rotazione antioraria. Le principali fasi tettoniche sono due, quella Mesoalpina o Dinarica a direzione prevalente della compressione NE-SW e quella Neoalpina con trend compressivo da NNE-SSW a N-S. In questo contesto, le strutture che portano alle maggiori evidenze topografiche e geomorfologiche sono i sovrascorrimenti sviluppati in senso dinarico, ovvero NW-SE e localizzati lungo i versanti della costa triestina e nel Golfo di Trieste, che coinvolgono la potente successione carbonatica cretaco-paleogenica in un'ampia piega anticlinale, portandola a sovrastare e localmente sovrascorrere sulla successione torbiditica di età eocenica.

Il Carso dal punto di vista geodinamico costituisce la parte più esterna a Occidente della Catena Dinarica (Figura 2.4). Questo settore delle Dinaridi in particolare è costituito da tre grandi sistemi di sovrascorrimenti. Procedendo da NE in direzione SW, troviamo: 1. l'**External Dinaric Thrust Belt**, comprendente a sua volta tutta una serie di falde (Nappe) sovrascorse l'una sull'altra (Trnovo, Hrušica, Sovič e Snežnik), che sovrascorre sul 2. **External Dinaric Imbricated Belt**, comprendente l'area di interesse del progetto, ovvero il "Trieste-Komen Anticlinorium" e l'"Istria-Friuli underthrust Zone"; 3. l'**underthrusting** (sottoscorrimento) dell'Istria (*Istria Structural Wedge*) in direzione NE (Placer et al., 2010).

L'Anticlinorio Trieste-Komen è un'unità prevalentemente carbonatica in affioramento dalla sinistra del fiume Vipacco al Golfo di Trieste e dalla pianura isontina a Vreme. L'unità si prolunga poi in direzione ovest verso Udine, a costituire il substrato della Pianura Isontina e Friulana e in direzione sud-est verso Fiume e le isole dalmate, a costituire l'Istria interna e la Dalmazia. Esistono inoltre, tutta una serie di faglie orientate NW-SE, importanti indicatori delle dinamiche delle Dinaridi, tra le quali si ricordano le faglie di Vipava, di Raša e di Divača.

L'Istria-Friuli Underthrust Zone è il risultato del sottoscorrimento (underthrust) di una parte della microplacca Adria verso NE, avvenuto dopo il Miocene e probabilmente tutt'ora attivo. L'elemento tettonico che la separa dall'Anticlinorio Trieste-Komen è la Linea di Palmanova (Amato et al. 1976) o Trieste Fault (Del Ben et al., 1991; Busetti et al., 2010). Essa connette il sistema dei thrust dinarici della Pianura Friuliana orientale al

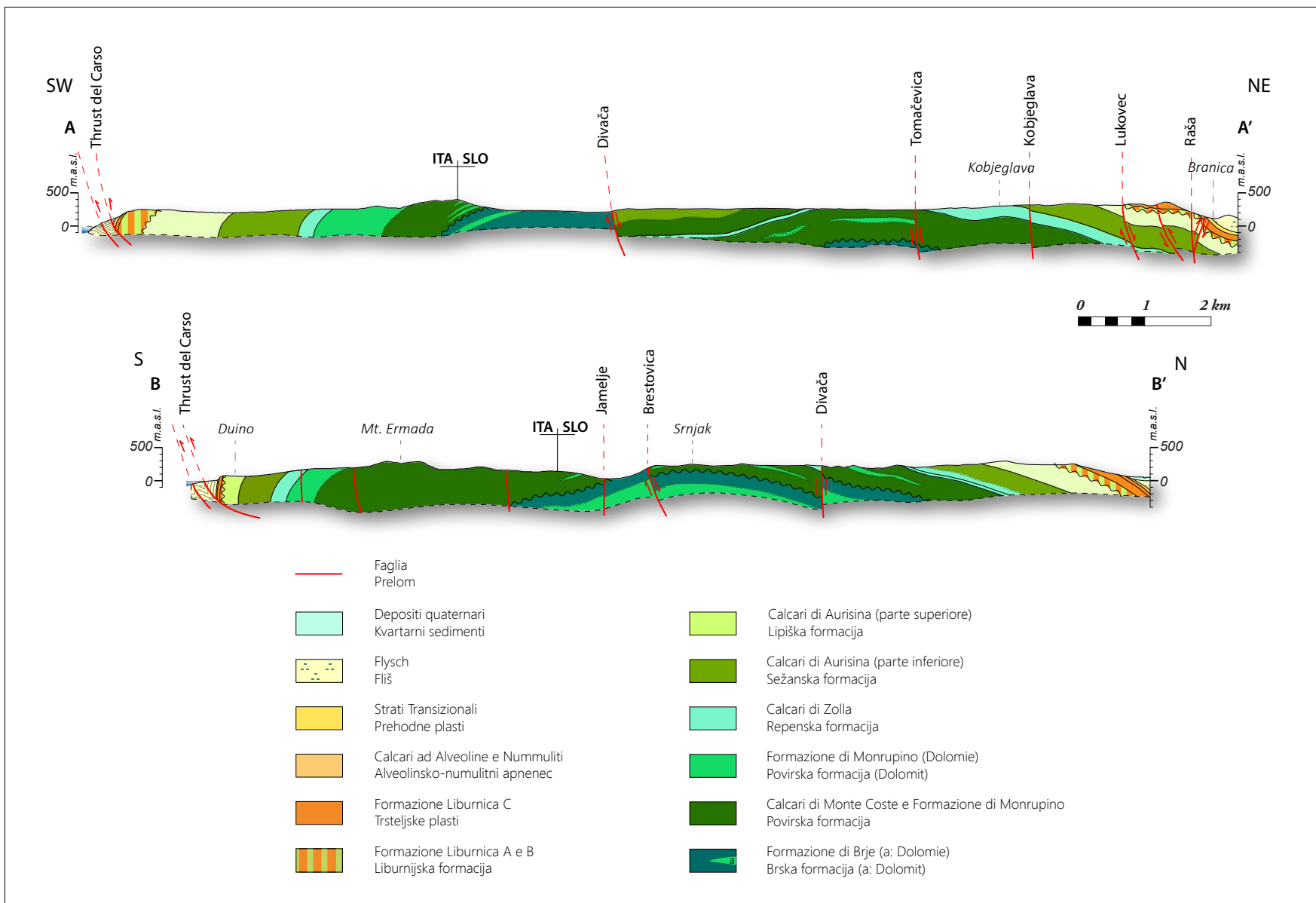
*Sovič in Snežnik) in ki ležijo nad imenovanim narivom; 2. **Zunanjedinarski naluskani pas (External Dinaric Imbricated Belt)**, ki zajema območje Projekta HYDROKARST oziroma Tržaško-komenski antiklinorij. Del tega pasu je Istrsko-furlanska podrivna cona; 3. **Trdno jedro Jadranske mikroplošče** (Istria).*

*Tržaško-komenski antiklinorij je pretežno karbonatna enota, ki se razteza od leve strani reke Vipave do Tržaškega zaliva in od Soške doline do Vrem. Enota se podaljšuje v severozahodni smeri proti Vidmu, in tvori substrat Soške in Furlanske nižine, jugovzhodno pa proti Reki in dalmatinskim otokom. V antiklinoriju so še številni prelomi v smeri SZ-JV, pomembni kazalci dinamik v Dinaridih, med temi so pomembnejši Vipavski, Raški in Divaški prelom*

*Znotraj Zunanjedinarskega naluskanega pasu se po Placerju, nahaja Istrsko-Furlanska podrivna cona. Ta strukturna podenota je rezultat podrivanja enega dela jadranske mikroplošče proti SV, do katerega je prišlo v miocenu in je verjetno še sedaj aktivno. Osrednji tektonski element je nariv Palmanova (Amato et al., 1976) ali tržaški prelom (Del Ben et al., 1991, Busetti et al., 2010). Linija povezuje sistem dinarskih narivov vzhodne Furlanske nižine na Črnokalski nariv v Sloveniji (Placer, 2007). Ostale pomembne dinarske strukture so "kraški narivni rob" (Bensi et al., 2009), ki se razteza pretežno vzdolž apnenčevo-flišnega stika na severozahodnem italijanskem delu Krasa, na fliš pod Trstom in se nadaljuje v Sloveniji s petrinjskim narivnim prelomom (Slika 2.5). Poleg tega obstajajo tudi drugi narivi, ki potekajo v flišu tržaške obale in v morju ter se nadaljujejo v Sloveniji z narivnimi prelomi na Socerbu, v Zanigradu in Hrastovljah (Placer, 2007).*

*Glede tektonske strukture, ki jo prepoznamo na terenu, je treba ločiti danes praktično zapečatenne prelome, ki so nastali na platformi med njenim razvojem, od dinarskih in neoalpskih narivnih in sinklinalnih struktur, slednje so namreč povzročile ponovno aktiviranje nekaterih predhodnih prelomov (Cucchi & Piano, 2013). Predvsem gre za dinarsko usmerjene prelome, ki so bili reaktivirani tako v kompresiji kot v raztezanju; za prelome v smeri S-J, verjetno vezane na fragmentacijo platforme med oblikovanjem udornin; za apnenčaste ali flišne narivne grude, za zmične prelome, ki sekajo frontalne dele nariva v smeri VSV-JZJ (npr. sesljanski prelom, prelom Drašča, narivi, prelomi in razpoke v dolini Glinščice).*





**Figura 2.5**  
**Sezioni geologiche.**

**Slika 2.5**  
**Geološka profila.**

Crni Kal Thrust in Slovenia (Placer, 2007). Altre importanti strutture ad andamento dinarico sono il “*Thrust del Carso*” (Bensi et al., 2009), che si sviluppa prevalentemente lungo il contatto calcare-Flysch nel settore nord-occidentale italiano del Carso, nel Flysch sotto la città di Trieste, per poi proseguire in Slovenia con il Thrust di Petrinje e tutta una serie di *thrust minori* che si sviluppano nel Flysch della costa triestina e in mare (Figura 2.5), e che proseguono verso sud in Slovenia con i Thrust di Socerb, Zanigrad e Hrastovlje (Placer, 2007). Per quanto riguarda le strutture tettoniche che si possono riconoscere sul terreno (Cucchi & Piano, 2013), vanno distinte le faglie che hanno interessato la piattaforma durante la sua evoluzione, il collasso e la formazione delle avanfosse, dalle strutture dinariche e dalle strutture neoalpine, responsabili, queste ultime, della riattivazione delle precedenti. In particolare si tratta di faglie ad andamento *dinarico*, a cinematica trascorrente, riattivate sia in compressione che in distensione; faglie *antidinariche* o NS, legate probabilmente alla frammentazione della piattaforma durante la formazione delle avanfosse; le rampe di *thrust*, sia in calcare che in Flysch, ad andamento dinarico (es. Linea di Palmanova); *tear-faults*, faglie trascorrenti di svincolo, che dislocano parti frontali del *thrust*, a orientazione ENE-SWS (es. Linea di Sistiana, Linea del Monte Spaccato, faglie della Val Rosandra).

## 2.2 Morfologia carsica

FRANCO CUCCHI, LUCA ZINI, CHIARA CALLIGARIS

Dipartimento di Matematica e Geoscienze, Università degli Studi di Trieste

L'Altopiano del Carso Classico si eleva dalla pianura del fiume Isonzo e dal mare del Golfo di Trieste, fino a quote che vanno dal centinaio di metri del carso di Doberdò del Lago e di Marcottini a NW ai 400-450 m sul livello del mare del carso di Divaccia e San Canziano a SE. Si tratta quindi di un altopiano inclinato lungo il cui asse è possibile identificare un allineamento collinare largo circa 4 km adiacente, verso NE, ad una depressione allungata larga un paio di chilometri. L'allineamento collinare trova condizionamento nel prevalere in affioramento delle dolomie

## 2.2 Morfologia krasa

FRANCO CUCCHI, LUCA ZINI, CHIARA CALLIGARIS

Dipartimento di Matematica e Geoscienze, Università degli Studi di Trieste

*Kraška planota se dviguje od ravnice ob Soči in Tržaškega zaliva do nadmorskih višin približno 100 metrov na severozahodnem delu Krasa pri Doberdobu in Poljanah, na jugovzhodu pa dosega nadmorske višine 400 do 500 metrov pri Divači in Škocjanu. To je nagnjena planota, na njeni osi leži pas vzpetin širok do 4 km, na severovzhodu se stika z nekaj kilometrov širokim ravnikom. Vzpetine so posledica dvigovanja dolomitov nad apnenci, ravnik ali depresija sledi divaškemu in jameljskemu prelomu. Severovzhodni del raziskovanega območja zaznamuje mreža vodnih tokov s dendridnimi do vzporednimi odtoki, ki so značilni za malo propustne in srednje topne kamnine, kot so laporji in peščenjaki v flišnih faciesih (Cucchi & Zini, 2009).*

*S širjenjem visoke planote proti severu, to je preko Senožeških brd proti Postojni, se nadmorska višina giblje med 550 m v Postojnski kotlini in 700-800 m na območju gričevja Sajeveče in Laže ter Ravenske planote.*

*Posebne geološke značilnosti, geografska lega in dolgotrajna izpostavljenost okoljskim dejavnikom so vplivali na oblikovanje klasičnega Krasa, ki predstavlja bistvo kraških pojavov, tako na površju kot v podzemlju. Po površju so vode v razdobju približno petnajstih milijonov let povzročile erozijo flišnega faciesa in raztopile na milijone kubičnih metrov kamnin; ozemlje ima zaradi tega edinstven izgled, v katerem skoraj ni več mogoče prepoznati prvotnih površinskih oblik. Na območju klasičnega Krasa, ki meri približno 750 km<sup>2</sup>, so nastale (in še vedno nastajajo) različne kraške tvorbe, ki so posledica raztapljanja in ki po številu in velikosti presegajo erozivne formacije. Omenjene tvorbe so izrazita posledica strukturnogeoloških dejavnikov.*

*Ker je raztapljanje izredno počasen kraški proces – v današnjih podnebnih pogojih se letno raztopi komaj 0,01-0,03 mm kamnin (Furlani et al., 2009)-, je potrebnih več tisoč let, da se ustvarijo prepoznavne oblike in znatne morfološke spremembe, zato je današnja morfologija pokrajine pravzaprav zelo podobna prazgodovinski.*



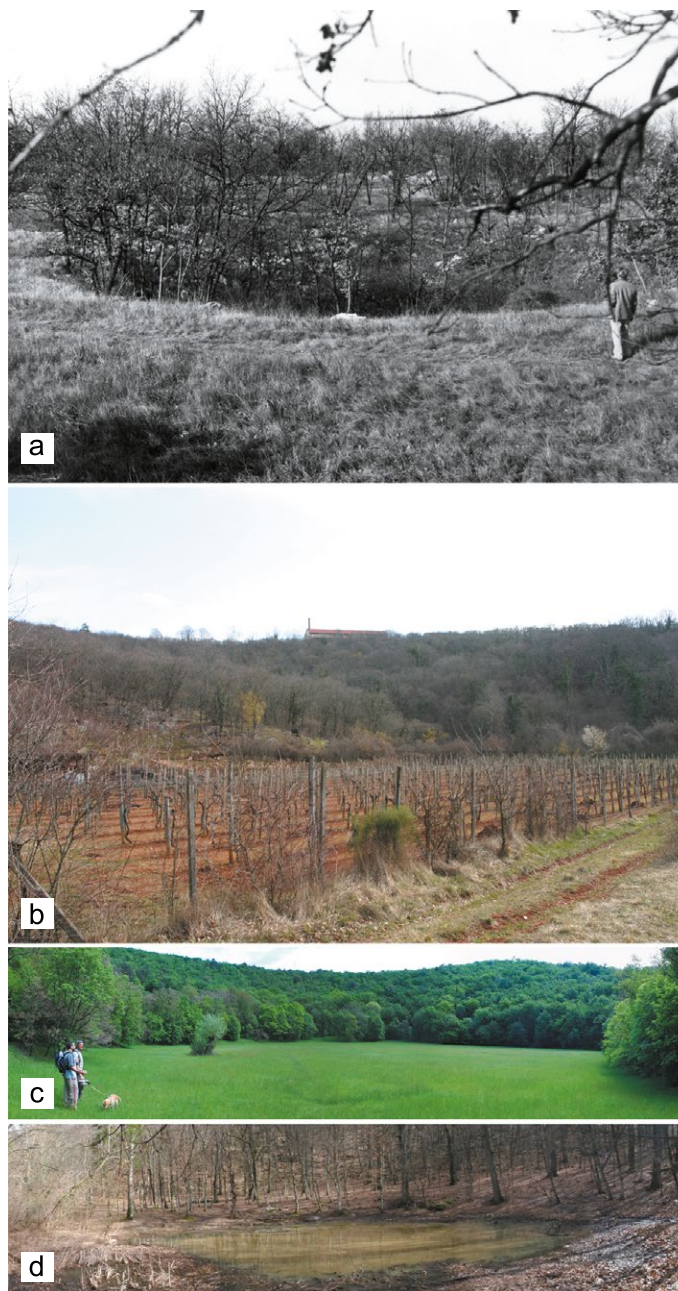
sui calcari, la depressione segue le faglie di Divača e Doberdò. La parte nord-orientale dell'area di studio è segnata da un insieme di reticoli fluviali con pattern di drenaggio da dendritici a paralleli, tipici delle aree in cui affiorano rocce poco permeabili e mediamente erodibili quali marne ed arenarie in facies di flysch (Cucchi & Zini, 2009).

Nell'estensione dell'altopiano verso settentrione, cioè verso il Postumiese oltre la sella di Senosecchia, le quote variano dai 550 m s.l.m. della conca di Postumia ai 700-800 m delle colline di Saiecce e Lase e dell'altopiano di Rauni.

Le particolari caratteristiche geologiche, la collocazione geografica, la prolungata esposizione agli agenti atmosferici, hanno portato il Carso Classico a rappresentare l'essenza del carsismo, superficiale e profondo. In superficie, durante la quindicina di milioni d'anni di evoluzione, le acque hanno eroso la copertura in facies di flysch e dissolto milioni di metri cubi di roccia, imprimendo al territorio un aspetto unico in cui le forme superficiali iniziali sono ormai quasi irriconoscibili. Nei circa 750 km<sup>2</sup> che compongono il territorio del Carso Classico, si sono sviluppate e continuano a svilupparsi, una serie di morfologie carsiche dissolutive che sono in netta dominanza come numero e dimensione rispetto a quelle erosive. Queste forme sono fortemente dipendenti dai condizionamenti geologico strutturali.

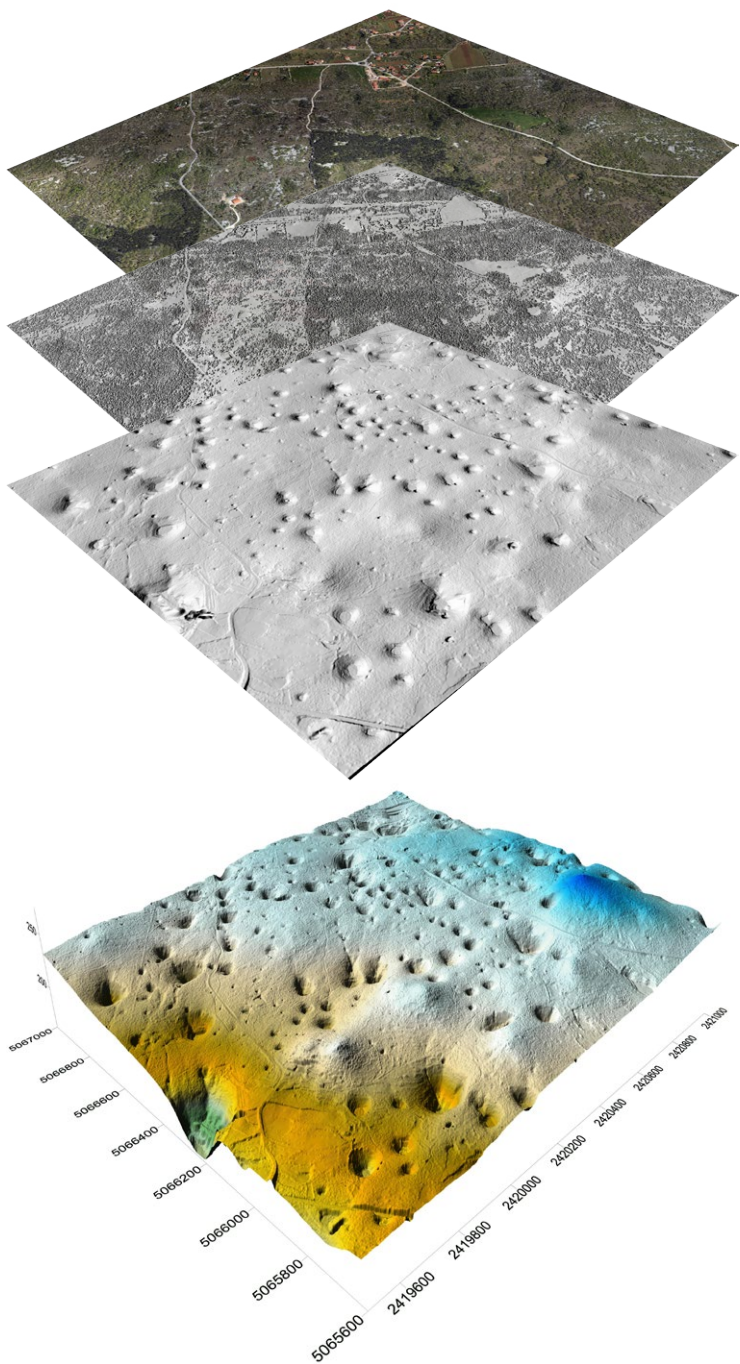
Dato che la dissoluzione carsica è un processo estremamente lento (con i climi attuali, se ne vanno appena 0,01-0,03 mm all'anno (Furlani et al., 2009), e quindi ci vogliono migliaia di anni per avere forme significative ed evoluzioni morfologiche "importanti") il paesaggio, inteso come morfologia odierna, è molto simile a quello preistorico.

L'elemento morfologico più rappresentativo è sicuramente la dolina che conferisce alla superficie topografica un aspetto irregolare e tormentato (Figura 2.6). Là dove affiorano i calcari sono presenti doline di tutte le dimensioni, con una propensione a quelle di dimensioni medie. Si notano fasce in cui prevalgono forme di grandi dimensioni e notevole profondità (da Sesana a Sistiana passando per Monrupino, Gabrovizza e San Pelagio o da Dobraule a Comeno, o fra Mattavun e Divaccia), aree in cui le doline sono uniformemente distribuite e presentano un'elevata densità maggiore di 75 per km<sup>2</sup>, come avviene nel carso di



**Figura 2.6**  
a) Dolina presso la Grotta dei Ciclami, gennaio 1983;  
b) Dolina presso la Grotta Nemetz;  
c) Dolina presso Ceroglie;  
d) Dolina di Percedol.  
Foto: Furio Finocchiaro

**Slika 2.6**  
a) Dolina pri Orehovi pejci, januarja 1983;  
b) Dolina pri Jami pri Katri;  
c) Dolina pri Cerovljah;  
d) Prčedol.  
Fotografije: Furio Finocchiaro.



Morfološki element, ki najbolj izstopa, je nedvomno kraška dolina, ki daje topografski površini raznolik in razgiban videz. Tam, kjer so na površju apnenci, so prisotne doline različnih velikosti, največ pa jih je srednje velikosti (Slika 2.6). Opazna so območja, kjer prevladujejo doline večjih dimenzij in znatnih globin (od Sežane do Sesljana preko Re-pentabra, Gabrovca in Šempolaja ali od Dobravelj do Komna ali še med Matavunom in Divačo), ter območja, kjer so doline enakomerno poraz-deljene in kjer gostota presega  $75/\text{km}^2$ , kot na primer na doberdobskem Krasu in pri Poljanah, pri Koprivi in Brjih. Zelo pogoste so doline vzdolž točno določenih osi, najpogosteje v smeri S-J, na območju med Lokvijo in Kozino, pa tudi v smeri SZ-SV (Geomorfološka karta klasičnega Kra-sa, Priloga 2). Drugod je porazdelitev neenotna z gostoto med 40 in 75 dolinami na  $\text{km}^2$ .

Na obravnavanem območju je bilo popisanih več kot 22.400 dolin, od katerih približno 5.945 v Italiji in 16.500 v Sloveniji; njihova skupna površina pa meri približno dvajset  $\text{km}^2$ . Na celotnem preučevanem vzor-cu je povprečni premer manjši od 50 m (okrog 62 odstotkov vseh primer-kov). 31,5 odstotkov dolin ima premer med 50 in 100 metri, medtem ko jih le ducat dosega premer nad 500 m. Povprečna globina največjih do-lin znaša 30 metrov in v redkih primerih doseže 70 metrov. V odstotkih to pomeni, da je skoraj 40 odstotkov vseh dolin nastalo zaradi podrtja stropa podzemne votline.

Na splošno je na celotnem območju opazen strukturni vpliv na de-presije, v katerih se nahajata Doberdobsko in Prelostno jezero, dve kra-ški polji, ki sta povezani z brestoviškim prelomom, zahodnim podalj-škom preloma na območju Brestovice in Jamelj. Nejasen pa je izvor dveh razpok v smeri S-J: prva se vijugasto vije čez doberdobski Kras (t.i. Dol), druga, manj očitna, pa gre od Branika do Gorjanskega (Mali dol).

Med čudovitimi morfološkimi strukturami, ki so prisotne na tem ob-močju, zagotovo najbolj izstopajo znamenite subvertikalne stene, ki so značilne za klif vzdolž obale (Slika 2.7) in so posledica delovanja povr-šinskih sil na narivu tržaško-komenskega antiklinorija zaradi kom-pleksnega sistema narivov dinarskega tipa, kakršna sta na primer kraški nariv in palmanovska linija.

Poseben element pa predstavlja dolina reke Glinščice, ki se nahaja

Oggi la tecnologia laserscanner consente di ricavare immagini tridimensionali eccezionali per lo studio della geomorfologia: dalla foto aerea alla scansione, al substrato filtrato, al 3D.

Danes nam tehnologija laserskih skenerjev omogoča pridobivanje odličnih tridimenzionalnih podob za geomorfološke raziskave: zračno sliko skeniranega območja, filtrirani substrat, 3D sliko.



Doberdò del Lago e Marcottini e nel carso di Capriva e Berie. Sono frequentissime le doline allineate lungo direzioni ben definite, più spesso in direzione N-S, nell'area tra Lokev e Kozina, e talora in direzione NW-SE (Carta Geomorfologica del Carso Classico, Tavola 2). Il resto del territorio presenta una distribuzione a macchia di leopardo con una densità compresa tra 40 e 75 doline per km<sup>2</sup>.

Nell'areale considerato, sono state identificate più di 22.400 doline di cui circa 5.945 in Italia e 16.500 in Slovenia e le cui superfici complessive sono orientativamente pari ad una ventina di km<sup>2</sup>. Sull'intero campione esaminato, il diametro medio è risultato essere inferiore ai 50 m (circa il 62% dell'intera popolazione). Il 31,5 % ha un diametro compreso tra i 50 e i 100 m, mentre solo una dozzina di doline hanno diametro

*na južni meji klasičnega Krasa in ki je globoko zarezana v apnenčaste kamnine; njeno morfologijo pogojujeta litološka sestava in tektonski elementi s prelomi in različnimi kamninami, kjer je s selektivno erozijo nastala edinstvena hidrostruktura.*

*Tem »veličastnim« pojavom se pridružujejo manjši kraški pojavi, zaradi katerih je to ozemlje pridobilo naziv klasični Kras: škraplje, škavnice, razpoke, kraške špranje, zaobljene kraške formacije, ki so nastale zaradi delovanja podpovršinskih plasti, ter koničaste oblike, ki so posledica pospešenega morskega aerosola, gobaste tvorbe, hum in kraški stebri. Raznovrstnost, dimenzije in število pojavov so res impresivni: prav iz teh razlogov že dalj časa obstaja želja po ustanovitvi geoparka klasičnega Krasa, ki naj bi vsesplošno ovrednotil to območje.*



**Figura 2.7**  
**La falesia di Duino.**

**Slika 2.7**  
**Devinske stene.**

superiore ai 500 m. Le profondità delle depressioni maggiori oscillano mediamente sui 30 m e raggiungono occasionalmente i 70 m. Percettualmente, si reputa che quasi il 40% delle doline abbia genesi da crollo di volta di cavità sottostanti.



*Poleg oblik na površju so za Kras značilne tudi izjemno razvite, pogoste in raznolike podzemne morfološke tvorbe. V pasu, ki ga zaobjema projekt, je popisanih 4.077 podzemnih votlin, in sicer 3.060 v Italiji, 1.017 pa v Sloveniji. Vzroka te nesorazmerne porazdelitve ne gre iskati le v manjši prisotnosti jam v Sloveniji, temveč tudi v intenzivni jamarski dejavnosti, ki je bila že od polovice 19. stoletja dalje značilna za območja na italijanski strani meje. Ob pregledu skupne podatkovne baze, zasnovane v sklopu Projekta HYDROKARST, lahko opazimo, da niso vse jame enako globoke in zanimive. V Italiji je jam, ki presegajo dolžino 100 metrov, kar 128, v Sloveniji pa 116. Le nekaj nad deset jam presega 1.000 m. Na osnovi razmerja (S/P) med dolžino (S) in globino (P), ki ga opredeljujejo Zini et al., (2011) lahko jame razdelimo na tri skupine:*

- a) HC: jama, ki se pretežno razprostira v subhorizontalni smeri ali z rahlim naklonom,  $S/P \geq 1,3$ ;
- b) VC: jama, ki se pretežno razprostira v vertikalni smeri,  $S/P \leq 0,7$ ;
- c) CC: kompleksne jame  $0,7 < S/P < 1,3$ .

*Opravljen analiza je pokazala, da ima približno 45 odstotkov jam pretežno vodoravno podobo, 30 odstotkov jam pa je pretežno vertikalnih. Okrog 25 odstotkov jam ima kompleksnejšo obliko –vrstijo se brezna in horizontalni predeli.*

*Med stotinami jam imajo le nekatere zadostno globino, da se v njih nahaja vodonosnik ali da vanje zaidejo vode ob visokem vodostaju. Nekatere izmed teh jam imajo poseben zgodovinski in znanstveni pomen ter so bile zaradi tega za krajše ali daljše obdobje predmet monitoriranja. Med temi so:*

### **2.2.1 Škocjanske jame**

*Vodni tok reke Reke – zgornje Timave po približno 40 km dolgem površinskem toku ponikne v podzemni kompleks rovov Škocjanskih jam v bližini naselja pri Divači – Škocjana. Voda odteka v jamo, ki je dolga več kot šest kilometrov, in prečka nekaj zelo globokih udornic: Malo dolino (120 m globine) in Veliko dolino (165 m globine). Po približno treh kilometrih poti skozi ogromno sotesko s 26 slapovi (Šumeča jama in Podzemni kanjon reka) reka izgine v sifonu Mrtvega jezera na nadmorski višini 212 m. Jama ima tudi velik sekundarni rokav, bogato zasigan, skozi*

**Figura 2.8**  
**Le kamenitze di Borgo**  
**Grotta Gigante.**

**Slika 2.8**  
**Škavnice pri Briščikih.**



In generale, nell'intera area, è evidente l'imprinting strutturale sulle depressioni che ospitano i laghi di Doberdò e di Pietrarossa, due polje di livello di base connessi alla faglia del *Colle Nero*, prosecuzione occidentale della faglia di *Brestovica* e *Jamelica*. Dibattuta invece è l'origine dei due solchi a direzione circa N-S, uno, inciso e serpeggiante, che taglia il carso di Doberdò (il cosiddetto Solco del Vallone), uno, meno inciso, che da Rifemberg si prolunga fino a Goriano.

Tra le meravigliose morfologie presenti nell'area, spiccano di certo le spettacolari pareti subverticali che caratterizzano la falesia lungo la costa (Figura 2.7), risultato dell'energia di rilievo conferita al fronte del sovrascorrimento dell'Anticlinorio Trieste-Komen dal complesso sistema di sovrascorrimenti ad andamento dinarico del *Thrust del Carso* e della *Linea di Palmanova*.

Parte a sé invece fa la Val Rosandra ai confini meridionali del Carso Classico, una valle profondamente incisa in calcari, dalla morfologia condizionata dalla litologia e dalla tettonica, cioè da faglie e da rocce diverse su cui l'erosione selettiva ha creato una singolare idrostruttura.

A queste forme "in grande" fanno corollario tutte quelle minute, che costituiscono il patrimonio carsico che giustifica l'appellativo Classico dato al Carso: i campi solcati, le kamenitze (Figura 2.8), i fori di dissoluzione, le scannellature, i solchi, i crepacci carsici, le forme arrotondate per carsismo sottocutaneo e aguzze per dissoluzione accelerata da aerosol marino, i funghi, gli hum e i torrioni. La varietà, le dimensioni ed il numero sono veramente notevoli: non per niente si vuole istituire da tempo il Geoparco del Carso Classico, valorizzando universalmente il territorio.

Oltre alle forme epigee, il Carso è caratterizzato dalla presenza in profondità di morfotipi carsici particolarmente evoluti, frequenti e vari. Nell'area coperta dal progetto, sono rinvenibili 4.077 cavità, di cui 3.060 in Italia e 1.017 in Slovenia. La disparità numerica non è solamente dovuta alla non presenza di grotte in territorio sloveno, bensì all'intensa attività speleologica decisamente elevata in Italia sin dalla metà dell'800. Attingendo alla banca dati congiunta appositamente realizzata per il Progetto HYDROKARST, emerge che non tutte le cavità hanno la medesima profondità e importanza. In Italia le cavità con uno sviluppo in

*katerega pa se trenutno ne pretaka voda (Tiha jama in Velika dvorana). UNESCO je jama in njeno okolico leta 1986 razglasil za spomenik svetovne naravne dediščine (UNESCO World Heritage).*

### **2.2.2 Kačna jama**

*Kačna jama je velik podzemni kompleks, ki se je oblikoval v krednih apnencih približno 1 km zahodno od naselja Divača. To je po Škocjanu ena prvih lokacij, kjer opazimo vodo podzemnega toka Timave. Jama je bila prvič raziskana leta 1895. Brezno se odpre na nadmorski višini 445 m in je dostopno preko vrtine, ki je globoka 213 metrov in vodi do razvejane-ga sistema dveh nivojev podzemnih rogov.*

*V zgornjem nivoju ni opaziti hidrogeoloških pojavov, je pa tu veliko sigastih tvorb; v tem predelu merijo preučene galerije skupaj približno 1,5 km in se nahajajo med 150 in 245 metri nadmorske višine.*

*Spodnji nivo, v katerega vstopamo z zgornjega prek zaporednih brezen in rogov, se razvija subhorizontalno na približno 90 m nadmorske višine; zajema razvejan sistem rogov, kjer nahajamo tudi hidrogeološke pojave (tod se pretaka nekaj podzemnih rokavov Timave) in ki merijo skoraj 4 kilometre. Dostop do spodnjih rokavov je odkrila in prvič raziskala skupina jamarjev iz Trsta leta 1975; skozi ta del jame teče stalni vodni tok, ki je še neraziskan; obstaja še drug rokav, ki ga zaznamuje skupek večjih jezer.*

*Trenutno se z raziskovanjem ukvarja več znanstvenih ekip, ki prihajajo iz različnih držav; izsledki njihovega delovanja z leti nadgrajujejo in izpopolnjujejo naše znanje o tem pomembnem kraškem sistemu.*

*Vse do danes je bilo raziskanih in popisanih že 8,6 km Kačje jame vse do globine 279 m, kar ustreza nadmorski višini 156 m.*

*Med visokim vodostajem Timave se nivo vode lahko povzpne tudi do 80-90 metrov ter tako poplavi zgornji nivo rogov.*

*Kačna jama je del kompleksnega in široko razprostrtega sklopa jam (povezave med njimi še niso raziskane), ki povezuje Škocjanske jame, Kačno jama in Brezno treh generacij. Slednje je bilo odkrito nedavno (leta 2010) in njegovo dno se nahaja na isti globini kot jezero Phare na skrajnem jugovzhodnem delu novih rogov Kačne jame.*

*Skupen obseg tega obsežnejšega jamskega sistema naj bi v dolžino meril več kot 15 km.*

pianta superiore ai 100 m sono 128, mentre quelle in Slovenia sono 116. Una decina solamente hanno uno sviluppo superiore ai 1000 m. Sulla base del rapporto (S/P) tra sviluppo orizzontale (S) e profondità (P), definito in Zini et al., (2011) possono essere riconosciute tre tipologie di grotte:

- a) HC: cavità a prevalente sviluppo sub-orizzontale o debolmente inclinato in cui  $S/P \geq 1,3$ ;
- b) VC: cavità a prevalente sviluppo verticale in cui  $S/P \leq 0,7$ ;
- c) CC: cavità complesse con  $0,7 < S/P < 1,3$ .

L'analisi realizzata ha messo in evidenza che circa il 45% delle cavità ha un prevalente sviluppo orizzontale, mentre il 30% ha un prevalente sviluppo verticale. Il 25% circa ha una forma complessa, in cui i pozzi si alternano a tratti orizzontali.

Fra le centinaia di cavità, solo alcune sono sufficientemente profonde da interessare la falda di base o da essere raggiunte dalle acque durante le piene. Alcune di esse hanno importanza storica e scientifica in quanto sono state monitorate per periodi più o meno lunghi. Fra queste:

### 2.2.1 Grotte di San Canziano

Dopo un percorso superficiale di circa 40 km, nelle vicinanze dell'abitato di Divaccia-Škocjan (San Canziano) il fiume Reka-Timavo Superiore si inabissa nel complesso di gallerie sotterranee delle Grotte di San Canziano (Škocjanske Jame). L'acqua del fiume entra in una cavità lunga complessivamente più di 6 km e attraversa alcune doline di crollo molto profonde: la Mala dolina con i suoi 120 m di profondità e la Velika dolina con 165 m. Da qui il fiume, dopo aver percorso circa 3 km di una gigantesca forra (Šumeča jama e Podzemni kanjon Reka) con 26 cascate, scompare in un sifone del Lago Morto (Mrtvo jezero) a 212 m s.l.m. La cavità ha inoltre un imponente ramo secondario riccamente concrezionato e non percorso attualmente dalle acque (Tiha jama e Velika dvorana). L'UNESCO, nel 1986 ha dichiarato questa grotta e l'area circostante, Patrimonio Mondiale Naturale dell'Umanità (UNESCO World Heritage).



### 2.2.3 Labodnica pri Trebčah

*Labodnica pri Trebčah* je najbolj znana jama na tržaškem Krasu. Leta 1841 jo je odkril Antonio Federico Lindner pri iskanju virov pitne vode za potrebe mesta Trst in takrat so jo po nekaj mesecih izkopavanj tudi opremili za dostop. Jamo, ki je last občine Trst, trenutno upravlja jamarsko društvo Società Adriatica di Speleologia; opremljena je s fiksno lestvijo.

*Dolga leta je veljala za eno najglobljih jam na svetu; v preteklosti in vse do današnjih dni je ohranila središčno vlogo pri raziskovanju kraške hidrogeologije, saj je postala pomemben podzemni znanstveni laboratorij.*

*Vhod v brezno se nahaja v bližini državne meje ob manjši dolini med Trebčami in Fernetiči. Jama meri 920 m, globoka je 354 m in v njej se nahaja okrog dvajset brezen, globokih od 2 do 50 m, prek katerih je mogoč dostop do Lindnerjevega rova in v številne stranske rove. Široka končna dvorana, skozi katero se pretaka rokav Timave (Slika. 2.9), je*

**Figura 2.9**  
Le acque del Timavo nell'Abisso di Trebiciano.  
Foto: U. Tognolli

**Slika 2.9**  
Reka Timava v Labodnici pri Trebčah.  
Fotografija: U. Tognolli



## 2.2.2 Abisso dei Serpenti

L'Abisso dei Serpenti è un grandioso complesso ipogeo che si sviluppa nei calcari cretaci a circa 1 km ad ovest dell'abitato di Divača. È uno dei primi punti, dopo San Canziano, in cui si intercettano le acque del Timavo sotterraneo. La cavità fu esplorata per la prima volta nel 1895. L'abisso si apre a quota 445 m s.l.m. e si presenta con un pozzo di accesso profondo 213 m che conduce ad un sistema più vasto di gallerie distribuite su due livelli.

Il livello superiore è idrogeologicamente inattivo ma riccamente concrezionato; in questo tratto le gallerie censite si sviluppano per circa 1,5 km e sono comprese tra le quote di 150 e 245 m s.l.m..

Il livello inferiore, a cui si accede dal livello superiore attraverso una serie di pozzi e gallerie, si sviluppa sub-orizzontalmente restando a quota di circa 90 m s.l.m e consiste in un articolato sistema di gallerie idrologicamente attive (vi passano alcuni rami del Timavo sotterraneo) che si sviluppano per una lunghezza complessiva di quasi 4 km. L'accesso ai rami inferiori è stato scoperto ed esplorato per la prima volta nel 1975 da un gruppo di speleologi triestini e ospita un corso d'acqua perenne di cui non si conoscono ancora le portate reali; mentre un altro ramo è caratterizzato da una serie di grandi laghi.

Attualmente molti gruppi speleologici, provenienti da varie nazioni, sono impegnati nell'attività di esplorazione ed è grazie al loro contributo che di anno in anno le conoscenze di questo imponente sistema carsico sono arricchite ed aggiornate.

Ad oggi i tratti censiti nell'Abisso dei Serpenti raggiungono uno sviluppo complessivo di più di 8,6 km fino ad una profondità complessiva di 279 m che corrisponde alla quota 156 m s.l.m.

Durante le piene più significative del Timavo, il livello delle acque può risalire anche di 80-90 m fino ad allagare il livello di gallerie superiore.

L'Abisso fa parte di un più complesso ed esteso insieme di cavità (non ancora speleologicamente connesse) che collega le Grotte di San Canziano (*Škocjanske jame*, in Slovenia), la *Kačna Jama* e l'Abisso delle tre generazioni (*Brezno treh generacij*). Quest'ultimo è stato scoperto solo recentemente (2010) e la sua quota di fondo coincide con quella del lago *Phare* situato nell'estremità sud-orientale delle gallerie nuove della *Kačna Jama*.

*v večjem delu napolnjena z rečnimi naplavinami in ostanki udorov. Naj-novejše jamarsko-potapljaške raziskave so potrdile prisotnost večjih poplavljenih dvoran, ki segajo še nadaljnjih 25 m v globino in so dolge vsaj 100 m: v teh vodah živi proteus (človeška ribica) in veliko število drugih jamskih organizmov (manjših vretenčarjev).*

## 2.2.4 Jerkova jama

*Jerkova jama se nahaja v bližini Cola pri Repentabru na nadmorski višini 302 m, 3,5 km od Labodnice v smeri proti severu. Jama je pretežno navpična in ima številna brezna, ki vodijo v široke dvorane; na dnu se pretaka eden od podzemnih rokavov Timave. Razdalja med vhodnim in izhodnim sifonom meri 340 m, jama je v celoti dolga približno 450 m. Raziskovanje jame, ki se je pričelo leta 1987, je zahtevalo veliko truda in težka izkopavanja, ki so jih opravili jamarji skupine Commissione Grotte E. Boegan. Izkopna dela so večkrat opustili in z njimi ponovno nadaljevali, dokler se niso leta 1999 zaključila z odkritjem stalnega vodnega toka Timave na nadmorski višini približno 4 m. Z geološkega vidika je ta jama tesno povezana z Labodnico pri Trebčah; podobno kot v Labodnici je namreč mogoče tudi tu opaziti skoraj 300 metrov dolgo zaporedje usedlin, 200 m dolomitskih apnencev repentaborske formacije, nad katerimi so nabrežinski apnenci, bogati z delci rudistov. Geološka struktura tudi v tem primeru pogojuje sosledico podzemnih prostorov.*

*Rovi na dnu jame so poplavljeni; zanje so značilni temni in sivi dolomiti z neenakomerno plastnostjo. Morfološka zgradba jamskih obokov in sten je posledica rušenja kamnitih plasti in podorov, medtem ko je dno napolnjeno z ostanki teh podorov, skal, peskov in ilovico. Vzorčevanje voda na dnu jame je kljub nerednim analizam omogočilo opredelitev v facies kalcijevega bikarbonata, ki je zelo podoben faciesu vode, analizirane v Labodnici, medtem ko so vidne razlike s primerjavo vode reke Reke (zgornje Timave); jamska voda vsebuje več kalcija in bikarbonata ter ima manj magnezija. Najvišji zabeleženi nivo vode je dosegel 30 m nadmorske višine, vendar so tudi v stenah nekaterih brezen vidni znaki vodnega nivoja, ki lahko doseže do 70 m nadmorske višine.*

Lo sviluppo complessivo di questo sistema più ampio di cavità risulterebbe così, lungo più di 15 km.

### 2.2.3 Abisso di Trebiciano

L'Abisso di Trebiciano è la grotta più nota tra le tante presenti sul Carso. È stata scoperta e resa agibile nel 1841, dopo mesi di duri lavori di scavo, da Antonio Federico Lindner nell'ambito delle ricerche di fonti di acqua potabile per la città di Trieste. Di proprietà del Comune di Trieste, oggi la cavità è gestita dalla Società Adriatica di Speleologia ed è attrezzata con scale fisse.

A lungo è stata una delle grotte più profonde del mondo e ha avuto, come ha tuttora, un ruolo molto importante nelle indagini sull'idrogeologia carsica, essendo divenuta un importante laboratorio scientifico sotterraneo.

L'ingresso dell'Abisso si trova nei pressi del confine di Stato sul fianco di una piccola dolina fra Trebiciano e Ferneti. Nel suo complesso la cavità ha uno sviluppo planimetrico complessivo di 920 m, una profondità di 354 m e consta di una ventina di pozzi, profondi dai 2 ai 50 m, attraverso i quali si accede alla Caverna Lindner e a numerose diramazioni secondarie. L'ampio vano finale, lungo il quale scorre un ramo del Timavo (Figura 2.9), è per la gran parte riempito da depositi alluvionali e di crollo. Recenti esplorazioni speleosubacquee hanno accertato la presenza di ampi vani allagati per ulteriori 25 m in profondità e 100 m in lunghezza: in queste acque vivono il proteo ed un gran numero di altri organismi ipogei (piccoli invertebrati).

### 2.2.4 Grotta Meravigliosa di Lazzaro Jerko

La Grotta Meravigliosa di Lazzaro Jerko si apre a Zolla di Monrupino alla quota di 302 m s.l.m. e a 3.5 km a nord dell'Abisso di Trebiciano. La cavità è ad andamento prevalentemente verticale, con numerosi pozzi che conducono a due ampie caverne, sul cui fondo scorre un ramo del Timavo sotterraneo. La distanza tra il sifone di entrata e quello di uscita è di 340 m, lo sviluppo complessivo della grotta è di circa 450 m.

L'esplorazione, iniziata nel 1987, ha comportato notevoli fatiche e difficili lavori di scavo che sono stati condotti dagli speleologi della Com-

### 2.2.5 Briška jama

*Briška jama je bila vključena v Guinnessovo knjigo rekordov kot največja turistična podzemna dvorana na svetu: obsega jamsko votlino, ki je dolga 167 m, široka 76 m in visoka 99 m, njena skupna prostornina pa znaša 365.000 m<sup>3</sup>. Prvič jo je leta 1840 raziskal Antonio Federico Lindner, inženir mineralogije, ki se je v prvi polovici 19. stoletja podal v raziskovanje podzemnega toka Timave in ga je nazadnje odkril v jami Labodnici pri Trebčah. V turistične namene so Briško jamo odprli leta 1908 in danes je povsem dostopna obiskovalcem, odlično razsvetljena in bogata s čudovitimi jamskimi tvorbami. V šestdesetih letih so nekateri jamarji skupine Commissione Grotte E. Boegan pričeli z izkopom v stranskem breznu ter tako dosegli globino 252 m (z nadmorsko višino 23 m). Na dnu tega brezna se občasno nabira voda, obilnejša v primeru padavin, ki odteka v globine skozi naravno oblikovan rov. Le ob izrednem vodostaju podzemnih voda Timave se brezno delno napolni z vodo. Morfološke značilnosti, osrednja lokacija znotraj območja klasičnega Krasa, dostopnost, električna napeljava in stalna prisotnost osebja so dejavniki, ki so z leti omogočili namestitev raznih merilnih naprav za geološki nadzor tako znotraj jame kot ob njej (Slika 2.10). Zaradi celotnega sklopa teh naprav je danes Briška jama prava znanstvena postajanka, študijsko središče za različna področja znanosti o Zemlji.*

*Znotraj jame se namreč nahajajo seizmološka postaja Nacionalnega inštituta za oceanografijo in eksperimentalno geofiziko (Istituto Nazionale di Oceanografia e Geofisica Sperimentale – INOGS), horizontalna nihala in klinometri Oddelka za matematiko in geoznanosti (Dipartimento di Matematica e Geoscienze) Univerze v Trstu, merilne naprave za vodna slezenja in kapljanja ter konkrecijo (z njimi upravlja planinsko društvo Società Alpina delle Giulie CAI TS v sodelovanju z Oddelkom za matematiko in geoznanosti tržaške Univerze), senzorji za stalni nadzor radona (ARPA FVG - Deželna agencija za okolje) in sonda za stalni nadzor nivoja, temperature in električne prevodnosti talnih voda (Oddelek za matematiko in geoznanosti tržaške Univerze). Zunaj jame se nahajajo še druge merilne naprave, kot na primer meteorološka postaja inštituta ISMAR (Istituto di Scienze Marine – CNR) in nekatere naprave za spremljanje kraške disolucije (TMEM), ki delujejo že od leta 1979.*



missione Grotte “E. Boegan”. Questi lavori sono stati abbandonati e ripresi più volte fino a concludersi nel 1999 con la scoperta di un corso d’acqua (Timavo) permanente ad una quota di circa 4 m s.l.m.

Dal punto di vista geologico, la cavità è in stretta correlazione con l’Abisso di Trebiciano ed anche qui, come a Trebiciano, è possibile osservare quasi 300 m di successione sedimentaria, 200 m nelle dolomie calcaree della Formazione di Monrupino seguiti verso l’alto dai Calcari di Aurisina ricchi in frammenti di rudiste. Lo sviluppo dei vani, come spesso accade, è condizionato dall’assetto geologico strutturale.

Le gallerie di fondo sono allagate e si sviluppano in dolomie nerastre e grigie irregolarmente stratificate. La morfologia delle volte e delle pareti è il risultato di crolli e ribaltamenti mentre il fondo è ingombro di materiale crollato, detriti, sabbia e limo.

I monitoraggi delle acque di fondo, seppur saltuari, hanno permesso di identificare una facies bicarbonato – calcica molto simile a quella delle acque analizzate nell’Abisso di Trebiciano, mentre rispetto all’acqua del *Reka* (Timavo superiore) le differenze sono più evidenti: l’acqua nella grotta è più ricca di calcio e bicarbonato e più povera percentualmente di magnesio.

Il livello dell’acqua massimo registrato è stato di 30 m s.l.m., ma sulle pareti dei pozzi sono evidenti segni di risalita fino a 70 m s.l.m.

### 2.2.5 Grotta Gigante

La Grotta Gigante è stata inserita nel libro del Guinness dei Primati dove risulta essere la cavità turistica più ampia al mondo: consiste in una caverna lunga 167 m, larga 76 m e alta 99 m, per un volume totale di 365.000 m<sup>3</sup>.

È stata esplorata per la prima volta nel 1840 dall’ingegnere minerario Antonio Federico Lindner. Resa turistica nel 1908, è oggi facilmente visitabile, ottimamente illuminata, splendidamente concrezionata.

Negli Anni Sessanta alcuni speleologi della Commissione Grotte “E. Boegan” iniziarono uno scavo alla base di un pozzo laterale che oggi raggiunge la profondità di 252 m a quota 23 m s.l.m.

Al fondo di questo pozzo occasionalmente affiora dell’acqua, più abbondante in caso di precipitazioni, che si inabissa attraverso una con-

### 2.2.6 Lisičja luknja

*Jama Lisičja luknja se nahaja na dnu kraške doline v bližini vasi Slivno na nadmorski višini 179 m, v središču tržaškega klasičnega Krasa, na območju, kjer so se na površju razvile zanimive in nenavadne kraške oblike. Jama obsega 825 m dolg rov, ki se rahlo spušča in se v nekat-*



**Figura 2.10**  
**La Grotta**  
**Gigante.**

**Slika 2.10**  
**Briška jama.**

dotta naturale. Solo in occasione delle piene importanti del Timavo sotterraneo, il pozzo si riempie parzialmente per l'emersione delle acque di falda.

Le caratteristiche morfologiche, la posizione centrale nel Carso Classico, la facilità d'accesso, la disponibilità dell'elettricità e di personale, hanno facilitato negli anni, il posizionamento all'interno e all'esterno della grotta, di alcune stazioni scientifiche di monitoraggio geologico (Figura 2.10).

L'insieme di queste apparecchiature rende oggi la Grotta Gigante una vera e propria stazione sperimentale scientifica, un punto di riferimento per lo studio nei diversi campi delle Scienze della Terra.

Infatti, all'interno della cavità sono presenti: la stazione sismologica dell'INOGS (Istituto Nazionale di Oceanografia e Geofisica Sperimentale), i pendoli orizzontali e i clinometri del DMG (Dipartimento di Matematica e Geoscienze) dell'Università di Trieste, le stazioni di misura della percolazione e del concrezionamento (gestiti dalla Società Alpina delle Giulie-CAI TS in collaborazione con il DMG), i sensori di monitoraggio in continuo del gas Radon (gestiti da ARPA FVG – Agenzia Regionale per l'Ambiente), la sonda per il monitoraggio in continuo di livello, temperatura e conducibilità elettrica delle acque di fondo (DMG). All'esterno della cavità ci sono altre apparecchiature di monitoraggio come la stazione meteorologica gestita dall'ISMAR (Istituto di Scienze Marine – CNR) e alcune stazioni di misura della dissoluzione carsica (tramite dispositivo TMEM) attive già dal 1979.

### 2.2.6 Grotta Antonio Federico Lindner

La Grotta Lindner si apre sul fondo di una dolina in località Slivia a 179 m di quota. Il sito si trova al centro del Carso Classico triestino in una zona dove si sono sviluppate interessanti e peculiari forme carsiche superficiali. La cavità consiste in una galleria lunga 825 m, in lieve discesa e a tratti anche molto ampia, che raggiunge i 9 m s.l.m. A metà circa della caverna si aprono alcuni pozzi e diramazioni laterali che conducono ad un'altra piccola sala il cui fondo si trova a quota di circa 2 m s.l.m. e ove è installato uno strumento di monitoraggio.

Durante le piene del Timavo sotterraneo, la cavità si allaga parzial-

*rih odsekih zelo razširi ter tako doseže globino 9 m nadmorske višine. Približno na polovici jame je nekaj brezen in stranskih rovov, ki vodijo do druge manjše dvorane na nadmorski višini okrog 2 m; tu je nameščena merilna naprava. Med visokim vodostajem podzemnih voda Timave je jama delno preplavljena, saj je tesno povezana z vodostajem izvirov, oddaljenih 6,8 km. Povišan nivo vode traja nekaj dni in je povezan s količino padavin.*

### 2.2.7 Izviri Timave

*Izviri Timave, imenovani tudi vrelci, bruhalniki ali pomotoma ustja, se nahajajo v Štivanu pri Devinu: predstavljajo glavni sistem izvirov klasičnega Krasa, zajemajo pa štiri večje vodne žile v treh rokavih. Vode, ki napajajo reko Timavo, se po približno 3 kilometrih izlivajo v Jadransko morje v Tržiškem zalivu.*

*Prvi rokav je opremljen s premično zapornico in z odcepnim kanalom v smeri proti papirnici; glavne vodne žile drugega in tretjega rokava so pregrajene z dvema pretočnima kanaloma, ki tvorita dva bazena, katerih nivo uravnavata zapornici. S tem se nadzira višina vodne gladine izvirov in se preprečuje vdor morske vode.*

*Z raziskavami podzemlja so bile odkrite povezave med štirimi vodnimi žilami, ki predstavljajo končni del zelo razvejanega sistema podzemnih kanalov, ki so poplavljeni ter se spuščajo do 83 metrov pod morsko gladino, skupna dolžina teh kanalov pa meri približno 1500 metrov. Speleologi so tudi odkrili povezavo med izvirskim sistemom in bližnjo jamo (Pozzo dei Colombi).*

*Tu je podjetje AcegasApsAmga vse do devedesetih let prejšnjega stoletja črpalo vodo za oskrbo mesta Trst. Danes se timavski izviri prištevajo med rezervne vodne vire in občasno prispevajo manjše količine pitne vode za preskrbo mesta in zaledja (okrog 20 odstotkov).*

*Kraški podzemni vodni viri so rezultat vsaj nekaj deset milijonov let trajajočih razvojnih sprememb, med katerimi je začetni fazi nastajanja podzemnih tvorb sledilo še dolgo obdobje širitve prostorov v freatičnih pogojih. Med to fazo je na vodno omrežje - s pretakanjem vode povečini iz jugovzhodne proti severozahodni smeri, to je proti izvirskemu pasu na zahodnem območju – najverjetneje vplivalo sosledje propustnih slojev*





**Figura 2.11**  
Esplorazioni speleosubacquee nella  
Grotta dei Colombi in prossimità  
delle Sorgenti del Timavo.  
Foto: Paolo Guglia

**Slika 2.11**  
Spust jamarjev-potopljačev v Jamo  
pri Štivanu ob izviri reke Timave.  
Fotografija: Paolo Guglia

mente, in stretta relazione con il regime delle acque alle sorgenti poste a 6,8 km di distanza. Gli episodi di innalzamento del livello hanno una durata di parecchi giorni e una frequenza correlata con le precipitazioni.

### 2.2.7 Le gallerie delle Sorgenti del Timavo

Le Sorgenti del Timavo, dette anche risorgive, risorgenze o, erroneamente, Foci, sono in località San Giovanni di Duino: rappresentano il sistema sorgivo principale del Carso Classico, consistente in quattro polle raccolte in tre rami. Le acque che confluiscono nel fiume Timavo, percorrono 3 km circa e sboccano nel Mare Adriatico, Golfo di Panzano.

Il 1° ramo è dotato di una paratoia mobile e di una derivazione per la Cartiera del Timavo, le polle principali del secondo e del 3° ramo sono sbarrate da due stramazzi che vanno a formare due bacini, il cui livello è regolato da paratoie. Il tutto per regolare le altezze delle acque sorgive ad evitare contaminazione da acque marine.

Esplorazioni speleosubacquee hanno rilevato le interconnessioni tra le quattro polle, recapiti di un articolato complesso ipogeo allagato di gallerie intrecciate e ampie che giunge fino a 83 m sotto il livello del mare ed ha 1500 m di sviluppo totale. Gli speleosubacquei hanno inoltre verificato il collegamento tra il sistema sorgivo e il Pozzo dei Colombi (Figura 2.11).

Da qui, fino agli anni '90 del secolo scorso, AcegasApsAmga attingeva acqua per alimentare l'acquedotto della città di Trieste. Attualmente le Sorgenti (Timavo e Sardos) sono considerate una fonte di approvvigionamento di riserva e contribuiscono saltuariamente con pochi m<sup>3</sup>/s alle acque per la città e l'altopiano (circa il 20% del totale).

Il reticolo carsico ipogeo è il risultato di almeno una decina di milioni di anni di evoluzione, durante i quali all'iniziale fase speleogenetica è seguito un lungo periodo di ampliamento dei vani in condizioni di freaticità. Durante questa fase, con movimento delle acque prevalente da SE verso NW, cioè verso la zona sorgentifera nel settore occidentale, la gerarchizzazione del reticolo è probabilmente stata condizionata dagli strati più aperti e continui e dalle discontinuità persistenti alle quali le spinte tettoniche conferivano maggior apertura e quindi permeabilità.

Quasi sicuramente alla crisi di salinità del Messiniano, 6-5 milioni di anni fa, è seguita una fase in cui il gradiente è bruscamente e notevol-

*ali razpok, na katere so vplivali tektonski premiki, ki so še povečevali prepustnost.*

*Skoraj zagotovo je v Messinijski krizi slanosti pred 6-5 milijoni let sledila faza, med katero se je gradient naenkrat znatno povečal, kar je posledično povzročilo vsesplošno znižanje podzemnih votlin zaradi erozije in korozije in ustvarilo še nove globoke jamske soteske. Zatem je nastopila faza prilagajanja z znatnim udiranjem in usedanjem materialov, ki so celo zapolnili in pregradili dotedanje glavne smeri odtoka ter posledično odprli nove odtoke. Medtem se je razvoj nadaljeval s procesi konkrecije, nastopile so nove zapolnitve, erozijske spremembe in še drugi podori. Ta proces so spremljala tudi nihanja tal in podnebne spremembe.*

*Zagotovo je nam najbližja tista faza, med katero so se povečale in razširile vertikalne ali subvertikalne odprtine vadoznega pasu. Večino poznanih jam in votlin predstavljajo danes brezna; povečini niso globoka, saj so jih zasuli in zaprli udori ali nakopičen material. Veliko brezen sega do drugih rovov in votlin, ki tako tvorijo kompleksne in obsežne jame.*

*Kraški pojavi v hidrostrukturi na območju kasičnega Krasa segajo danes vsaj do 150-200 m pod morsko gladino, zaobjemajo raznovrstne vodne poti, razne rove in brezna, ki so med seboj povezani in večinoma povsem poplavljeni.*

*Za epifreatski pas je značilna razvejana mreža manjših odprtin, ki zagotavljajo učinkovit in hiter površinski odtok v globine. S površine se stekajo številni med seboj povezani odvodni kanali, ki enako učinkovito skrbijo za odtekanje teh vod v smer delnega nihanja in posledično v zasičeno cono. Konkrecije, udorne skale in rečne usedline spreminjajo obliko in velikost odprtin ter vplivajo na lokalno večanje ali manjšanje prepustnosti. Za klasični Kras je značilno široko, zmogljivo in dobro povezano drenažno omrežje, ki je učinkovito razvejano ter lahko po eni strani zagotavlja hiter pretok vode iz površinskih točk pa vse do globin in do morja, po drugi strani pa zagotavlja statične rezerve praktično neomejenih količin sladke vode.*



mente aumentato, il che ha innescato un generale complessivo abbassamento per erosione e corrosione dei vani, con la genesi di profonde forre. A ciò ha fatto seguito una fase di adeguamento dei vani, con grandi crolli e depositi di riempimento anche tanto imponenti da sbarrare le vie principali di deflusso con conseguente apertura di nuove vie. Nel mentre, l'evoluzione procedeva con concrezionamenti, altri riempimenti, episodi prevalentemente erosivi, altri crolli. Il tutto a seguire le oscillazioni del livello di base e le variazioni climatiche.

Sicuramente più recente è la fase durante la quale si sono moltiplicati ed allargati i vani verticali o subverticali della zona vadosa. I pozzi oggi costituiscono l'assoluta maggioranza delle cavità note anche se solitamente non hanno grandi profondità perché occlusi da crolli o riempimenti. Molti di loro intercettano gallerie o caverne, dando accesso a cavità complesse ed estese.

Oggi l'idrostruttura carsica del Carso Classico è sicuramente carsificata almeno fino a 150-200 m di profondità sotto il livello del mare, contiene ampie ed estese vie d'acqua quali gallerie e pozzi tra loro collegati, in buona parte completamente allagati.


La zona epifreatica è interessata da un minuto e diffuso reticolo di discontinuità beanti che sono in grado di drenare efficacemente e rapidamente le acque in profondità. Il reticolo superficiale fa capo a numerosissimi dreni intercomunicanti che altrettanto efficacemente drenano le acque verso la zona di oscillazione e la zona satura. Il concrezionamento, i depositi di crollo e alluvionali, modificano forma e dimensioni dei vani, portano a locali aumenti o diminuzioni della permeabilità. Comunque sia, il Carso Classico contiene al suo interno una vastissima, potente e ben collegata rete di dreni efficacemente gerarchizzati, in grado da un lato di trasferire con velocità le acque dai punti di assorbimento ai recapiti di fondo e a mare, dall'altro di contenere riserve statiche con volumi praticamente inesauribili di acqua dolce.



**A) Il Reka in inverno.  
B) Sablici.**

**A) Reka Reka pozimi.  
B) Sabliči.**





Il Reka a San Canziano.

*Reka Reka pri Škocjanu.*



# Il modello idrogeologico

## *Hidrogeološki model*

LUCA ZINI, FRANCO CUCCHI, CHIARA CALLIGARIS

Dipartimento di Matematica e Geoscienze, Università degli Studi di Trieste

### 3.1 L'acquifero del Carso Classico

Nelle case di Trieste così come in quelle del Carso sloveno e italiano, quando si apre il rubinetto, escono acque che hanno storie e origini diverse. Una parte di esse proviene dai sistemi di acquiferi della Pianura Isontina, estratte a circa 150-200 m di profondità, ma considerevole è anche il contributo dovuto alle acque ipogee del Carso Classico: il 100% di quelle dell'acquedotto sloveno e circa il 20% di quelle italiane. Le acque sono contenute all'interno dell'idrostruttura carsica e fluiscono attraverso i grandi condotti e le miriadi di piccole fratture che suddividono l'ammasso roccioso carbonatico. Il Carso Classico si estende su un'area di circa 750 km<sup>2</sup> dal fiume Isonzo al mare Adriatico e fino all'abitato di Postumia. Formalmente è suddiviso tra Italia e Slovenia, ma è invece sede di un unico acquifero che non ha confine e che è alimentato dalle precipitazioni, dalle perdite dell'acquifero alluvionale della piana dell'Isonzo e dalle acque del fiume Reka, che dal momento in cui si inabissa presso le grotte di San Canziano prende il nome di Timavo. Da un punto di vista idrogeologico l'acquifero è caratterizzato dalla presenza di due litotipi: le rocce carbonatiche, estremamente carsificate e ad elevata permeabilità per fessurazione e carsimo, ed il flysch, caratterizzato complessivamente da bassa permeabilità. Il forte contrasto di permeabilità tra queste due unità litologiche congiuntamente ai gradienti idraulici che si generano in seno al Carso giocano un ruolo importante nelle modalità di ricarica, di deflusso e di emersione delle acque dal sistema. I fianchi settentrionale e meridionale in flysch dell'anticlinorio, costituiscono due barriere laterali e continue

### 3.1 Vodonosnik klasičnega Krasa

*Ko v tržaških, pa tudi v kraških slovenskih in italijanskih domovih priteče voda iz pip, le-ta s seboj prinese bogate zgodbe o raznolikih virih. Del vode prihaja iz vodonosnih sistemov Soške nižine, kjer se zajetja nahajajo v globini približno 150-200 m, znaten del voda pa priteka iz vodonosnika klasičnega Krasa: slovenski vodovod se z njimi napaja v 100-odstotnem deležu, italijanski vodovodni sistem pa črpa iz tovrstnih podzemnih virov 20 % vode. Podzemne vode so zbrane znotraj kraškega vodonosnika in tečejo skozi velike kanale in nešteto razpok, ki preprečajo apnenčaste kamnite gmote. Klasični Kras se razteza na območju, ki zajema približno 750 km<sup>2</sup> od reke Soče in Jadranskega morja do Postojne. Uradno se deli na italijanski in slovenski del, vendar predstavlja enoten vodonosnik, ki ne pozna meja in ki se napaja s padavinami, z izcejanjem iz aluvialnega vodonosnika Soške nižine ter z vodnim tokom reke Reke, ki ponika v Škocjanske jame in se pojavi na površju v izvirih Timave. S hidrogeološkega vidika je vodonosnik opredeljen z dvema prisotnima litološkima tipoma: karbonatne kamnine z visoko stopnjo zakraselosti in zelo dobro prepustnostjo ter fliš z značilno slabo prepustnostjo. Velika razlika v prepustnosti obeh omenjenih litoloških enot ustvarja znotraj Krasa hidravlične gradiente, ki imajo pomembno vlogo pri načinu napajanja, pretakanja in iztekanja voda iz sistema.*

*V hidrološkem smislu lahko v grobem ločimo 3 območja:*

- *območja požiralnikov, ki se nahajajo na severozahodnem in jugozahodnem delu, kjer površinske vode z nekraških obrobij (Soča-*



alla carsificazione, delimitando pertanto l'idrostruttura carsica, che in linea di massima può essere suddivisa in 3 settori:

- aree degli inghiottitoi presenti nei settori nord-occidentali e sud-orientali, dove le acque superficiali provenienti da bacini non carsici (Isonzo-Vipacco, Raša e Reka) vengono inghiottite in profondità e vanno ad alimentare le acque della falda carsica (alimentazione allogenica);
- altopiano del Carso Classico dove si registra l'infiltrazione diffusa delle precipitazioni (alimentazione autogena);
- stretta fascia lungo la costa del Golfo di Trieste da Aurisina a Monfalcone dove le acque riemergono dando vita ad un articolato sistema di laghi e sorgenti.

### 3.1.1 Gli inghiottitoi

Le acque della falda della Pianura Isontina vengono assorbite nell'idrostruttura del Carso Classico lungo una fascia pedecollinare di una decina di chilometri posta a ridosso dell'altopiano carsico e compresa tra gli abitati di Sagrado e Merna (Timeus, 1928; Mosetti & D'Ambrosi, 1963; Gemiti & Licciardello, 1977; Cancian, 1987; Doctor et al., 2000; Samez et al., 2005). Si tratta di un contributo significativo che è stato stimato abbia valore medio di 10 m<sup>3</sup>/s (Zini et al. 2013)

Nel settore sud-orientale si identificano due aree di ricarica allogenica: gli inghiottitoi lungo il corso del fiume Raša e gli inghiottitoi del fiume Reka. I primi sono rappresentati da un serie di punti di assorbimento aperti lungo i tributari del Raša al contatto fra flysch e calcari. I secondi, ben più importanti da un punto di vista quantitativo, sono quelli competenti al fiume Notranjska Reka (Timavo Superiore) che viene totalmente inghiottito nelle maestose Grotte di San Canziano (Škocjanske Jame) e nel tratto di alveo immediatamente a monte. La Notranjska Reka, che nasce alle pendici del monte Dletvo al confine tra Slovenia e Croazia, drena un bacino di oltre 400 km<sup>2</sup> e scorre per oltre 50 km su terreni in facies di flysch finché giunge nei pressi dell'abitato di Gornje Vreme. Da questo punto in poi per 7 km fino alle grotte di San Canziano, il fiume fluisce sui calcari e nel greto si hanno le prime perdite, che durante i periodi estivi possono portare il fiume praticamente in secca. Talvolta si

-Vipava, Raša in Reka) ponikajo v globino in tako napajajo kraško podtalnico (alogeno napajanje);

- planota klasičnega Krasa z razpršeno infiltracijo padavin (avtogeno napajanje);
- ozek obmorski pas ob Tržaškem zalivu od Nabrežine do Tržiča, kjer voda privre na dan ter tako ustvarja z jezeri in izviri bogato pokrajino.

#### 3.1.1 Požiralniki

Vode iz aluvija Soške nižine se izcejajo v vodonosnik klasičnega Krasa vzdolž gričevnatega pasu, ki se razteza nekaj deset kilometrov po pobočju kraške planote, med naselji Zagraj in Miren (Timeus, 1928; Mosetti & D'Ambrosi, 1963; Gemiti & Licciardello, 1977; Cancian, 1987; Doctor et al., 2000; Samez et al., 2005). Gre za pomemben prispevek, ki je ocenjen na srednjo vrednost 10 m<sup>3</sup>/s (Zini et al. 2013).

V jugovzhodnem delu izstopata dve območji alogenega napajanja: požiralniki vzdolž toka reke Raše in požiralniki reke Reke. Prvi tip požiralnikov se pojavlja v obliki zaporednih mest ponikanja, ki se odpirajo vzdolž pritokov reke Raše in ležijo na stiku med flišem in apnencem. Drugi požiralniki, ki so z vidika številčnosti pomembnejši, so tisti, vezani na reko Reko (zgornji tok Timave), ki v celoti ponikne v veličastne Škocjanske jame in se že pred njimi deloma izgublja v strugi. Reka, ki



Figura 3.1  
Inghiottitoio lungo il  
corso del Reka presso  
Vreme.

Slika 3.1  
Ponor vzdolž reke Reke  
pri Vremah.



aprono dei veri e propri inghiottitoi sul letto del corso d'acqua che catturano tutte o parte delle acque (Figura 3.1). Questi sinkholes, che nel passato venivano immediatamente "tappati" per non interrompere l'attività dei mulini, oggi vengono riempiti in modo naturale dal fiume stesso con le sue alluvioni (Cucchi & Forti, 1981) durante le piene successive. La Notranjska Reka entra nelle grotte di San Canziano, lunghe complessivamente più di 6 km, alla quota di 317 m s.l.m., attraversa alcune doline di crollo molto profonde (la Mala dolina ha 120 m di profondità e la Velika dolina ne ha più di 165) e dopo aver percorso circa 3 km di una gigantesca forra con una trentina di cascate/rapide, scompare in un sifone del Lago Morto a 212 m s.l.m. La Reka, che drena un bacino con piovosità media tra i 2.000 e i 2.600 mm/anno, ha una portata estremamente variabile, compresa tra i 305 m<sup>3</sup>/s in piena e i 0,18 m<sup>3</sup>/s in magra con valori medi di 8,26 m<sup>3</sup>/s (Gabrovšek & Peric, 2006).

### 3.1.2 L'infiltrazione diffusa

L'infiltrazione efficace contribuisce in modo estremamente significativo all'alimentazione dell'acquifero sia per l'estensione del bacino di ricarica (alcune centinaia di km<sup>2</sup>) che per la piovosità che è compresa mediamente tra i 1.000 mm/anno sulla costa e i 1.800 mm/anno nelle zone più interne. La scarsa copertura vegetale e i suoli poco potenti o addirittura assenti, favoriscono una cospicua e rapida infiltrazione delle acque piovane che attraverso articolati percorsi arrivano velocemente alla falda di base. L'infiltrazione efficace contribuisce infatti all'alimentazione della falda carsica con un valore di circa 20,6 m<sup>3</sup>/s (Civita et al., 1995).

### 3.1.3 Le sorgenti

Il sistema sorgentizio è racchiuso in un areale abbastanza ristretto nel settore sud-occidentale dell'acquifero dove il contatto calcari/flysch si trova alle quote topograficamente meno elevate e quindi favorisce la fuoriuscita delle acque dal sistema. Numerosi sono i punti di emergenza. Nell'ambito del Progetto HYDROKARST è stata condotta un'accurata ricerca bibliografica ed è stata svolta una campagna di rilevamenti ad hoc sul terreno per la georeferenziazione e caratterizzazione di tutte le sorgenti (Figura 3.2 e Figura 3.3). Partendo da sud-est, là dove lo sbar-

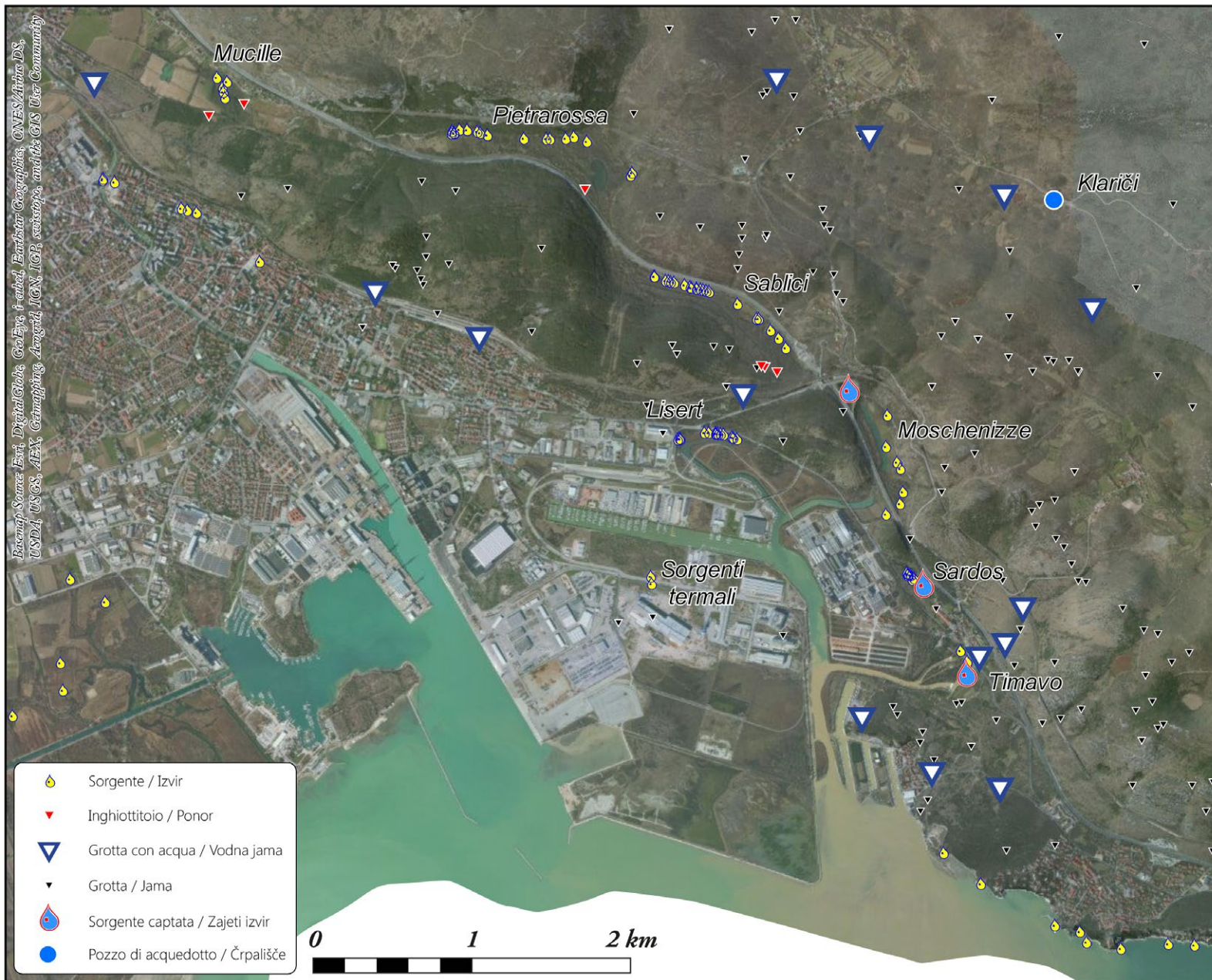
*izvira ob vznožju gore Dletvo na meji med Slovenijo in Hrvaško, drenira zaledje s površino prek 400 km<sup>2</sup> in teče po več kot 50 km dolgi poti po flišu, dokler ne doseže naselja Gornje Vreme. Od tod naprej in še nadaljnjih 7 km proti Škocjanskim jamam se pretaka po apnenčasti podlagi, v kateri se pojavijo prve izgube v pretoku, ki se v poletnih mesecih še stopnjujejo ter lahko privedejo do popolne izsušitve struge. Včasih se znotraj rečnega korita odprejo pravi požiralniki, v katere voda ponikne v celoti ali le deloma. Ti ponori, ki so jih v preteklosti takoj "zatrpali", da ne bi prekinili normalnega delovanja mlinov, se danes zapolnijo po naravnih poti z rečnimi naplavinami (Cucchi & Forti, 1981) v obdobju visokih vodostajev. Reka ponika na nadmorski višini 317 m v Škocjanske jame, ki v dolžino skupaj merijo več kot 6 kilometrov. Na svoji poti prečka nekaj zelo globokih udornic (Mala dolina globoka do 120 m, Velika dolina pa do 165 m), po pretakanju skozi velikanski, približno 3 kilometre dolg kanal z okrog tridesetimi slapovi/brzicami pa ponikne v sifon Mrtvega jezera na nadmorski višini 212 m. Reka, ki drenira zaledje s povprečnimi padavinami od 2.000 do 2.600 mm/letno, ima zelo spremenljiv pretok, ki niha med 305 m<sup>3</sup>/s ob visokem vodostaju in 0,18 m<sup>3</sup>/s ob nizkem vodostaju, s srednjo vrednostjo 8,26 m<sup>3</sup>/s (Gabrovšek & Peric, 2006).*

### 3.1.2 Razpršeno napajanje

*Efektivna infiltracija pomembno prispeva k napajanju vodonosnika tako zaradi velikega obsega zaledja (nekaj sto km<sup>2</sup>) kot tudi zaradi padavin, ki v povprečju nihajo med 1.000 mm/letno v obmorskem delu in 1.800 mm/letno v notranjosti. Redka poraščenost z rastlinjem in majhna debelina prsti oziroma odsotnost le-te omogočajo znatno in hitro infiltracijo padavin, ki po različnih poteh napajajo zasičeno cono. Efektivna infiltracija prispeva k napajanju kraške podtalnice s količinami, ki se približujejo 20,6 m<sup>3</sup>/s (Civita et al., 1995).*

### 3.1.3 Izviri

*Sistem izvirov je zaobjet v dokaj ozko območje, ki se nahaja v jugozahodnem delu vodonosnika, kjer je stik apnenec / fliš na nizki topografski višini in tako omogoča izliv vode na površje. Izviri so številni. V okviru Projekta HYDROKARST je bil opravljen podroben pregled obstoječe li-*



**Figura 3.2**  
 Il sistema sorgentizio del Timavo tra Monfalcone e Duino-Aurisina. L'immagine è stata ripresa in fase di piena: si scorgono le acque torbide che fuoriescono dalle sorgenti.

**Slika 3.2**  
 Sistem izvirov med Tržičem in Devinom. Fotografija je bila posneta med visokim vodostajem: prikazana je voda s primesmi, ki privre na dan v izvirih Timave.



ramento fornito dal flysch viene ad essere a livello mare, il primo punto acqua è rappresentato dalle Sorgenti di Aurisina. Le sorgenti, caratterizzate da 9 polle con una portata complessiva media di 0,3 m<sup>3</sup>/s su un fronte di circa 350 m, sono raccolte in una trincea di drenaggio parallela alla linea costa.

Da Aurisina Mare fino al Villaggio del Pescatore sono rilevabili numerose fuoriuscite, spesso al di sotto del livello del mare, con una portata complessiva media stimata in 0,5-1 m<sup>3</sup>/s ma un deflusso estremamente variabile in funzione del regime. La principale di queste sorgenti è posta ad ovest della Baia di Sistiana. A San Giovanni di Duino emergono le acque del Timavo e del Sardos. Le Sorgenti del Timavo consistono in 4 polle principali raccolte in tre rami con una portata complessiva media di 29,3 m<sup>3</sup>/s. Esplorazioni speleosubacquee hanno rilevato le connessioni tra le polle che fanno parte di un articolato complesso di gallerie allagate, intrecciate e ampie, che giungono almeno fino a 83 m sotto il livello del mare in direzione nord. Nel comprensorio del Randaccio sono presenti diverse altre scaturigini, la maggior parte delle quali captate nell'impianto del Sardos, e alcune piccole polle affioranti nei pressi dei resti di un'antica villa romana. La portata totale media di questo gruppo di sorgenti è di 1,9 m<sup>3</sup>/s. Nella parte a monte del Canale Lovcovaz sono presenti le Sorgenti del Lisert che hanno una portata di 1,0 m<sup>3</sup>/s e che drenano parte delle acque del Lago di Sablici. Nel Vallone di Moschenizze sono stati rilevati 8 punti di fuoriuscita delle acque per una portata complessiva media di 0,5 m<sup>3</sup>/s. A monte del Lago di Sablici è stato rilevato un fronte sorgivo costituito da una ventina di polle principali, che dall'altezza del casello autostradale risalgono il vallone per circa 1 km verso ovest. Un altro fronte sorgivo, composto da una quindicina di punti di emersione, è presente a monte e ad ovest del Lago di Pietrarossa. Queste sorgenti alimentano il lago e vengono drenate da un canale artificiale di bonifica che attraversa il Lago di Sablici, drenandolo parzialmente e scaricando le acque nel Vallone di Moschenizze per una portata complessiva media di 1,2 m<sup>3</sup>/s. Ancora più a ovest fluiscono le acque delle Sorgenti delle Mucille, che, raccolte in un canale, dopo un breve percorso superficiale sono assorbite da un inghiottitoio che le drena verso il Lago di Pietrarossa e l'abitato di Monfalcone. A Monfalco-

*terature, potekale pa so tudi terenske meritve za določitev položaja in značilnosti vseh izvirov. Z južne strani, kjer flišna pregrada doseže morje, so prva vodna točka izviri v Nabrežini. Izvire sestavlja 9 vodnih žil na površini okrog 350 m, ki se zbirajo v drenažnem jarku vzporedno z morskim obrežjem in imajo skupni srednji pretok 0,3 m<sup>3</sup>/s.*

*Ob morju od Nabrežine do Ribiškega naselja je mogoče zaslediti številna iztekanja vode, pogosto pod morsko gladino, s povprečnim skupnim pretokom, ocenjenim na 0,5 -1 m<sup>3</sup>/s, ki pa se v odvisnosti od vodostaja zelo spreminja. Glavni izvir se nahaja zahodno od Seslanskega zaliva. V Štivanu pri Devinu na dan privrejo vode izvirov Timava in Sardoč. Izviri reke Timave imajo 4 glavne vodne žile, ki se zberejo v tri veje in je njihov skupni srednji pretok 29,3 m<sup>3</sup>/s. Raziskovanje z jamskim potapljanjem je potrdilo obstoj zelo razvejanega sistema med seboj prepletenih velikih kraških kanalov z vodnim tokom, ki v smeri proti severu sežejo vsaj do 83 m globoko pod morsko gladino. Na območju Randača lahko najdemo še druge različne izvirčke, večji del se jih nahaja v sklopu sistema izvira Sardoč, vode pa skozi nekatere manjše žile privrejo na dan tudi v bližini ostankov rimske vile. Skupni povprečni pretok te skupine izvirov je 1,9 m<sup>3</sup>/s. Gorvodno od kanala Lokovec so izviri Ližerc (Lisert) s pretokom 1,0 m<sup>3</sup>/s, ki deloma drenirajo Sabliško jezero. Pri Moščenicah je 8 izvirov s skupnim srednjim pretokom 0,5 m<sup>3</sup>/s. V zgornjem delu Sabliškega jezera je okrog dvajset glavnih vodnih žil, ki se z višine cestninske postaje vzpenjajo približno 1 km proti zahodu. Drugi izvir, ki ga sestavlja okrog petnajst izlivnih točk, je prisoten v zgornjem in zahodnem delu Prelosnega jezera (tudi Laško jezero). Ti izviri napajajo jezero in se iztekajo v umetni kanal močvirnatoga ozemlja, ki prečka Sabliško jezero, od tod naprej pa voda delno odteka proti Moščenicam s skupnim povprečnim pretokom 1,2 m<sup>3</sup>/s. Še dlje proti zahodu so izviri Močile, ki se zbirajo v kanalu in po kratkem prehodu po površju poniknejo v požiralnik, od koder se vode stekajo v Prelosno jezero in proti Tržiču. V Tržiču so v okolici bolnišnice znane nekatere vodne žile, ki so zaradi urbanizacije prešle v pozabo, kljub temu pa ti vodni viri prispevajo povprečni pretok v višini 0,2 m<sup>3</sup>/s (Gemiti, 1984; 1995, Zini et al., 2014).*

ne, nei pressi dell'ospedale, sono segnalate alcune polle ormai oblitrate dal tessuto urbano, cui è stata attribuita una portata media di 0,2 m<sup>3</sup>/s (Gemiti, 1984; 1995, Zini et al., 2014).

### 3.1.4 Le finestre sul percorso ipogeo

Sebbene si abbia una buona conoscenza sulle modalità con le quali le acque si infiltrano nell'acquifero e su come e dove esse emergano, risultano ancora per lo più ignoti i loro percorsi ipogei. I numerosi esperimenti di marcatura con traccianti hanno portato ad identificare molte connessioni tra i punti di immissione e le emergenze, ma il/i percorso/i vero/i e proprio/i probabilmente non verrà/verranno mai scoperto/i del tutto.

Grazie all'attività degli speleologi, nei quasi due secoli di esplorazioni sono state aperte alcune finestre che ci permettono di osservare alcuni brevi tratti del percorso ipogeo. Nel settore compreso tra S. Canziano e Opicina-Monrupino sono state aperte 5 cavità che intercettano il percorso sotterraneo del Timavo (il sistema Abisso delle tre generazioni-B3G Brezno treh generacij Abisso dei Serpenti-Kačna Jama, Grotta di Kanjaduce-Kanjaducah Jama, Abisso presso la dolina Stršinkna-Stršinkna Dolina, Abisso di Trebiciano-Labodnica e Grotta meravigliosa di Lazzaro Jerko).

Appena 2 km a valle di San Canziano le acque percorrono le profonde gallerie del sistema ipogeo Abisso delle tre generazioni - Abisso dei Serpenti a circa 140 m s.l.m. Una decina di km in linea d'aria ancora più a valle si trovano le altre quattro cavità a prevalente sviluppo verticale che a profondità comprese tra i 300 e i 350 m raggiungono i condotti carsici del Timavo le cui acque scorrono a circa 10 - 20 m s.l.m. L'Abisso di Trebiciano, la grotta più nota, è stata scoperta e resa agibile nel 1841, dopo mesi di duri lavori di scavo, da Antonio Federico Lindner nell'ambito delle ricerche sulle fonti di acqua potabile per la città di Trieste. È stata per lungo tempo la grotta esplorata più profonda al mondo, ha avuto ed ha un ruolo molto importante nelle indagini sull'idrogeologia carsica essendo divenuta, fin dagli inizi del '900, un importante laboratorio scientifico sotterraneo (Boegan, 1929).

Nel settore centrale fra Opicina-Monrupino e la zona delle sorgenti, probabilmente anche per il fatto che le principali vie di drenaggio si

### 3.1.4 Vodokazna brezna

*Kljub dobremu poznavanju procesov, s pomočjo katerih voda pronica v vodonosnik, in načina ter mest, na katerih voda privre na dan, ostajajo še vedno neznanke glede podzemnih tokov. Številni sledilni poskusi so prispevali k identifikaciji mnogih povezav med točkami ponora in izvira, vendar dejanski potek tokov najbrž nikdar ne bo v celoti poznan.*

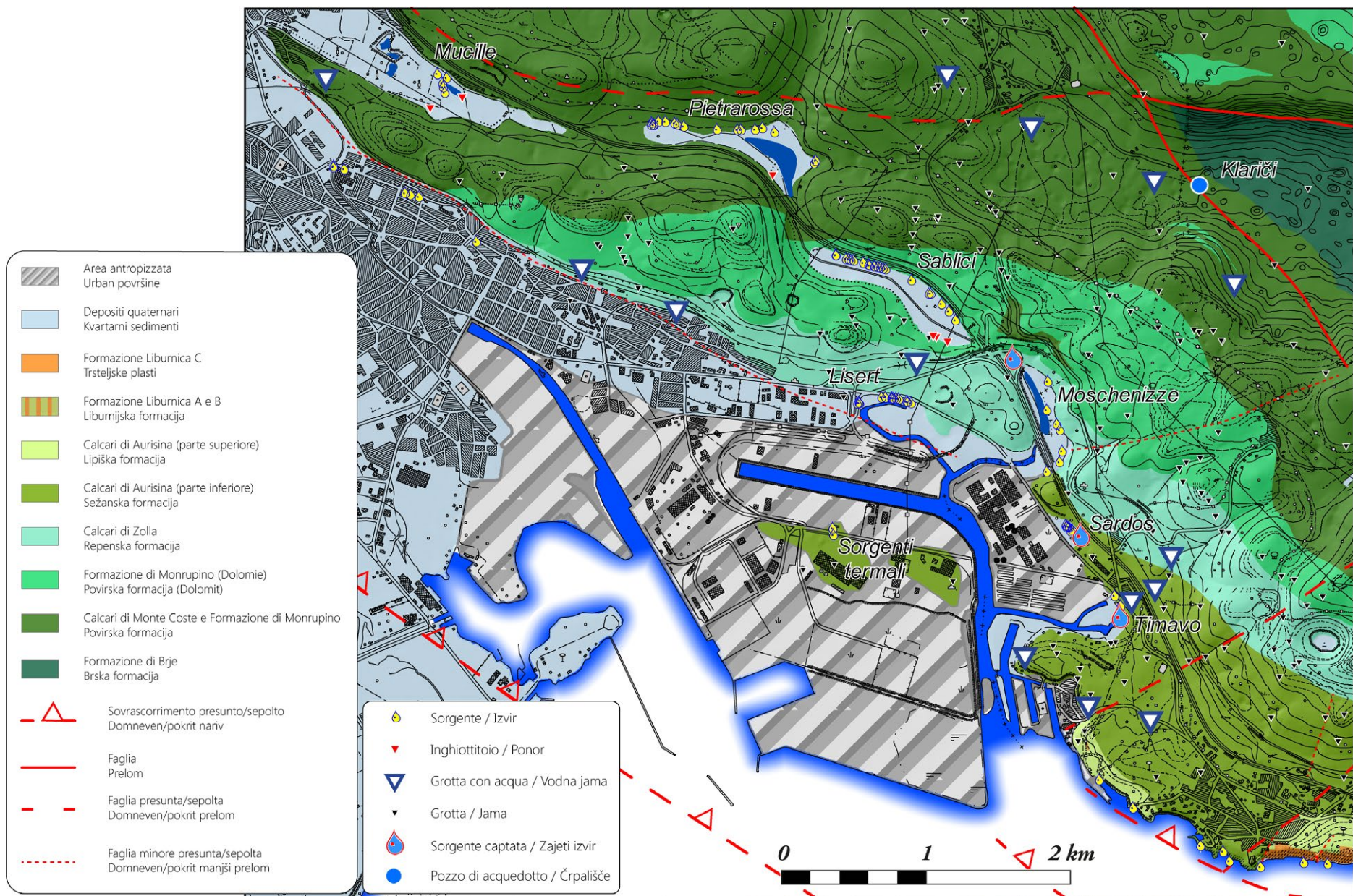
*Jamarji so s svojimi raziskovanji skozi skoraj dve stoletji odkrili nekaj vodokaznih brezen, preko katerih lahko opazujemo krajše odseke podzemnih kraških tokov. V področju med Škocjanskimi jamami in Opčinami-Repentabrom je bilo odkritih 5 brezen, v katerih je mogoče doseči podzemni tok reke Timave (B3G-Brezno treh generacij/il sistema Abisso delle tre generazioni - Kačna jama/Abisso dei Serpenti, Jama v Kanjaducah/Grotta di Kanjaduce, Brezno v Stršinkni dolini/Abisso presso la dolina Stršinkna, Jama Labodnica/Abisso di Trebiciano in Jerkova jama/Grotta meravigliosa di Lazzaro Jerko).*

*Komaj 2 kilometra naprej od Škocjana se vode pretakajo skozi globoke galerije podzemnega sistema Brezno treh generacij - Kačna jama na nadmorski višini približno 140 m. Nekoliko nižje so na razdalji okrog desetih kilometrov zračne linije ostala štiri brezna, ki se skoraj v celoti širijo navpično navzdol ter se na globini med 300 in 350 m spojijo s kraškimi kanali reke Timave na nadmorski višini okrog 10 do 20 m. Jama Labodnica, najbolj poznana jama, je bila odkrita in urejena za ogled leta 1841 po nekajmesečnih težkih delih izkopavanja, ki jih je v okviru raziskovanja virov pitne vode za potrebe mesta Trst vodil Antonio Federico Lindner. Dolga leta je veljala za najglobljo raziskano jamo na svetu, v preteklosti pa tudi še danes je obdržala pomembno vlogo pri raziskovanju kraške hidrogeologije, saj je že v začetku 1900 postala osrednji podzemni znanstveni laboratorij (Boegan, 1929).*

*V osrednjem delu med Opčinami-Repentabrom in območjem izvirov je bilo najbrž zaradi dejstva, da se glavni izviri nahajajo pod morsko gladino, odkritih samo nekaj brezen, dna katerih se napolnijo z vodo v obdobjih visokega vodostaja in ob povečanem pretoku v požiralnikih pri Škocjanu (Velika jama, Repensko brezno, Veliko brezno, Jama Lindner, Dolenjca jama, Drča jama in Jerkova jama).*

*Še slabše poznane so drenažne poti v območju soškega krasa, kjer*





**Figura 3.3**  
La geologia dell'area delle sorgenti.

**Slika 3.3**  
Geologija območja ob izviroh.



trovano al di sotto dell'attuale livello del mare, sono state scoperte solo alcune cavità il cui fondo si allaga durante i periodi di piena ed in concomitanza con l'aumento delle portate all'inghiottitoio di San Canziano (Grotta Gigante, Abisso di Rupingrande, Abisso Massimo, Grotta Lindner, Dolencja Jama, Drca Jama e Lazzaro Jerko).

Ancor più sconosciute sono le vie di drenaggio nel settore del Carso isontino, dove tra Gabria e Doberdò (Figura 3.4) il solo Abisso Samer dovrebbe allagarsi durante le principali piene e nel tratto tra Doberdò e le sorgenti solo tre grotte (Grotta Andrea, Pozzo presso Jamiano e Ca-

*se med Gabrijami in Doberdobom voda pojavlja le v breznu Samer ob visokem vodostaju. V odseku med Doberdobom in izviri pa le tri jame (Andrejeva jama, Jameljska jama in jama Komarje) dosežejo glavni vodni tok in občasno omogočajo dostop v mrežo podzemnih voda. V neposredni bližini izvirov se nahajajo številne znane in dobro raziskane manjše jame ter brezna, ki dosežejo kraški vodonosnik (Veliko brezno-Ferrovja, Devinsko brezno, Golobja jama, jama pri ribogojnici Timave, Timavska jama, Nova jama pri Ribiškem naselju, vrtina Štivan pri Devinu).*

**Figura 3.4**  
Il Lago di Dobredò in fase di piena.

**Slika 3.4**  
Doberdobsko jezero ob visokem vodostaju.





vernetta di Comarie) raggiungono le acque di base e danno accesso a brevissimi tratti del reticolo di drenaggio ipogeo. Negli immediati pressi delle sorgenti sono note ed esplorate diverse piccole cavità che raggiungono la falda carsica (Pozzo della Ferrovia, Pozzo di Duino, Cavernetta 2 presso le fonti del Timavo, Pozzo dei Colombi, Grotta della Peschiera del Timavo, Grotta del Timavo, Grotta nuova del Villaggio del Pescatore, Pozzo presso San Giovanni di Duino).



### **3.2 Hidrogeološka karta klasičnega Krasa**

*Na osnovi pregleda obstoječe literature in rezultatov terenskih raziskav v sklopu Projekta HYDROKARST je bila izdelana Hidrogeološka karta vodonosnika klasičnega Krasa (Priloga 3). Ta karta, ki v glavnem temelji na kartah v merilu 1:5.000, je trenutno uporabna v merilu 1:25.000 in predstavlja osnovo za različne hidrogeološke analize ter za upravljanje in varovanje vodonosnika.*

*Na hidrogeološki karti, ki prikazuje različne geološke enote, razvrščene v posamezne skupine glede na njihovo hidravlično prevodnost, so bili glede na razpokanost in zakraselost določeni 4 razredi prepustnosti kamnin, glede na poroznost 5 razredov prepustnosti sedimentov.*

*Zemljevid prinaša informacije o dostopu do podzemnih vodnih tokov; ločeno so prikazani vhodi v votline, ki vodijo do podtalnice, brezna, piezometri in izviri.*

*Rezultati sledilnih poskusov, izvedenih skozi različna časovna obdobja, so bili georeferencirani in prikazani z linijami, ki povezujejo točke injiciranja s točkami vodnih virov, kjer se je sledilo pojavilo.*

*Da bi omogočili razumevanje zakrasevanja in načinov infiltracije površinske vode, so bili natančno določeni najpomembnejši požiralniki in vhodi vseh večjih jam, ki so vpisane v slovenskem ali italijanskem katastru. Izrisani so bili tudi topografski načrti večjih jam klasičnega Krasa.*

*Kot dopolnilo karti so bile izdelani geološki profili (Slika 2.5), ki omogočajo tridimenzionalni prikaz vodonosnika.*

#### **Razredi prepustnosti kamnin**

##### **Razred z zelo visoko prepustnostjo dobro zakraselih kamnin**

*Čisti apnenci s fosili, masivni ali plastoviti, z decimetrsko do metrsko debelino plasti, ponekod masivne apnenčaste breče. Enota zajema Brsko, Povirsko in Repensko formacijo ter nabrežinske apnenice (Sežansko in Lipiško formacijo) kredne starosti ter kenozojske trsteljske plasti (Liburnijski apnenci s foraminiferami) in alveolinsko-numulitne apnenice.*

##### **Razred z visoko prepustnostjo dobro zakraselih kamnin**

*Čisti apnenci s fosili z decimetrsko do metrsko plastovitostjo, apnenčas-*

## 3.2 La Carta Idrogeologica del Carso Classico

Sulla base delle informazioni desunte da bibliografia e dei rilievi eseguiti ad hoc nell'ambito del Progetto HYDROKARST, è stata redatta la Carta idrogeologica dell'acquifero del Carso Classico (Tavola 3). Questa carta, anche se redatta in gran parte sulla base di rilievi eseguiti alla scala 1:5.000, è significativa per il momento solo alla scala 1:25.000 e rappresenta il punto di partenza per qualsiasi analisi idrogeologica e la base per qualsiasi considerazione sulla gestione e la protezione dell'acquifero.

Nella Carta idrogeologica, che riporta gli areali di affioramento delle formazioni geologiche presenti, opportunamente raggruppate in funzione delle loro caratteristiche di conducibilità idraulica, sono state riconosciute 4 classi di permeabilità per fratturazione e carsismo nelle unità rocciose e 5 classi di permeabilità per porosità nei depositi sciolti.

Nella carta sono riportate le informazioni relative ai punti di accesso alle acque sotterranee distinguendo gli ingressi delle cavità che raggiungono la falda, i pozzi, i piezometri e i punti di sorgenza. I risultati dei tracciamenti eseguiti nel tempo sono stati georeferenziati, congiungendo con linee rette i punti di iniezione e i punti acqua in cui il tracciante è stato rilevato.

Per aiutare la comprensione della carsificazione e delle modalità di infiltrazione delle acque superficiali sono stati ubicati anche gli inghiottitoi più importanti o significativi e gli ingressi delle grotte note presenti nei catasti sloveno ed italiano. Sono stati inoltre riportati i rilievi planimetrici delle cavità più estese del Carso Classico.

A corredo della Carta sono state elaborate alcune sezioni geologiche (Figura 2.5) che consentono una visione tridimensionale dell'acquifero.

### Classi di permeabilità delle rocce

**Classe a permeabilità molto alta delle unità molto carsificate:** calcari fossiliferi puri, a stratificazione da netta ad indistinta, da decimetrica a metrica, talora brecce calcaree a stratificazione indistinta. L'Unità comprende le formazioni cretache di Brje, dei Calcari di Monte Coste e di Monrupino (Povir), dei Calcari di Zolla (formazione di Repen), dei Calcari di Aurisina (formazioni di Sežana e Lipica) e quelle cenozoiche del Liburnico C (formazione di Trstelj) e dei Calcari ad Alveoline e Nummuliti.

*te breče in lapornati apnenci. Sklop zajema kenozojsko Liburnijsko formacijo ter številne stopnje in lečaste oblike ploščastih krednih apnencev (Komenski apnenec) med Povirsko in Repensko formacijo ter nabrežinskimi apnenci (Sežanska in Lipiška formacija).*

### Razred s srednjo prepustnostjo srednje zakraselih kamnin

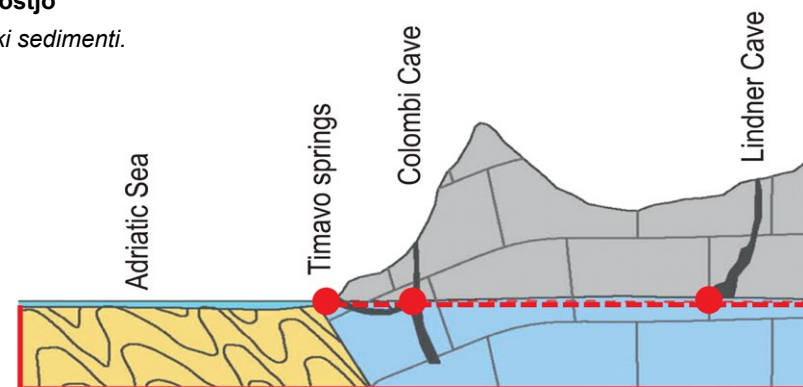
*Dolomiti, apnenčasti dolomiti in dolomitne breče z decimetrsko do metro plastovitostjo, ponekod masivni. Skupina zajema vse bolj ali manj dolomitne enote Brske in Povirske formacije.*

### Razred z nizko prepustnostjo

*Lapornati apnenci, laporji, apnenci z roženci, menjavanje laporovca in peščenjaka. Skupina zajema enote prehodnih apnenčastih plasti in fliša.*

### Razredi prepustnosti sedimentov

- **Razred z zelo visoko prepustnostjo**  
*prod, grušč.*
- **Razred z visoko prepustnostjo**  
*prod in pesek, pesek.*
- **Razred s srednjo prepustnostjo**  
*meljasti pesek, prod in meljasti pesek.*
- **Razred z nizko prepustnostjo**  
*rečne naplavine.*
- **Razred z zelo nizko prepustnostjo**  
*jerovica, glina in melji, močvirski sedimenti.*





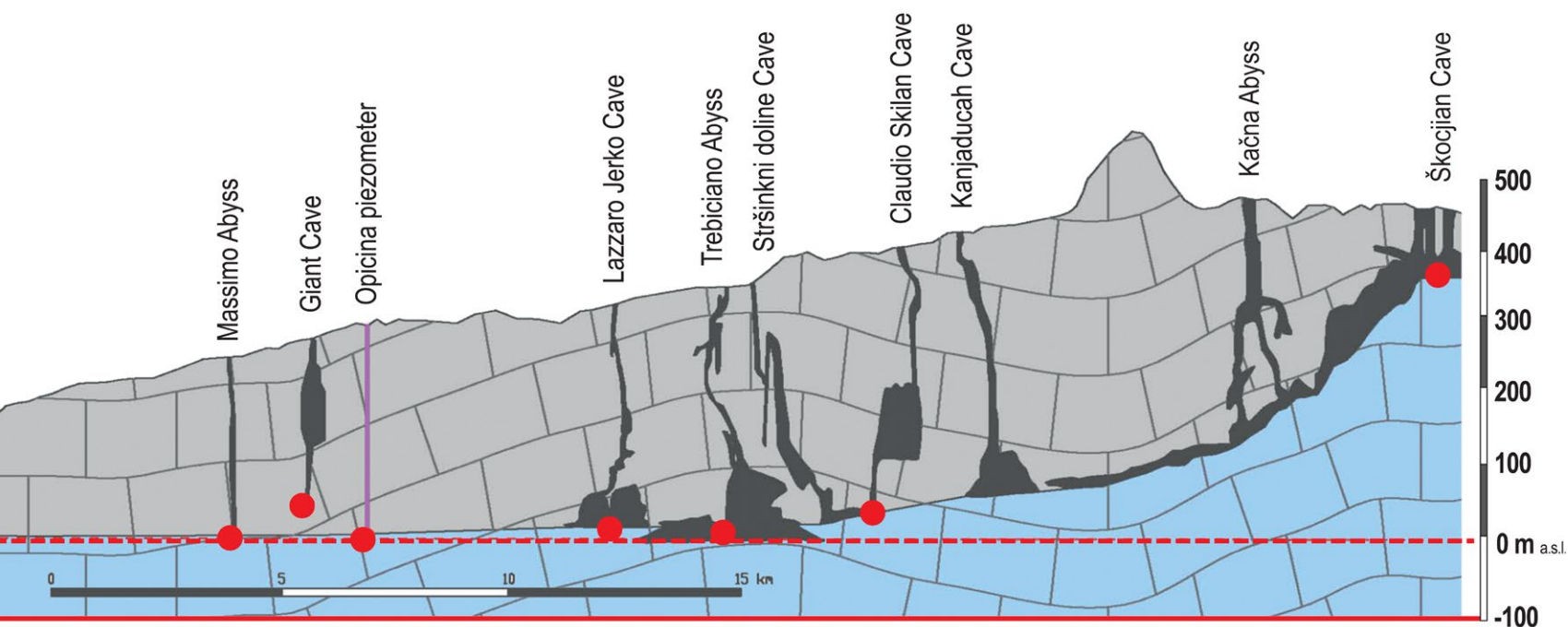
**Classe a permeabilità alta delle unità carsificate:** calcari fossiliferi puri, a stratificazione netta da centimetrica a decimetrica, brecce calcaree e calcari debolmente marnosi. L'unità comprende la formazione cenozoica liburnica e i numerosi livelli e corpi lenticolari di calcari tabulari (Calcari di Comeno e di Tomaj) cretacici compresi nei Calcari di Monte Coste e nella formazione di Monrupino (formazione di Povir), dei Calcari di Zolla (formazione di Repen) e nei Calcari di Aurisina (formazioni di Sežana e Lipica).

**Classe a permeabilità media delle unità mediamente carsificate:** dolomie, dolomie calcaree e brecce dolomitiche a stratificazione da decimetrica a metrica, spesso indistinta. Il gruppo comprende tutte le unità più o meno dolomitiche appartenenti alle formazioni di Brije e di Monrupino (formazione di Povir).

**Classe a bassa permeabilità:** calcari marnosi, marne, calcari con selce, alternanza di marne ed arenarie silicoclastiche. Il gruppo comprende le unità dei Calcari transizionali e la formazione del Flysch.

## Classi di permeabilità dei depositi

- **Classe a permeabilità molto alta:** ghiaie, detriti di versante.
- **Classe a alta permeabilità:** ghiaie e sabbie, sabbie.
- **Classe a permeabilità media:** sabbie limose, ghiaie e sabbie limose.
- **Classe a bassa permeabilità:** depositi colluviali.
- **Classe a permeabilità molto bassa:** terre rosse, argille e limi, depositi palustri.



Stralcio di sezione del Carso Classico realizzata nella direzione del deflusso del Reka-Timavo. In nero le cavità che ne raggiungono le acque e in rosso i punti di monitoraggio.

*Del preza klasičnega Krasa v smeri toka Reke-Timave. S črno barvo so označene jame, ki segajo do gladine podzemnega vodonosnika, z rdečo barvo pa točke monitoriranja.*





Campionamenti geochimici e microbiologici.

Geokemijsko in mikrobiološko vzorčenje.

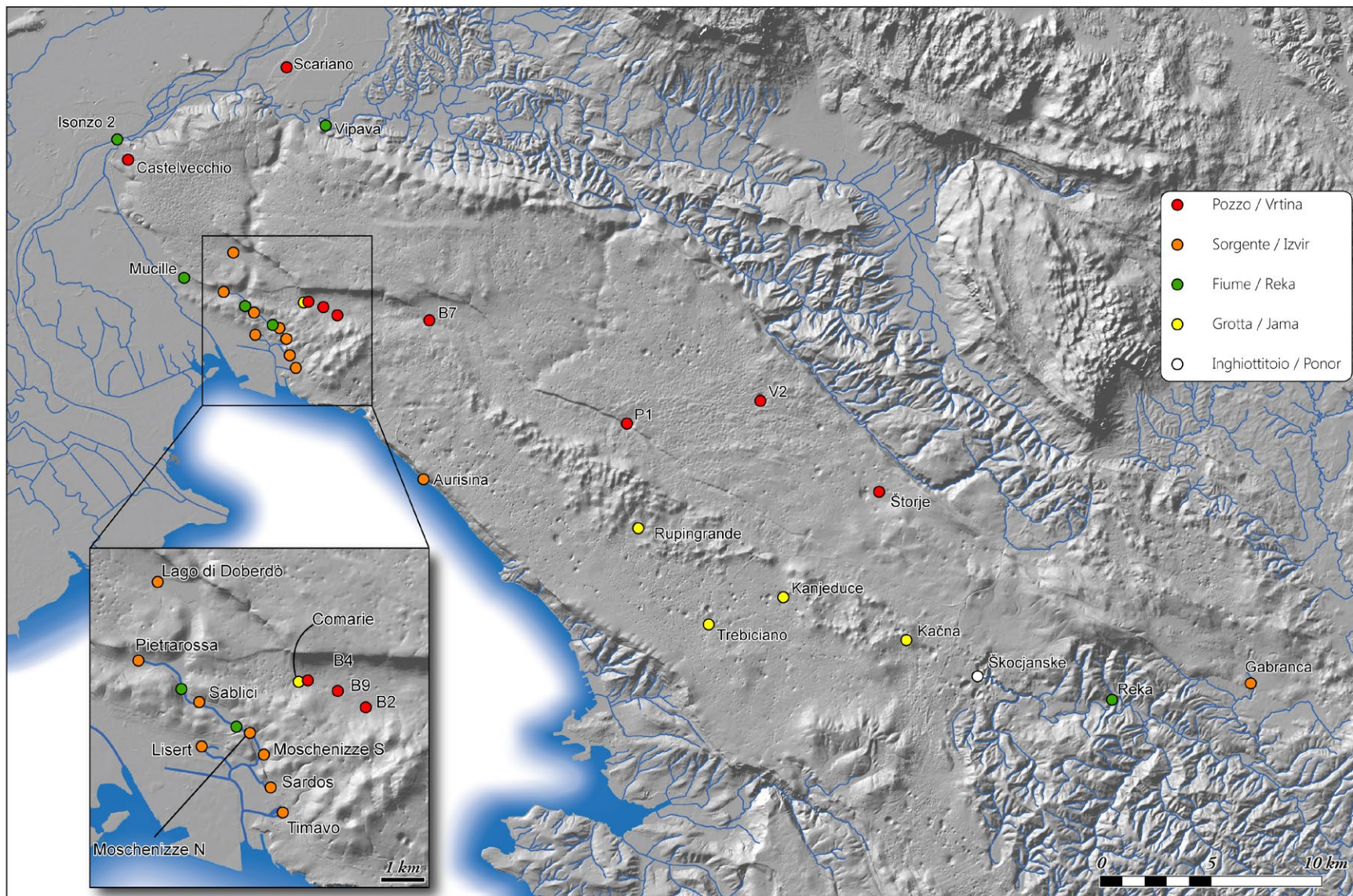


# La rete di monitoraggio

## *Mreža opazovalnih mest*

I tre anni di ricerca del Progetto HYDROKARST hanno permesso di affinare un lavoro ormai plurisecolare di raccolta e analisi dei dati e di condividerlo formalmente tra i ricercatori ed amministratori sloveni ed italiani. Il bagaglio pregresso ci ha condotto ad individuare i punti chiave per comprendere l'idrodinamica del sistema ed analizzare lo stato qualitativo delle acque. È stata costruita una rete di monitoraggio abbastanza ampia da caratterizzare le acque in ingresso nell'acquifero del Carso Classico attraverso il campionamento delle acque dei fiumi Isonzo (2 punti, uno a monte e uno a valle della confluenza con il Vipacco), Vipacco e Reka (presso il Cerkenikov mlin) e dell'inghiottitoio di San Canziano; di comprendere le caratteristiche dei deflussi sotterranei con il monitoraggio di alcune delle cavità (Abisso dei Serpenti - Kačna jama, Grotta di Kanjaduce, Abisso di Trebiciano-Labodnica, Abisso di Rupingrande, Cavernetta di Comarie) che intercettano le acque di fondo carsiche, del Lago di Doberdò, di alcuni pozzi e piezometri (Castelvechio, B2, B4, B9, B7, P1, V2) e delle principali sorgenti (Aurisina, Timavo, Sardos, Moschenitze, Lisert, Sablici, Pietrarossa, Mucille, Gabranca). A questi punti di monitoraggio si è aggiunto il piezometro di Storje realizzato ad hoc all'interno del progetto. Durante il periodo del Progetto, sono state realizzate 6 campagne di monitoraggio dei parametri chimico-fisici e batteriologici ed alcuni punti sono stati monitorati in continuo utilizzando sonde multiparametriche.

*Projekt HYDROKARST je v treh letih delovanja omogočil nadgradnjo dolgoletnih aktivnosti zbiranja in analize podatkov o podzemnih kraških vodah, v katero so bili vključeni upravljalci vodovodov ter raziskovalci z obeh strani meje. Širok nabor obstoječih podatkov ter poznavanje kraškega sistema je omogočil takšno izbiro opazovalnih mest, ki so bistveno prispevala k poglobljenemu razumevanju hidrogeološke dinamike sistema in kemijskih značilnosti podzemnih kraških vod. V sklopu Projekta HYDROKARST je bila vzpostavljena dokaj obsežna opazovalna mreža. Na dotočnem območju oziroma vходу v vodonosnik klasične Krasa so bile opazovane: reka Soča nad in pod sotočjem z Vipavo, Vipava, Reka pri Cerkenikovem mlinu, ponor pri Škočjanu in ponor v jami Gabranca. Podzemni tok kraške vode smo spremljali v jamah Kačna jama, Kanjaduce, Labodnica, Repenska jama ter jama pri Komarjih. Spremljali smo tudi Doberdobsko jezero ter nekaj vodnjakov in piezometrov: Castelvechio, B2, B4, B9, B7, P1, V2. Na izhodu iz kraškega sistema smo spremljali razne izvire: izvire v Nabrežina, Timav, Sardoč, Moščenice, Lizert, Sablič, Prelestno jezero in Močile. Poleg omenjenih točk smo v sklopu Projekta HYDROKARST izdelali tudi novo opazovalno vrtno v Štorjah. Med izvajanjem projekta je bilo opravljenih šest kampanj opazovanj fizikalno – kemijskih ter bakterioloških parametrov voda. Na nekaterih opazovalnih mestih so potekale kontinuirane meritve z večparametrskimi sondami.*



**Figura 4.1**  
**La rete di monitoraggio.**

**Slika 4.1**  
**Karta Krasa z opazovalnimi mesti.**



## 4.1 Il piezometro di Štorje

JANKO URBANČ, KIM MEZGA, TAMARA FERJAN STANIČ  
Geološki zavod Slovenije

L'acquifero del Carso Classico ha un'importanza strategica per l'approvvigionamento idrico di tutto il Carso, sia quello sloveno che quello italiano. Ma non solo, parte delle acque carsiche, durante i periodi estivi maggiormente siccitosi riforniscono anche le aree costiere slovene. La stazione di pompaggio di Klariči presso Brestovizza/Brestoviča fa parte dell'Acquedotto del Carso Sloveno (Kraški Vodovod) ed è l'impianto ubicato più a nord-ovest di tutto il Carso Classico. Questo settore congiuntamente all'area sorgentizia sita in territorio italiano, è decisamente quello più studiato anche perché è proprio in quest'area sorgentizia che le acque vengono captate anche dalle opere di presa dell'acquedotto Randaccio (Acquedotto AcegasApsAmga) contribuendo così alle necessità idriche della città di Trieste e di parte della Provincia.

La situazione è invece completamente diversa nella parte più a sud-est dell'acquifero dove le acque carsiche sono rinvenibili solo a grandi profondità e le cavità note non le raggiungono. In queste zone, anche ai giorni nostri, non sono stati terebrati pozzi e pertanto la conoscenza delle caratteristiche dell'acquifero viene meno. È nata pertanto la necessità di avere, anche per questa zona, informazioni sul corso sotterraneo del Timavo, sulle direzioni di deflusso, sulla qualità delle acque, necessità che si è concretizzata attraverso il Progetto HYDROKARST e la possibilità di terebrare un pozzo, il piezometro di Štorje. Il suo monitoraggio e il suo utilizzo come pozzo di immissione per il test di tracciamento effettuato nell'aprile del 2013, hanno permesso l'identificazione delle principali linee di deflusso delle acque e la velocità di queste ultime nella parte mediana dell'idrostruttura carsica. Queste informazioni sono di importanza strategica in quanto permettono di prevedere la velocità e la direzione di deflusso di possibili sostanze inquinanti. I parametri, combinati con le informazioni inerenti l'assetto geologico e strutturale permettono di identificare in primis e di delineare successivamente, quelle che vengono definite, aree di salvaguardia, essendo queste ultime lo scopo del Progetto HYDRO-

## 4.1 Opazovalna vrtina v Štorjah

JANKO URBANČ, KIM MEZGA, TAMARA FERJAN STANIČ  
Geološki zavod Slovenije

Vodonosnik klasičnega Krasa je strateškega pomena za oskrbo celotnega območja Krasa z vodo, tako na slovenski kot na italijanski strani meje. Poleg tega se v sušnih poletnih obdobjih s kraško vodo iz kraškega vodonosnika deloma napaja tudi slovenska obala. Črpališče Klariči pri Brestovici pripada sistemu Kraškega vodovoda. Skupaj z izviri Timave je to območje zelo podrobno preučeno, saj se tu nahaja tudi vodarna Randač, ki je v upravljanju podjetja AcegasApsAmga in s pitno z vodo oskrbuje mesto Trst ter del tržaške pokrajine. Povsem drugačno sliko najdemo na severovzhodnem območju vodonosnika, kjer se kraška voda nahaja na večji globini, do katere dosedaj raziskane kraške jame ne sežejo. Na tem območju še ni bilo izvrtane nobene vrtine, tako da značilnosti kraškega vodonosnika na tem območju niso bile znane. Zaradi tega je bila v okviru Projekta HYDROKARST na območju Štorij izdelana raziskovalna vrtina, katere namen je bil pridobiti podrobnejše podatke o značilnostih toka kraške podzemne vode ter njeni kemijski sestavi. Spremljanje hidrogeoloških značilnosti podzemne vode v vrtini

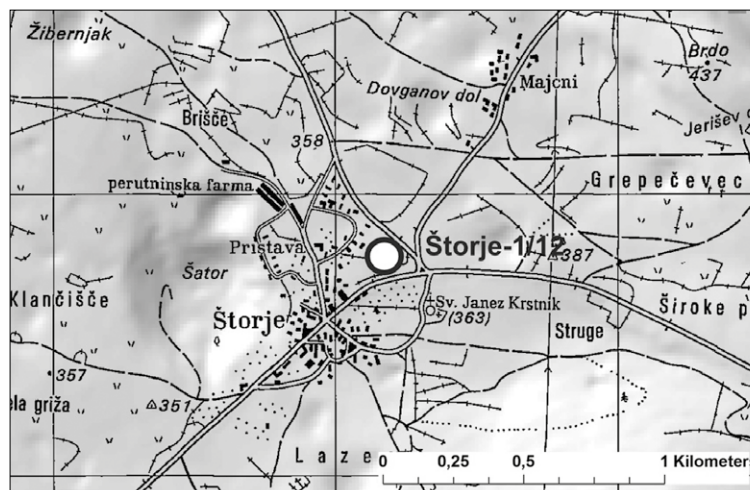


Figura 4.2  
Ubicazione del pozzo di Štorje.

Slika 4.2  
Lokacija piezometra pri Štorjah.

KARST intese quale risultato della condivisa gestione di un acquifero transfrontaliero.

La perforazione del pozzo è iniziata il 29 novembre ed è terminata il 10 dicembre del 2012. È stata realizzata dalla ditta Vrtina d.o.o. che ha utilizzato l'attrezzatura per la terebrazione della Fraste FS 400, il compressore della Atlas Copco XRVS 466 e martelli pneumatici con diametri diversi. Per riuscire ad estrarre il materiale escavato, a profondità superiori di 150 m sono stati utilizzati fanghi di perforazione. Sulla base dei piani di progetto, la profondità massima di perforazione prevista era di 200 m. Poiché la profondità della superficie piezometrica è risultata essere maggiore delle aspettative, è variato il piano di terebrazione del pozzo portando la sua profondità fino a 250 m dal piano campagna. Solo la parte superficiale del sondaggio è stata rivestita perché giudicata maggiormente instabile.

I lavori di terebrazione sono proseguiti senza intoppi. A diverse profondità sono stati identificati dei vuoti (13 – 17 m, 164 -166 m, 197 -200 m, e tra 210 – 216 m) che, in larga parte, hanno impedito l'asportazione del materiale escavato. In corrispondenza di queste cavità, durante la

ter vnos sledil v vrtino ob izvedbi sledilnega poizkusa v aprilu 2013 so onogočili opredelitev glavnih odtočnih poti voda oziroma hitrosti odтока v osrednjem delu kraške hidrogeološke strukture. Ti podatki so zelo pomembni, saj omogočajo napoved hitrosti in smeri toka morebitnega onesaženja na tem območju. Fizikalno – kemijski parametri podzemne kraške vode v kombinaciji s podatki o geološki in hidrogološki strukturi omogočajo strokovno usklajeno opredelitev zavarovanih območij virov pitne vode, kar je bil pomemben cilj Projekta HYDROKARST in tudi ena od ključnih vsebin skupnega upravljanja s čezmejnimi vodonosnikom.

Vrtalna dela na vrtini Štorje-1 so potekala v času med 29.11. in 10.12.2012. Izvajalec vrtalnih del je bilo podjetje Vrtina d.o.o. Vrtanje je bilo opravljeno z vrtalno garnituro Fraste FS 400 ob uporabi kompresorja Atlas Copco XRVS 466 in s pnevmatskimi kladivi različnih premerov. Pri globinah od 150 m naprej se je za iznašanje navrtanine uporabljala tudi vrtalna pena. Z rudarskim projektom je bila predvidena globina vrtine 200 m. Ker je bil nivo podzemne vode na nižji koti kot se je predvidevalo, je bil med vrtanjem načrt izvedbe vrtine spremenjen. Vrtina je bila poglobljena do globine 250 m, vgrajena je bila le uvodna kolona, preos-



**Figura 4.3**  
A) Una fase della terebrazione con i fanghi di perforazione.  
B) Vista dall'alto della porzione di pozzo incamiciata e di un tratto della perforazione.

**Slika 4.3**  
A) Vrtanje z vrtalno peno.  
B) Pogled v zgornji suhi del vrtine.



perforazione si sono verificati degli allargamenti importanti della sezione del pozzo che hanno portato ad un accrescimento imprevisto del materiale di risulta durante le operazioni di terebrazione. Per questo motivo, al termine della perforazione, e della realizzazione dei log, il foro è rimasto accessibile solo fino ad una profondità di 220 m.

Sulla base dei dati ottenuti, è stato possibile realizzare una descrizione litologica del pozzo (Figura 4.5) che però vede, a parte i vuoti, solamente la presenza di calcari stratificati e massivi grigi appartenenti alla Formazione dei Calcari di Aurisina, da piano campagna fino a fondo foro.

L'intero sondaggio è stato analizzato utilizzando sonde di temperatura, conducibilità elettrica e radiazioni gamma naturali (Figura 4.6).

Anomalie della temperatura e della conducibilità all'interno di un foro di sondaggio sono in grado di fornire utili indicazioni sulla circolazione delle acque all'interno dell'acquifero. I log di temperatura e conducibilità possono essere eseguiti fino ad una pressione di 200 bar. Nel presente caso, si è avuta una diminuzione graduale della temperatura con la profondità fino al raggiungimento della tavola d'acqua. Questa variazione è imputabile al fatto che inizialmente la sonda fosse fuori dall'acqua e pertanto registrava la temperatura dell'aria esterna. Entrando nell'acqua, la temperatura ha subito una drastica diminuzione e, solo successivamente è riaumentata per poi ridiminuire gradualmente fino a fondo foro dove ha raggiunto valori prossimi ai 12°C.

La misura della radioattività emessa dalle formazioni rocciose attraversate da un sondaggio è conosciuta con il nome di gamma ray log. La radioattività naturale è misurabile in foro e la sua misura permette di acquisire informazioni sulle principali litologie presenti come livelli di argille o evaporiti e l'individuazione di superfici di disconformità. Durante la perforazione del pozzo di Storje non sono state evidenziate grandi variazioni della radioattività se non a profondità comprese tra i 166 m e i 220 m dove è stata identificata la presenza di cavità carsiche riempite da sedimenti argillosi caratterizzati da un'attività gamma superiore rispetto alle rocce carbonatiche che li contengono.

Oltre a queste investigazioni preliminari, l'intero profilo del pozzo è stato documentato attraverso una videoregistrazione. Sono stati inoltre registrati la geometria delle pareti, l'azimut, la deviazione e il diametro

*tali del vrtine pa je zaradi dobre stabilnosti kamnine ostal nezacevljen.*

*Vrtalna dela so potekala brez zapletov. Na odsekih 13 – 17 m, 164 - 166 m, 197 - 200 m in 210 - 216 m so se pojavile kraške kaverne, ki so v veliki meri preprečevale iznos navrtanine na površino. Na teh mestih je prihajalo do večjih razširitev profila vrtine in posledično do padca tlaka komprimiranega zraka, ki iznaša drobce kamnine. Zaradi tega je bila vrtina po končanih vrtalnih delih in izvedenih karotažnih meritvah prehodna le do globine 220 m.*

*Na osnovi dobljenih podatkov je bil izdelan litološki popis in tehnični profil vrtine (Slika 4.5). Celotna vrtina Štorje-1 se nahaja v plastovitih in masivnih sivih apnencih zgornje kredne Lipiške formacije. Litološka sestava celotnega profila vrtine je dokaj uniformna.*

*V vrtini Štorje-1 je bil izveden globinski pregled profila vrtine s karotažno sondo za merjenje temperature, električne prevodnosti in naravnega sevanja gama (Slika 4.6).*

*Temperatura v vrtini z globino postopoma pada do nivoja vode, saj je bila sonda pred meritvami ogreta na zunanjo temperaturo. Ob vstopu v vodo se je registrirana temperatura dodatno znižala, nato pa postopoma naraščala. Na dnu vrtine je bila izmerjena temperatura 12° C.*

*Naravna radioaktivnost gama kamnin nam daje podatke o litološki sestavi profila vrtine. Povišana gama sevanje je bilo zaznано na globinah okoli 166 m ter pod 200 m. Povišana radioaktivnost gama nakazuje pojavljanje kraških kanalov, ki so večinoma zapolnjeni s kraško glino, ki ima višjo aktivnost gama kot apnenc.*

*Vrtina je bila po celotnem profilu posneta tudi z globinsko video kamero. Na ta način smo podrobneje opredelili predvsem obliko in lego kraških kanalov. Na slikah 4.4A in 4.4B sta prikazana dva odseka video posnetka vrtine. Z globinskimi sondami je bil opredeljen tudi azimut vrtine, njen odklon od navpične smeri ter sprememba premera vrtine (Slika 4.4).*

*Običajna gladina podzemne vode v vrtini Štorje-1/12 se nahaja okoli 168 m nad morjem. Preko celotnega obdobja trajanja projekta je bila v raziskovalni vrtini nameščena večparameterska sonda z regulatorjem podatkov, ki je neprestano merila spremembe nivoja gladine podzemne vode, njene električne prevodnosti in temperature. Ob padavinah se nivo podzemne vode običajno zviša za nekaj metrov, ob močnih padavi-*

del pozzo. Tramite la sonda ottica è stato possibile ottenere una scansione completa del pozzo (Figura 4.4).

Per quanto riguarda la presenza di acqua all'interno della perforazione, il livello risulta essere mediamente posizionato alla quota di 168 m s.l.m. a ben 200 m dal piano campagna. Il pozzo è stato attrezzato per l'intera durata del progetto con una sonda multiparametrica che ha misurato in continuo le variazioni del livello e della conducibilità elettrica. Da un'analisi preliminare è emerso che durante gli eventi di precipitazione il livello dell'acqua tende ad alzarsi di alcuni metri, durante eventi eccezionali come quello registrato nel febbraio del 2014, il livello della colonna d'acqua è salito di più di 20 m. La pendenza della curva di esaurimento indica un rapido deflusso compatibile con le cavità intercettate durante la perforazione.

Mediamente la conducibilità elettrica dell'acqua presente nel pozzo, e quindi il suo grado di mineralizzazione, si aggira sui 550  $\mu\text{S}/\text{cm}$  durante i mesi invernali e sui 630  $\mu\text{S}/\text{cm}$  nei periodi primaverili con una tendenza a crescere nei mesi estivi.

*nah in poplavah v februarju 2014 pa se je dvignil celo preko 20 m. Nagib krivulje upadanja kaže hitro odvajanje vode po kraških kanalih, ki smo jih opazovali tudi v vrtini.*

*Električna prevodnost podzemne vode se v zimskem času giblje okoli 550  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , spomladi in predvsem poleti pa se je električna prevodnost povečala do okoli 630  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .*

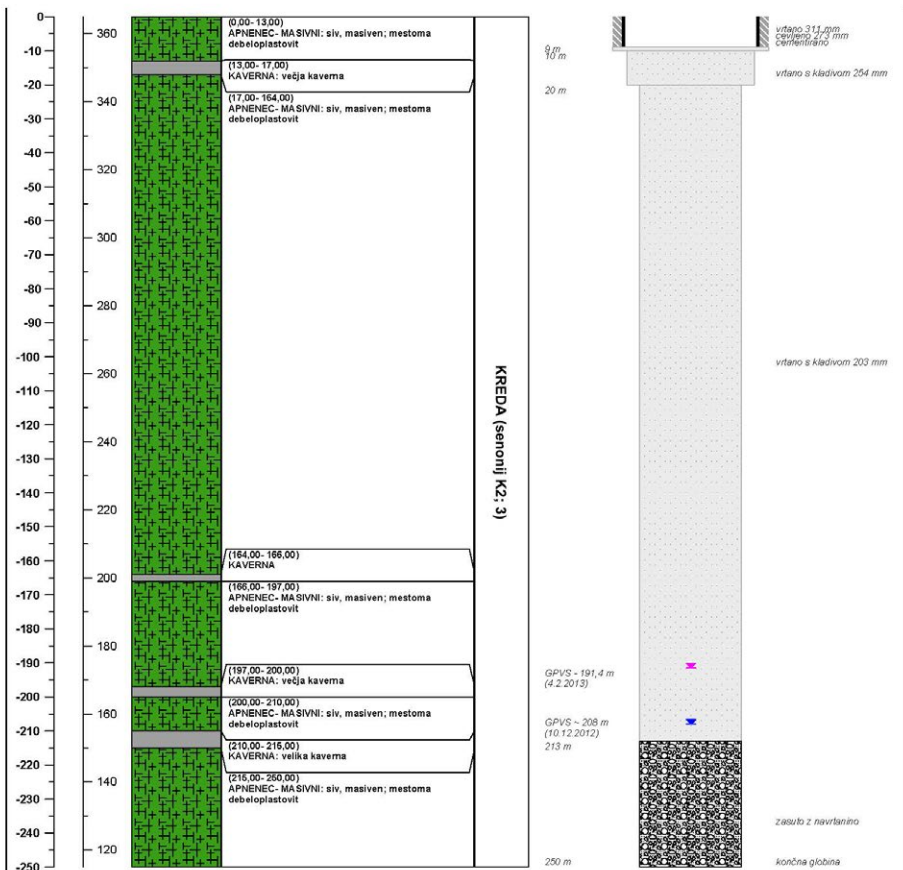


**Figura 4.4**  
2 immagini della sequenza video registrata nel pozzo:  
A) Cavità carsiche identificate alla profondità di 166 m;  
B) Condotto carsico scoperto a 167 m di profondità.

**Slika 4.4**  
A) Kraška kaverna na globini 166 m;  
B) Kanal vrtine na globini 167 m.



Litološki popis in tehnični profil vrtnice					
Ime: ŠTORJE-1/12		Tip vrtnice: Piezometer		Način vrtnja: Udarno rotacijsko	
Mesto: Štorje		X= 66767		Y= 417199	
Datum: 10.12.2012		Kota terena: Z= 265 m		GPVS: ~ 208 m GPVD: Kota ustja Z=	
Globina	Kota	Litološki prikaz	Litološki opis	Starost	HG pojavi med vrtnjem

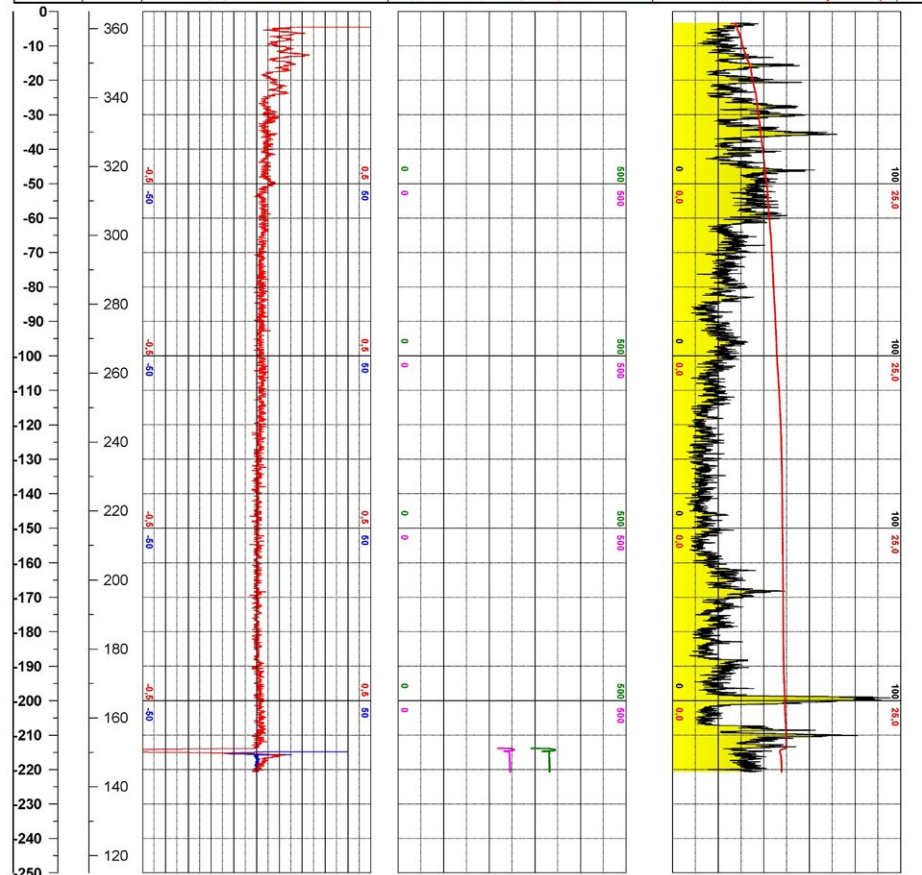


Objekt: Vrtina ŠTORJE-1/12	Spremljiva in nadzor: Geološki zavod Slovenije	Merilo: 1:1000
Poročilo: Poročilo o karotajnih meritvah na vrtini ŠTORJE-1/12	Izvajalec vrtnja: Vrtina d.o.o.	
Naročnik: Geološki zavod Slovenije	Obdelal: T. Matoz, J. Herič	Priloga:

Figura 4.5  
Descrizione litologica e dati tecnici del pozzo di Štorje.

Slika 4.5  
Litološki in tehnični profil raziskovalne vrtnice Štorje

Karotajni popis vrtnice					
Ime: ŠTORJE-1/12		Tip vrtnice: Piezometer		Način vrtnja: Udarno rotacijsko	
Mesto: Štorje		X= 66776,61		Y= 417212,27	
Datum: 10.12.2012		Kota terena: Z= 365,11		GPVS: ~ 214 m GPVD: Kota ustja Z=	
Globina	Kota	Karotajne meritve			
		dT (°C)	dC (uS/cm)	El. prevodnost 25°	Gama (CPS)



Objekt: Vrtina ŠTORJE-1/12	Vodja vrtnja: Vrtina d.o.o.	Merilo: 1:1000
Poročilo: Poročilo o karotajnih meritvah na vrtini ŠTORJE-1/12		
Naročnik: Geološki zavod Slovenije	Obdelal: T. Matoz, J. Herič	Priloga: 3

Figura 4.6  
Temperatura, conducibilità elettrica dell'acqua e radiazione gamma naturale lungo il pozzo.

Slika 4.6  
Temperatura, električna prevodnost vode in naravno gama sevanje v profilu vrtnice Štorje

## 4.2 Il monitoraggio in continuo

CHIARA CALLIGARIS, LUCA ZINI

Dipartimento di Matematica e Geoscienze, Università degli Studi di Trieste

Se si dovesse scegliere la caratteristica che meglio identifica un territorio carsico si indicherebbe l'assenza di un reticolo idrografico superficiale. I processi carsici che si sviluppano soprattutto negli strati più superficiali dei terreni carbonatici (epicarso) determinano infatti un'alta e non altissima permeabilità della massa rocciosa favorendo una rapida infiltrazione delle acque di precipitazione e riducendo al minimo il ruscellamento superficiale. Tutto ciò comporta che, soprattutto durante le precipitazioni più intense, ingenti volumi d'acqua si infiltrano velocemente in profondità, ma questi altrettanto velocemente non riescono ad essere drenati dalle sorgenti. La portata massima delle sorgenti del Carso Classico, cioè delle acque che fuoriescono dall'acquifero, è stata stimata in circa 170 m<sup>3</sup>/s ma il solo contributo del Reka può superare, durante le piene, i 300 m<sup>3</sup>/s ed a questo quantitativo bisogna aggiungere le precipitazioni efficaci e l'alimentazione dovuta alle perdite in subalveo dell'Isonzo. L'acqua di falda perciò subisce delle ampie fluttuazioni nel tempo che sono legate sia alla stagionalità che ai singoli eventi (Figura 4.7).

I tre anni di ricerca hanno permesso di affinare un lavoro ormai ventennale di raccolta e analisi dei dati. In alcuni punti chiave sono state installate delle sonde di misura che registrano in continuo, con intervallo di campionamento ogni 30 o 60 minuti le variazioni del livello dell'acqua, la temperatura (T) e la conducibilità elettrica (EC). Le sonde utilizzate sono dei sensori multiparametrici di dimensioni estremamente ridotte (18-22 mm di diametro x 135 mm di lunghezza) che sono in grado di memorizzare diverse decine di migliaia di dati. A seconda del modello, il campo di misura del livello ha un range che varia dai 10 ai 100 m con una risoluzione su questi ultimi stimata pari a 2 cm. La temperatura può essere misurata all'interno di un intervallo che va dai -20°C agli 80°C con una risoluzione di 0,01°C, il range di conducibilità varia invece tra gli 0 e i 120 mS/cm con una risoluzione pari allo 0,1% della lettura. Il peso irrisorio (circa 95 grammi), le dimensioni ridotte e la robustezza rendono questi strumenti ideali per un utilizzo in ambienti ristretti (pozzi e cavità)

## 4.2 Kontinuirana opazovanja podzemne vode

CHIARA CALLIGARIS, LUCA ZINI

Dipartimento di Matematica e Geoscienze, Università degli Studi di Trieste

*Za kraško ozemlje je značilna odsotnost površinskega hidrografskega omrežja. Kraški procesi, ki potekajo predvsem v zgornjih slojih karbonatnih tal (epikras), imajo kot posledico visoko do zelo visoko vodopustnost kamnin, kar omogoča hitro pronicanje padavinske vode in močno omejuje možnost nastanka površinskih vodotokov. Zaradi tega v primeru močnih padavin velike količine padavinske vode hitro poniknejo v globino, vsa ta voda pa ne more dovolj hitro odteči iz vodonosnika preko izvirov. Največja kapaciteta izvirov klasičnega Krasa, ki odvajajo vodo iz kraškega vodonosnika, je ocenjena na približno 170 m<sup>3</sup>/s. Ob močnih nalivih lahko samo doprinos reke Reke prekorači 300 m<sup>3</sup>/s; tej vrednosti je treba dodati še prispevke zaradi infiltracije padavin v kraški vodonosnik ter napajanje, ki je posledica pronicanja iz struge reke Soče. Zaradi tega se količina in nivo kraške podzemne vode s časom lahko zelo spreminja. Nihanje nivoja podzemne vode je odvisno bodisi od letnega časa bodisi od posameznih vremenskih dogodkov (Slika 4.7).*

*V treh letih, kolikor je trajala raziskava, smo lahko nadgradili dosežanje dolgoletne meritve in analize podatkov. Na nekaterih ključnih točkah smo namestili merilne sonde, ki z meritvami vsakih 30 ali vsakih 60 minut kontinuirano beležijo spremembe nivoja vode, temperature (T) in električne prevodnosti (EC). Sonde, ki smo jih uporabili, so majhni večparametrični senzori premera 18-22 mm in dolžine 135 mm, ki lahko v svojem spominu shranijo na desettisoče podatkov. Merilni razpon nivoja se glede na tip sonde giblje od 10 do 100 m, s predvideno ločljivostjo 2 cm pri zgornji vrednosti. Temperaturo je mogoče izmeriti v notranjosti intervala med -20 °C do 80 °C z ločljivostjo 0,01 °C, razpon električne prevodnosti vode znaša od 0 do 120 mS/cm z ločljivostjo 0,1 %. Večparameterske sonde so zaradi majhne teže (približno 95 g), omejene velikosti in velike trdnosti idealne za uporabo v ozkih prostorih (vodnjakih, piezometrih in kraških kanalih) ter na območjih z zelo močnim tokom, npr. poplavnih vodah.*

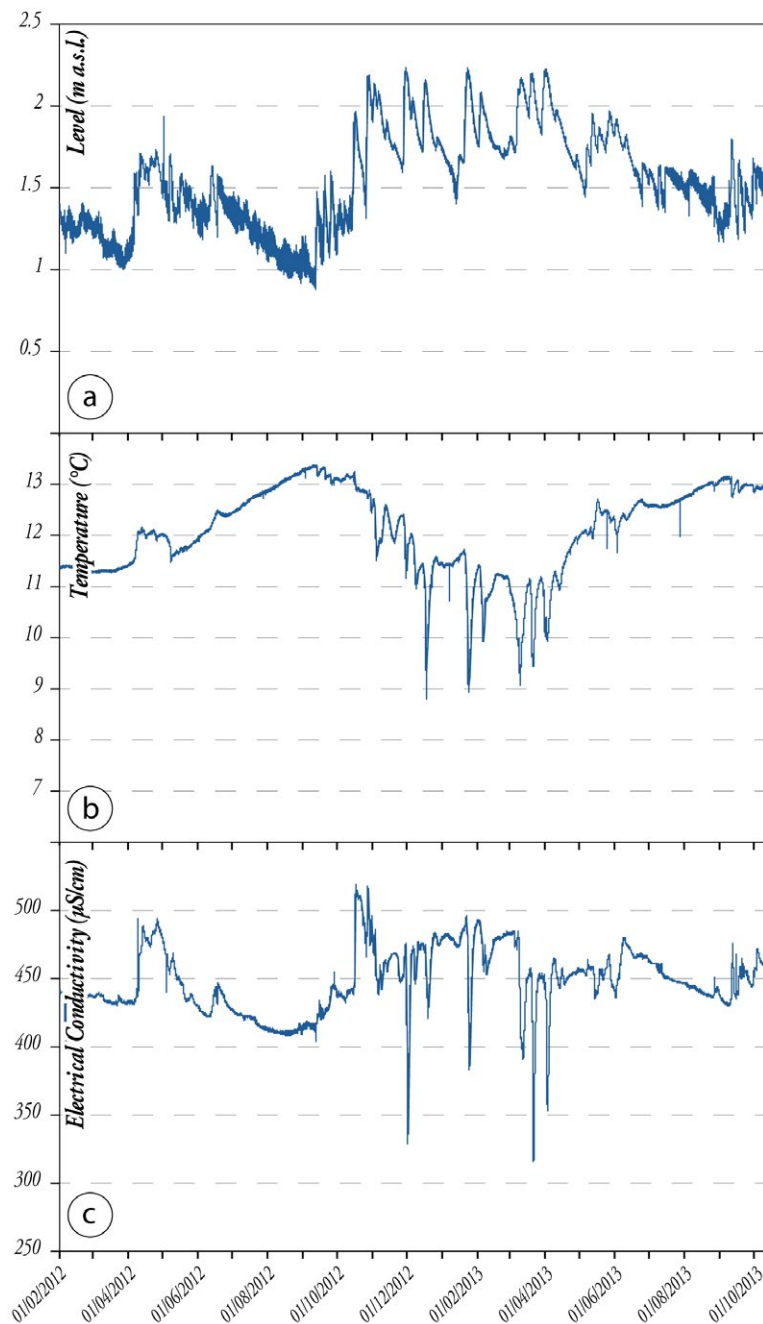
*Iz prejšnjih poglavij izhaja, da hidrogeološke strukture klasičnega*



nonché in zone di flusso estremamente turbolento (si pensi agli episodi di piena).

L'idrostruttura del Carso Classico, come descritto nei capitoli precedenti, è alimentata non solo dalle precipitazioni ma anche dai contributi dovuti ai due maggiori fiumi: il Reka a est e il sistema Isonzo-Vipacco a nord-ovest. Pur conoscendo sommariamente il possibile percorso che il Reka divenuto Timavo sotterraneo compie nelle profondità dell'idrostruttura da San Canziano in poi, sono meno note le caratteristiche dell'idrostruttura stessa, le sue peculiarità in termini di fratturazione, permeabilità secondaria e presenza di una circolazione attraverso condotte freatiche. L'analisi dei cosiddetti idrogrammi (variazioni di portata/livello) e dei chemiogrammi (associati alle variazioni delle caratteristiche chimiche delle acque riconducibili a variazioni di temperatura e conducibilità), permettono di caratterizzare la risposta dell'acquifero alla ricarica e di comprendere l'organizzazione del reticolo carsico. La forma che le curve assumono durante le piene dipendono dalla durata ed intensità delle precipitazioni, dalle modalità di infiltrazione delle acque e dalla tipologia di flusso che si genera nella zona satura.

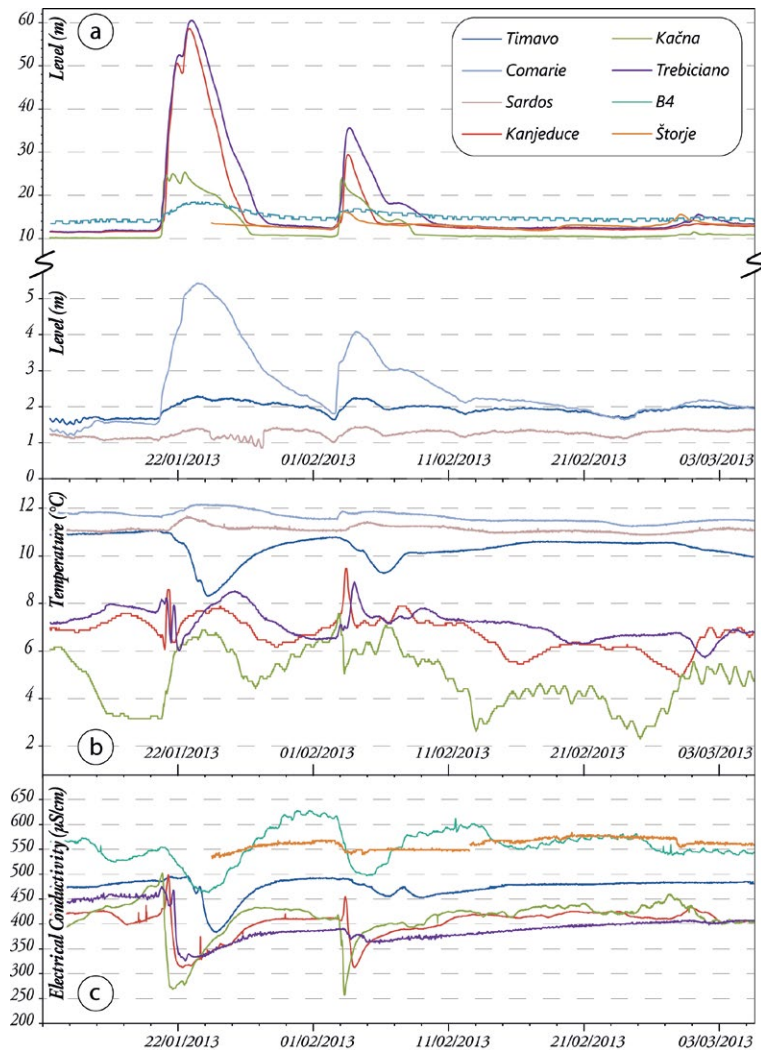
Il fenomeno carsico che ha interessato il Carso Classico da almeno 15 milioni di anni ha generato un reticolo di fratture e condotte ben sviluppati e connessi tra di loro che permette una rapida infiltrazione e un veloce drenaggio delle acque sotterranee. Come si osserva (Figura 4.8a) l'impulso di piena viene registrato in tutti i punti di monitoraggio con repentini innalzamenti del livello delle acque sia nelle grotte che nei piezometri che nelle sorgenti. Si osserva come il regime del Reka, durante le piene, influenzi tutta l'idrostruttura fino alle sorgenti (Figura 4.8a). Nelle diverse cavità poste tra l'inghiottitoio e le sorgenti (Abisso dei Serpenti - Kačna jama, Grotta di Kanjaduce, Abisso di Trebiciano-Labodnica) durante le piene il livello inizia a crescere in modo pressoché simultaneo in tutti i punti indice non dell'arrivo dell'onda di piena, ma di un innalzamento dovuto alla trasmissione del carico idraulico. I livelli da soli perciò non ci permettono di comprendere i tempi di percorrenza dell'acqua sotterranea, ma bisogna andare ad analizzare i dati relativi alla conducibilità elettrica ed alla temperatura (Figura 4.8b e 4.8c). Durante le piene le acque catturate nell'inghiottitoio di San Canziano pre-



**Figura 4.7**  
2 anni di monitoraggio  
dei livelli alle sorgenti  
del Timavo.

**Slika 4.7**  
Rezultati 2-letnega  
spremljanja nivoja vode  
na izvirih Timave.

sentano generalmente una significativa diminuzione della EC e della T all'aumentare della portata. Questo impulso viene registrato con ritardi via via crescenti allontanandosi dall'inghiottitoio anche in tutti gli altri punti di monitoraggio. Durante la piena di gennaio 2013 le acque hanno impiegato circa 15 ore per coprire il percorso tra l'Abisso dei Serpenti e



Krasa ne napajajo samo padavine, ampak tudi doprinos dveh največjih rek: Reke na vzhodu in sistema Soča-Vipava na severozahodu. Podzemna vodna pot, ki jo Reka (oz. Timava) opravi v globinah hidrogeološke strukture od Škocjana dalje, je sicer v glavnem poznana, manj znane pa so same značilnosti hidrogeološke strukture: razpokanost, sekundarna vodoprepustnost in lega podzemnih obvodnih kanalov. Na osnovi analize hidrogramov (spremembe pretoka/nivoja v času) in kemigramov (spremembe kemijskih značilnosti vode v času) je mogoče opredeliti odziv vodonosnika na dotok nove vode in razumeti konfiguracijo omrežja kraških kanalov. Značilnosti toka vode med visokim vodostajem (poplavlami) so odvisne od trajanja in jakosti padavin, načina pronicanja padavinske vode in značilnosti toka v nasičeni coni kraškega vodonosnika.

Zakrasevanje, ki je na klasičnem Krasu potekalo vsaj 15 milijonov let, je povzročilo nastanek omrežja dobro razvejanih, med seboj povezanih razpok in kanalov, ki omogoča hitro pronicanje in odvajanje podzemnih vod. Kot je razvidno iz slike 4.8a, so ob visokih vodostajih na vseh opazovalnih točkah zabeleženi sunkoviti porasti vodne gladine, tako v jamah kot v opazovalnih vrtinah in izviri. Opaziti je, da režim reke Reke med poplavnim valom vpliva na celotno hidrogeološko strukturo vse do izvirov (Slika 4.8a). V jamah, ki se nahajajo med ponorom Reke in izviri (Kačna jama, Kanjeduca, jama Labodnica), prične raven gladine podzemne vode med poplavlami naraščati skoraj istočasno na vseh merilnih mestih, kar pa še ne kaže bližanja samega vodnega vala; porast gladine je le posledica prenosa hidravlične obremenitve. Podatek o nivoju podzemne vode nam tako sam po sebi ne omogoča opredelitve potovalnega časa vode pod zemljo. O potovalnem času vode je mogoče sklepati iz analize podatkov o električni prevodnosti in temperaturi (Slika 4.8b in 4.8c). Med poplavljanjem je za vode, ki poniknejo skozi škocjanski ponor, značilen bistven padec vrednosti električne prevodnosti in temperature, ki je sorazmeren z naraščanjem toka. Ta impulz se tudi na vseh drugih opazovalnih točkah odraža z zakasnitvami, ki postopoma naraščajo sorazmerno z oddaljenostjo od ponora. Ob poplavi januarja 2013 je voda prepotovala predel od Kačje jame do Kanjaduc v približno 15 urah, jama Labodnica pa je dosegla po 23 urah, za ponovni iztok skozi izvire Timave pa je potrebovala več

**Figura 4.8**  
Un esempio di monitoraggio in continuo: le variazioni dei livelli (a), della temperatura (b) e della conducibilità elettrica (c) delle acque (gennaio-febbraio 2013).

**Slika 4.8**  
Primer stalnega spremljanja višine vode (a), temperature (b) in električne prevodnosti (c) vode (januar-februar 2013).



la grotta di Kanjaduce e circa 23 ore per raggiungere la grotta di Trebiciano, mentre ci sono voluti più di 3 giorni per fuoriuscire alle sorgenti del Timavo. Prima della diminuzione dell'EC se ne registra un aumento che evidenzia l'espulsione di acque di riserva (maggiormente mineralizzate) che vengono mobilizzate per l'aumento del carico idraulico (effetto pistone). Questi dati testimoniano la presenza di un sistema di condotte che collegano l'area degli inghiottitoi con le sorgenti (Aurisina, Timavo) generando dei flussi estremamente veloci: sulla base dei valori di EC sono stati stimati valori di velocità che tra San Canziano e Trebiciano raggiungono valori compresi tra 200 e 800 m/h e valori tra 150 e 500 m/h nel tratto tra Trebiciano e le sorgenti (Grillo, 2009; Zini et al., 2014).

Nel settore nord-occidentale dell'area il comportamento è decisamente diverso: in concomitanza con gli eventi di piena non si evidenzia il rapido arrivo alle sorgenti dell'acqua di neoinfiltrazione, ma si osserva un effetto pistone con l'espulsione di acque di riserva caratterizzate da temperature più elevate (grotta di Comarie e sorgente Sardos in Figura 4.8b). È la risposta tipica di un sistema caratterizzato da cospicue riserve e caratterizzato da un reticolo carsico con numerosi dreni interconnessi gli uni agli altri. Tale sistema alimenta le sorgenti più occidentali dalla sorgente Sardos fino alle Mucille.

I livelli del pozzo B4 e del piezometro di Storje hanno comportamenti simili agli altri punti di misura, ma si discostano per quanto riguarda l'EC e la T. I valori dell'EC e della T risultano decisamente più elevati rispetto agli altri punti limitrofi con notevoli escursioni per la EC (per il pozzo B4), mentre la temperatura varia solo di pochi decimi di grado.

In sintesi, la superficie piezometrica della falda durante i periodi di magra o di normalità, è posizionata a quote che vanno dai 2-5 m s.l.m. in corrispondenza del settore Ronchi – Jamiano – Sistiana, ai 28-30 m di Gabria nella parte a nord-ovest, agli 8-13 m s.l.m. nel settore Prosecco-Sezana per poi risalire alle quote di fondo dell'Abisso dei Serpenti e connettersi a San Canziano. La superficie non è naturalmente continua, numerosi sono i volumi praticamente asciutti in cui i piani di discontinuità non sono sufficientemente aperti e persistenti da consentire la presenza di acqua in movimento. Durante i periodi di piena l'ampiezza della zona di oscillazione è variabile non solamente in funzione dell'entità della pie-

*kot 3 dni. Pred padcem vrednosti električne prevodnosti je opazen njen porast, ki priča o iztekanju starejše in bolj mineralizirane vode, in sicer zaradi povečanja hidravličnega tlaka (učinek bata). Podatki meritev kažejo prisotnost sistema kraških kanalov, ki povezujejo ponorno območje z območjem izvirov (Nabrežina, Timava), v katerih so tokovi podzemne vode zelo hitri. Na osnovi sprememb vrednosti električne prevodnosti so bile ocenjene hitrosti, ki med Škocjanom in Trebčami dosežejo vrednosti od 200 do 800 m/h ter vrednosti od 150 do 500 m/h na odseku od Trebč do izvirov (Grillo, 2009; Zini et al., 2014).*

*V severozahodnem predelu območja je odziv podzemne kraške vode na padavine zelo različen: v primeru poplavljanja ni opaziti naglega prihoda nove prenikajoče vode k izviru, temveč učinek bata in iztekanje starejše vode z višjo temperaturo (jama Komarje in izvir Sardoč; prim. Slika 4.8b). Gre za značilen odziv sistema z obilnimi vodnimi zalogami v omrežju med seboj povezanih kraških kanalov. Ta kraški vodni sistem napaja najzahodnejše izvire od izvira Sardoč do Močil.*

*Nivo gladine v vodnjaku B4 in v opazovalni vrtini pri Štorjah se obnaša podobno kot na drugih merilnih mestih, vendar sta tu različni električna prevodnost in temperatura podzemne vode. Vrednosti električne prevodnosti in temperature sta bistveno višji kot na drugih opazovalnih mestih. V vodnjaku B4 sicer opazujemo večje spremembe električne prevodnosti, medtem ko temperatura niha samo za nekaj desetink stopinje.*

*Na območju Ronke-Jamlje-Sesljan nivo podzemne vode v sušnih ali normalno vlažnih obdobjih niha od 2 do 5 m, pri Gabrijah na severozahodu od 28 do 30 m, na območju Prosek-Sezana od 8 do 13 m, potem pa se dvigne do nivoja, značilnega za dno Kačne jame in naprej do Škocjana. Zaradi specifičnih oblik kraških kanalov vodna gladina kraškega toka ni enakomerna. Med obdobji poplavljanja se amplituda nihanja spreminja ne samo glede na obilnost poplav in vrste napajanja, ampak tudi zaradi sprememb lateralnih hitrosti stranskih tokov. Porast nivoja podzemne vode je lahko sunkovit; v nekaterih primerih je hitrost naraščanja nivoja vode v Labodnici znašala več kot 3 m/h. V jugovzhodnem območju niha nivo podzemne vode od 3 do 10 m, medtem ko je za jugovzhodno območje značilen porast za približno 40 m, čeprav lahko v primeru izrednih poplavljanj vodna gladina naraste tudi za več kot 100 m.*

na e del tipo di alimentazione, ma anche in funzione della velocità di trasmissione laterale dell'impulso. L'innalzamento delle acque può essere repentino ed in talune circostanze nell'Abisso di Trebiciano si sono superati i 3 m/h. Nel settore nord-occidentale le oscillazioni della falda sono dell'ordine di 3-10 m mentre nel settore sud-orientale si registrano normalmente innalzamenti dell'ordine dei 40 m che possono superare i 100 m durante le piene eccezionali.

### 4.3 Caratterizzazione geochimica e microbiologica dell'acquifero del Carso Classico

CHIARA CALLIGARIS\*, TAMARA FERJAN STANIC\*\*\*, KIM MEZGA\*\*\*, STEFANO PISELLI\*\*, DANIELA SCIOLIS\*\*, FRANCESCA FEDERICA SLEJKO\*, LUCA ZINI\*

\*Dipartimento di Matematica e Geoscienze, Università degli Studi di Trieste

\*\*AcegasApsAmga, Trieste

\*\*\*Geološki zavod Slovenije

Il Carso, a modo suo, è sempre stata una realtà speciale in cui le rocce carbonatiche, con le loro peculiarità e ricchezza di forme, hanno creato un ambiente complesso in cui l'acqua non scorre in superficie, ma lo fa solo in profondità. L'inaccessibilità e la fragilità del sistema, hanno fatto sì che da più di un secolo, gli studiosi si siano impegnati non solo per comprendere i percorsi delle acque, tuttora non del tutto noti, ma anche per caratterizzarle chimicamente e microbiologicamente visto che una loro parte è destinata al consumo umano. Fino dalla metà dell'800 infatti, le acque delle sorgenti dell'acquifero carsico furono utilizzate per l'approvvigionamento idrico della città di Trieste e dell'altopiano carsico. Oggi, le Sorgenti del Timavo congiuntamente a quelle di Moschenizze Nord non sono più captate ma costituiscono comunque una riserva idrica strategica immediatamente sfruttabile in caso di inquinamento o de-pauperamento delle altre captazioni.

A causa della loro destinazione d'uso, mensilmente, i tecnici di AcegasApsAmga, così come quelli del Kraški Vodovod Sežana, eseguono controlli di routine sulle acque attraverso i quali è possibile individuare, con estrema rapidità, la presenza di eventuali inquinanti

### 4.3 Geokemijske in mikrobiološke značilnosti vodonosnika klasičnega krasa

CHIARA CALLIGARIS\*, TAMARA FERJAN STANIC\*\*\*, KIM MEZGA\*\*\*, STEFANO PISELLI\*\*, DANIELA SCIOLIS\*\*, FRANCESCA FEDERICA SLEJKO\*, LUCA ZINI\*

\*Dipartimento di Matematica e Geoscienze, Università degli Studi di Trieste

\*\*AcegasApsAmga, Trieste

\*\*\*Geološki zavod Slovenije

*Kras je od nekdaj predstavljal edinstveno področje, ki so ga karbonatne kamnine s svojimi značilnostmi in bogato izoblikovanostjo oblikovale v kompleksno okolje, kjer se voda ne pretaka po površju, temveč le v globinah pod površjem. Nedostopnost in ranljivost sistema sta vzrok, da si znanstveniki že več kot stoletje prizadevajo razumeti tokove podzemne vode, ki še danes niso povsem raziskani, ter opredeliti kemijske in mikrobiološke značilnosti vode, saj je le-ta delno namenjena tudi človeški porabi. Do sredine 19. stoletja so bili izviri kraškega vodonosnika zajeti za potrebe vodooskrbe mesta Trst in same kraške planote. Danes vode iz izvirov Timave in severne Moščenice ne zajemajo več, vseeno pa predstavljajo strateško vodno rezervo, ki bi jo bilo mogoče zlahka koristiti v primeru onesnaženja drugih črpališč.*

*Za potrebe zagotavljanja kvalitete pitne vode tehniki vodovodnih podjetij AcegasApsAmga in Kraški vodovod Sežana enkrat mesečno izvajajo rutinske analize vode. Z omenjenimi testi je mogoče v izredno kratkem času ugotoviti prisotnost morebitnih onesnaževal, še preden ta vstopijo v distribucijsko omrežje. Za dopolnitev omenjenih analiz so v tri-letnem obdobju trajanja Projekta HYDROKARST italijanski in slovenski raziskovalci izvedli vrsto vzorčenj in meritev, katerih namen je bila karakterizacija vod ne le z vidika fizikalno-kemijskih (analiza glavnih anionov in kationov, določitev elektroprevodnosti in vrednosti pH) ter mikrobioloških značilnosti, temveč tudi izotopskih značilnosti voda z analizo stabilnih izotopov kisika in vodika ter izotopov stroncija. Izotopska sestava kisika in vodika ( $\delta^{18}\text{O}$  in  $\delta^2\text{H}$ ) v podzemni vodi podaja informacijo o morebitnih pojavih evaporacije vode in mešanjem različnih voda, izotopska sestava stroncija ( $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ) pa omogoča ugotavljanje interakcije med vodo in kamnino ter oceno zadrževalnega časa vode v vodonosniku.*





Idrometro al 2° ramo delle Sorgenti del Timavo.

*Hidrometer ob drugem rokavu izvira reke Timave.*





Le acque torbide di una piena alle sorgenti di Aurisina.

*Kalne vode ob visokem vodostaju pri Nabrežini.*



prima che possano entrare nella rete di distribuzione. Ad integrazione di tali analisi nei tre anni di Progetto HYDROKARST, i ricercatori italiani e sloveni hanno effettuato campionamenti e misure per caratterizzare le acque non solo dal punto di vista strettamente chimico-fisico (attraverso l'analisi degli ioni maggiori, della conducibilità elettrica e del pH) e microbiologico, ma anche da quello isotopico, attraverso l'analisi degli isotopi dell'ossigeno, dell'idrogeno e dello stronzio. Gli isotopi di ossigeno ed idrogeno ( $\delta^{18}\text{O}$  e  $\delta^2\text{H}$ ) danno indicazioni su eventuali fenomeni di evaporazione e mescolamento tra acque diverse mentre quelli dello stronzio ( $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ) permettono di definire le interazioni acqua-roccia e di valutare i tempi di residenza delle acque all'interno dell'acquifero.

Nell'ambito del Progetto sono state realizzate sei campagne di monitoraggio dei punti acqua, raccogliendo campioni nei pozzi, nelle grotte, nelle sorgenti e nei fiumi durante diversi regimi pluviometrici. Di seguito vengono analizzati, in quanto significativi e rappresentativi i dati inerenti la campagna di misure del 31 marzo – 1 aprile 2014.

#### 4.3.1 L'approccio metodologico

Per ogni punto acqua sono stati raccolti 4 campioni destinati ai diversi laboratori (laboratorio AcegasApsAmga, laboratorio del Dipartimento di Matematica e Geoscienze dell'Università di Trieste-D.M.G. e laboratorio Hydroisotop GmbH a Schweitenkirchen, in Germania):

- 1 campione da 1L in bottiglia di polietilene destinato alle analisi chimiche per la definizione delle concentrazioni degli ioni maggiori quali bicarbonati ( $\text{HCO}_3^-$ ), silice ( $\text{SiO}_2$ ), cloruri ( $\text{Cl}^-$ ), nitrati ( $\text{NO}_3^-$ ), fosfati ( $\text{PO}_4^{3-}$ ), solfati ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), sodio ( $\text{Na}^+$ ), potassio ( $\text{K}^+$ ), magnesio ( $\text{Mg}^{2+}$ ), calcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ) ed inoltre è stata valutata la conducibilità a 20 °C, il pH, il COD (Chemical Oxygen Demand) ed il BOD<sub>5</sub> (Biochemical Oxygen Demand). In alcuni campioni sono state inoltre determinate le concentrazioni di ferro e manganese disciolto;
- 1 campione da 1L raccolto in bottiglia di vetro sterile destinato alle analisi microbiologiche quali i Coliformi totali, Enterococchi, Escherichia coli;
- 1 campione da 250 ml in bottiglia di polietilene (filtrato a 0,45 µm) per l'analisi degli isotopi dello stronzio ( $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ );

*V sklopu projekta je bilo izvedenih šest vzorčenj v črpališčih, piezometrih, jamah, izvirih ter rekah v različnih hidroloških režimih. V tem članku bomo analizirali podatke za obdobje od 31. marca do 1. aprila 2014, ki predstavljajo značilen in reprezentativen nabor podatkov.*

#### 4.3.1 Metodološki pristop

*Na vsakem vzorčnem mestu so bili za posamezne parametre odvzeti 4 vzorci vode, ki so bili analizirani v treh različnih laboratorijih (laboratorij podjetja AcegasApsAmga, laboratorij Oddelka za matematiko in vede o Zemlji Univerze v Trstu in laboratorij Hydroisotop GmbH v Schweitenkirchenu, Nemčija):*

- 1 litrski vzorec vode, zajet v polietilensko embalažo, namenjen določitvi vsebnosti glavnih anionov in kationov, ki zajema določitve bikarbonata ( $\text{HCO}_3^-$ ), klorida ( $\text{Cl}^-$ ), nitrata ( $\text{NO}_3^-$ ), fosfata ( $\text{PO}_4^{3-}$ ), sulfata ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), natrija ( $\text{Na}^+$ ), kalija ( $\text{K}^+$ ), magnezija ( $\text{Mg}^{2+}$ ), kalcija ( $\text{Ca}^{2+}$ ) ter silicijevega dioksida ( $\text{SiO}_2$ ); dodatno je bila določena tudi elektroprevodnost vode (EC) pri 20 °C, vrednost pH, kemijska potreba po kisiku - COD (Chemical Oxygen Demand) in biokemijska potreba po kisiku - BOD<sub>5</sub> (Biochemical Oxygen Demand). V nekaterih vzorcih je bila določena tudi vsebnost raztopljenega železa in mangana;
- 1 litrski vzorec vode, odvzet v sterilno steklenico, namenjen mikrobiološki analizi skupnega števila koliformnih bakterij, enterokokov in bakterij Escherichia coli;
- 1 250 ml vzorec vode, odvzet v polietilensko embalažo (vzorec filtriran skozi 0,45 µm filter) za določanje izotopske sestave stroncija ( $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ );
- 1 50 ml vzorec vode, odvzet za določanje izotopske sestave stabilnih izotopov kisika ( $\delta^{18}\text{O}$ ) in vodika ( $\delta^2\text{H}$ ).

*Kemijske in mikrobiološke analize so bile izvedene v laboratoriju podjetja AcegasApsAmga. Z mikrobiološkega stališča temelji nadzor kakovosti vode predvsem na iskanju mikroorganizmov, ki veljajo za indikatorje onesnaženja. Mikrobiološke analize odvzetih vzorcev vode, izvedene skladno s predpisi za preverjanje kakovosti vode, se nanašajo na skupine mikrobov, ki sicer niso patogeni, lahko pa v izredno kratkem času in z enostavnimi metodami pokažejo prisotnost mikrobiološke-*

- 1 campione da 50 ml per l'analisi degli isotopi dell'ossigeno  $\delta^{18}\text{O}$  e dell'idrogeno  $\delta^2\text{H}$ .

Dal punto di vista microbiologico, il controllo della qualità delle acque si basa primariamente sulla ricerca di microrganismi indicatori di contaminazione. Le analisi di monitoraggio, stabilite dalle normative per il controllo delle acque, fanno dunque riferimento a gruppi microbici che non presentano caratteristiche di patogenicità, ma che sono in grado di esprimere l'esistenza o meno di una contaminazione microbica in tempi rapidi e con metodi facilmente applicabili. Nei campioni raccolti il metodo utilizzato per la ricerca degli indicatori di contaminazione è il Defined Substrate Technology (ISO Standard 9308-2:2012 – water quality – Enumeration of *Escherichia coli* and coliform bacteria) a pozzetti multipli (DST), che prevede l'utilizzo di due substrati di crescita: il Colilert-18 per i Coliformi totali e l'*Escherichia coli* e l'Enterolert DW per gli Enterococchi.

Gli ioni maggiori sono stati analizzati tramite cromatografia ionica e assorbimento atomico (per ferro e manganese) secondo le procedure previste per le acque destinate al consumo umano ai sensi del DL.vo 31/2001 con precisione  $\leq 10\%$  e limite di rilevabilità di 0,1 mg/l per Na, K, Mg, Ca, 0,5 mg/l per Cl,  $\text{SO}_4$  e  $\text{NO}_3$ , 1  $\mu\text{g/l}$  per Fe e Mn. I bicarbonati sono stati analizzati tramite Titrimetria con sensibilità di 1 mg/l.

Le analisi isotopiche dell'ossigeno e dell'idrogeno sono state realizzate utilizzando la metodologia Cavity Ring Down Spectrometer (CRDS, Picarro 2130i). La tecnica laser è basata sull'analisi della composizione isotopica del vapore acqueo. Il campione, posto in un campionatore automatico, viene successivamente iniettato in un vaporizzatore che lo trasferisce nel CRDS. Ogni campione viene analizzato sei volte, la media degli ultimi quattro valori dà la composizione isotopica. La massima incertezza analitica riportata è pari a  $\pm 0,15\%$  per  $\delta^{18}\text{O}$  e  $\pm 1,5\%$  per  $\delta^2\text{H}$ . Tutte le analisi sono state eseguite secondo gli standard di riferimento del laboratorio che periodicamente è sottoposto alle calibrazioni raccomandate da IAEA. I valori di d-excess sono stati calcolati a partire dai valori di  $\delta^{18}\text{O}$  e  $\delta^2\text{H}$  in campioni di acqua con un'accuratezza dell'ordine di  $\pm 1,5\%$ . I campioni con elevati valori del TOC sono stati preventivamente trattati con carboni attivi prima dell'esecuzione dell'analisi isotopica.

*ga onesaženja. Metoda, ki je bila uporabljena za analizo indikatorjev onesaženja pri zbranih vzorcih vode, je Defined Substrate Technology (ISO Standard 9308-2:2012 – water quality – Enumeration of *Escherichia coli* and coliform bacteria) z več jaški (DST), ki temelji na uporabi dveh substratov rasti: Colilert-18 za skupno število koliformnih bakterij in bakterij *Escherichia coli* ter l'Enterolert DW za določanje števila enterokokov.*

*Glavni ioni in kationi so bili analizirani z ionsko kromatografijo, z atomsko absorpcijo pa so bile določene vsebnosti železa in mangana. Določitve so bile izvedene v skladu s postopki, predvidenimi za vodo, ki je namenjena človeški potrošnji v skladu z italijanskim zakonodajnim odlokom 31/2001 z natančnostjo  $\leq 10\%$ , meja detekcije pa je znašala 0,1 mg/l za  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ , 0,5 mg/l za Cl,  $\text{SO}_4^{2-}$  in  $\text{NO}_3^-$  ter 1  $\mu\text{g/l}$  za Fe in Mn. Bikarbonati so bili analizirani z metodo titracije z občutljivostjo 1 mg/l.*

*Izotopska sestava  $\delta^{18}\text{O}$  in  $\delta^2\text{H}$  vode je bila izvedena v laboratoriju HydroIsotop GmbH, in sicer z metodo laserske absorpcijske spektroskopije - Cavity Ring Down Spectroscopy (CRDS, Picarro 2130i). Tehnika temelji na analizi izotopske sestave vodne pare vzorca. Za določitev izotopske sestave je bil vsak vzorec merjen šestkrat, za izračun povprečne izotopske sestave pa so bile uporabljene 6 vrednosti zadnjih štirih meritvev. Maksimalna zabeležena analitska negotovost znaša  $\pm 0,15\%$  za  $\delta^{18}\text{O}$  in  $\pm 1,5\%$  za  $\delta^2\text{H}$ . Pri meritvah so bili uporabljeni laboratorijski standardi, ki so bili periodično kalibrirani z mednarodnimi standardi, ki jih priporoča IAEA (International Atomic Energy Agency). Vrednosti deveterijevega presežka (d-excess) so bile določene iz vrednosti  $\delta^{18}\text{O}$  in  $\delta^2\text{H}$  s točnostjo  $\pm 1,5\%$ . Vzorci z visokimi vsebnostmi TOC so bili pred analizo izotopske sestave obdelani z aktivnim ogljem.*

*Izotopska sestava stroncija (Sr), ki jo predstavlja razmerje  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ , izvedena v laboratoriju Oddelka za matematiko in vede o Zemlji Univerze v Trstu, je bila določena s spektrometrom VG 54E in računalniškim programom Analyst (Ludwig, 1994). Izmerjene vrednosti so bile med izvedbo analize korigirane na osnovi naravnega razmerja  $^{86}\text{Sr}/^{88}\text{Sr}$  z vrednostjo 0,1194. Ponovljene meritve standarda NBS 987 (n=25) so pokazale srednjo vrednost  $0,710248 \pm 2$ , zato popravki zaradi odstopanja pri merilni napravi niso bili aplicirani.*



La composizione isotopica dello stronzio (Sr), cioè il rapporto  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ , è stata analizzata utilizzando uno spettrometro VG 54E ed il software Analyst (Ludwig, 1994). I rapporti misurati sono stati corretti durante l'analisi usando il rapporto di frazionamento  $^{86}\text{Sr}/^{88}\text{Sr}$  di 0,1194. Misure ripetute (n=25) dello standard NBS 987 hanno dato un valor medio di  $0,710248 \pm 2$  e pertanto non sono state applicate correzioni per la deriva strumentale.

#### 4.3.2 Presentazione dei dati e discussione

Dato che la ricarica dell'acquifero carsico è sostanzialmente rappresentata da tre diversi contributi quali, l'acqua del Reka, le precipitazioni efficaci e il contributo dell'Isonzo (Zini et al., 2014), si sono utilizzate le caratteristiche geochimiche e microbiologiche delle acque quali traccianti naturali per cercare di comprenderne l'origine e la provenienza.

L'idrofacies dominante è quella bicarbonato-calcica e/o bicarbonato calcica-magnesiaca, tipica di acque influenzate dai processi di dissoluzione di rocce carbonatiche, come evidenziato dalla correlazione Ca vs  $\text{HCO}_3^-$  (Figura 4.9).

Sebbene tutte le acque campionate abbiano una composizione chimica simile si osserva un arricchimento nella mineralizzazione via via

#### 4.3.2 Predstavitev podatkov in razprava

Ker se kraški vodonosnik napaja predvsem iz treh različnih virov, in sicer iz reke Reke, reke Soče ter padavin (Zini et al., 2014), smo geokemijske in mikrobiološke značilnosti obravnavanih voda uporabili kot naravna sledila za razumevanje njihovega izvora.

Prevladujoč tip vod je  $\text{HCO}_3^- \text{Ca}$  in/ali  $\text{HCO}_3^- \text{Ca-Mg}$ , ki je značilen za vode, katerih kemijska sestava je posledica raztapljanja karbonatnih kamnin, kot je razvidno iz razmerja med  $\text{Ca}^{2+}$  in  $\text{HCO}_3^-$  vzorčenih vod na Sliki 4.9.

Čeprav imajo vse vzorčene vode podobno kemijsko sestavo, je opazno postopno višanje mineralizacije od površinskih (vzorčna mesta ob strugah rek Soče, Vipave in Reke) k podzemnim vodam (vzorci, odvzeti v jamah, piezometrih in na izviri).

Analiza elektroprevodnosti (EC), ki je neposreden izraz mineralizacije vode, in molarnega razmerja Mg/Ca omogoča rekonstrukcijo toka vode od ponora na površju do ponovnega pojava na izviri.

V površinskih vodah se vrednost elektroprevodnosti giblje pod  $300 \mu\text{S}/\text{cm}$ , molarno razmerje Mg/Ca pa variira v odvisnosti od litoloških značilnosti napajalnega območja. Za Sočo, katere napajalno zaledje gradijo pretežno karbonatne kamnine (apnenci in dolomiti), je značilna enkrat

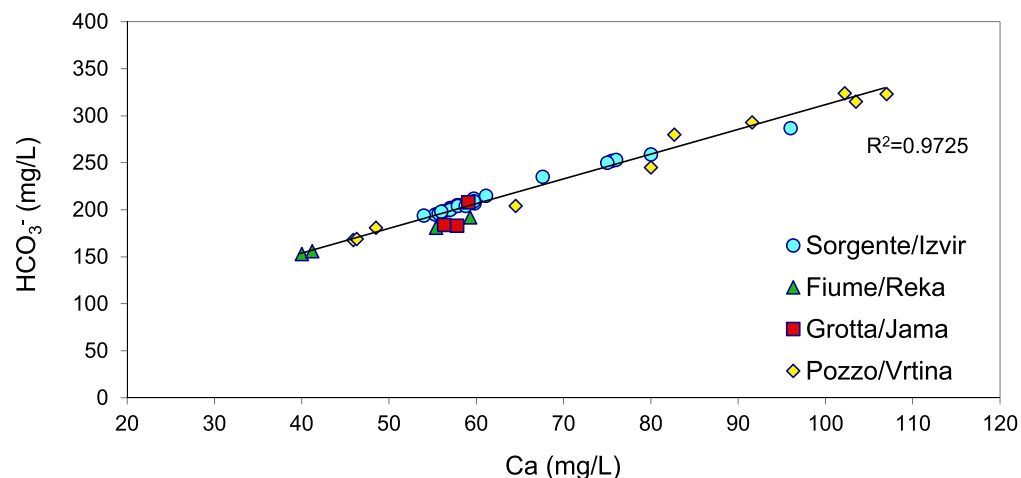
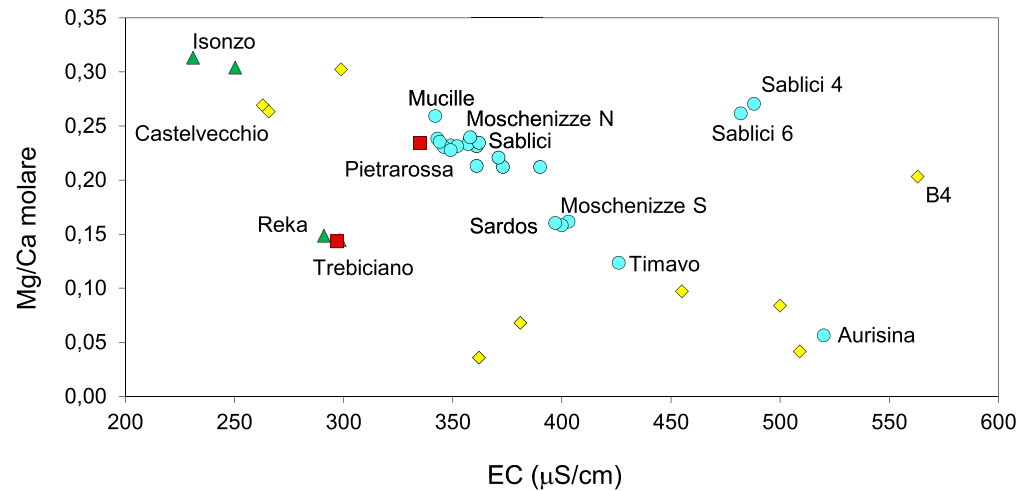


Figura 4.9  
Diagramma di correlazione calcio vs bicarbonati.

Slika 4.9  
Razmerje med bikarbonatnim ionom in kalcijem v vzorčenih vodah.



**Figura 4.10**  
**Diagramma di**  
**correlazione conducibilità**  
**elettrica (EC) vs Mg/Ca.**

**Slika 4.10**  
**Razmerje med**  
**vrednostmi**  
**elektroprevodnosti (EC)**  
**in molarnim razmerjem**  
**Mg/Ca vzorčenih vod.**

che si passa dalle acque superficiali (cioè quelle campionate in corrispondenza degli alvei fluviali dell'Isonzo, del Vipacco e del Reka) a quelle ipogee (campionate nelle grotte, nei piezometri e nelle sorgenti).

L'analisi congiunta della conducibilità elettrica (EC), che è diretta espressione della mineralizzazione delle acque, e del rapporto molare Mg/Ca permette di ricostruire la storia delle acque nel percorso dalla cattura in superficie fino alla riemersione nelle sorgenti.

Le acque superficiali hanno valori di conducibilità inferiori ai 300  $\mu\text{S/cm}$  ed un rapporto Mg/Ca che varia in funzione delle caratteristiche litologiche del bacino idrografico di pertinenza. L'Isonzo che drena un bacino principalmente calcareo-dolomitico ha un rapporto Mg/Ca che è il doppio rispetto a quello del Reka e del Vipacco che scorrono su bacini in flysch e calcari.

Le acque che si infiltrano a seguito delle precipitazioni sull'area carsica hanno mediamente una più elevata conducibilità elettrica (superiore ai 350  $\mu\text{S/cm}$ ) e un rapporto Mg/Ca mediamente basso (Merlak et al., 2007; Valentinuz, 2010) che aumenta nelle aree ove affiorano litotipi dolomitici.

In funzione di come queste tre tipologie di acque vanno a miscelarsi e dei tempi di interazione acqua-roccia, alle sorgenti rileviamo acque con caratteristiche geochemiche differenti.

višja vrednost molarnega razmerja Mg/Ca kot pri Reki ali Vipavi, kjer napajalno zaledje gradijo fliši in apnenci.

Vode, ki imajo svoj izvor v infiltraciji padavin na kraškem območju (kraške vode), imajo na splošno višjo elektroprevodnost (> 350  $\mu\text{S/cm}$ ) in na splošno nizko molarno razmerje Mg/Ca (Merlak et al., 2007; Valentinuz, 2010), ki se nekoliko zviša samo na območjih, kjer se na površju pojavijo dolomiti.

Načini mešanja opisanih treh vrst vod ter čas interakcije med vodo in kamnino povzročajo različne geokemijske značilnosti vode na izviri.

Izvirna voda, ki napaja Močile, Prelestno jezero, Sabliče in severni del Moščenice, je očitno pod vplivom soške vode, ki se meša s kraškimi vodami. Vrednosti elektroprevodnosti so nižje od 330  $\mu\text{S/cm}$ , molarno razmerje Mg/Ca pa je višje od 0,20 (Slika 4.10). Nasprotno pa vode iz Nabrežine z vrednostjo elektroprevodnosti 452  $\mu\text{S/cm}$  in molarnim razmerjem Mg/Ca 0,06 nakazujejo na odsotnost soške vode ter napajanje iz kraške vode oziroma iz reke Reke. Izviri Moščenice sever, Sardoč ter Timava so pretočne vode, pri katerih so prispevni deleži Reke, Soče ali kraških voda odvisni od vodnega režima. Samo dva izvira se razlikujeta od zgoraj opisanega stanja, in sicer izvira 4 in 6 iz dolgega sklopa izvirov Sabliči, kjer je povprečna vrednost elektroprevodnosti za 50 % višja od



Le acque delle sorgenti delle Mucille, di Pietrarossa, di Sablici e di Moschenizze Nord evidenziano la chiara influenza delle acque isontine che si miscelano con le acque di percolazione: valori di EC inferiori a 330  $\mu\text{S}/\text{cm}$  e rapporti Mg/Ca superiori a 0,20 (Figura 4.10). Al contrario le acque delle sorgenti di Aurisina, con valori di EC di 452  $\mu\text{S}/\text{cm}$  e rapporto di 0,06 indicano l'assenza di acque provenienti dall'Isonzo ed un'alimentazione che proviene dalle acque di percolazione e del Reka. Le sorgenti di Moschenizze Sud, Sardos e Timavo derivano da acque di transizione che in funzione del regime idrico risentono maggiormente di un apporto o dell'altro (Reka, Isonzo o acque di percolazione). Due punti sorgivi si distaccano da questo quadro: le sorgenti n. 4 e n.6 del lungo fronte sorgivo di Sablici che presentano mediamente valori di conducibilità del 50% superiori rispetto ai punti limitrofi. Questo aumento del contenuto salino è legato alla presenza in concentrazioni più elevate di ioni di cloruro e sodio di derivazione marina (Figura 4.11), con concentrazioni invariate di bicarbonati e solfati.

sosjednih vzorčnih točk. Povišanje vsebnosti raztopljenih snovi je posledica povišane vsebnosti  $\text{Cl}^-$  in  $\text{Na}^+$  morskega izvora (Slika 4.11), medtem ko so vsebnosti bikarbonatnega iona in sulfatov nespremenjene.

#### 4.3.2.1 Izotopske značilnosti

Stabilna izotopa kisika ( $\delta^{18}\text{O}$ ) in vodika ( $\delta^2\text{H}$ ) predstavljata odlično analitično orodje v kontekstu raziskovanja klasičnega Krasa, saj izotopska sestava odraža temperaturo, pri kateri so nastajale padavine, torej letni čas in njihov delež pri napajanju vodonosnika. Vrednosti izotopske sestave padavin so pretežno negativne med najhladnejšimi meseci in padajo z naraščanjem nadmorske višine napajalnega zaledja.

Iz Slike 4.12 je razvidno, da izotopska sestava vzorcev od globalne meteorne premice odstopa, ter da se približujejo lokalni meteorni premici, ki so jo predhodno določili za Kozino (Vreča et al., 2006). Kljub temu da so obravnavani le vzorci enega vzorčenja, rezultati pričajo o prisotnosti več napajalnih območij. Večina vode iz izvirov in vodnjakov (Castelvecchio in Škrlje) se napaja iz reke Soče. Za spomladanski čas so zaradi taljenja snega vrednosti izotopske sestave stabilnih izotopov kisika in vodika reke Soče veliko bolj negativne, kot kraške vode in reke Reke. Vrednosti  $\delta^{18}\text{O}$  in  $\delta^2\text{H}$  omogočajo razumevanje vloge reke Soče

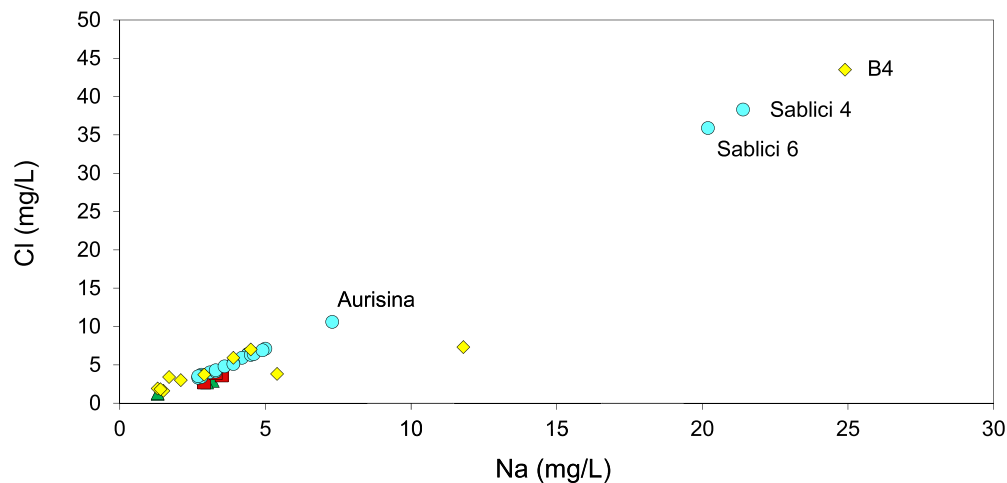


Figura 4.11  
Diagramma di  
correlazione sodio vs  
cloruri.

Slika 4.11  
Razmerje med  
vsebnostmi  $\text{Na}^+$  in  $\text{Cl}^-$  v  
vzorčenih vodah.

#### 4.3.2.1 Caratterizzazione isotopica

Gli isotopi dell'ossigeno ( $\delta^{18}\text{O}$ ) e dell'idrogeno ( $\delta^2\text{H}$ ) rappresentano un ottimo strumento di analisi nel contesto del Carso Classico in quanto il rapporto isotopico è anche funzione della temperatura alla quale si sono generate le precipitazioni e quindi in definitiva della stagione e della quota media del bacino di alimentazione. I valori di composizione isotopica delle precipitazioni sono più negativi durante i mesi più freddi e diminuiscono con l'aumentare della quota.

Analizzando il grafico di Figura 4.12 dove in ascissa sono presenti i valori di  $\delta^{18}\text{O}$  e in ordinata quelli di  $\delta^2\text{H}$ , si evince che i campioni deviano dalla Global Meteoric Water Line (GMWL - Craig, 1961) per posizionarsi in prossimità di una Local Meteoric Water Line (LMWL) già identificata in precedenza per Kozina (Vreča et al., 2006). Pur analizzando un singolo campionamento, dai dati emerge la presenza di diversi bacini di alimentazione che influenzano i punti acqua considerati: gran parte delle acque delle sorgenti e di alcuni piezometri (Castelvecchio e Scario) sono chiaramente influenzate dal fiume Isonzo. Durante la stagione primaverile infatti, in concomitanza con lo scioglimento delle nevi invernali, i valori degli isotopi dell'ossigeno ( $\delta^{18}\text{O}$ ) delle acque dell'Isonzo sono molto più negativi sia rispetto alle precipitazioni che insistono sul territorio carsico, che rispetto a quelli del Reka. I valori di  $\delta^{18}\text{O}$  e  $\delta^2\text{H}$  permettono perciò soprattutto in primavera di comprendere il ruolo dell'Isonzo nella ricarica delle acque dell'idrostruttura carsica. Le proporzioni e i valori del contributo isontino sono funzione anche del regime idrico: in fase di magra, quando l'influenza del Reka e dell'infiltrazione efficace (acque di percolazione) sono minimi il contributo dell'Isonzo è più evidente ed interessa gran parte delle sorgenti ad eccezione di Aurisina. Durante le piene l'influenza dell'Isonzo è prevalente solo nelle sorgenti più occidentali (Mucille, Pietrarossa, Sablici e Moschenizze Nord), nelle restanti con proporzioni differenti sono dominanti le alimentazioni carsiche e del Reka.

Dall'analisi della Figura 4.12, si evince che i piezometri B-2, B-7, B-9, P-1 e V-2 formano un gruppo a sé stante, con valori isotopici di ossigeno ed idrogeno mediamente più elevati, il che indica un mescolamento e una ricarica derivati presumibilmente dalle precipitazioni locali

*pri napajanju kraškega vodonosnika predvsem v spomladanskem času. Delež napajanja iz Soče je odvisen tudi od vodnega režima: v sušnem obdobju, ko je delež napajanja iz reke Reke in infiltriranih padavin najmanjši, soške vode napajajo vse izvire z izjemo Nabrežine. V bolj vodnatih razmerah je vpliv reke Soče prevladujoč samo pri najjužnejših izviri (Močile, Prelestno jezero, Sablič in Moščenica sever), medtem ko pri ostalih izviri prevladuje napajanje iz kraških voda in reke Reke v različnih razmerjih.*

*Na Sliki 4.12 lahko vidimo, da podzemna voda iz vodnjakov B-2, B-7, B-9, P-1 in V-2 predstavlja ločeno skupino, saj ima v povprečju višjo izotopsko sestavo kisika in vodika, kar priča o mešanju in napajanju, ki je najverjetneje posledica infiltracije lokalnih padavin (Klariči,  $\delta^{18}\text{O} = -6,85\text{‰}$ ).*

*Vzorca vode iz črpališča Klariči (B-4) in reke Reke se ne nahajata na skrajnih delih premice, zato ne predstavljata končnih členov mešanja med različnimi vodami (Krivic et al., 1986; Flora & Longinelli, 1989; Urbanc & Kristan, 1998; Doctor et al., 2000, 2006; Doctor, 2008; Urbanc et al., 2012). To hipotezo, čeprav zasnovano le na enkratnem vzorčenju, potrjujejo tudi predhodne raziskave (Doctor, 2000).*

*Stroncij je za razliko od kisika in vodika nekonzervativni element, zato se njegova koncentracija in izotopska sestava spreminjata na osnovi interakcije med vodo in kamnino. Če je interakcija dolgotrajna, lahko voda doseže izotopsko ravnotežje s kamnino in hkrati enako izotopsko sestavo kot kamnina sama. Čeprav je ta tehnika na hidrološkem področju prisotna že dalj časa (Palmer & Edmond, 1992; Johnson & DePaolo, 1994; Oetting et al., 1996; Gosselin et al., 1997; Armstrong & Sturchio, 1998; Johnson et al., 2000; Gosselin et al., 2004; Négrel & Petelet-Giraud, 2004; Han & Liu, 2004; Katz & Bullen, 1996; Musgrove & Banner, 2004; Barbieri et al., 2005; Musgrove et al., 2010), so literarni podatki o Sr na območju klasičnega Krasa kljub mnogim raziskavam zelo redki. Tako so predstavljeni podatki o razmerju  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  prvi, ki se nanašajo na območje klasičnega Krasa. Opravljene analize dokazujejo, da je izotopska sestava stroncija v Soči in Reki podobna in bolj radiogena kot pa pri drugih vzorcih. Izotopska sestava stroncija v teh rekah se po postopni interakciji s karbonatnimi kamninami z nizko izotopsko sestavo*



(Klariči,  $\delta^{18}\text{O} = -6,85\text{‰}$ ). La stazione di pompaggio di Klarici (B-4), così come il Rekanon sono end-member del processo di mescolamento tra le diverse acque (Krivic et al. 1986; Flora & Longinelli 1989; Urbanc & Kristan, 1998; Doctor et al., 2000, 2006; Doctor, 2008; Urbanc et al., 2012). Questa ipotesi abbozzata su un singolo campionamento, trova tuttavia conferma negli studi di Doctor (2000).

A differenza dell'ossigeno e dell'idrogeno, lo Sr è un elemento non-conservativo e pertanto la concentrazione e la composizione isotopica variano in base all'interazione acqua-roccia: se i tempi d'interazione sono lunghi, l'acqua può raggiungere l'equilibrio isotopico con la roccia. Pur essendo una tecnica utilizzata in idrologia già da tempo (Palmer & Edmond, 1992; Johnson & DePaolo, 1994; Katz & Bullen, 1996; Oetting et al., 1996; Gosselin et al., 1997; Armstrong & Sturchio, 1998; Johnson et al., 2000; Han & Liu, 2004; Gosselin et al., 2004; Musgrove & Banner, 2004; Négrel & Petelet-Giraud, 2004; Barbieri et al., 2005; Musgrove et al., 2010), per la zona del Carso Classico non sono presenti riscontri bibliografici. Pertanto, i dati del rapporto  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  qui descritti sono i primi sulla zona del Carso Classico. Le analisi effettuate evidenziano che sia il fiume Isonzo che il fiume Reka presentano una composizione isotopica dello Sr simile e più radiogenica rispetto agli altri campioni. Le acque di questi fiumi via via che interagiscono con le rocce carbonatiche. a

postopoma znižuje, vendar nikoli ne doseže ravnotežja s karbonati, kot smo opazili pri nekaterih izviri. Za vodo iz izvirov, piezometrov in kraških jam so značilne vmesne vrednosti med izotopsko sestavo rek Soče in Reke ter vode v ravnotežju s karbonati kredne starosti (izotopska sestava stroncija = 0,70750). Iz opazovanja vseh vzorcev lahko sklepamo, da vse analizirane vode kažejo na mešanje med komponento, ki se približuje ravnotežju s karbonati (z nizko izotopsko sestavo stroncija in relativno visoko vsebnostjo Sr), in komponento v ravnotežju s silikatnimi minerali z bolj radiogenim izotopskim razmerjem in nizko vsebnostjo Sr, npr. reki Soča ali Reka.

Za opredelitev deleža napajanja iz rek Reke in Soče v izviri, kraških jamah in piezometrih smo uporabili diagram odvisnosti med izotopskim razmerjem  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  in izotopsko sestavo  $\delta^{18}\text{O}$ . Krivulji na Sliki 4.13 prikazujeta dvokomponentno mešanje vod, ki so glede na izotopsko sestavo Sr ( $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0,70750$ ) v ravnotežju s karbonati in vodo, pri kateri so vrednosti izotopske sestave kisika enake vrednostim lokalnih padavin ( $\delta^{18}\text{O} = -7,2\text{‰}$ ) in vrednostim rek Reke in Soče, dobljenim med vzorčenjem. Iz slike je razvidno, da je doprinos reke Reke opazen pri izviri Nabrežina, pri Škocjanskih jamah in Labodnici/Abisso di Trebiciano ter vodnjaku B-4, v znatno manjši meri pa pri vodnjakih P-1 in B-9. Doprinos reke Soče pa je razviden v vodi iz vodniaka Castelvecchio in izviri Prelestneea jezera in

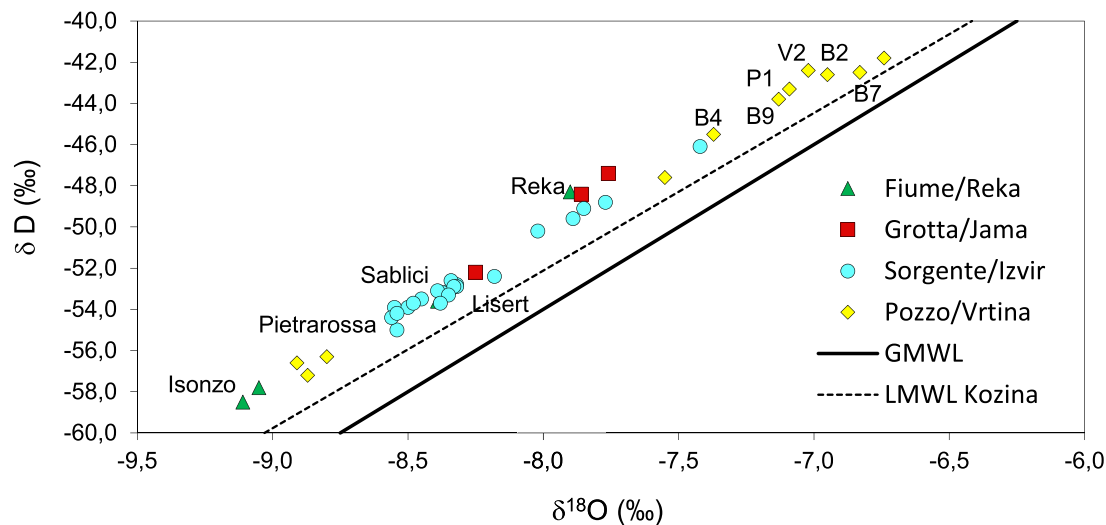


Figura 4.12  
Diagramma di  
correlazione  $\delta^{18}\text{O}$  vs  $\delta^2\text{H}$ .

Slika 4.12  
Izotopska sestava  
 $\delta^{18}\text{O}$  in  $\delta^2\text{H}$  vzorčenih  
površinskih in podzemnih  
vod.

composizione isotopica più bassa, tendono ad abbassare il loro rapporto isotopico senza però mai raggiungere l'equilibrio con i carbonati come osservato nelle varie sorgenti. Le acque delle sorgenti, dei piezometri e delle cavità carsiche mostrano valori intermedi tra la composizione isotopica dell'Isonzo e del Reka e quelli di un'acqua in equilibrio con i carbonati cretatici (composizione isotopica media=0,70750). Se osserviamo tutti i campioni, possiamo concludere che tutte le acque analizzate indicano un processo di mescolamento tra un componente che si avvicina all'equilibrio con i carbonati (con bassa composizione isotopica e relativamente alto contenuto di Sr) ed un componente in equilibrio con minerali silicatici che presentano un rapporto isotopico più radiogenico e un basso contenuto di Sr, come il fiume Isonzo o Reka.

Per cercare di quantificare il contributo del Reka e dell'Isonzo alle varie sorgenti, cavità carsiche e piezometri è stato utilizzato un grafico dove in ascissa viene riportato il rapporto isotopico  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  e in ordinata i valori di  $\delta^{18}\text{O}$ . Le curve in Figura 4.13 mostrano l'andamento del me-

*Sablicih. Vsi drugi izviri, tako Sardoč in Timava, ležijo med obema krivuljama, kar kaže na kompleksnejšo obliko napajanja (ne zgolj dvokomponentno), h kateri prispevata obe reki in kraške vode. V ostalih piezometrih napajanje iz rek Soče in Reke ni bilo razvidno, vendar vrednosti  $\delta^{18}\text{O}$  nakazujejo na znatno napajanje iz infiltracije padavin.*

#### 4.3.2.2 Mikrobiološke značilnosti

Skupne koliformne bakterije predstavljajo skupino okoljskih bakterij, ki se nahajajo v vodi, tleh in v vegetaciji. Razširjenost mikroorganizmov omenjene skupine je močno vplivala na njihovo vlogo, ki je zelo pomembna tudi na področju voda. Nedavne študije ločijo organizme omenjene skupine v dve kategoriji, ki se glede na vrsto ločijo na koliformne bakterije fekalnega izvora ter na koliformne bakterije, ki izvirajo iz vodnih in zemeljskih okolij, ki so v tem okoljih naravno prisotne ter ne predstavljajo onesaženja. V skupini koliformnih bakterij je močno zastopana *Escherichia coli*, ki se nahaja izključno v prebavilih človeka ter

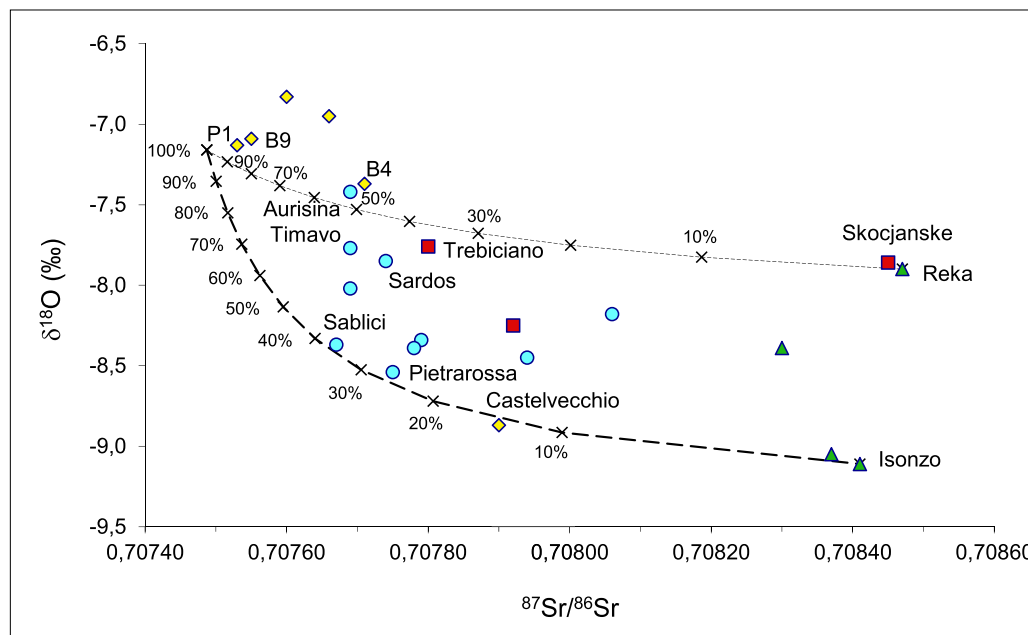


Figura 4.13  
Curve di miscelazione tra le acque dell'Isonzo, del Reka e le acque di percolazione.

Slika 4.13  
Krivulji mešanja med vodami rek Soča in Reka, ter kraškimi vodami.



scolamento binario tra un'acqua in equilibrio con i carbonati per quanto riguarda la composizione isotopica dello Sr ( $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0,70750$ ) e con composizione isotopica dell'ossigeno uguale alle precipitazioni medie locali ( $\delta^{18}\text{O} = -7,2\text{‰}$ ) ed i valori dei fiumi Reka ed Isonzo rilevati nel campionamento. Come possiamo osservare il contributo del fiume Reka è evidente per le sorgenti di Aurisina, San Canziano e Trebiciano, per il pozzo B4 e in quantitativo decisamente inferiore per i piezometri P1 e B9. Per quanto riguarda il contributo del fiume Isonzo, questo risulta evidente per il piezometro di Castelvecchio e per le sorgenti di Pietrarossa e Sablici. Tutte le altre sorgenti tra cui anche Sardos e Timavo, si collocano tra le due curve, evidenziando un'alimentazione più complessa (non semplicemente binaria) con contributo di entrambi gli apporti fluviali e delle acque di percolazione.

I restanti piezometri non evidenziano contributi dei due fiumi e possiamo notare che sono caratterizzati da valori di  $\delta^{18}\text{O}$  meno impoveriti in isotopi pesanti rispetto al Reka, indicativi di un significativo contributo di acque di infiltrazione locale.

#### 4.3.2.2 Caratterizzazione microbiologica

I coliformi totali rappresentano un gruppo di specie batteriche ambientali, in grado di colonizzare acqua, suolo e vegetazione. L'ampia diffusione nell'ambiente dei microrganismi appartenenti a tale gruppo ne ridimensiona il ruolo e il significato nelle acque. Studi recenti distinguono i microrganismi appartenenti a questo gruppo in due principali categorie che, in base alle specie, differenziano i coliformi di origine fecale da quelli di origine acquatica e tellurica, naturalmente presenti nelle acque, al di là di qualsiasi contaminazione. Nell'ambito del gruppo dei coliformi, *Escherichia coli* è ampiamente rappresentato ed è in esclusivo rapporto con il tratto gastrointestinale dell'uomo e degli animali a sangue caldo. L'Organizzazione Mondiale della Sanità da oltre un decennio ha riconosciuto la specie *E. coli* come indicatore primario di contaminazione fecale delle acque (Metodi analitici di riferimento per le acque destinate al consumo umano ai sensi del D.L. 31/2001, Rapporti ISTISAN 07/5). Il gruppo degli Enterococchi comprende gli streptococchi di prevalente derivazione animale con habitat intestinale (streptococchi intestinali). Le

*toplokrvnihi živali. Svetovna zdravstvena organizacija (WHO) je že pred več kot desetletjem opredelila bakterijo E. coli kot glavnega indikatorja kontaminacije vode s fekalijami (Referenčne analitske metode voda, namenjenih za prehrano ljudi, ki so podane v italijanskem zakonodajnem odloku 31/2001, Poročila ISTISAN 07/5). Skupina enterokokov zajema fekalne streptokoke, ki večinoma izvirajo iz živalskega prebavnega sistema. Vrste, zajete v omenjeno podskupino, imajo različen zdravstveni pomen. Njihov delež se razlikuje v iztrebkih različnih živalskih vrst, kjer glede na vsebnosti v človeških iztrebkih vedno prevladujejo (Bona-donna et al., 2013).*

*Potreba po kanalizacijskem omrežju na področju klasičnega Krasa, kjer so močno razširjene greznice, ki predstavljajo nevaren vir onesnaženja, je izredno velika. Med šestim vzorčenjem se je izkazalo, da so z mikrobiološkega vidika najbolj onesnaženi vzorci vode odvzeti v Soči na predelu Gorice, pred sotočjem z Vipavo, kjer je vsebnost koliformnih bakterij znašala 30.000 MPN/100 ml. V vzorcu je bilo prisotnih 6000 MPN/100 ml E. coli, kar kaže na fekalno onesnaženje, ki je bilo potrjeno tudi s prisotnostjo enterokokov. Opisano stanje ni izjema, temveč je bilo slabo mikrobiološko stanje na tem mestu zabeleženo tudi v predhodnih vzorčenjih. Najmanj mikrobiološko onesnaženi so vzorci podzemne vode iz piezometrov in vodnjakov (B-7, B-9, B-4, Štorje, V-2), saj so enterokoki ter E. coli prisotni v zelo omejenem številu, kar nakazuje na zelo nizko stopnjo fekalnega onesnaženja. V vzorcih, odvzetih na izvirihi, je stopnja mikrobiološkega onesnaženja primerljiva (med 5 MPN/100 ml in 37 MPN/100 ml), z izjemo izvira pri Nabrežini (99 MPN/100 ml), kjer so bile glede na ostala vzorčna mesta zabeležene povišane vsebnosti E. coli. Kar zadeva vzorce vode iz jam, je z mikrobiološkega stališča najbolj onesnažen vzorec vode iz jame Labodnice, kjer je bilo zabeleženo tudi onesnaženje fekalnega izvora.*

#### 4.3.3 Zaključki

*Aktivnosti spremljanja podzemnih in površinskih voda, izvedene v času trajanja projekta, so z geokemičnega vidika potrdile visoko kakovost vode kraškega vodonosnika klasičnega Krasa.*

*Kljub temu da je obravnavano območje izvirov omejeno na precej*

specie che vengono comprese in quest'ultimo sottogruppo hanno differente significato sanitario. La loro proporzione è diversa nelle feci delle diverse specie animali e comunque sempre prevalente rispetto alla loro concentrazione nelle feci umane (Bonadonna et al., 2013).

L'assenza di una rete fognaria nel territorio del Carso Classico, associata alla presenza di pozzi perdenti fa sì che il rischio di contaminazioni importanti, sia estremamente alto. Nello specifico, durante la sesta campagna di monitoraggio è emerso che i campioni più inquinati dal punto di vista microbiologico appaiono essere quelli provenienti dalle acque dell'Isonzo (campione prelevato a Gorizia, a monte della confluenza con il Vipacco) dove la presenza di Coliformi supera le 30.000 MPN/100 ml. Nel campione inoltre sono presenti più di 6000 MPN/100 ml di E. coli, indice di un'importante contaminazione fecale, confermata anche dalla presenza di Enterococchi. Tale risultato non è isolato, ma emerge anche dalle precedenti campagne di monitoraggio.

Per contro i campioni meno inquinati risultano essere quelli prelevati dai piezometri (B7, B9, B4, Štorje, V2), poiché, a parte la presenza di coliformi totali, in questi campioni gli Enterococchi e gli Escherichia coli sono presenti solo in numero limitato, indice di una bassissima contaminazione fecale.

Nei campioni delle sorgenti il grado di contaminazione microbica è pressoché uguale nei diversi punti di prelievo (tra le 5 MPN/100 ml e le 37 MPN/100 ml), fatta eccezione per le sorgenti di Aurisina (99 MPN/100 ml) dove sono stati rilevati valori maggiori di E. coli rispetto agli altri punti.

Per quanto riguarda i prelievi effettuati nelle grotte, il campione proveniente dall'Abisso di Trebiciano risulta il più inquinato dal punto di vista microbiologico, in quanto presenta anche una notevole contaminazione fecale.

#### 4.3.3 Conclusioni

Il monitoraggio eseguito nei tre anni di progetto ha confermato che le acque dell'acquifero carsico del Carso Classico presentano dal punto di vista geochimico ottime caratteristiche di qualità.

Sebbene l'area sorgentifera sia concentrata in una fascia piuttosto

*ozek pas, pa različne geokemijske značilnosti vode razkrivajo različen izvor in napajalna območja le-teh. Sistem izvirov je mogoče razdeliti na 3 območja: na obalno območje med izviri Nabrežine in Devina, ki se napaja pretežno iz reke Reke in v sušnih obdobjih iz kraških voda. Drugo območje sestavljajo zahodnejši izviri (Močile, Prelestno jezero, Sabliči, Moščenice sever in Ližerc), ki se tako v deževnem kot v sušnem obdobju napajajo iz soškega vodonosnika. Tretje območje se nahaja med izviri roma Moščenice jug in Timavo. Tu izvirajo vode, pri katerih ne glede na vodni režim (sušna ali deževna obdobja) prevladuje napajanje iz Soče, pred napajanjem s Krasa ali iz reke Reke. V sušnih obdobjih se ti izviri napajajo predvsem iz Soče, deloma pa tudi iz kraških voda. V deževnih obdobjih voda iz reke Reke napajajo Timavo, medtem ko pri izviri Sardoč in v manjši meri tudi pri izviri Moščenice jug prevladuje voda iz reke Reke skupaj z vodo kraškega izvora. Med obravnavanim vzorčenjem je bilo opaziti, da reka Reka prevladuje nad kraškimi vodami v Škocjanu (100 %) in pri Trebčah (63 %) , medtem ko sta pri Nabrežini (48 %) oba doprinosna enakovredna. Približno 86 % vode v vodnjakih Castelvechio se napaja z vodo iz soškega vodonosnika, 73 % pri izviri Prelestno jezero in 62 % pri Sabličih. Podzemna voda v vodnjaku B-4 se tako kot izviri 4, 5 in 6 območja Sabliči od ostalih vzorčnih mest očitno razlikuje po višjih vsebnostih Na<sup>+</sup> in Cl<sup>-</sup>. V teh točkah je poleg napajanja iz reke Reke in Soče (predvsem v sušnih obdobjih) ter kraških voda opazen dodaten prispevek vode morskega izvora, verjetno fosilne narave. Treba je namreč upoštevati, da je globoko pod vodonosnikom klasičnega krasa prisoten karbonatni vodonosnik, ki vsebuje fosilno morsko vodo miocenske starosti (Petrini et al., 2013). Ta voda naravno pronica na površje na območju zdravilišča v Tržiču samo nekaj sto metrov stran od vzorčnih izvirov in ima lahko lokalni vpliv na plitvejši vodonosnik.*



ristretta, le acque presentano caratteristiche geochemiche differenti a seconda delle diverse provenienze e alimentazioni. Il sistema sorgentizio può essere suddiviso in 3 settori: quello costiero tra le sorgenti di Aurisina e Duino caratterizzato da un'alimentazione che in piena è prevalentemente influenzata dalle acque del Reka ed in magra dalle acque di percolazione; il secondo settore è formato delle sorgenti più occidentali (Mucille, Pietrarossa, Salici, Moschenizze Nord e Lisert) ed è prevalentemente alimentato dalle acque dell'acquifero dell'Isonzo sia in magra che in piena.

Il terzo settore è situato nell'area compresa tra le sorgenti Moschenizze Sud ed il Timavo. Qui fuoriescono acque che in funzione dei diversi regimi vedono il prevalere dell'alimentazione isontina su quella carsica o del Reka. Durante le magre queste sorgenti sono alimentate prevalentemente dalle acque dell'Isonzo e da un contributo di acque di percolazione. Durante le piene le acque del Reka sono prevalenti alle Sorgenti del Timavo, mentre al Sardos ed in proporzioni minori anche a Moschenizze Sud emergono le acque del Reka congiuntamente ad acque carsiche. Durante il campionamento preso in considerazione si osserva il prevalere delle acque del Reka rispetto alle acque di percolazione a San Canziano (100%) e a Trebiciano (63%) mentre ad Aurisina (48%) i contributi si equivalgono. Circa l'86% delle acque dei piezometri di Castelvecchio è di pertinenza delle acque della falda isontina il 73% a Pietrarossa e il 62% a Sablici. Il pozzo B4 così come le sorgenti 4, 5 e 6 del fronte di Sablici si discostano dal resto delle acque campionate per un contenuto in Na e Cl decisamente superiore. In questi punti oltre ai contributi del Reka, dell'Isonzo (soprattutto in magra) e delle acque di percolazione si aggiunge un ulteriore componente di acque di origine marina probabilmente fossile. Bisogna tenere infatti in considerazione che al di sotto dell'acquifero del Carso Classico ad elevata profondità è presente un acquifero carbonatico nel quale sono contenute le acque marine fossili del Miocene (Petrini et al., 2013). Queste acque fuoriescono in modo naturale nell'area delle terme di Monfalcone poste a poche centinaia di metri dalle sorgenti analizzate e potrebbero interagire localmente anche con l'acquifero più superficiale.



**San Canziano  
d'inverno.**

**Reka Reka  
pri Škocjanu  
pozimi.**



**GASILCI**

**112**



Tracciamento a Štorje.

Sledilni poskusi pri Štorjah.



# I test di tracciamento

## *Sledilni poskusi*

JANJA KOGOVŠEK, METKA PETRIČ  
Inštitut za raziskovanje krasa ZRC SAZU

### 5.1 Introduzione

Il collegamento ipogeo tra il Reka e le sorgenti del Timavo è noto già nella letteratura antica (Kranjc, 2000). All'inizio del XIX secolo tale collegamento è stato confermato con le prime prove di tracciamento (Timeus, 1928). L'uso di vari traccianti ha svelato i collegamenti del Reka dall'inghiottitoio in corrispondenza delle Grotte di San Canziano attraverso le grotte di Kanjaduce e l'Abisso di Trebiciano fino alle Sorgenti del Timavo e ad altre sorgenti minori presenti nel Golfo di Trieste. Le velocità di flusso sono variabili, dai 47 m/h in magra, ai 300 m/h in piena (Timeus, 1928; Mosetti, 1965; Peric et al., 2012). Anche le acque che si disperdono in corrispondenza degli inghiottitoi sul Vipacco attraversano l'acquifero carsico fino al lago di Doberdò raggiungendo le sorgenti del Timavo (Timeus, 1928). Habič (1989) ha messo in luce la presenza di collegamenti tra gli inghiottitoi presso la Raša, Sajevški potok e Senožeški potok con le Sorgenti del Timavo, le sorgenti di Aurisina, quelle di Sardos e quelle di Moschenizze Nord, ma i risultati non sono mai stati presentati in dettaglio. È dimostrato che dalla zona della discarica di Sežana le acque defluiscono verso le sorgenti del Timavo, Aurisina e Sardos; una prova di tracciamento eseguita nel 2005 ha rivelato velocità di flusso apparenti fino a 40 m/h (Kogovšek & Petrič, 2007). Le prove di tracciamento succitate hanno dimostrato in modo affidabile l'esistenza di collegamenti nel tratto meridionale dell'acquifero carsico.

Le direzioni di deflusso del Reka dall'inghiottitoio di San Canziano fino alle sorgenti sono già state dimostrate in passato con numerose prove di tracciamento. Meno noto è invece il percorso nella più ampia

### 5.1 Uvod

*Podzemna vodna zveza ponikalnice Reke in izvirov Timave je bila omenjena že v antični literaturi (Kranjc, 2000), v začetku 20. stoletja pa je bila povezava potrjena s prvimi sledilnimi poskusi (Timeus, 1928). Z uporabo različnih sledil so bile ugotovljene povezave Reke od ponora v Škocjanske jame skozi Jamo v Kanjaducah in Labodnico do Timave in drugih izvirov v Tržaškem zalivu z navideznimi hitrostmi od 47 m/h ob nizkih vodostajih do 300 m/h ob visokih (Timeus, 1928; Mosetti, 1965; Peric et al., 2012). Tudi vode, ki ponikajo v strugi Vipave, odtekajo skozi vodonosnik Krasa do Doberdobskega jezera in izvirov Timave (Timeus, 1928). Habič (1989) je poročal o povezavah ponikalnic Raša, Sajevški in Senožeški potok z izviri Timava, Nabrežina, Sardoč in Moščenice S, bolj podrobni rezultati pa niso bili predstavljeni. Z odlagališča pri Sežani se vode dokazano stekajo proti izvirov Timava, Nabrežina in Sardoč, ob sledilnem poskusu v letu 2005 so bile ugotovljene navidezne hitrosti do 40 m/h (Kogovšek & Petrič, 2007). Z omenjenimi sledenji so bile zanesljivo dokazane podzemne vodne zveze v južnem delu vodonosnika Krasa, pri novem sledilnem poskusu pa smo z namenom določitve značilnosti pretakanja vode v širšem območju obe injicirni mesti pomaknili bolj proti severu.*

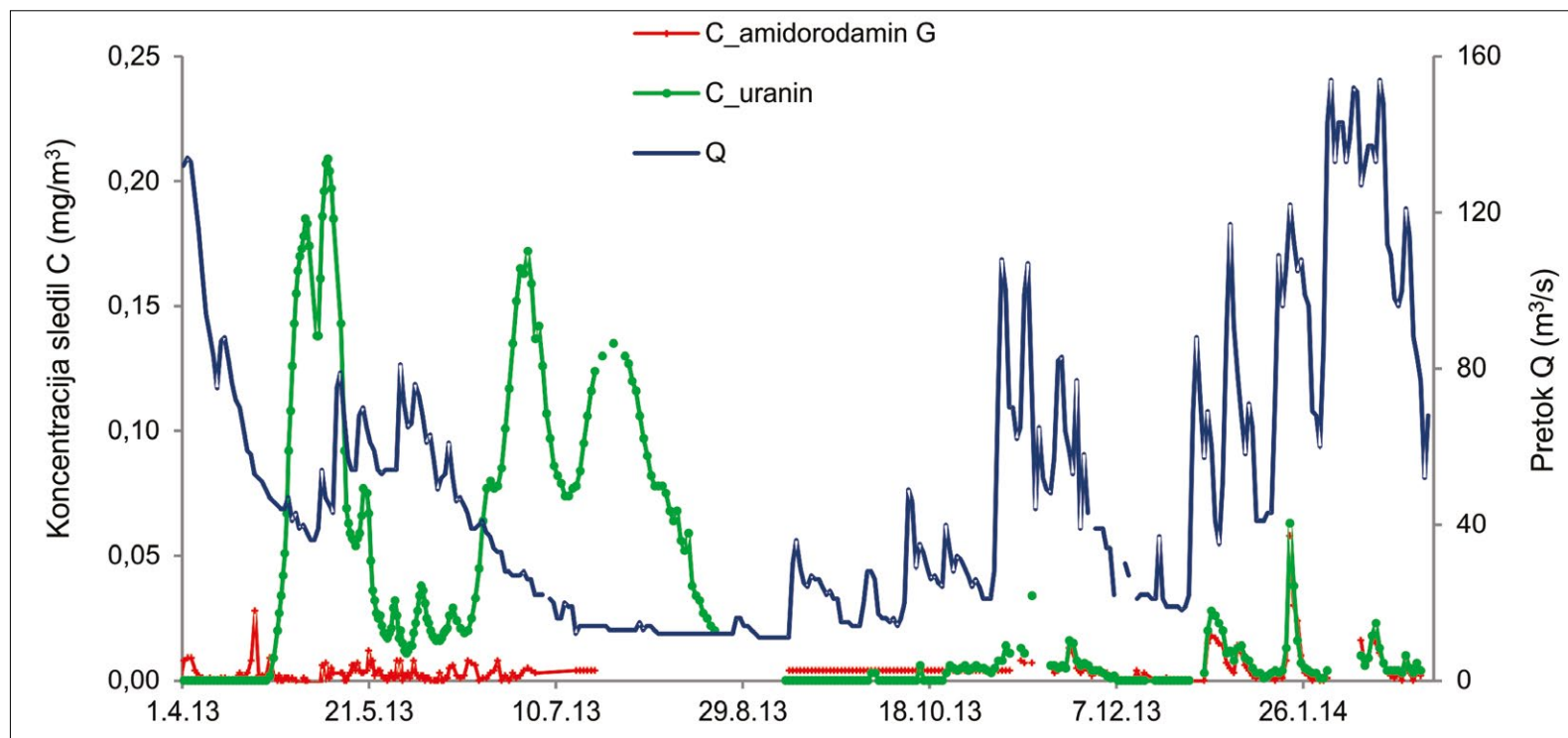
area dell'acquifero carsico verso nord. Per questo motivo si è deciso di realizzare, nell'ambito del Progetto HYDROKARST, una nuova prova di tracciamento che coprisse e permettesse ai ricercatori di caratterizzare anche quest'area.

## 5.2 L'iniezione e il campionamento

In seguito alle notevoli piogge nella seconda metà di marzo 2013, la portata del corso del Timavo ha toccato il 2 aprile 2013 i 134 m<sup>3</sup>/s. Il 10 aprile 2013, durante la fase di calo, sono stati iniettati 48 kg di uranina nel pozzo presso Štorje alla profondità di 200 m, profondità alla quale è stata identificata la presenza della falda e la presenza di fratture e condotti carsici.

## 5.2 Injiciranje in vzorčenje

Po pogostih padavinah v drugi polovici marca 2013 je pretok Timave 2. aprila 2013 dosegel 134 m<sup>3</sup>/s. V času upadanja smo 10. aprila 2013 injicirali 48 kg uranina v 200 m globoko vrtino pri Štorjah (Štorje-1/12), kjer je diagram nihanja nivoja vode pokazal na dobro komunikacijo vrtine z okolico. Z namenom določitve značilnosti podzemnega pretakanja v prispevnem zaledju črpališča Klariči smo na isti dan pri Selih na Krasu (2,5 km severovzhodno in približno 230 m nad gladino vode v črpališču) injicirali 1,1 kg amidorodamina G na površju, kjer je predhodno zalivanje z vodo iz cisterne pokazalo dobro požiralnost. Že pred injiciranjem smo začeli z ročnim ali avtomatskim vzorčenjem na izbranih izviri (Timava, Nabrežina, Sardoč, Moščenice N in S, Prelostno jezero), v črpališču Klariči, v vrtinah (P1 – Pliskovica, V2 – Avber, B7 – Klariči) in v pod-



**Figura 5.1**  
Il flusso e il rilascio di uranina e amidorodamina G attraverso le Sorgenti del Timavo negli 11 mesi successivi all'iniezione.

**Slika 5.1**  
Pretok in iztekanje uranina ter amidorodamina G skozi izvir Timava v obdobju 11 mesecev po injiciranju.



A Sela na Krasu (2,5 km a nord-est e circa 230 m s.l.m.), in corrispondenza di un inghiottitoio carsico dove una precedente prova infiltrometrica con acqua di cisterna aveva messo in evidenza un notevole grado di permeabilità, sempre il 10 aprile è stato iniettato 1,1 kg di amidorodamina G. Questo secondo test di tracciamento aveva come scopo la definizione delle caratteristiche del flusso sotterraneo anche nell'area dove è ubicata la stazione di pompaggio di Klariči.

Prima dell'iniezione è partita una campagna di campionamenti manuali e automatici su sorgenti selezionate (Timavo, Aurisina, Sardos, Moschenizze Nord e Sud, Lago di Pietrarossa), presso la stazione di pompaggio di Klariči, nei piezometri (P1 – Pliskovica, V2 – Avber, B7 – Klariči) e nelle grotte (Kanjaduce, Kačna jama/Abisso dei Serpenti, Abisso di Trebiciano/Labodnica, Cavernetta di Comarie/Jama pri Komarjih). Alle Sorgenti del Timavo e alla stazione di pompaggio di Klariči si sono svolte anche delle misurazioni parallele con due fluorimetri da campo Gotschy Optotechnik LLF-M.

I campioni raccolti sono stati analizzati in laboratorio con lo spettrometro a fluorescenza Perkin Elmer LS 45. L'uranina è stata rilevata a  $E_{ex}$  492 nm e  $E_{em}$  512 nm, l'amidorodamina G a  $E_{ex}$  532 nm e  $E_{em}$  552 nm.

### 5.3 I risultati del test di tracciamento

Le prime tracce di uranina sono state rilevate alle Sorgenti del Timavo il 25 aprile 2013, 15 giorni dopo l'iniezione in corrispondenza del calo del flusso idrico. Successivamente si è verificato il primo arrivo massiccio di tracciante con due picchi, durata 1 mese (Figura 5.1). Il Timavo ha raggiunto la massima concentrazione di uranina, ossia 0,21 mg/m<sup>3</sup>, il 10 maggio 2014, 15 giorni dopo la prima rilevazione, quando il suo flusso iniziava ad aumentare. L'aumento del flusso ha poi provocato un calo della concentrazione dovuto alla notevole diluizione. In seguito alla costante diminuzione delle portate e alla scarsità di precipitazioni, il secondo importante arrivo del tracciante si è verificato agli inizi di luglio. La sua tracciabilità è rimasta evidente per ben 2 mesi con due picchi (Figura 5.1). In occasione del primo picco del 2 luglio 2013 è stata raggiunta

*zemnih vodnih jamah (Jama v Kanjaducah 1, Kačna jama, Labodnica, Jama pri Komarjih). Na izviri Timava in v črpališču Klariči smo opravljali tudi vzporedne meritve s terenskima fluorimetroma Gotschy Optotechnik LLF-M.*

*Zajete vzorce smo analizirali v laboratoriju s fluorescenčnim spektrometrom Perkin Elmer LS 45. Uranin smo določevali pri  $E_{ex}$  492 nm in  $E_{em}$  512 nm, amidorodamin G pa pri  $E_{ex}$  532 nm in  $E_{em}$  552 nm.*

### 5.3 Rezultati sledenja

*Prve sledi uranina smo zaznali v izviri Timava 25. aprila 2013, 15 dni po injiciranju ob upadanju pretoka. Oblikoval se je prvi sledilni val z dvema vrhovoma, ki je trajal 1 mesec (Slika 5.1). Največjo koncentracijo uranina 0,21 mg/m<sup>3</sup> je Timava dosegla 10. maja 2013, 15 dni po prvem pojavu, ko je njen pretok začel naraščati. Naraščanje pretoka je nato povzročilo upadanje koncentracije zaradi velikih razredčitev. Ob nadaljnjem stalnem upadanju pretoka in skromnih padavinah se je oblikoval drugi sledilni val z dvema vrhovoma, ki je trajal kar 2 meseca. V prvem vrhu 2. julija 2013 je bila dosežena koncentracija uranina 0,17 mg/m<sup>3</sup>, v drugem 25. julija 2013 pa 0,135 mg/m<sup>3</sup>. Glede na maksimalno doseženo koncentracijo znaša dominantna hitrost pretakanja 38 m/h, maksimalna hitrost glede na prvi pojav pa kar 75 m/h (Tabela 5.1).*

*Po 4-mesečnem izrazitem pojavljanju sledila v izviri Timava (od maja do avgusta 2013) smo nato vse do novembra 2013 beležili koncentracije na meji določljivosti, kar pomeni, da je bil prenos minimalen oz. je izostal. Šele po padavinah novembra in kasneje od konca decembra 2013 naprej, ko so bili doseženi najvišji pretoki v obdobju opazovanja, je prišlo do občasnih manjših zveznih povečanj koncentracije uranina. Vzrok je bilo spiranje zaostalega uranina ob velikih razredčitvah. V drugi polovici februarja 2014 je koncentracija upadla pod mejo določljivosti. Sklepamo, da se je manjši prenos uranina nadaljeval še po vsakih izdatnejših padavinah, a v zelo nizkih koncentracijah. Ob velikih pretokih v januarja 2014 smo izmerili tudi manjša povečanja amidorodamina G, a to povezavo bi bilo potrebno zaradi majhne količine injiciranega sledila še preveriti.*

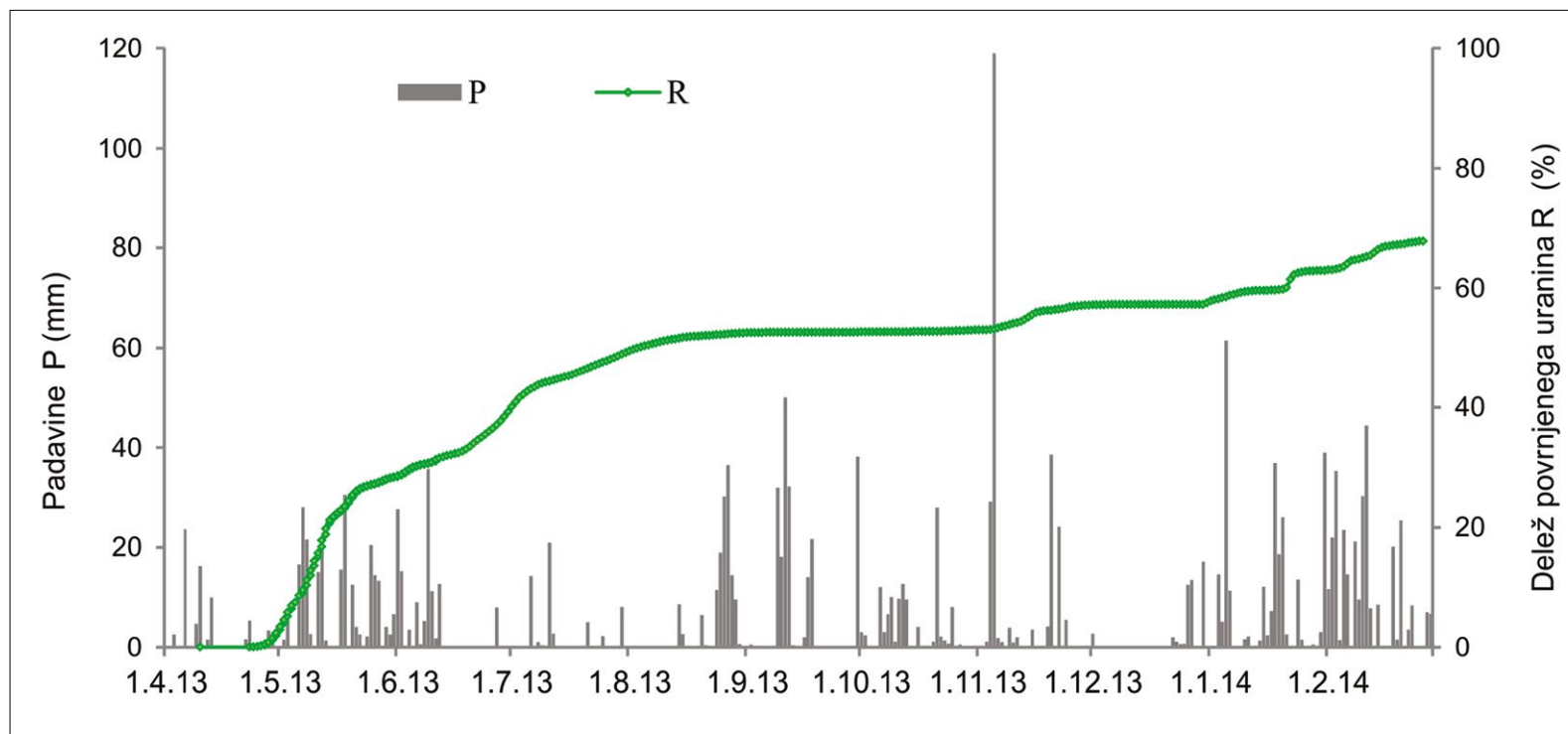
una concentrazione di uranina di 0,17 mg/m<sup>3</sup>. In occasione del secondo picco del 25 luglio 2013 invece è stato raggiunto un livello pari allo 0,135 mg/m<sup>3</sup>. Considerando la concentrazione massima raggiunta, la velocità dominante di flusso è stata calcolata pari a 38 m/h, con punte che hanno raggiunto, in fase di piena, i 75 m/h (Tabella 5.1).

Dopo 4 mesi di evidente presenza del tracciante in corrispondenza delle Sorgenti del Timavo (da maggio ad agosto 2013) abbiamo registrato fino a novembre 2013 delle concentrazioni ai limiti della rilevabilità, il che significa che, in quel periodo, il trasporto è stato minimo o assente. Solo in seguito alle precipitazioni di novembre e, successivamente, dalla fine di dicembre 2013 in poi, sono stati raggiunti i livelli massimi di flusso durante il periodo studiato e, conseguentemente, si sono verificati lievi e sporadici aumenti del livello di uranina. La causa è il dilavamento

*Izračun povrnjene količine je pokazal, da je do konca februarja 2014 izteklo skozi izvir Timava blizu 70 % injiciranega uranina (Slika 5.2).*

*Hitremu pojavu uranina v Timavi je sledil po nadaljnjih 10 dneh tudi pojav v izviru Nabrežina. Tudi v tem primeru je imel prvi sledilni val dva vrha, a je trajal le pol meseca. Hitrosti pretakanja proti Nabrežini so bile manjše, dominantna hitrost je bila 25 m/h (Tabela 5.1), predvsem pa je bila več kot dvakrat manjša maksimalna hitrost (le 34 m/h). Ker nimamo podatkov o pretoku, deleža povrnjenega sledila nismo mogli izračunati.*

*V črpališču Klariči so tako koncentracije uranina kot amidorodamina G nihale okoli meje določljivosti, zato povezave z injiciranimi mestoma ni mogoče potrditi. Sklepamo lahko, da v tem vodnem viru zajemajo predvsem vode, ki se stekajo z območja severno ali severozahodno od črpališča.*



**Figura 5.2**  
Precipitazioni nell'area della prova di tracciamento (stazione di Godnje) e quota di uranina restituita e defluita attraverso le Sorgenti del Timavo.

**Slika 5.2**  
Padavine na območju sledilnega poskusa (postaja Godnje) in delež povrnjenega uranina, ki je izteklo skozi izvir Timava.



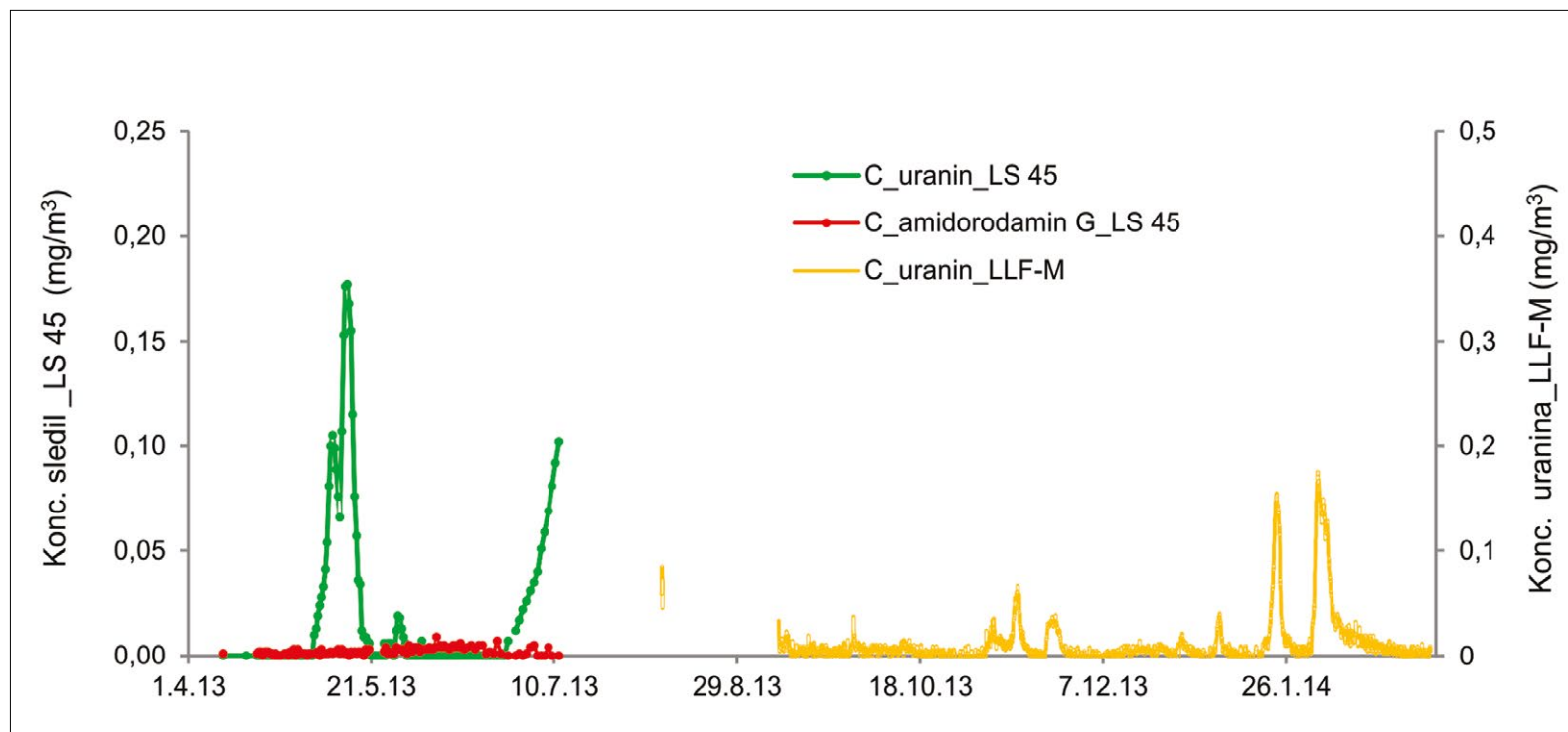
**Tabella 5.1**

Distanza dalla sorgente al punto di iniezione (D), concentrazione massima rilevata di uranina ( $C_{max}$ ), tempo intercorso fino alla prima rilevazione ( $t_{min}$ ), velocità massima rispetto al  $t_{min}$  ( $v_{max}$ ), tempo impiegato fino al raggiungimento della concentrazione massima ( $t_{dom}$ ), velocità dominante rispetto a  $t_{dom}$  ( $v_{dom}$ ) e quota di uranina restituita (R).

**Tabela 5.1**

Razdalja od izvira do injicirne točke (D), maksimalna izmerjena koncentracija uranina ( $C_{max}$ ), čas do prvega pojava uranina ( $t_{min}$ ), največja hitrost glede na  $t_{min}$  ( $v_{max}$ ), čas do največje koncentracije uranina ( $t_{dom}$ ), dominantna hitrost glede na  $t_{dom}$  ( $v_{dom}$ ) in delež povrnjenega uranina (R).

Izvir	D (km)	$C_{max}$ (mg/m <sup>3</sup> )	$t_{min}$ (dan)	$v_{max}$ (m/h)	$t_{dom}$ (dan)	$v_{dom}$ (m/h)	R (%)
Timava	27,0	0,21	15	75	30	38	70
Nabrežina	20,4	0,18	25	34	34	25	



**Figura 5.3**  
Concentrazioni di uranina (misurate con LS 45 in laboratorio e con fluorimetro da campo LLF-M) e di amidorodamina G alle sorgenti di Aurisina.

**Slika 5.3**  
Koncentracije uranina (merjene z laboratorijskim LS 45 in terenskim fluorimetrom LLF-M) in amidorodamina G v izvihu Nabrežina.

dell'uranina residua e abbondantemente diluita. Nella seconda metà di febbraio 2014 la concentrazione si è ridotta al di sotto della soglia di rilevanza. È possibile dedurre che il ridotto flusso di uranina sia proseguito anche in seguito ad ogni evento importante di precipitazione, anche se in concentrazioni molto basse. In occasione dell'aumento del flusso avvenuto nel gennaio 2014 sono stati registrati anche dei lievi aumenti del livello di amidorodamina G, ma a causa del ridotto quantitativo del tracciante rilevato, la correlazione va verificata con nuovi test più mirati.

Il calcolo della quantità restituita ha rivelato che entro la fine di febbraio 2014 le Sorgenti del Timavo hanno rilasciato il 70% dell'uranina iniettata (Figura 5.2).

La rapida apparizione dell'uranina nel Timavo è stata seguita, a 10 giorni di distanza, dalla comparsa presso le sorgenti di Aurisina. Anche in questo caso l'ondata di tracciante è avvenuta con 2 picchi, ma è durata soltanto 2 settimane. Le velocità di flusso verso Aurisina sono state minori, la velocità media è stata di 25 m/h (Tabella 5.1) e quella massima è risultata pari a 34 m/h. Non avendo a disposizione dati sul flusso, non è stato possibile calcolare la quota del tracciante restituito.

Nella stazione di pompaggio di Klariči sia la concentrazione di uranina che quella di amidorodamina G si aggiravano intorno alla soglia di percettibilità, perciò non è stato possibile confermare i collegamenti con i punti di iniezione. Né è possibile dedurre che in questo pozzo si raccolgano soprattutto le acque derivanti dall'area sita a nord e nord-ovest del serbatoio.

Le analisi dei campioni degli altri punti di prelievo non hanno evidenziato alcuna traccia della presenza dei traccianti iniettati. Alla sorgente di Sardos sono state rilevate, durante i tre mesi di monitoraggio, solo variazioni minime in prossimità della soglia di rilevanza; né è possibile dedurre che non esista un collegamento con i punti di iniezione. Nel piezometro P1 di Pliskovica sono stati prelevati dei campioni fin dai tempi del primo arrivo del tracciante alle Sorgenti del Timavo, ma non è stato registrato alcun aumento del contenuto di uranina.

*Analize vzorcev z ostalih zajemnih mestih niso pokazale prisotnosti injiciranih sledil. V izvirov Sardoč smo v trimesečnem podrobnem vzorčenju zabeležili le minimalna nihanja na meji določljivosti, tako da ugotovljamo, da ne obstaja vodna povezava z injiciranimi mestoma. V vrtini P1 pri Pliskovici smo podrobno vzorčili še v času sledilnega vala v Timavi, vendar nismo zabeležili povišanj vsebnosti uranina.*

## 5.4 Sklep

*Sledenje z amidorodaminom G v bližini črpališča Klariči ni pokazalo povezave s tem vodnim virom, saj smo izmerili le nihanje koncentracije na meji določljivosti. Potrditve najbolj verjetne smeri toka proti izvirov Timava zaradi majhne količine injiciranega sledila nismo pričakovali. Zabeležena manjša zvezna povečanja amidorodamina G v Timavi niso zadostna za potrditev te povezave.*

*Sledenje z območja Štorij je pokazalo na odtekanje podzemne vode proti izvirovoma Timava in Nabrežina z dominantnima hitrostima 38 m/h in 25 m/h. Te hitrosti so primerljive s tistimi, ki so bile za tok proti temu izvirov ugotovljene ob podobnih hidroloških razmerah pri injiciranju sledila na površju ob odlagališču odpadkov pri Sežani (Kogovšek & Petrič, 2007), podobna je tudi oblika krivulj koncentracij sledila. V obeh primerih sledilo ni bilo injicirano neposredno v glavni tok podzemne Reke, ampak se je z vodo v začetnem delu poti pretakalo z manjšo hitrostjo po nekoli-ko slabše prepustnih delih vodonosnika. Vseeno pa je zelo hitro doseglo izvira v Tržaškem zalivu. To potrjuje ugotovitve o veliki ranljivosti vodonosnika Krasa in nevarnosti, ki jo za kraške vode predstavlja morebitno onesnaženje na tem območju. Topno onesnaženje bi se v primerljivih razmerah širilo skozi vodonosnik v smeri izvirov Timava in Nabrežina z ugotovljenimi hitrostmi. V istih smereh bi potovalo tudi v vodi netopno onesnaženje (npr. naftni derivati), je pa dinamika tovrstnega prenosa še slabo raziskana.*



## 5.4 Conclusioni

I test di tracciamento con l'amidorodamina G presso Sela na Krasu, non hanno evidenziato alcun collegamento con la stazione di pompaggio di Klariči, poiché sono state registrate solo delle concentrazioni ai limiti della rilevabilità. A causa dello scarso quantitativo di tracciante iniettato, non ci si aspettava una conferma della direzione del flusso verso le Sorgenti del Timavo, ritenuta la più probabile. I piccoli aumenti della concentrazione di amidorodamina G nel Timavo non sono sufficienti per confermare la connessione tra i 2 punti.

Il tracciamento effettuato nei pressi del pozzo di Štorje ha rivelato che il flusso sotterraneo avviene in direzione delle sorgenti del Timavo e di quelle di Aurisina, con velocità di deflusso dominanti pari a di 38 m/h e 25 m/h rispettivamente. Queste velocità sono paragonabili a quelle già registrate per il flusso verso questi punti di sorgenza in simili condizioni idrologiche come ad esempio quelle avvenute in seguito all'immissione del tracciante in superficie nella discarica di Sežana (Kogovšek & Petrič, 2007); anche l'andamento delle curve relative alla concentrazione del tracciante è simile. In entrambi i casi il tracciante non è stato iniettato direttamente in uno dei condotti principali del Timavo. Il tracciante immesso è stato infatti dilavato nel tempo a velocità contenute dalle acque di infiltrazione e di deflusso attraverso condotti secondari e/o fratture beanti; nonostante ciò ha raggiunto le sorgenti nel Golfo di Trieste in tempi molto rapidi. Questo conferma le ipotesi sulla notevole vulnerabilità dell'acquifero carsico e sul pericolo rappresentato per le acque carsiche da un eventuale inquinamento dell'area in questione. In circostanze analoghe, gli inquinanti solubili potrebbero diffondersi attraverso l'acquifero verso le sorgenti del Timavo e di Aurisina con le velocità che sono state registrate. Anche gli inquinanti non solubili (p. es. i derivati del petrolio) si diffonderebbero nella medesima direzione, sebbene le dinamiche del loro trasporto siano ancora scarsamente studiate.



**Figura 5.4**  
L'iniezione di  
aminorodamina G.

*Slika 5.4*  
Sledenje z  
amidorodaminom G.



**Figura 5.5**  
L'iniezione di uranina nel  
pozzo di Štorje.

*Slika 5.5*  
Sledenje z uranine  
Štorije.





Il proteo (*Proteus anguinus*) a Trebiciano.

*Proteus (Proteus anguinus) pri Trebčah.*



# Il ruolo e l'importanza della fauna nelle ricerche idrogeologiche

## *Vloga in pomen živalstva v hidrogeoloških raziskavah*

ANTON BRANCEJ & NATAŠA MORI  
Nacionalni Inštitut za Biologijo

### 6.1 Introduzione

Si illustrano le caratteristiche principali della fauna ipogea e l'importanza degli studi sugli animali ipogei per una migliore comprensione dei percorsi sotterranei delle acque carsiche. Un breve excursus sulle ricerche biologiche nell'area del Carso Classico svolte negli anni passati precede la descrizione dei metodi di campionamento. I dati raccolti nell'ambito del Progetto HIDROKARST sulla fauna ipogea consentono una comprensione più approfondita delle caratteristiche ambientali negli acquiferi carsici, specie di quelle chimiche e idrogeologiche, e favoriscono la conoscenza dei collegamenti sotterranei. Questo articolo presenta alcuni risultati della ricerca realizzata.

Le specie, ossia gli esemplari che le rappresentano, durante le lunghe ere geologiche si sono progressivamente adattate alle caratteristiche ambientali. L'ambiente infatti è composto da tutto ciò che circonda l'individuo: l'acqua, l'aria, la superficie, la temperatura, l'umidità, la luce, il cibo e i rappresentanti delle altre specie con i quali è necessario vivere un rapporto positivo (ad esempio le api che impollinano i fiori) o negativo (ad esempio un esemplare che costituisce l'alimento di un altro, come il lupo che si nutre delle pecore o il luccio che ingoia altri pesci di dimensioni minori). I rapporti tra gli esemplari di specie diverse sono quindi complessi e rappresentano la conseguenza di migliaia di anni di adattamenti all'ambiente e alle sue modificazioni.

La fauna cavernicola è "la fauna che vive nelle grotte" ed è con questa definizione che è nota alla maggior parte del pubblico (Camacho, 1992; White & Culver, 2012). L'espressione scientifica ha anche una

### 6.1 Uvod

*Prispevek predstavlja osnovne značilnosti podzemlskega živalstva in pomen podatkov o podzemnih živalih za boljše razumevanje podzemlskih vodnih povezav. Predstavljena je zgodovina bioloških raziskav na območju klasičnega Krasa in različni načini vzorčenja podzemnega živalstva. Podatki o pojavljanju podzemnega živalstva omogočajo bolj poglobljeno razumevanje okoljskih, zlasti kemijskih in hidrogeoloških, razmer v kraških vodonosnikih in so lahko podpora pri razlagi podzemnih vodnih povezav. V prispevku je predstavljenih tudi nekaj rezultatov zadnjih raziskav.*

*Vrste, oz. njihovi osebki, so se v dolgih geoloških obdobjih prilagajali na razmere v svojem okolju. Okolje predstavlja vse, kar obdaja osebek: voda, zrak, podlaga, temperatura, vlaga, svetloba, hrana pa tudi predstavniki drugih vrst. Z njimi lahko živi v pozitivnih odnosih, npr. čebele oprahujejo cvetlice, lahko pa tudi v negativnih odnosih – en osebek predstavlja hrano drugemu ( volk se hrani z ovčami ali pa ščuka z manjšimi ribami). Odnosi osebkov posameznih vrst do okolja so torej prepleteni in so posledica več stotisočletnih prilagajanj na okolje in spremembe v njem.*

*Jamske živali so »živali, ki živijo v jamah« (Camacho, 1992; White & Culver, 2012). Pod tem izrazom jih pozna večina ljudi. Strokovno se izraz uporablja tudi nekoliko širše in sicer kot »živali, ki živijo v podzemlju«, saj se s tem opredelijo še nekatera druga okolja, ki niso kraške jame, a imajo z njimi vrsto podobnosti in značilnosti. Tak primer so npr. prodišča. Pojem »jamske živali« obsega tako vrste, katerih predstavniki živijo na kopnem, kot tudi tiste, ki živijo v vodi. Izraz »jamske živali«*

valenza più ampia e comprende tutti “gli animali che vivono sottoterra”. Tale definizione coinvolge anche altri ambienti che non sono le cavità carsiche, ma che condividono molte delle loro caratteristiche, quali ad esempio i ghiaietti. Il concetto di animale cavernicolo comprende sia le specie terrestri che quelle acquatiche. Dal punto di vista ecologico, il termine “animali cavernicoli” non rappresenta un gruppo unitario, poiché le singole specie si sono adattate all’ambiente delle grotte secondo modalità diverse. Non bisogna ritenere infatti che gli animali si siano spostati nelle grotte all’improvviso. Al contrario, il loro processo di adattamento all’ambiente ipogeo è stato lungo. Gli antenati di alcune specie si sono trasferiti sottoterra già alcuni milioni di anni fa, mentre alcuni altri ci stanno provando soltanto adesso. Le cause che possono indurre gli animali a spostarsi nelle cavità o, in senso più ampio, nell’ambiente ipogeo, sono diverse: le variazioni della temperatura in superficie, la carenza d’acqua, la modifica dei percorsi dei fiumi, la concorrenza di altre specie, ecc. Se le specie cavernicole terrestri sono entrate nelle grotte in modo diretto, attraverso il suolo o il terreno, gli ingressi delle grotte o le strette fessure, le modalità del passaggio degli animali acquatici alla vita cavernicola sono ancora più variegata. Alcune specie che oggi vivono nell’acqua dolce provengono direttamente dall’ambiente marino. Altre sono penetrate nel sottosuolo dopo che i movimenti eustatici avvenuti nelle ere geologiche passate hanno provocato la separazione di un golfo dal mare trasformandolo prima in un lago salmastro, poi in un lago di acqua dolce, poi magari in un’area asciutta. Durante queste fasi alcune specie si sono estinte, altre si sono trasferite sottoterra. Un altro gruppo è rappresentato dalle specie i cui antenati anticamente abitavano le acque superficiali che, sempre per cause geologiche o cambiamenti climatici, hanno cessato di esistere o sono defluite sottoterra. Un altro gruppo ancora è rappresentato dagli animali che sono stati trasportati sottoterra dalle acque correnti (pioggia, fiumi o ruscelli) e si sono adattati al nuovo ambiente.

La caratteristica dell’ambiente ipogeo, sia subacqueo che superficiale, è quello di essere privo di specie vegetali verdi a causa dell’assenza di luce e, conseguentemente, di offrire poco nutrimento. Negli ambienti sotterranei il cibo è scarso e distribuito in modo irregolare, poiché pro-

*z ekološkega vidika ne predstavlja enotne skupine, saj so posamezne vrste različno prilagojene na jamsko okolje. Zmotno je namreč prepričanje, da so jamske živali kar naenkrat prešle v jame. Proces prilaganja na jamsko okolje je dolgotrajen. Predniki nekaterih vrst so prešli v podzemlje že pred nekaj milijoni let, nekateri pa to poskušajo šele sedaj. Razlogi, zakaj se živali premikajo v jamsko oz. širše podzemeljsko okolje, so različni: spreminjanje temperature na površini, pomanjkanje vode, spreminjanje rečnih tokov, konkurenca drugih vrst, ... Medtem ko za kopenske jamske živali velja, da so prehajale v jame neposredno, preko tal oz. prsti, preko večjih jamskih vhodov in manjših špranj, je prehajanje vodnih jamskih živali v podzemlje bolj pestro. Nekatero jamske vrste (danes sladkovodne!) izvirajo neposredno iz morskega okolja. Druge so prišle v podzemlje, potem ko se je morski zaliv zaradi geoloških premikov najprej ločil od morja in se spremenil v sladkovodno jezero, ki se je kasneje izsušilo. Nekatero vrste so pri tem propadle, druge pa so se umaknile v podzemlje. Tretja skupina so vrste, katerih predniki so v preteklosti naseljevali celinske vode, vendar so le-te zaradi geoloških premikov ali klimatskih sprememb presahnile oz. so se pomaknile v podzemlje. Take premike so npr. povzročile ledene dobe. Četrta skupina so živali, ki jih je tekoča voda, kot so reke ali potoki, s površine zanesla v podzemlje in so se tam prilagodile na novo okolje.*

*Glede na stopnjo prilagojenosti na podzemno / jamsko okolje strokovnjaki ločijo v osnovi tri ekološke skupine živali, ki so povezane s podzemnimi vodami (Cuscito et. al., 1990; Camacho, 1992). V prvi skupini so vrste, ki jih sicer najdemo v okolici izvirov, med prodrom ali pod večjimi kamni v rekah, vendar lahko v jamskem okolju preživijo le kratek čas in se tam ne razmnožujejo. Navadno jih vodni tok zanese globlje v jame, le redko pa se same premaknejo tja. Strokovno se imenujejo **stigokseni** («tujci v jamah»). V to skupino pa ne spadajo povsem površinski organizmi, ki jih vodni tok slučajno zanese v podzemlje. V drugi skupini so živali, ki lahko ali celo morajo del življenja preživeti v podzemnih vodah in se tam celo razmnožujejo. Lahko pa živijo tudi v nekaterih površinskih življenjskih okoljih (habitatih). Imenujejo se **stigofili** («obiskovalci jam»). V tretji skupini so živali, ki so najbolj prilagojene na podzemeljsko okolje, v katerem preživijo celo življenje. Če jih vodni tok zanese na površje, tam zelo hitro*



viene prevalentemente dalla superficie. D'altra parte, le condizioni termiche nelle acque sono spesso molto più stabili che non in superficie. La temperatura normalmente ha variazioni relativamente scarse ed è pari alla temperatura media annua dei luoghi esterni vicini.

In base al grado di adattamento all'ambiente sotterraneo ossia a quello degli ambienti senza luce, gli esperti distinguono tre gruppi di animali legati alle acque sotterranee (Cuscito et. al., 1990; Camacho, 1992). Il primo comprende le specie che si trovano in prossimità delle sorgenti, che vivono nel letto dei fiumi fra le porosità delle alluvioni o sotto i massi, ma che nelle grotte sopravvivono solo per breve tempo e non vi si riproducono. Di solito queste specie non si muovono autonomamente per trasferirsi nelle cavità, bensì è la corrente a trascinarle. Il loro nome scientifico è **stigosseni** ("estranei alle grotte"). A questo gruppo non appartengono gli organismi che vivono esclusivamente in superficie e che vengono trascinati per caso sottoterra dalla corrente.

Un altro gruppo è composto dagli animali che possono (o addirittura devono) trascorrere una parte della loro vita nelle acque ipogee e vi si riproducono. Essi possono tuttavia vivere anche in alcuni habitat di superficie. Il loro nome è **stigofili** ("visitatori delle grotte").

Un terzo gruppo annovera quegli animali che si sono ben adattati all'ambiente sotterraneo, dove trascorrono tutta la vita. Se la corrente li trascina in superficie, muoiono rapidamente a causa della luce o diventano preda immediata di altri animali. Essi sono chiamati **stigobionti** ("abitanti delle grotte"). Il rappresentante più noto di questa categoria è il proteo, il cui nome scientifico è *Proteus anguinus* (Figura 6.1).

Le specie animali della terraferma che hanno rapporti con l'ambiente ipogeo sono definite con i termini scientifici di **troglosseni, troglifili e troglobionti**. Tra i più noti troglifili che vivono nelle nostre zone troviamo le cavallette ipogee (genere *Troglophilus*) ed alcune specie di pipistrelli (i rinolofidi o ferri di cavallo – genere *Rhinolophus*). Entrambi si trattengono nelle grotte soprattutto d'inverno e vi svernano in stato di ibernazione.

Gli stigobionti si distinguono dalle specie che vivono sulla superficie terrestre per il loro aspetto: la cute, priva di pigmenti, è trasparente, pallida o bianca. Sono contraddistinti inoltre da arti e antenne particolar-

*poginejo zaradi svetlobe ali postanejo plen drugim živalim. Imenujejo se **stigobionti** («prebivalci v jamah»). Najbolj znan predstavnik skupine je človeška ribica ali močeril oz. strokovno *Proteus anguinus* (Slika 6.1). Kopenske živali, ki imajo podobne odnose do jamskega okolja, s strokovnimi izrazi označujemo kot **troglokseni, troglifili in troglobionti**. Med najbolj znane troglifile pri nas spadajo jamske kobilice (rod *Troglophilus*) in nekatere vrste netopirjev, npr. podkovernjaki (rod *Rinolophus*). Oboji se v jamah zadržujejo zlasti pozimi, kjer prezimijo v otrplem stanju.*

*Značilnost jamskega vodnega, pa tudi kopnega okolja je, da zaradi pomanjkanja svetlobe v njem ni zelenih rastlin, s tem pa ne veliko hrane. Hrana v podzemlju je redka oz. neenakomerno razporejena, saj jo večina prispe s površja. So pa temperaturne razmere v podzemnih vodah veliko bolj enakomerne kot na površju. Temperatura razmeroma malo niha in je enaka povprečni letni temperaturi bližnjega kraja.*

*Stigobionti se od površinskih vrst ločijo že po videzu. So brez barvil, zato je njihova povrhnjica prozorna, bleda ali bela, imajo podaljšane noge in tipalke, oči pa so zelo majhne ali celo povsem zakrnele. Imajo zelo dobro razvita čutila za tip in vonj, da se lahko v popolni temi zanesljivo premikajo in lahko najdejo hrano.*

*Druga značilnost stigobiontov je njihova geografska razširjenost. Le malo jih je razširjenih na večjih površinah, kjer so posamezna znana na-*



**Figura 6.1**  
Il proteo (*Proteus anguinus*) è la specie di animale cavernicolo più nota.

**Slika 6.1**  
Človeška ribica (*Proteus anguinus*) je najbolj znana jamska žival.

mente allungate e da occhi piccoli o addirittura atrofizzati. I loro organi sensoriali preposti al tatto e all'olfatto sono molto sviluppati e consentono a queste specie di muoversi in sicurezza e trovare il cibo necessario anche al buio totale.

Un'altra caratteristica degli stigobionti è la loro diffusione geografica. Pur non essendo numerosi sono diffusi su superfici ampie, sono stati rilevati in punti distanti anche alcune centinaia di chilometri l'uno dall'altro. Le più recenti ricerche molecolari e genetiche hanno rivelato tuttavia che in molti casi si tratta di più specie che si somigliano tanto da non essere distinguibili a occhio nudo, e perciò nel passato sono state catalogate come un'unica specie. Nella maggior parte dei casi, le specie di stigobionti sono comunque diffuse nel raggio di alcune decine di chilometri lungo i principali corsi d'acqua sotterranei. Esistono tuttavia anche delle specie registrate solo in alcuni singoli siti di rilevamento, a volte distanti solo alcuni chilometri l'uno dall'altro. Vi sono persino delle specie registrate finora in un unico sito (una grotta, una sorgente). Le specie a scarsa diffusione geografica sono chiamate endemiti. Un aggettivo o attributo di luogo li definisce in modo particolareggiato: si parla di endemita del fiume Reka/Timavo, di endemita del Carso Classico, endemita del Carso dinarico, ecc.

A causa della loro scarsa diffusione nei sistemi ipogei, le specie stigobie rappresentano un significativo rilevatore della rete idrica nel passato (paleoidrologia) (Sket & Bole, 1981). Alcune specie ipogee oggi vivono in aree in cui le acque appartengono a bacini idrografici diversi. Il caso più eclatante è quello del proteo, che si rinviene nelle cavità drenate dalla Sava e che poi finiscono nel Danubio e successivamente nel Mar Nero della gran parte della Slovenia meridionale e della Croazia nord-occidentale. Una piccola parte della sua popolazione vive in un'area in cui le acque defluiscono nel Vipacco e nell'Isonzo per sfociare poi nell'Adriatico, quale è quella sul confine estremo della area di ripartizione naturale a occidente, il Carso Classico. In Istria e Dalmazia il proteo si rinviene solo nei bacini idrografici dei fiumi che sfociano direttamente nell'Adriatico. In passato gli antenati del proteo vivevano in acque superficiali (fiumi, laghi, paludi) idrogeologicamente collegate tra di loro che, quindi, appartenevano al medesimo reticolo fluviale. Reticolo che,

*hajališča med seboj oddaljena več kot nekaj 100 km. Najnovejše molekularne oz. genetske raziskave kažejo, da je v takih primerih več vrst, ki pa so si tako podobne, da jih na pogled ni možno razlikovati in so jih zato v preteklosti navajali kot eno vrsto. Najpogostejša razširjenost posameznih stigobiontskih vrst je tako v polmeru nekaj deset kilometrov oz. vzdolž glavnih podzemnih tokov. Obstajajo tudi vrste, ki so poznane le z nekaj najdišč, včasih zgolj nekaj kilometrov oddaljenih. Poznane pa so celo vrste, ki so doslej znane le iz enega samega najdišča (jame, izvira). Vrste z majhno geografsko razširjenostjo se imenujejo endemiti. S krajevnim pridevnikom pa se jih še podrobneje določi, npr. endemit reke Reke / Timave, endemit klasičnega Krasa, endemit dinarskega krasa, ipd.*

*Zaradi omejene razširjenosti v jamskih sistemih so zlasti stigobiontske vrste tudi pokazatelji vodnega omrežja v preteklosti (paleo-hidrologija) (Sket & Bole, 1981). Nekatere jamske vrste danes živijo na območjih, kjer vode odteka v različna povodja. Najbolj očiten primer je človeška ribica, ki je v večjem delu južne Slovenije in SZ delu Hrvaške razširjena po jamah, kjer vode tečejo v Savo, Donavo in naprej v Črno morje. Majhen del njene populacije na skrajnem robu njenega zahodnega območja razširjenosti pa živi na območju, kjer vode tečejo v Vipavo in Sočo in naprej v Jadransko morje. V Istri in Dalmaciji pa živi le v povodjih rek, ki se neposredno izlivajo v Jadransko morje. Predniki človeške ribice so v preteklosti živeli v površinskih vodah (rekah, jezerih, mlakah), ki so bili med seboj fizično povezane oz. so pripadale enotni rečni mreži. Ta se je kasneje, ko so se predniki že preselili v podzemlje, zaradi geoloških premikov spremenile in ločile, vrsta pa še nosi informacijo o svojem izvoru, čeprav se posamezne populacije med seboj že nekoliko ločijo po videzu.*

*Poznavanje razširjenosti posameznih vrst živali, ki živijo v kraških jamah, in njihov odnos do jamskega okolja (stigokseni, stigofili, stigobinti), lahko prispevajo pomembne podatke o podzemnih povezavah med posameznimi jamami oz. izviri (Sket & Bole, 1981). Živali vodni tok lahko prenaša od ene točke do druge (zlasti stigoksene), ali pa se le-ti aktivno premikajo po jamskih vodonosnikih (stigophili in stigobionti). Zlasti stigoksene vrste so lahko zanimiv in uporaben vir podatkov o podzemnih povezavah med ponori in izviri. Živali na ponorih voda odnese v podze-*



dopo il trasferimento degli antenati del proteo negli ambienti ipogei, si è modificato nel tempo e diviso a causa delle vicissitudini geologiche della vasta area dinarica. La specie mantiene tuttavia ancora il dato relativo alla sua origine, anche se le singole popolazioni hanno già sviluppato un aspetto lievemente differente.

La conoscenza della diffusione delle singole specie animali presenti nelle grotte carsiche e del loro rapporto con l'ambiente ipogeo (stigoseni, stigofili, stigobionti) può fornire dati significativi sui collegamenti sotterranei tra le singole grotte e sorgenti (Sket & Bole, 1981). Gli animali (specie gli stigosseni) possono essere trasportati dalla corrente idrica da un punto all'altro, oppure possono spostarsi attivamente negli acquiferi (nel caso degli stigofili e degli stigobionti). Soprattutto le specie stigossene possono fornire dati interessanti e utili sui collegamenti ipogei tra gli inghiottitoi e le sorgenti. Gli animali presenti nei dintorni degli inghiottitoi vengono trascinati sottoterra, molti muoiono ma singoli esemplari possono sopravvivere a spostamenti ipogei più o meno brevi. La conoscenza della fauna locale favorisce quindi anche la conoscenza dei collegamenti ipogei.

## 6.2 Le ricerche sulle forme di vita negli ambienti acquei ipogei nel Carso Classico

Numerosissimi sono gli studi scientifici di ambito geologico, geo-morfologico, idrologico e botanico, in forma di articoli, capitoli in pubblicazioni e monografie dedicati all'area che si estende nell'entroterra del Golfo di Trieste cui si deve il termine "carso" (Cuscito et al., 1990; Kranjc et al., 1999). Molto minore è invece il numero delle ricerche sistematiche sulla fauna ipogea, specie su quella acquatica. La giustificazione è da ricercarsi nella difficile accessibilità: l'acqua si trova infatti a notevole profondità (anche 200-300 m sotto la superficie) ed è accessibile solo con la speciale attrezzatura speleologica che consente di accedere anche agli abissi profondi come la Kačna jama. Più accessibili sono il corso sotterraneo del fiume Reka/Timavo nelle grotte di San Canziano, le acque di fondo nell'Abisso di Trebiciano, le acque che sgorgano dalle Sorgenti

*mlje, kjer jih veliko propade, posamezni osebki pa lahko preživijo daljša ali krajša podzemna potovanja. Na osnovi poznavanja lokalnega živalstva se tako lahko pridobijo tudi podatki o podzemnih povezavah.*

## 6.2 Zgodovina raziskav življenja v podzemnem vodnem okolju na klasičnem Krasu

*Pokrajina, ki leži v zaledju Tržaškega zaliva, je izvor za besedo »kras«, ki je splošno uveljavljen v strokovni literaturi za posebne površinske in podzemne oblike pokrajine oz. pojave. Temu je bilo z geološkega, geomorfološkega, hidrološkega, botaničnega in na splošno krasoslovnega proučevanja posvečeno veliko znanstvenih in strokovnih člankov, poglavij v knjigah in tudi monografij (Cuscito et al., 1990; Kranjc et al., 1999). Bistveno manj je bilo sistematičnih raziskovanj podzemeljske favne, še zlasti vodne. Glavni razlog je težka dostopnost, saj se voda nahaja 200-300 m pod površjem in je dostopna le s posebno jamarsko opremo, ki omogoča premagovanje tudi globokih brezen, na primer v Kačni jami. Lažje dostopni so le ponikalni del reke Reke v Škocjanskih jamah, turistična Labodnica / Abisso di Trebiciano ter izvirmi deli reke Timave. Zato ne preseneča, da sta bili doslej objavljeni le dve sistematični deli o podzemnem živalstvu v Krasu. Prvo je znanstveno delo Hans-Jürgen Stammerja iz leta 1932, kjer je zbral vse podatke o živalih, najdenih v reki Reki / Timavu do tega leta (Stammer, 1932). Drugo je poljudna knjiga o Reki / Timavu, ki jo je pripravila skupina avtorjev leta 1990, kjer je podatke o živalstvu zbral znanstveni biospeleolog Fabio Stoch (Cuscito et al., 1990).*

*Ostala raziskovanja so bila občasna ali omejena le na ozka območja, bodisi na slovenski ali italijanski strani klasičnega Krasa. Med pomembnejšimi raziskovalci podzemeljskega vodnega živalstva so bili tudi: Fulvio Gasparo, Stanko Karaman, Friedrich Kiefer, Boris Sket in Fabio Stoch (Stoch & Dolce, 1994; Gasparo, 1995). Navkljub težavam pri zbiranju podatkov, se jih je v okoli 100 letih nabralo kar nekaj. Doslej je bilo za sistem reke Reke / Timava ugotovljenih okoli 200 vrst (od stigoksenov do stigobiontov – podrobnejša analiza bo objavljena v znanstvenem članku) (Stammer, 1932, Botosaneanu, 1986).*

**Tabella 6.1**

**Elenco delle specie identificate per la prima volta e scientificamente descritte nell'area di studio del Progetto HYDROKARST.**

**Tabela 6.1**

**Seznam vrst, ki so bile prvič najdene in znanstveno opisane na raziskanem območju Projekta HYDROKARST.**

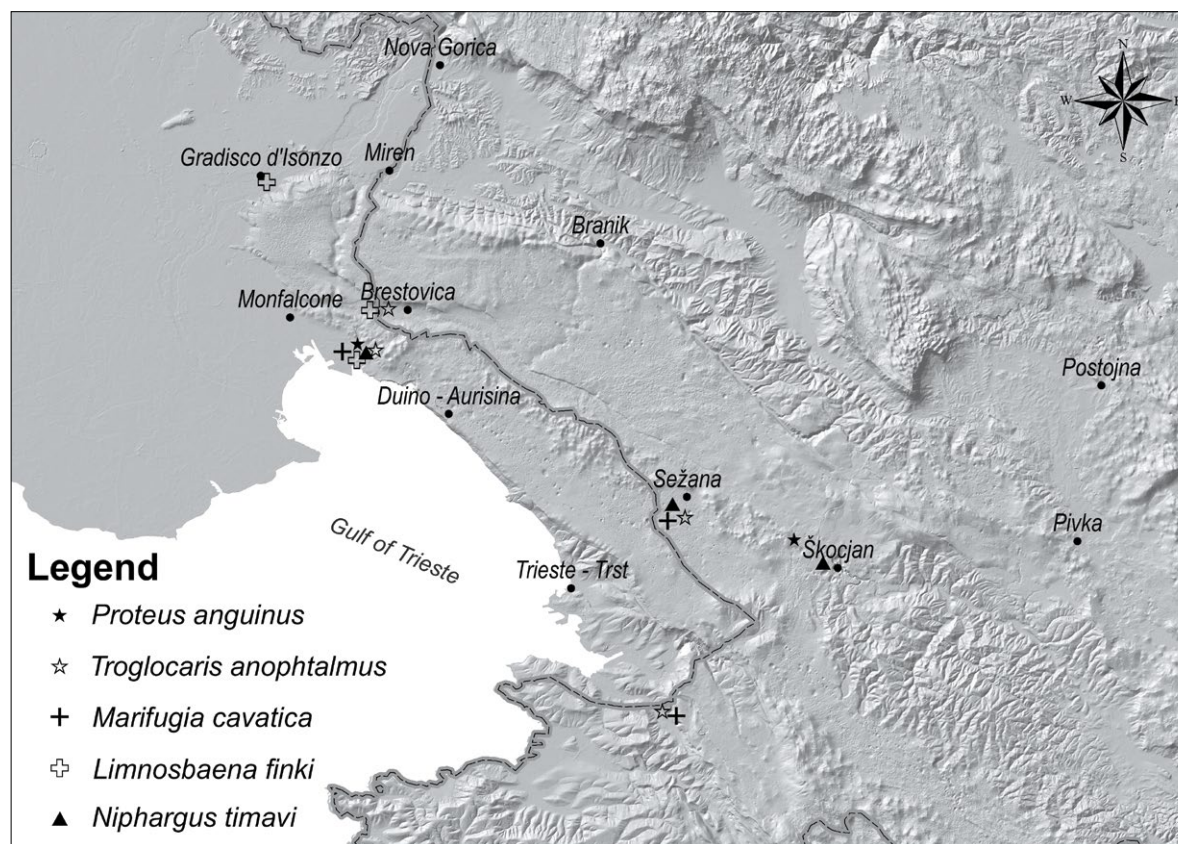
Organismi / Vrsta	Località / Tipsko nahajališče	Stato / Država
<b>Temnocephalida</b>		
<i>Bubalocerus pretneri</i> Matjašič, 1958	Dolenca jama, Brestovica na Komnu	SI
<i>Troglocaridicola cervaria</i> Matjašič, 1958	Dolenca jama, Brestovica na Komnu	SI
<i>Troglocaridicola vilkae</i> Matjašič, 1990	Osapska jama, Osp	SI
<b>Oligochaeta</b>		
<i>Haber monfalconensis</i> (Hrabe, 1966)	Moschenizze, Monfalcone	IT
<i>Sketodrilus flabellisetosus</i> (Hrabe, 1966)	Grotta del Timavo, San Giovanni di Duino	IT
<b>Cladocera</b>		
<i>Alona sketi</i> Brancelj, 1992	Osapska jama, Osp	SI
<b>Copepoda</b>		
<i>Acanthocyclops hypogeus</i> (Kiefer, 1930)	Škocjanske jame (Tiha jama), Škocjan	SI
<i>Acanthocyclops venustus stammeri</i> (Kiefer, 1930)	Škocjanske jame (Hankejev kanal), Škocjan	SI
<i>Elaphoidella carstica</i> (Petkovski & Brancelj, 1985)	Škocjanske jame (Tiha jama), Škocjan	SI
<i>Metacyclops gasparoi</i> Stoch, 1987	Pozzo presso Jamiano, Jamiano	IT
<i>Morariopsis scotenophila</i> (Kiefer, 1930)	Škocjanske jame (Tominčeva jama), Škocjan	SI
<i>Nitocrella stochi</i> Pesce & Galassi, 1987	Timavo, San Giovanni di Duino	IT
<i>Speocyclops infernus</i> (Kiefer, 1930)	Škocjanske jame (Tiha jama), Škocjan	SI
<b>Isopoda</b>		
<i>Monolistra schottlaenderi</i> Stammer, 1930	Moschenizze, Monfalcone	IT
<i>Proasellus intermedius meridionalis</i> Stoch, 1989	Pozzo presso Jamiano, Jamiano	IT
<b>Amphipoda</b>		
<i>Hadzia fragilis stochi</i> G. Karaman, 1989	Grotta presso la Peschiera del Timavo, San Giovanni di Duino	IT
<i>Niphargus stochi</i> G. S. Karaman, 1994	Antro delle Sorgenti di Bagnoli, Bagnoli della Rosandra	IT
<i>Niphargus timavi</i> S. Karaman, 1954	Timavo, San Giovanni di Duino	IT



del Timavo. Non stupisce pertanto che finora siano state pubblicate solo due opere scientifiche sistematiche sulla fauna carsica sotterranea. La prima risale al 1932 e si deve a Hans-Jürgen Stammer, che ha raccolto tutti i dati sulla fauna reperiti nel fiume Reka / Timavo fino ad allora (Stammer, 1932). La seconda è un volume sul fiume Reka / Timavo destinato al vasto pubblico e realizzato da numerosi Autori nel 1990, nel quale i dati sulla fauna cavernicola ipogea sono stati raccolti e descritti dal noto biospeleologo Fabio Stoch (Cuscitio et al., 1990).

Altre ricerche hanno avuto carattere occasionale o limitato ad aree ristrette, sia sul versante sloveno che su quello italiano del Carso Clasico. Tra i ricercatori che si sono dedicati alla fauna ipogea vanno citati

*Pri najnovejšem zbiranju podatkov v okviru Projekta HYDROKARST smo se osredotočili predvsem na stigobionte in strigofile, medtem ko smo površinske vrste omejili le na nekaj vrst, ki se v jamah pojavljajo bolj pogosto in služijo tudi za ugotavljanje podzemnih povezav s površjem. Od navedenih dvesto vrst, jih je bilo 18 prvič opisanih iz jam in izvirov, ki ležijo na obravnavanem območju (kraji se imenujejo tipsko nahajališče oz. locus typicus = loc. typ.) (Tabela 6.1). Te vrste so znane samo iz obravnavanega območja ali krajev, ki so v neposredni bližini. Še nadaljnjih 13 vrst pa je bilo prvič opisanih iz tipskih nahajališč blizu Krasa, vendar so bolj razširjene kot prejšnja skupina. Razširjenost nekaterih tipičnih podzemnih vrst je prikazana na Sliki 6.2.*



**Figura 6.2**  
**Mapa con l'ubicazione delle località in cui sono state rinvenute le più significative specie ipogee.**

**Slika 6.2**  
**Karta z nahajališči nekaterih najbolj značilnih podzemnih vrst.**

Fulvio Gasparo, Stanko Karaman, Friedrich Kiefer, Boris Sket e Fabio Stoch (Stoch & Dolce, 1994; Gasparo, 1995). Comunque sia, nonostante che la raccolta dei dati sia difficoltosa, durante l'ultimo secolo ne sono stati accumulati una mole non indifferente. Nel sistema fluviale del Reka/Timavo sono state identificate circa 200 specie, dagli stigosseni agli stigobionti (Stammer, 1932, Botosaneanu, 1986).

La recente raccolta triennale di dati effettuata nell'ambito del Progetto HYDROKARST si è focalizzata soprattutto sugli stigobionti e sugli stigofili. Per quanto riguarda lo studio delle specie superficiali che com-

### **6.3 Metodi za sledenje hidroloških povezav s pomočjo organizmov**

*Za ugotavljanje neposrednih hidroloških povezav med posameznimi ponori in izviri, so doslej velikokrat poleg klasičnih sledil, kot so različne soli (NaCl, LiCl), barvila (rodamin, uranin oz. fluorescin) ali delci (žaganje, polistirenske kroglice), uporabili tudi nekatera biološka sledila. Med njimi so prevladovali enocelični organizmi, kot so virusi oz. bakteriofagi (paraziti na bakterijah), različne bakterije, ki sicer ne*



**Figura 6.3**  
Campionamento della fauna sotterranea del fiume Reka/Timavo nell'Abisso di Trebiciano.

**Slika 6.3**  
Vzorčenje podzemnega živalstva reke Reke / Timava v Labodnica / Abisso di Trebiciano.



paiono frequentemente nelle grotte e aiutano a comprendere le connessioni tra l'ambiente ipogeo e la superficie, nell'area in questione 21 delle 200 specie citate sono state riconosciute in grotte e sorgenti (tali luoghi sono definiti locus typicus = loc. typ.) e descritte per la prima volta (Tabella 6.1). Queste specie compaiono soltanto nell'area del Carso Classico o in località nelle immediate vicinanze. Altre 13 specie sono state descritte per la prima volta e rinvenute in luoghi tipici in prossimità del Carso, ma sono più diffuse rispetto a quelle del gruppo precedente. La prevalenza di alcune specie caratteristiche è presentata in Figura 6.2.

### 6.3 Metodi di tracciamento dei collegamenti idrologici per mezzo degli organismi

Per verificare l'esistenza di collegamenti idrologici diretti è possibile ricorrere, oltre che ai classici traccianti quali i vari tipi di sali (NaCl, LiCl), coloranti (rodamina, uranina o fluorescina) o particelle (segatura, palline di polistirolo), anche ad alcuni traccianti biologici. Tra questi in particolare prevalgono gli organismi monocellulari quali i virus o i batteriofagi (parassiti dei batteri), i vari batteri non patogeni per l'uomo o le spore di miceti. Questi esperimenti di tracciatura contemplano l'uso dei suddetti organismi per la dimostrazione diretta dei collegamenti tra gli inghiottitoi e le sorgenti in quanto non fanno parte della fauna naturale delle grotte e fungono solo da indicatori dei collegamenti. Uno degli indicatori dei collegamenti tra la superficie e le acque sotterranee è anche la presenza di batteri di origine fecale che segnalano la presenza di scarichi fognari (Sket & Velkavrh, 1980).

I metodi biologici più recenti includono le analisi delle comunità animali in singoli punti delle cavità, dei pozzi e delle sorgenti. Questo metodo richiede un'approfondita conoscenza delle singole specie animali e delle loro esigenze ecologiche, ma permette di acquisire importanti dati supplementari non ottenibili con altre prove di tracciamento. La frequenza delle singole specie animali, specie di quelle di superficie o degli stigosseni, è un indicatore della frequenza e dell'intensità dei collegamenti con le acque superficiali. Dal numero degli esemplari e dagli

*povzročajo bolezni pri ljudeh, ali spore različnih gliv. Pri teh sledilnih poskusih so bili omenjeni organizmi uporabljeni za neposredno dokazovanje povezav med mesti ponorov in izvirov. Uporabljeni organizmi niso bili del naravne jamske združbe in so služili zgolj kot pokazatelj povezav. Med pokazatelje povezav med površjem in podzemnimi tokovi spada tudi prisotnost bakterij fekalnega izvora, kar nakazuje na izpuste iz greznic (Sket & Velkavrh, 1980).*

*Novjše biološke metode vsebujejo analize živalskih združb na posameznih mestih v jamah, vodnjakih in izvirov. Ta metoda zahteva sicer zelo dobro poznavanje posameznih vrst živali in njihove ekološke zahteve, vendar se pridobijo dodatni podatki, ki jih z drugimi sledilnimi poizkusi ne. Pogostost posameznih vrst živali, zlasti povsem površinskih ali pa stigoksenov, kaže na bližino in intenzivnost povezav s površinskimi vodami. Iz števila živali in ekotipov, ki jih vodni tok prinese skozi izvire ali pa ostanejo v jamah, se lahko delno sklepa celo na zgradbo zaledja (mirnejši tok ali brzice) ali velikost vodnih teles (prisotnost prostoplavajočih živali). Predhodne analize živalstva v jamah, izvirov ali vodnjakih lahko služijo za bolj učinkovito načrtovanje klasičnih sledilnih poskusov s sledili. Prednost analiz živalskih združb v podzemnih vodah je, da stigobionti odražajo dolgoročne razmere v podzemlju, medtem ko površinske vrste ali stigokseni lahko posredujejo tako podatke o bolj enkratnih oz. izjemnih dogodkih, kot tudi o stalnosti dotokov s površja.*

*Podatke za ugotavljanje hidroloških povezav med posameznimi lokacijami pridobivamo s pomočjo vzorčenj. V jamah se vzorči živalstvo, ki živi na dnu rek ali tolmunov. Taka združba živali se strokovno imenuje bentos. Z ročno mrežo se živali pobere z določene površine dna (Slika 6.3) in se jih prenese v laboratorij, kjer se jih določi do vrst. Druga metoda, ki je zlasti uporabna v izvirov, je lov plavja (strokovno: drifta). To so živi organizmi in tudi odmrli organski delci, ki jih vodni tok nosi s seboj iz podzemlja. V vodni tok tik za ustjem izvira se pritrdi nekoliko prirejena planktonska mreža in se jo običajno pusti v toku 24-ur (Slika 6.4). Tudi v tem primeru se vzorce prinese v laboratorij in določi ujele organizme. Za vzorčenje vodnjakov za črpanje vode in tudi opazovalnih vodnjakov (piezometrov) se lahko uporablja enaka planktonska*

ecotipi che vengono trasportati dalla corrente attraverso le sorgenti o rimangono all'interno delle grotte è possibile dedurre persino la struttura dell'idrostruttura (corrente idrica lenta o veloce) o le dimensioni dei vani allagati (presenza di specie animali che nuotano liberamente). Le analisi preliminari della fauna presente nelle grotte, nelle sorgenti o nei pozzi possono essere di supporto a una pianificazione più efficace dei classici esperimenti con i traccianti. Il vantaggio dell'analisi delle comunità animali nelle acque sotterranee sta nel fatto che gli stigobionti rispecchiano le condizioni sotterranee a lungo termine, mentre le specie di superficie o gli stigosseni possono trasmettere sia dati relativi a fatti unici e straordinari, sia informazioni sulla presenza di afflussi costanti.

I dati che consentono di verificare l'esistenza di collegamenti idrologici tra le singole località vengono acquisiti per mezzo di campionamenti. Nelle grotte si prelevano campioni di specie che vivono sul fondo dei corsi d'acqua. Queste comunità sono note col termine scientifico di *bentos*. Gli animali vengono prelevati da una determinata superficie di fondo con una retina a mano (Figura 6.3); vengono poi portati in laboratorio dove vengono identificate le specie di appartenenza. Un altro metodo di campionamento particolarmente efficace nelle sorgenti è il cosiddetto *drift*, che consiste nella raccolta di organismi viventi e di particelle organiche morte trasportati dalla corrente. Nel corso d'acqua viene inserita una retina da plancton modificata e posizionata subito dopo la bocca della sorgente che viene lasciata in posizione per 24 ore (Figura 6.4). Anche in questo caso i campioni vengono trasportati in laboratorio per identificare gli organismi catturati.

Per la campionatura degli organismi nei pozzi per l'approvvigionamento idrico e nei pozzi piezometrici è possibile utilizzare una retina da plancton uguale a quella utilizzata nel *drifting* anche se di dimensioni minori (Figura 6.5). La profondità del pozzo non costituisce un impedimento, solo il lume della cavità deve essere libero per evitare che la rete si incastri. Per acquisire dati validi sui collegamenti è necessario effettuare più prelievi, il che richiede un notevole investimento in tempo e denaro, ma assicura sui risultati che vanno ad integrare quelli conseguiti con altre prove di tracciamento.

*mreža kot za lov drifta, za piezometre pa se uporabljajo mreže manjših dimenzij (Slika 6.5). Globina vodnjaka ni ovira, le svetlina cevi mora biti prosta, da se mreža ne zatakne.*

*Za bolj natančne podatke o povezavah je potrebno opraviti več odvzemov vzorcev. To je sicer časovno in finančno zahtevna metoda, a rezultati lahko koristno dopolnjujejo rezultate drugih sledilnih poizkusov.*



**Figura 6.4**  
Campionamento della fauna sotterranea portata in superficie dalla corrente alla sorgente (drift)

**Slika 6.4**  
Vzorčenje podzemnega živalstva, ki ga vodni tok prinese na površje v izvirih (plavje oziroma drift).



## 6.4 Conclusioni

Le analisi della fauna che si trova nelle acque sotterranee e che ha diverse modalità di relazione nei confronti dell'ambiente ipogeo possono offrire utili informazioni sui collegamenti idrologici tra le singole località e sulle condizioni esistenti in tale ambiente. Esse vanno quindi ad integrare le ricerche idrologiche classiche atte a risolvere i problemi relativi all'approvvigionamento idrico e all'inquinamento delle acque di falda.

## 6.4 Sklep

*Analize živali, ki jih najdemo v podzemeljskih vodah in ki imajo različen odnos do podzemeljskega okolja, lahko ponudijo dodatne informacije o hidroloških povezavah med posameznimi lokacijami kot tudi o razmerah, ki vladajo v podzemlju. Zato so lahko koristna dopolnitev klasičnih hidroloških raziskav, ki rešujejo probleme, povezane z vodoskrbo, onesnaževanja ali celo gradbenimi posegi.*



**Figura 6.5**  
Prelievo di campioni di fauna nel pozzo di emungimento dell'acquedotto di Klariči

**Slika 6.5**  
Jemanje vzorcev živalstva iz vodnjaka v vodarni Klariči.





Le misure di portata.

*Merjenje pretoka.*



# Le portate delle sorgenti

## *Pretok izvirskih voda*

GIACOMO CASAGRANDE

Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia

Direzione centrale ambiente ed energia - Servizio disciplina servizio idrico integrato, gestione risorse idriche, tutela acque da inquinamento

### 7.1 Premessa

La Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia è partner progettuale del progetto HYDROKARST inizialmente attraverso il coinvolgimento, nel 2012, dell'Autorità di bacino regionale del Friuli Venezia Giulia. A seguito della soppressione della stessa (LR 16/2012), nell'aprile 2013 all'Autorità di bacino è subentrata la Direzione centrale ambiente ed energia – Servizio disciplina servizio idrico integrato, gestione risorse idriche e tutela acque da inquinamento. L'interesse per il progetto dell'Autorità di bacino regionale prima, e della Direzione ambiente ed energia poi, va principalmente ricercato nella consapevolezza che lo scopo è quello di creare strumenti e conoscenze approfondite, aggiornate e di alto livello scientifico anche ai fini della gestione della risorsa idrica del territorio del Carso Classico. A maggior ragione tenendo conto che ciò avviene per un contesto territoriale di indagine e studio progettuale che coincide, geograficamente, con il corpo idrico del Carso. I corpi idrici regionali sono stati definiti per adempiere alla direttiva 2000/60/CE, e da un punto di vista della gestione della risorsa idrica possono essere considerati come un'unità singola ed indipendente a livello ambientale e di pianificazione. Di qui il duplice interesse e ruolo della Regione, che è sia partner attivo di progetto nelle attività più meramente tecniche ed operative, che portatore di interesse ed interlocutore per tutte le attività, proposte e risultati elaborati in ambito progettuale ma che potranno, in futuro, supportare ed avere ricadute su scelte gestionali e pianificatorie per il territorio del Carso Classico. Tematiche fondamentali toccate dal progetto riguardano la vulnerabilità dell'acquifero, il bilancio idrico, la definizione

### 7.1 Uvod

*Avtonomna dežela Furlanija-Juljska krajina je projektni partner pri Projektu HYDROKARST; leta 2012 je pri projektu sprva sodeloval takratni pristojni organ za območja rek in voda v deželi Furlaniji-Juljski krajini. Ob ukinitvi te službe (deželna uredba LR 16/2012) aprila 2013 je pristojnosti upravljanja vodnih območij prevzela Osrednja direkcija za okolje in energijo, Služba za vodovodne storitve, upravljanje z vodnimi viri in varstvo voda. Zanimanje za projekt, ki ga je pokazal najprej Urad za deželno vodno območje, nato pa Direkcija za okolje in energijo, izhaja predvsem iz prepričanja, da je treba ustvariti orodja in sodobno, znanstveno podprto bazo znanj, ki naj omogoča učinkovito upravljanje vodnih virov na območju klasičnega Krasa. To pa je pomembno predvsem ob upoštevanju dejstva, da potekajo raziskovalne in študijske dejavnosti na ozemlju, ki geografsko sovпада s kraškimi vodami. Deželni vodni viri so bili opredeljeni v skladu z uredbo 2000/60/CE in jih lahko z vidika upravljanja vodnih virov obravnavamo kot samostojno okoljsko in prostorsko enoto. Odtod tudi zanimanje in vloga deželne uprave, ki je po eni strani aktivni projektni partner pri tehničnih in operativnih dejavnostih, po drugi pa deležnik in sogovornik pri vseh dejavnostih, predlogih in rezultatih projekta, ki bodo v prihodnje predstavljali podporno okolje ob sprejemanju odločitev in prostorskem načrtovanju na območju klasičnega Krasa. Temeljne vsebine projekta so ocena ranljivosti vodonosnika, vodna bilanca ter opredelitev območij varstva in dobrih praks pri zaščiti kraških vodnih virov. Gre za teme, ki se jih lotevamo s skupnim čezmejnimi pristopom ter z orodji in znanji, potrebnimi za opredelitev in nadgradnjo Načrta varovanja vodnih*



di aree di salvaguardia e di buone pratiche per la protezione delle acque carsiche, tutte tematiche affrontate ovviamente con approccio transfrontaliero ed inoltre in sintonia con gli strumenti e le conoscenze necessarie alla definizione ed aggiornamento del Piano di Tutela delle acque, che è lo strumento tecnico e normativo principale nella gestione della risorsa idrica, redatto dalla Regione nel 2012 e soggetto a periodici aggiornamenti e revisioni. Va ricordato inoltre che, sempre nell'ambito progettuale, il presupposto per affrontare le tematiche citate è stato quello di sintetizzare e acquisire nuovi dati ed effettuare apposite campagne idrogeologiche, per arrivare alla definizione di un modello idrogeologico del Carso ed alla redazione, per la prima volta in assoluto, di una cartografia tecnica unificata tra Italia e Slovenia. Ciò riveste particolare importanza per la futura gestione condivisa del corpo idrico, ricordando che i Piani di tutela delle acque sono anche figli della direttiva 2000/60/CE, si può affermare che i tempi potrebbero già essere maturi per avviare una gestione transfrontaliera dell'acquifero.

## **7.2 Attività svolta dalla Regione Friuli Venezia Giulia**

Dal punto di vista tecnico-operativo il ruolo principale della Regione, in qualità di partner di progetto, è stato quello di realizzare una campagna di raccolta dati ed indagini al fine di predisporre le basi per un bilancio idrogeologico del Carso Classico. L'Unità operativa idrografica del Servizio disciplina servizio idrico integrato, gestione risorse idriche e tutela acque da inquinamento, gestisce, dal 2002, i dati della rete idrometeorologica regionale ed ha lunga esperienza nell'effettuazione di misure di portata in fiumi e sorgenti. Per la Regione FVG – Direzione ambiente ed energia le attività sono quindi state prese in carico dall'U.O. idrografica stessa che nell'ambito del progetto si è vista impegnata soprattutto nella fornitura ed elaborazione agli altri partner dei dati idrometeorologici già esistenti e nell'organizzazione ed effettuazione di una complessa campagna di misure di portata. La campagna di misure di portata è stata affidata all'esterno, per ovvie ragioni di salvaguardia degli impegni isti-

*virov, ki predstavlja najpomembnejše strokovno in normativno orodje za upravljanje vodnih virov. Načrt je zasnovala deželna uprava leta 2012, odtlej pa je bil še nadgrajen in večkrat pregledan. Poleg tega moramo upoštevati dejstvo, da je bilo treba za obdelavo navedenih tematik v okviru projekta povzeti in pridobiti nove podatke ter izvesti potrebne hidrogeološke meritve, s katerimi je bilo mogoče opredeliti hidrogeološki model Krasa ter povsem na novo, prvič doslej, oblikovati enoten strokovni kartografski prikaz Krasa med Italijo in Slovenijo. To je posebnega pomena za nadaljnje skupno upravljanje celotnega sklopa vodnih virov, obenem pa ne gre pozabiti na dejstvo, da so načrti varovanja vodnih virov nastali na osnovi uredbe 2000/60/CE, zaradi česar menimo, da je sedaj pravi trenutek za osnovanje skupnega čezmejnega upravljanja vodonosnika.*

## **7.2 Dejavnosti Avtonomne dežele Furlanije-Julijske krajine**

*S tehnično-operativnega vidika je bila glavna partnerska projektna naloga dežele zbiranje podatkov in izvajanje raziskav, katerih cilj je bila podlaga za vodno bilanco klasičnega Krasa. Od leta 2012 vodi Hidrografska operativna enota Službe za vodovodne storitve, upravljanje z vodnimi viri in varstvo voda evidenco podatkov deželne hidrometeorološke mreže in ima dolgoletne izkušnje z meritvami vodnega pretoka rek in izvirov. Za Direkcijo za okolje in energijo Avtonomne dežele Furlanije-Julijske krajine je te dejavnosti prevzela Operativna enota za hidrografijo, ki se je v sklopu projekta osredotočila predvsem na posredovanje in obdelavo že obstoječih hidrometeoroloških podatkov za potrebe ostalih partnerjev ter na organizacijo in izvajanje kompleksnih meritev pretoka vode. Merjenje pretoka je bilo zaupano zunanjim izvajalcem zaradi drugih istočasnih institucionalnih zadolžitev operativne enote, vendar je določene aktivnosti izvedla tudi sama agencija, posebej na področju oblikovanja in priprave ustrezne meritvene mreže, izvajanja dodatnih meritev pretoka ob relevantnih hidroloških pojavih, stalnega spremljanja, preverjanja in vodenja dejavnosti podjetja, zadolženega za merjenje pretoka, in, nazadnje, na področju preverjanja pridobljenih podatkov.*



tuzionali dell'Ente, ma non sono mancate attività effettuate direttamente dall'Ente, in particolare per l'ideazione e predisposizione della rete di misure e l'effettuazione di ulteriori misure di portata in momenti idrologici di particolare utilità, nonché una costante opera di sorveglianza, controllo e gestione delle attività della ditta incaricata per le misure di portata e validazione dei dati forniti.

### 7.3 Strumenti di misura

Per le misure di portata sono stati utilizzati, a seconda del contesto di profondità e corrente idrica presenti in loco, un profilatore acustico doppler o un correntometro ad elica. Nel caso specifico:

- per sorgenti con poca portata e battenti molto bassi (inferiori ai 30 cm) o in caso di sezioni guadabili e con problematiche di turbolenze o in generale sezioni che non permettono l'utilizzo di strumentazione ADCP, si è utilizzato un correntometro ad elica, comunemente detto mulinello. Nel caso specifico lo strumento utilizzato è un correntometro della SEBA M1 1803 con aste da 20 mm ed eliche intercambiabili (utilizzata più frequentemente l'elica da 50 mm) per adattarsi al regime da misurare;
- nella maggior parte dei casi è stato utilizzato un profilatore acustico doppler (sigla ADCP) montato su natante, con un intervallo di scansione fino a 6 m. Nel caso specifico è stato utilizzato uno strumento StreamPro della RD Instruments;

Le misure di portata sono sempre state eseguite in ottemperanza alle norme ISO 748/2007 e ISO/TS 24154/2005.

La strumentazione ADCP ha notevoli caratteristiche di versatilità, potenza e precisione. Nel contesto di misure di portata del Progetto HYDROKARST la sonda ADCP è stata manovrata tra una sponda e l'altra dei fiumi o canali con due funi. Nel corso dello spostamento la sonda rileva, ad intervalli di tempo regolari, il profilo della velocità della corrente lungo la verticale, dalla superficie al fondo. Le misure sono effettuate ad intervalli regolari di profondità. In pratica la colonna d'acqua è suddivisa in "celle" di altezza costante, per ciascuna delle quali è misurata

### 7.3 Meriline naprave

*Za meritve vodnega pretoka sta bila glede na dejansko globino in vodni tok uporabljena akustični tokomer in turbinski merilnik pretoka, in sicer:*

- *v izvirih z majhnim pretokom in zelo nizkim vodostajem (manj kot 30 cm) ali v primeru prebrodljivih plitvih predelov s pojavi vrtinčenja oziroma tudi sicer v predelih, kjer ni mogoča uporaba akustičnih tokomerov, je bil uporabljen turbinski merilnik pretoka, ki mu pravimo kar »mlinček«. Šlo je za merilnik pretoka SEBA M1 1803 z 20-milimetrsko merilno letvico in zamenljivimi vijaki, ki jih izbiramo glede na potrebe merjenja (najpogosteje se uporablja 50-milimetrski propeler);*
- *v večini primerov je bil uporabljen akustični tokomer (ADCP), pritrjen na splav, z intervalom odčitavanja do 6 metrov. V konkretnem primeru je bil uporabljen StreamPro podjetja RD Instruments;*

*Meritve pretoka so bile vedno izvedene v skladu s standardoma ISO 748/2007 in ISO/TS 24154/2005.*

*Tokomer ADCP je prilagodljiv, zmogljiv in natančen. Pri meritvah pretoka v sklopu Projekta HYDROKARST smo ga namestili od enega brega rek ali potokov do drugega s pomočjo dveh vrvi. Ob premikanju je v rednih časovnih intervalih odčitaval hitrostni profil toka vzdolž globinske vertikale, od površine do dna. Meritve se izvajajo v rednih globinskih presledkih. Vodni steber je razdeljen na enako visoke »celice«, za vsako posamezno celico pa se meri hitrost, kar daje prečni profil. Zbrani podatki se posredujejo zunanji enoti (prenosnemu računalniku), kjer jih specifična programska oprema sproti obdela, prikaže in shrani. Tako so že med samimi meritvami na razpolago podatki profilov hitrostnega in smernega modula, prikazani glede na predhodno določene smeri, ter dvodimenzionalna porazdelitev modula hitrosti ali njegovih odsekov za izbrano območje. To pa predstavlja prednost tudi v primeru bližine morja ali zapornic, saj lahko prepoznavamo hitrostne vektorje iz nasprotnih smeri (na primer slano vodo, ki priteka ali je ustaljena na dnu, ter sladko vodo, ki odteka po površju).*

*Poleg tega lahko naprava takoj posreduje podatke o pretoku v izbranim prerezu. Računalniški program izračuna namreč vrednosti v vsaki posamezni celici prereza, pri tem pa uporablja specifične algoritme za*

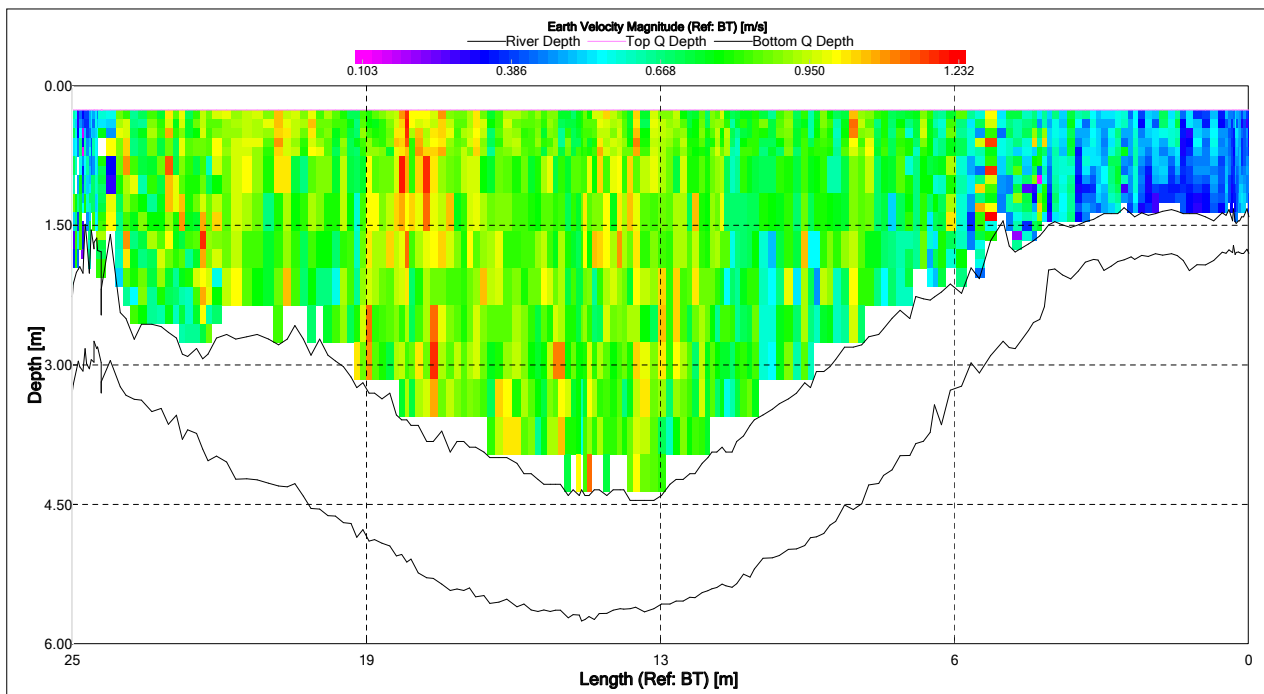
la velocità, ottenendo il profilo verticale. I dati raccolti dalla sonda sono inviati ad un'unità esterna (PC portatile) dove, mediante uno specifico software, vengono elaborati, visualizzati ed archiviati in tempo reale. Possono essere in tal modo visualizzati in tempo reale durante la misura i profili del modulo della velocità, della direzione, proiettate secondo direzioni prefissate nonché rappresentazioni bidimensionali della distribuzione del modulo della velocità o di sue componenti nella sezione indagata. Ciò costituisce un vantaggio anche nel caso di vicinanza del mare o di traverse, per riconoscere vettori velocità a direzioni opposte (tipicamente ad esempio acqua salmastra risaliente o ferma al fondo ed acqua dolce in deflusso superficiale).

Lo strumento è, inoltre, in grado di fornire immediatamente il valore della portata fluente attraverso la sezione. Il software di acquisizione esegue, infatti, la somma su tutta la sezione del contributo di ciascuna cella, utilizzando degli algoritmi specifici per estrapolare i dati mancanti



**Figura 7.1**  
Misura di portata al 3° ramo delle Sorgenti del Timavo.  
La strumentazione ADCP è montata su un piccolo natante e viene trascinata da due operatori più volte lungo la sezione di misura, i dati vengono registrati e controllati in tempo reale attraverso un pc portatile dall'operatore posto a riva.

**Slika 7.1**  
*Meritev pretoka na tretjem rokavu ustja reke Timave. Tokomer je na majhnem splavu. Operaterja ga premikata po območju merjenja, pri čemer se podatki sproti beležijo in preverjajo na prenosnem računalniku, ki ga upravlja operater na obrežju.*



**Figura 7.2**  
Tipico grafico di sezione restituito da una misura effettuata con strumentazione ADCP. Si notano le celle di misura della velocità (la scala delle velocità è riportata in alto), il profilo di fondo riconosciuto dalla strumentazione, la profondità (asse Y) e larghezza della misura (asse X).

**Slika 7.2**  
*Tipski grafični prikaz preseka, ki se generira po meritvi s tokomerom. Opazimo lahko celice za meritev hitrosti (lestvica je prikazana na vrhu), batimetrični model, ki ga je naprava prepoznala, globino (os Y) in širino (os X).*



in prossimità del fondo, e della superficie. Per ottenere una misura precisa è necessario ripetere il transetto un certo numero di volte (minimo 4) nei due sensi, verificando che la deviazione standard tra le diverse misure sia inferiore ad una tolleranza prefissata (il 5% in questo caso) e calcolando la portata fluente come media tra le misure. Il grande numero di verticali che compone ciascun transetto, specie se questo è effettuato spostando lo strumento molto lentamente, consente di ottenere, in generale, un valore di portata sufficientemente accurato, con notevoli vantaggi rispetto alla misura tradizionale sia in termini di semplicità operative, che di qualità del dato.

## 7.4 Approccio, punti di misura, caratteristiche delle sezioni di misura

Le attività di misure di portata sono state coordinate dal dott. Andrea Marin, che tra aprile e ottobre 2014, ha effettuato un totale di 169 misurazioni (Tabella 7.1).

Il ruolo della Regione è stato quello di elaborare la strategia di approccio alle misure, verificare in campo e in fase di elaborazione le misure effettuate e la qualità dei dati forniti. Si è provveduto inoltre a una continua archiviazione e all'aggiornamento dei dati idrometeorologici associati alle misure di portata, in modo da predisporre un data base informativo utile a future elaborazioni di determinazione delle scale di portata, bilanci idrici e studi idrogeologici.

La Regione ha effettuato direttamente alcune misure di portata nell'area delle Foci del Timavo in modo da coprire ulteriormente regimi idrici non ancora misurati, in particolare alcune piene consistenti ed eccezionali che nel periodo di incarico esterno delle misure non si sono verificate. La situazione delle misure effettuate è quindi in evoluzione.

**Timavo ramo 1** – Si tratta del primo dei tre rami delle sorgenti del Timavo. La sezione di misura si trova ad un centinaio di metri dalla polla sorgentifera principale, e comprende anche le acque provenienti dal canale della seconda e minore polla sorgentifera del 1° ramo. Dei tre rami del Timavo, si tratta della sezione di misura maggiormente influenzata

*pridobivanje manjkajočih podatkov v bližini dna in na površju. Za natančno meritev je treba postopek ponoviti nekajkrat (vsaj 4-krat), in sicer v obe smeri; s tem se preveri, ali je standardni odklon med različnimi meritvami manjši od predhodno določene tolerance (5 % v tem primeru), in se na osnovi podatkov izračuna povprečni dovodni pretok. Veliko število vertikal ob vsaki namestitvi naprave (še posebej v primeru, da se le-ta premika zelo počasi) na splošno omogoča pridobivanje precej natančnih podatkov o pretoku z znatnimi prednostmi glede na običajne meritve – raba naprave je namreč preprosta, zbrani podatki pa kakovostni.*

## 7.4 Pristop, meritvene točke, značilnosti območij merjenja

*Aktivnosti merjenja pretoka je določil Andrea Marin, ki je v obdobju med aprilom in oktobrom 2014 skupaj opravil 169 meritev (Tabela 7.1).*

*Dežela je oblikovala strateški plan meritev ter tako na terenu kot v fazi obdelave preverjala kakovost zbranih podatkov. Poleg tega je poskrbela za stalno arhiviranje in sprotno posodabljanje hidrometeoroloških podatkov, ki so izhajali iz meritev pretoka; tako je nastala informatizirana podatkovna baza za nadaljnje obdelave, ki naj bi ocenile pretočno krivuljo in vodno bilanco ter omogočile načrtovanje bodočih hidrogeoloških raziskav.*

*Dežela je neposredno izvedla nekaj meritev pretoka na območju izvirov reke Timave; s tem je zagotovila obdelavo vodnih tokov, ki še niso bili predmet meritev. V ta sklop meritev so bili vključeni nekateri izjemno visoki vodostaji, do katerih ni prišlo v obdobju izvajanja terenskih meritev s strani zunanjega podjetja. Opravljene meritve so tako še v fazi nadgrajevanja.*

**Timava 1. rokav** – Gre za prvega od treh rokavov na območju izvirov Timave. Lokacija se nahaja približno sto metrov od glavne vodne žile in zajema tudi vode, ki pritekajo iz kanala druge, manjše vodne žile prvega rokava. Izmed treh rokavov Timave je ta lokacija najbolj izpostavljena vplivom morskega plimovanja; tukajšnje meritve lahko vključujejo še bližnji odtok kanala, namenjenega ribogojnici, ne pa tudi kana-

dal regime di marea. La localizzazione della misura permette di comprendere nelle portate anche lo scarico della limitrofa derivazione ad uso allevamento ittico, mentre non riesce a tener conto della derivazione in destra verso la cartiera (comunque modesta, 0,01 – 0,02 m<sup>3</sup>/s). La sezione è dotata di paratoie regolabili, di particolare importanza quella immediatamente a valle della prima e principale polla. Le misure sono state sempre effettuate a paratoie ben aperte.

**Timavo ramo 2** – Si tratta del ramo intermedio e di minor importanza. È presente subito a valle della polla di risorgiva una soglia piuttosto alta, con conseguente situazione di deflusso debole o praticamente nullo in regime normale e di magra. Le misure effettuate in regimi bassi, ossia senza sfioro della soglia, hanno permesso di stimare, seppur con notevole difficoltà, una portata dell'ordine dei 0,05 m<sup>3</sup>/s (infiltrazioni e perdite dell'opera).

**Timavo ramo 3** – Si tratta del ramo più importante delle sorgenti del Timavo. La sezione di misura è ubicata una cinquantina di metri a valle della polla principale e prima della traversa principale. A valle della briglia le misure di portata avrebbero risentito troppo del regime di marea, mentre più a monte non sarebbero incluse altre polle sommerse che contribuiscono alla generazione delle portate. In sinistra idrografica, a lato della traversa, parte un canale derivatorio verso il Villaggio del Pescatore, regolato da una paratoia piuttosto lontana dalla sezione di misura. Le sezione di misura include le acque defluenti in tale canale, ma la regolazione dello stesso influisce di molto sul regime delle portate di magra, in particolare se la traversa principale non sfiora (situazione peraltro frequente in regimi medio-bassi). Sono state effettuate, in regime di magra, sia misure a paratoia chiusa che aperta. Ciò ha permesso di stimare una portata di "perdite" (infiltrazioni subalveo e perdite delle opere di sbarramento) dell'ordine di 4-6 m<sup>3</sup>/s. Inoltre è stato verificato come in regime di magra con traversa principale non sfiorante, aprendo le paratoie le portate, pur con un notevole abbassamento dei livelli, aumentano notevolmente (da 5 a 10 m<sup>3</sup>/s come ordine di grandezza) e sembrano essere stabili per parecchie decine di minuti, dimostrando

*la na desni strani v smeri proti papirnici (ki dosega zmerno vrednost 0,01 – 0,02 m<sup>3</sup>/s). Odsek je opremljen z nastavljivimi zapornicami; posebno pomembna je tista dolvodno od prve glavne vodne žile. Meritve so bile vselej izvedene ob odprtih zapornicah.*

**Timava 2. rokav** – *Gre za vmesni rokav manjšega pomena. Takoj za vodno žilo tega izvira je dokaj visok prag; odtok je posledično šibek ali ob običajnem in nizkem vodostaju skoraj nič. Meritve ob nizkem vodostaju, ko gladina ne dosega odtočnega kanala, so kljub sicer težkim pogojem omogočile oceno pretoka v vrednosti 0,05 m<sup>3</sup>/s (pretakanje in izgube).*

**Timava 3. rokav** – *Gre za najpomembnejši rokav na območju izvirov Timave. Meritveni odsek se nahaja približno petdeset metrov dolvodno od glavne vodne žile in pred glavno prečnico. Po prečni pregradi bi meritve vodnega pretoka namreč pogojevalo plimovanje, medtem ko bi gorvodno ne bi bile vključene druge podzemne vodne žile, ki prispevajo k pretoku. Na levi strani, ob prečnici, je odvodni kanal proti Ribiškemu naselju: pretok uravnava zapornica, ki je dokaj oddaljena od meritvene-ga odseka. Meritev je vključevala odtočne vode v omenjenem kanalu, vendar pa je uravnavanje toka vplivalo na stanje ob nizkem vodostaju, ko količina vode ne dosega višine pregrade (kar je pogost pojav ob srednjem in nizkem vodostaju). Ob nizkem vodostaju so bile opravljene meritve ob zaprti in odprti zapornici. To je omogočilo ovrednotiti količino »izgub« (pronicanje in izgube na pregradah) v višini 4-6 m<sup>3</sup>/s. Nadalje je bilo ugotovljeno, da se ob nizkem vodostaju, ko gladina vode ne doseže višine pregrade, ob odprtju zapornice pretoki kljub znatnemu znižanju gladine bistveno povečajo (na primer s 5 na 10 m<sup>3</sup>/s) in so stabilni za nekaj deset minut, kar dokazuje, da prisotne pregrade prispevajo k ustvarjanju večjih lokalnih hidrogeoloških zalog.*

*Na osnovi vseh teh dejavnikov (plimovanje, nastavljive zapornice, izgube ob pronicanju) ob izvirihi reke Timave zaradi nizkega vodostaja in pretoka ne bo mogoče sestaviti enotne pretočne krivulje. Z aktivnostmi, izvedenimi v okviru projekta, smo lahko zbrali vse podatke in elemente, na podlagi katerih smo s kompleksno in dinamično obdelavo pridobili*



<b>Sezione Misura / Območje merjenja</b>	<b>Località / Lokacija</b>	<b>Max m³/s</b>	<b>Min m³/s</b>	<b>n. misure / Št. meritev</b>
Timavo – Ramo 1 <i>Timava – rokav 1</i>	S. Giovanni al Timavo <i>Štivan</i>	26,9	9,5	15
Timavo – Ramo 2 <i>Timava – rokav 2</i>	S. Giovanni al Timavo <i>Štivan</i>	24,4	0,05	15
Timavo – Ramo 3 <i>Timava – rokav 3</i>	S. Giovanni al Timavo <i>Štivan</i>	67,8	5,8	15
Sardos - canale <i>Sardoč - potok</i>	S. Giovanni al Timavo <i>Štivan</i>	4,6	0,58	15
Sardos – sorgenti minori <i>Sardoč - manjši izviri</i>	S. Giovanni al Timavo <i>Štivan</i>	0,18	0,13	7
Canale Sablici <i>Potok Sablič</i>	Lisert <i>Moščenice</i>	4,8	0,72	12
Moschenizze Nord <i>Moščenice – sever</i>	Lisert <i>Moščenice</i>	1,6	0,6	12
Moschenizze Sud <i>Moščenice – jug</i>	Lisert <i>Moščenice</i>	0,086	0,0026	12
Sorgente Filtri d'Aurisina <i>Izvir v Brojnic</i>	Filtri d'Aurisina <i>Brojnica</i>	0,27	0,073	12
Sorgente Antro di Bagnoli <i>Izvir pri Jami</i>	Bagnoli della Rosandra <i>Boljunec</i>	0,59	0	12
Torrente Rosandra <i>Glinščica</i>	Francovec	1,5	0,062	12
Torrente Rosandra <i>Glinščica</i>	Bagnoli della Rosandra <i>Boljunec</i>	0,59	0,014	12
Torrente Rosandra <i>Glinščica</i>	Bottazzo <i>Botač</i>	0,51	0,043	6
Canale Randaccio - sezione 2 <i>Kanal pri Štivanu – 2. odsek</i>	S. Giovanni al Timavo <i>Štivan</i>	-	-	7
Fiume Isonzo <i>Soča</i>	Loc. Mainizza <i>Zaselek Majnice</i>	-	-	6
Fiume Isonzo <i>Soča</i>	Gradisca d'Isonzo <i>Gradišče ob Soči</i>	-	-	6
	<b>TOTALE MISURE SKUPAJ ŠT. MERITEV</b>			<b>169</b>

**Tabella 7.1**  
**Elenco dei punti di**  
**misura delle portate.**

**Tabela 7.1**  
**Seznam meritvenih točk**  
**pretokov.**

che le opere di sbarramento presenti contribuiscono a generare una importante riserva idrogeologica locale.

Dati tutti questi fattori (marea, paratoie regolabili, perdite per infiltrazioni), alle Foci del Timavo non sarà possibile, per le basse portate, ottenere un'unica scala di portata. Le attività realizzate nell'ambito del progetto hanno acquisito tutti i dati ed elementi per poter elaborare, attraverso calcoli complessi e dinamici, una curva delle portate anche per i regimi di magra. Va detto comunque che la situazione maggiormente frequente di magra è con paratoie chiuse al 3° ramo, e quindi nell'ottica di elaborazione di un primo bilancio idrico di massima può essere utilizzata questa situazione come condizione al contorno.

**Sardos canale** – Si tratta del canale che fuoriesce dall'area dell'Acquedotto Randaccio e che raccoglie quasi tutte le acque delle sorgenti del Sardos. La sezione di misura è posta immediatamente a valle delle opere di presa. Le sorgenti, a monte della sezione di misura, sono oggetto di prelievo da parte di AcegasApsAmga.

**Sardos sorgenti** – Si tratta dello scolo di tutte le sorgenti e perdite minori che non vengono captate e che fuoriescono a monte del canale principale sopraccitato, per intendersi nell'area dove sono presenti i mosaici romani. Di fatto nell'elaborazione del bilancio idrico tali acque vanno accorpate al sistema delle sorgenti Sardos.

**Canale Sablici** – È il canale che esce dal lago di Pietrarossa e costeggia l'autostrada fino a sboccare nell'area del Lisert. Per comodità di accesso la sezione di misura è localizzata all'altezza della barriera autostradale del Lisert, ma è stato verificato che in tale sezione si rilevano praticamente le stesse portate di sezioni poste più a monte, evidenziando quindi fenomeni trascurabili di perdite tra l'area sorgentifera del Lago di Pietrarossa e la sezione di misura.

**Moschenizze Nord** – È la sorgente posta al centro dello snodo autostradale Lisert, già captata in passato, ed immediatamente adiacente al canale di Sablici. È stata verificata l'impossibilità tecnica di misurare

*neke pretočne krivulje tudi ob nizkih vodostajih. Omeniti moramo, da so ob nizkem vodostaju zapornice v tretjem rokavu najpogosteje zaprte; za oblikovanje prve in splošne vodne bilance lahko torej izhajamo iz te okoliščine.*

**Potok Sardoč** – *Gre za potok, ki se na površju prikaže v bližini Štivalskega vodovoda in ki zajema skoraj vso vodo iz istoimenskih izvirov. Lokacija merjenja je takoj za zajemališčem. Iz izvirov, ki se nahajajo gorvodno, se zajema voda za potrebe vodovoda AcegasApsAmga.*

**Izviri potoka Sardoč** – *Gre za tok, v katerega se izlivajo vsi izviri in manjša količina vode, ki je ne zajemajo in ki pride na dan gorvodno od omenjenega glavnega vodotoka, in sicer na območju, kjer se nahajajo rimski mozaiki. V splošni vodni bilanci se omenjeni tok lahko obravnava v skopu sistema izvirov potoka Sardoč.*

**Potok Sablič** – *Potok, ki se izteka iz Prelestnega jezera in teče ob avtocesti do Moščenic. Zaradi lažje dostopnosti je meritveni odsek nameščen ob cestninski postaji Moščenice; ugotovili smo namreč, da je na tem odseku pretok enak kot na odsekih, ki se nahajajo gorvodno, zaradi česar lahko smatramo, da prihaja med izvirom ob Prelestnem jezeru in meritvenim odsekom do le zanemarljivih izgub.*

**Moščenice sever** – *To je izvir sredi avtocestnega odcepa pri Moščenicah, ki je bil že raziskan v preteklosti in ki se nahaja v neposredni bližini potoka Sablič. Pri neposrednih meritvah pretoka izvira smo naleteli na tehnične ovire, vendar pa lahko podamo dokaj verodostojno oceno vrednosti z izračunom razlike med vrednostmi potoka pri Sabličih in nato dolvodno od izvira pri Moščenicah, saj se izvirna voda v celoti steka v ta kanal.*

**Moščenice jug** – *Gre za skupek izvirov z zelo omejenimi pretoki. Merjenje skupnega pretoka teh izvirov je zelo otežkočeno tako zaradi zanemarljive količine vode, ki izvira delno tudi na ravninskih in z vegetacijo poraslih območjih, kot zaradi same lokacije izvirov, ki so razkropljeni*



direttamente le portate della sorgente, tuttavia una stima più che attendibile viene derivata per sottrazione tra la misura del canale di Sablici e lo stesso canale immediatamente a valle della sorgente, dato che le acque sorgentifere sono convogliate nel canale stesso.

**Moschenizze Sud** – Si tratta di una serie di sorgenti con portate molto limitate. Risulta difficile misurare l'insieme delle portate di queste sorgenti, sia per l'esiguità delle portate che sgorgano in parte anche in aree pianeggianti e vegetate, che per la localizzazione delle sorgenti, che sono sparse ed in parte anche in terreni privati. Si è convenuto di misurare le portate dell'impiuvio maggiore nel punto utilizzato anche per i campionamenti chimici.

*in se nahajajo tudi na zasebnih zemljiščih. Načrtovana je bila meritve ob največjem dotoku meteornih voda na točki, kjer poteka vzorčenje za kemijske analize.*

**Izviri pri Brojnici** – Gre za umetni kanal-rov, ki je bil nekoč vir pitne vode za oskrbo mesta Trst. Ugotovljeno je bilo, da v obdobju nizkega vodostaja skoraj vsa voda iz cevi priteka na plažo v Brojnici, medtem ko se v primeru višjega vodostaja meritve izvajajo znotraj samega odvodnega kanala. Pretok je seveda odvisen tudi od plimovanja.

**Glinščica in izvir v Boljuncu** – Kljub temu da vodna vira nista povezana s sistemom vodonosnika reke Timave, so bile izvedene sistema-



**Figura 7.3**  
Inquadramento dei punti e sezioni di misura delle portate per l'area delle Foci del Timavo. 1 – Foci del Timavo 3° ramo. 2 – Foci del Timavo 2° ramo. 3 – Foci del Timavo 1° ramo. 4 – Sardos canale. 5 – Sardos sorgenti minori. 6 – Moschenizze Sud. 7 – Moschenizze Nord. 8 – Canale Sablici.

**Slika 7.3**  
Točke in odseki za merjenje pretoka na območju izvirov reke Timave. 1 - Tretji rokav izvirov reke Timave. 2 - Drugi rokav izvirov reke Timave. 3 - Prvi rokav izvirov reke Timave. 4 - Potok Sardoč. 5 – Sardoč - manjši izviri. 6 – Moščenice (jug). 7 – Moščenice (sever). 8 - Potok Sabličiči.

**Sorgente Filtri di Aurisina** - Si tratta del canale-galleria artificiale che costituiva la vecchia fonte di approvvigionamento idrico della città di Trieste. È stato verificato come in fase di magra quasi tutte le acque canalizzate sgorgano da un tubo di sfogo sulla spiaggia in località Filtri di Aurisina, mentre per portate maggiori la misura di portata viene effettuata all'interno della galleria drenante. Il regime delle portate è ovviamente influenzato anche dalle maree.

**T. Rosandra e sorgente Antro di Bagnoli** – Pur non essendo connesse al sistema acquifero del Timavo, si è proceduto ad una sistematica misura di portate delle acque sul T. Rosandra. Sono state scelte 3 sezioni consequenziali sul T. Rosandra (da monte a valle: Bottazzo, Bagnoli, Francovec) per caratterizzarne regimi del torrente nonché perdite ed arrivi sorgentiferi laterali. La stazione di Francovec è stata scelta come bacino di chiusura in quanto vi è presente una stazione idrometrica storica. La sorgente dell'Antro di Bagnoli è stata misurata in quanto dovrebbe sostenere quasi esclusivamente al bacino del M. Carso.

**Fiume Isonzo Sezioni Mainizza e Gradisca** – Le sezioni di misura sul fiume Isonzo sono state pensate per tentare di caratterizzare i contributi del fiume Isonzo verso la falda carsica. La sezione di Mainizza è ubicata infatti subito a valle della confluenza Isonzo-Vipacco in un'area dove il fiume Isonzo scorre a contatto con l'idrostruttura del Carso goriziano. La sezione di Gradisca è posta un paio di km più a valle, dopo la quale l'Isonzo entra definitivamente, anche in sinistra idrografica, in territorio di alta pianura. La sezione di Gradisca è anche attrezzata con sensore idrometrico della rete idrometeorologica regionale.

## 7.5 Primi risultati, prospettive, conclusioni

Le attività di misure di portata ed elaborazione dei risultati sono ancora in corso. L'obiettivo finale è quello di caratterizzare il regime di portate di tutti i fiumi e sorgenti principali afferenti all'acquifero del Carso Classico, in modo da mettere a disposizione una serie di dati ed informazioni per la

*tipiche meritve vodnih pretokov reke Glinščice. Za oceno pretoka, izgub in stranskih pritokov so bili izbrani 3 odseki (dolvodno: Botač, Boljunec, Frankovec). Postaja Frankovec je bila izbrana kot končni bazen, saj se tam nahaja stara hidrološka postaja. Lokacija Jame v Boljuncu je bila izbrana na podlagi domneve, da spada v bazen Vrha Griže.*

**Reka Soča, odsek Majnice in Gradišče ob Soči** – Meritveni odseki na reki Soči so bili postavljeni z namenom, da bi se opredelil doprinos reke Soče h kraški podtalnici. Odsek Majnice se nahaja takoj za sotočjem Soče in Vipave na območju, kjer se reka Soča pretaka čez goriški Kras. Odsek Gradišče pa se nahaja nekaj kilometrov dolvodno, kjer se levi breg Soče že nahaja na območju gornje nižine. Merilna točka Gradišče je opremljena tudi s hidrometričnim senzorjem deželne hidrometeorološke mreže.

## 7.5 Prvi rezultati, perspektive, zaključki

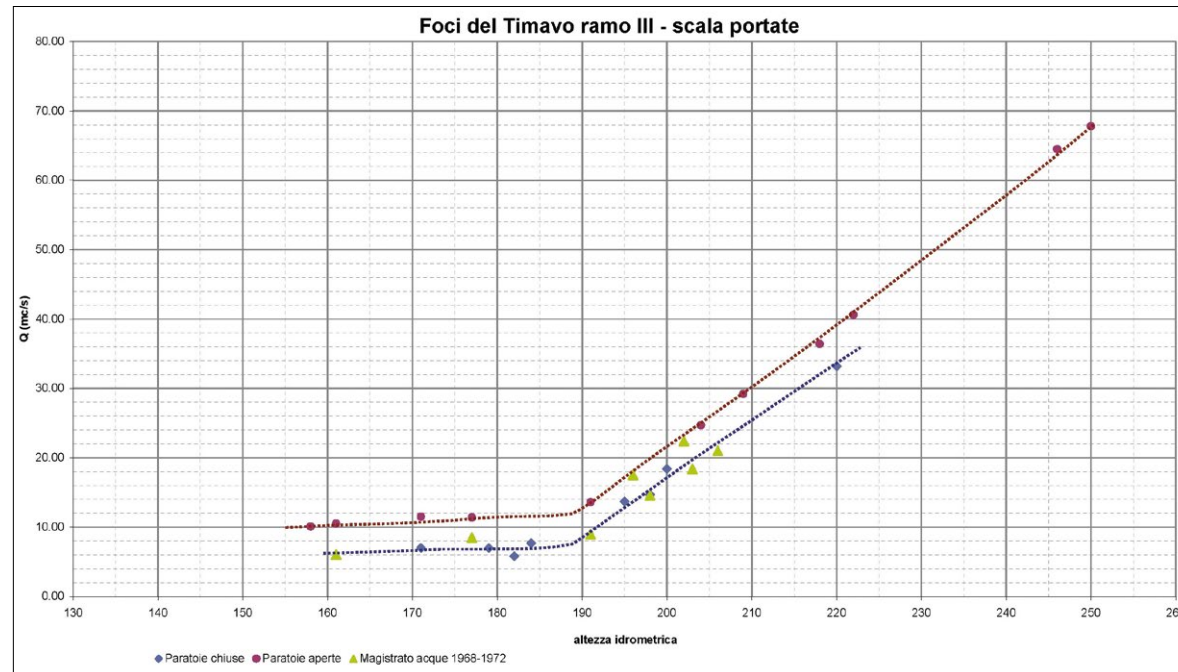
*Meritve pretoka in obdelave rezultatov še potekajo. Končni cilj je opredeliti stanje pretokov vseh rek in glavnih izvirov, ki prispevajo k vodonosniku klasičnega Krasa, ter objaviti vrsto podatkov in informacij za bodoče upravljanje vodonosnika, s posebnim poudarkom na opredelitvi hidrogeološke bilance in na upravljanju vodnih virov. S pomočjo pridobljenih podatkov bo mogoče izdelati prvo splošno hidrogeološko bilanco in vrsto pretočnih krivulj. Upoštevati je treba tudi dejstvo, da pretok izvirov Timave ni bil predmet raziskav že več kot 30 let (Gemiti, 1984) in da nekateri izviri sploh še niso bili zajeti v merjenja. Nenazadnje so se v tem časovnem razdobju pronicanja in izgube na vseh 3 rokavih reke Timave občutno povečale, kar postavlja pod vprašaj aktualnost Gemitijevih izsledkov (1984); ki jih podjetje AcegasApsAmga še vedno uporablja za določanje dnevnih pretokov. Nazadnje moramo poudariti, da predstavlja raba akustičnega tokomera vsestransko uporaben in moderen pristop, ki omogoča zbiranje podatkov z zahtevano frekvenco, natančnostjo in kakovostjo, česar si pred kakimi desetimi leti sploh nismo mogli predstavljati. Žal je bilo v obdobju, v katerem je bil izveden največji*



futura gestione dell'acquifero, con particolare riguardo alla definizione del bilancio idrogeologico ed alla gestione della risorsa idrica. Grazie ai dati acquisiti sarà possibile elaborare un primo bilancio idrogeologico di massima ed una serie di curve di portata. Va tenuto infatti conto che era più di 30 anni che non veniva eseguita un'indagine sulle portate delle Sorgenti del Timavo (Gemiti, 1984), e che alcune sorgenti non erano mai state oggetto di caratterizzazione quantitativa. Inoltre in questo lasso di tempo le infiltrazioni e perdite dei 3 rami del Timavo sembrano essere aumentate sensibilmente, ponendo il problema della validità attuale delle correlazioni già individuate da Gemiti (1984) ed a tutt'oggi utilizzate da AcegasApsAmga nella determinazione delle portate giornaliere. Infine va rimarcato che l'utilizzo di strumentazione ADCP costituisce un approccio potente e moderno, che ha permesso di acquisire dati con frequenze, precisioni e qualità altrimenti non concepibili fino ad una decina di anni fa. Purtroppo il periodo in cui sono state realizzate la maggior parte delle misure di portata (aprile-ottobre 2014) è stato caratterizzato da regimi idrici medi o bassi, a causa di

*delez meritev pretoka (april-oktober 2014), veliko srednjih ali nizkih vodostajev vsled sicer pogostih, a ne obilnih ali izjemnih padavin, zaradi česar vodotoki spomladi niso bistveno naraščali; po drugi strani je bilo poletje deževno, tako da vodotoki niso presahnil, začetek jeseni pa je bil dokaj suh. V jesenskem času so bili nalivi kratkotrajni, a zelo močni, vendar niso izraziteje vplivali na raven vodonosnika. V nadaljevanju vam informativno predstavljamo delno obdelavo pretočnih krivulj v tretjem rokavu reke Timave.*

*Iz obdelave podatkov izhajata dve krivulji: prva prikazuje pretok ob odprtih stranskih zapornicah, druga pa ob zaprtih zapornicah. Ob odprtih stranskih zapornicah so vrednosti pretoka višje v primerjavi s stanjem ob zaprtih zapornicah, kajti v slednjem primeru je površinsko odtekanje vode predvsem ob nizkem vodostaju omejeno. Asimptotično približevanje kaže na minimalni pretok v višini 8-9 m<sup>3</sup>/s ob odprti zapornici in približno 5-6 m<sup>3</sup>/s ob zaprti zapornici; to dokazuje, da je delovanje pregradnih naprav in kanalizacije zadovoljivo in da je zaradi prisotnosti*



**Figura 7.4**  
Scala delle portate ottenuta al 3° ramo delle Sorgenti del Timavo.

**Slika 7.4**  
Pretočna krivulja na območju tretjega rokava reke Timave.

una frequente serie di eventi piovosi tuttavia mai abbondanti o eccezionali, che in pratica hanno portato ad una primavera senza piene di riferimento e a un'estate bagnata senza magre nel regime delle portate, nonché ad un inizio d'autunno piuttosto secco. Nel periodo autunnale non sono mancati eventi piovosi brevi intensi, ma che a livello dell'acquifero non hanno comportato particolari variazioni di regime. A titolo preliminare viene di seguito presentata un'elaborazione parziale delle curve di portata al 3° ramo delle Sorgenti del Timavo.

Dall'elaborazione dei dati si ricavano sostanzialmente due curve, una a paratoie laterali aperte ed una a paratoie laterali chiuse. A paratoie aperte corrispondono portate più elevate rispetto alla situazione a paratoie chiuse, in quanto ovviamente quest'ultima situazione tende a limitare, specialmente per le basse portate, il deflusso superficiale. La tendenza asintotica indica una portata minima di 8-9 m<sup>3</sup>/s per la situazione a paratoia aperta, di circa 5-6 m<sup>3</sup>/s a paratoia chiusa, mettendo in risalto sia una discreta funzionalità delle opere di sbarramento e canalizzazione che una certa capacità di riserva indotta dalle stesse opere presenti. Questi 5-6 m<sup>3</sup>/s corrispondono quindi all'ordine di grandezza delle perdite per infiltrazione del 3° ramo del Timavo, in quanto in tali condizioni idrometriche non risulta nessun sfioro o deflusso a valle attraverso l'alveo od opere di canalizzazione del Timavo. Verso i regimi più elevati (alla quota idrometrica di 1,86 m corrisponde l'inizio dello sfioro dello stramazzo principale) le due curve tendono a ridurre la differenza di portata a parità di altezza idrometrica, e ci si aspetta che per le portate più elevate tale differenza sia ancora più limitata.

Il passaggio fondamentale e successivo è quello di associare, qui come nelle altre sezioni di misura, al dato idrometrico in continuo (quasi tutti i punti sono infatti monitorati nel livello con intervalli di un dato ogni 30 minuti-1 ora) il dato di portata, in modo da poter predisporre le rispettive curve di portata, che permetteranno di estendere nel tempo l'andamento delle portate.

Questo tipo di elaborazioni permetterà di eseguire bilanci idrogeologici, stima delle riserve idriche disponibili, gestire al meglio la risorsa idrica per gli usi richiesti, interpretare con maggior precisione bilanci quantitativi relativamente a test di tracciamento e sostanze inquinanti, trasporto solido, ed altro ancora.

*omenjenih elementov zagotovljeno ustvarjanje vodnih rezerv. Vrednost 5-6 m<sup>3</sup>/s ustreza torej količini izgub zaradi pronicanja v sklopu tretjega rokava Timave, saj ob danih hidrometričnih pogojih dolvodno ne prihaja do kakega naravnega ali umetnega odtekanja vzdolž struge. Ob višjih vodostajih (hidrometrična gladina 1,86 m ustreza začetnemu odtekanje prek glavne pregrade) se krivulji nagibata k zmanjševanju razlike v pretoku glede na hidrometrično višino, zato pričakujemo, da bo ob večjih pretokih ta razlika še bolj omejena.*

*V tem primeru in pri drugih meritvah bo nadaljnji ključni korak primerjava stalnih hidrometričnih podatkov (skoraj za vse točke se podatki zbirajo v presledkih od 30 minut do 1 ure) s podatki o pretoku, zato da se na tej osnovi izrišejo ustrezne pretočne krivulje, kar bo omogočilo predvidevanje pretokov.*

*S tovrstnimi obdelavami bo mogoče pripraviti hidrogeološke bilance, oceniti razpoložljive vodne zaloge, izboljšati upravljanje z vodnimi viri glede na dejanske potrebe, natančneje opredeliti kvantitativne podatke o sledilnih poskusih, onesnaževalcih, prenašanju gradiva v suspenziji, itd.*





Sabljci in pena.

*Potok Sabličji ob visokem vodostaju.*





La sorgente Sardos.

Izvir Sardoč.



# AcegasApsAmga

## Analisi della stabilità della rete di distribuzione, delle perdite degli acquedotti e dei tratti inefficienti della rete

### *Analiza stabilnosti distribucijske mreže, izgub iz vodovodov in neučinkovitih predelov omrežja*

ENRICO ALTRAN, ANDREA RUBIN, PAOLO SOSSI  
AcegasApsAmga

#### 8.1 Cenni storici

##### 8.1.1 Gli acquedotti romani

In epoca romana, ed in tempi successivi, tre acquedotti servirono gli insediamenti urbani dell'antica Tergeste; i primi furono quelli di Timignano e delle Sette Fontane, costruiti dopo la fondazione della prima colonia, avvenuta intorno all' 52 a.C.

L'acquedotto di Timignano raccoglieva l'acqua da alcune sorgenti situate nella valle di Longera e ai piedi del colle del Farneto; l'acquedotto delle Sette Fontane, invece, utilizzava le cospicue sorgenti nella valle di Rozzol.

Ben più importante, per la quantità d'acqua trasportata e per la rilevanza dell'opera, è stato l'acquedotto di Bagnoli, costruito in epoca augustea, che raccoglieva l'acqua della fonte Oppia in Val Rosandra e la convogliava a Tergeste attraverso una canalizzazione in parte scoperta e in parte sotterranea. Resti dell'antico acquedotto furono rinvenuti a Borgo S. Sergio, in Via dell'Istria, in Via Galleria e in Via Madonna del Mare.

Con la caduta dell'impero romano tutti e tre gli acquedotti furono distrutti per cui si dovette ricorrere, per il rifornimento idrico, alle numerose sorgive situate alle pendici dei colli intorno a Trieste e, più tardi, a pozzi in muratura scavati nel Flysch.

#### 8.1 Zgodovinski pregled

##### 8.1.1 Rimski vodovodi

*V rimskem obdobju in v dobah, ki sledijo, so trije vodovodi oskrbovali naselbino antičnega Trsta (Tergeste); prva sta bila t.i »Timignano« in vodovod Sedmih vodnjakov »fontan«, zgrajena po ustanovitvi prve kolonije, ki je nastala okrog leta 52 pr.n.št.*

*Vodovod »Timignano« je zbiral vodo iz nekaterih izvirov v dolini Lonjerja in ob vznožju griča Frned; vodovod Sedmih vodnjakov »fontan« pa je zajemal velike izvire v dolini Rocola.*

*Zaradi količine vode in zaradi obsežnosti gradnje je bil veliko pomembnejši vodovod iz Boljunca, zgrajen v dobi cesarja Avgusta; ta je zbiral vodo iz izvira »Zvirk« v dolini Glinščice in jo usmerjal v Tergeste preko delno odkrite in delno pokrite kanalizacije. Ostanke starega vodovoda so našli pri Sv. Sergiju, v Istrski ulici, v Ul. Galleria in v Ul. Madonna del Mare. S padcem rimskega cesarstva so bili vsi trije vodovodi uničeni, zato je bilo treba za vodno oskrbo poiskati številne izvire na pobočjih okoliških gričev Trsta, pozneje pa v izkopanih vodnjakih v flišnih kamninah.*



### 8.1.2 L'acquedotto teresiano

Nel 1750, per decreto dell'imperatrice Maria Teresa, venne realizzato un acquedotto che doveva sopperire ai bisogni della città, la quale contava allora 5.000 abitanti ma era destinata a svilupparsi e a diventare il porto principale dell'impero asburgico.

Nella zona di Guardiella furono scavate nel flysch due gallerie drenanti che fornirono circa 200 m<sup>3</sup> di acqua al giorno. Il capofonte con la scritta in latino è ancora visibile in via delle Cave, sopra la chiesa di S.Giovanni.

La condotta di adduzione dell'acqua, in ghisa, passava per l'attuale Via Crispi ed il Viale XX Settembre, chiamato per l'appunto "Acquedotto" e alimentava le principali fontane di Trieste.

Nel 1897 il Consiglio comunale di Trieste decise di eseguire un ampliamento del sistema di drenaggio mediante la costruzione di ulteriori gallerie situate ad un livello inferiore; i risultati ottenuti furono però alquanto deludenti.

L'acquedotto teresiano, declassato nel 1898 ad acquedotto industriale a causa dell'inquinamento delle sue acque, dopo la seconda guerra mondiale fu allacciato alla fognatura pubblica.

### 8.1.3 L'acquedotto di Aurisina

Nel 1857 fu dato l'avvio allo sfruttamento delle sorgenti di Aurisina mediante la costruzione di un bacino di raccolta delle acque e di una stazione di sollevamento. Macchine a vapore, alimentate a carbone, sollevavano l'acqua fino ad una torre piezometrica da dove, per gravità, arrivava fino alla stazione ferroviaria del Bivio di Aurisina. L'acqua emunta dalle sorgenti, pari a 1.800 m<sup>3</sup>/giorno, doveva servire alle vapore della ferrovia meridionale Trieste-Vienna e solo una parte, 300 m<sup>3</sup>/giorno, veniva convogliata in città mediante una tubatura del diametro di 315 mm, posata lungo la linea ferroviaria.

Il rapido sviluppo della città (20.000 persone nel 1800, 100.000 nel 1850) rese però sempre più assillante il problema dell'acqua a Trieste.

Nel 1882 il numero di abitanti raggiunse le 140.000 unità e le disponibilità d'acqua erano le seguenti:

### 8.1.2 Terezijanski vodovod

*Z odlokom cesarice Marije Terezije so leta 1750 zgradili vodovod, ki bi moral zadostiti potrebam mesta, takrat je mesto štelo 5.000 prebivalcev in bilo je še v razvoju, saj je bilo namenjeno, da postane glavno pristanišče habsburškega cesarstva.*

*Na območju »Vrdele« so v peščenjak izkopali dva drenažna rova, ki sta dobavljala približno 200 m<sup>3</sup> vode dnevno. Napis v latinščini je še viden v Ul. kamnolomov, nad cerkvijo Sv. Ivana.*

*Glavna vodovodna litoželezna cev, ki je napajala vodnjake v Trstu, je potekala po sedanji Ulici Crispi in po Drevoredu 20. septembra, ki so ga poimenovali prav "Vodovod".*

*Leta 1897 je tržaški občinski svet odločil, da razširi drenažni sistem z izgradnjo dodatnih rovvov na nižjem nivoju; rezultati del pa niso obrodili zaželenih sadov.*

*Terezijanski vodovod, ki so ga leta 1898 deklasirali v industrijski vodovod, pa je bil zaradi onesnaženja njegovih voda, po drugi svetovni vojni priključen na javno kanalizacijo.*

### 8.1.3 Nabrežinski vodovod

*Leta 1857 se je začelo izkoriščanje nabrežinskih izvirov z izgradnjo zajetja vod in črpalno postajo. Parni stroji s kurilnico na premog so dvigali vodo do piezometričnega stolpa, odkoder je odtekala do železniške postaje v Nabrežini. Načrpana voda – dnevno 1.800 m<sup>3</sup> – je oskrbovala predvsem parne lokomotive Južne železnice na progi Trst – Dunaj, dnevno je bilo le 300 m<sup>3</sup> preusmerjenih v mesto preko 315 mm širokega cevovoda, ki je potekal vzdolž železniške proge.*

*Nagel razvoj mesta (20.000 prebivalcev leta 1800, 100.000 leta 1850) pa je dodatno pospešil problem oskrbe Trsta z vodo.*

*Leta 1882 je mesto doseglo že 140.000 prebivalcev, razpoložljivost vode pa je bila sledeča:*

– Nabrežinski vodovod	954 m <sup>3</sup> /dan
– Terezijanski vodovod	200 m <sup>3</sup> /dan
– Javni vodnjaki	700 m <sup>3</sup> /dan
– Zasebni vodnjaki	400 m <sup>3</sup> /dan



– acquedotto di Aurisina	954 m <sup>3</sup> /giorno
– acquedotto teresiano	200 m <sup>3</sup> /giorno
– pozzi pubblici	700 m <sup>3</sup> /giorno
– pozzi privati	400 m <sup>3</sup> /giorno

La Società dell'Acquedotto e la Ferroviaria Meridionale decisero allora l'ampliamento degli impianti per cui si resero disponibili 5.000 m<sup>3</sup> d'acqua al giorno dei quali 4.000 convogliati in città.

Nel 1900 la popolazione, da 140.000, divenne di 180.000 abitanti per cui fu deciso un ulteriore potenziamento dell'acquedotto che fu così in grado di erogare fino ad un massimo di 25.000 m<sup>3</sup>/giorno. Tale quantitativo però si riduceva durante l'estate a 16.000 m<sup>3</sup>/giorno, quantità del tutto insufficiente per i fabbisogni civili e industriali di una grande città di 245.000 abitanti (nel 1914).

L'acquedotto è rimasto in attività fino al 1977, anno in cui motivazioni di ordine tecnico, economico e igienico-sanitario ne hanno decretato l'arresto, ma non la definitiva eliminazione. Esso è stato infatti utilizzato saltuariamente ancora per qualche anno onde far fronte alle emergenze idriche causate dagli inquinamenti del Timavo. In caso di emergenza l'impianto potrebbe essere riattivato con una portata limitata a 4.000 m<sup>3</sup>/giorno.

#### **8.1.4 L'acquedotto di Zaule**

Durante la prima guerra mondiale il Genio Militare austriaco curò la costruzione di un acquedotto sussidiario nella valle di Zaule, che prelevava l'acqua della falda sotterranea mediante 4 pozzi in muratura, profondi circa 10 m. Esso fu ampliato nel 1921 mediante l'aggiunta di altri 3 pozzi e la costruzione di nuovi sistemi di sollevamento.

L'acquedotto, che ha funzionato fino al 1961, aveva una potenzialità di soli 6.000 m<sup>3</sup>/giorno, in quanto un attingimento più spinto provocava l'infiltrazione di acqua salmastra.

*Vodovodna mestna družba in Južna železnica sta se odločili, da bosta razširili napeljave, s katerimi so dnevno pridobili dodatnih 5.000 m<sup>3</sup> vode, od katerih je bilo 4.000 m<sup>3</sup> namenjenih mestu.*

*Leta 1900 je prebivalstvo s prejšnjih 140.000 naraslo na 180.000 prebivalcev, zato so se odločili za dodatno širitev vodovoda, ki je lahko dnevno dobavljal do 25.000 m<sup>3</sup> vode. V poletnem obdobju se je omenjena količina zmanjšala na dnevni 16.000 m<sup>3</sup>, kar je bilo v letu 1914, ko je mesto doseglo 245.000 prebivalcev, absolutno premalo za civilne in industrijske potrebe.*

*Vodovod je deloval do leta 1977, ko so ga zaradi tehničnih, ekonomskih in higiensko-sanitarnih razlogov ustavili, a ne dokončno izključili z omrežja. Občasno so ga uporabljali še nekaj let, da so ublažili posledice onesnaženja Timave. V nujnih okoliščinah bi ga lahko ponovno aktivirali, vendar le do količine, omejene na dnevni 4.000 m<sup>3</sup>.*

#### **8.1.4 Žaveljski vodovod**

*Med prvo svetovno vojno je avstrijski vojaški gradbeni oddelek zgradil pomožni vodovod v Žaveljski ravnici, ki je črpal vodo iz vrtin s pomočjo štirih zidanih vodnjakov, ki so bili globoki približno 10 m. Ta vodovod je bil razširjen leta 1921 z dodatnimi tremi vodnjaki ter novimi dviznimi sistemi.*

*Vodovod, ki je deloval do leta 1961, imel je dnevno zmogljivost 6.000 m<sup>3</sup>, večja izčrpavanja pa so večkrat povzročila pronicanja slane vode.*

## 8.2 L'acquedotto Giovanni Randaccio

### 8.2.1 Il primo nucleo dell'attuale acquedotto

Nel 1922 in località S. Giovanni di Duino, nella Valle di Medeazza, veniva installata una stazione di pompaggio che attingeva da alcune sorgenti che alimentavano il molino Sardos.

L'acqua, fino ad un massimo di 6.000 m<sup>3</sup>/giorno, veniva convogliata alla stazione dei filtri di Aurisina per la sua potabilizzazione.

### 8.2.2 La realizzazione

La disponibilità, a S. Giovanni di Duino, di acque abbondanti e di ottima qualità (assenza di colibatteri) indusse il Comune di Trieste a realizzare, in quella zona, l'acquedotto che avrebbe dovuto risolvere finalmente il problema dell'acqua a Trieste. Dopo soli 10 mesi dall'inizio dei lavori veniva inaugurato nel 1929 il nuovo impianto con una potenzialità iniziale di 20.000 m<sup>3</sup>/giorno, che avrebbe dovuto raggiungere i 75.000 m<sup>3</sup>/giorno con i successivi ampliamenti. L'acquedotto era costituito da una nuova stazione di presa con 4 elettropompe, da un bacino di decantazione interrato della capacità di 2.400 m<sup>3</sup>, provvisto di un sistema di flocculazione dell'acqua con allumina, da un edificio contenente la sala filtri (inizialmente 6 filtri rapidi, successivamente portati a 10), da un bacino dell'acqua filtrata, dalle pompe di sollevamento (3 da 920 HP e 2 da 500 HP) e dal sistema di alimentazione elettrica. La disinfezione dell'acqua veniva effettuata con cloro gas.

La condotta di adduzione in acciaio, del diametro di 900 mm, fu posata lungo la strada costiera e a Sistiana fu costruita una torre piezometrica.

### 8.2.3 Gli ampliamenti

Nel 1938 l'acquedotto erogava 40.000 m<sup>3</sup>/giorno, insufficienti per le esigenze di una città di 270.000 abitanti; si rendeva pertanto necessario un suo ampliamento che, a causa degli eventi bellici, fu realizzato solo negli anni 1947-52. Furono potenziati per primi gli impianti di sollevamento con elettropompe in grado di prelevare dalle sorgenti Sardos fino ad un massimo di 100.000 m<sup>3</sup> di acqua al giorno e venne installata una presa

## 8.2 Vodovod Giovanni Randaccio

### 8.2.1 Prvo jedro današnjega vodovoda

*V Štivanu pri Medji vsi so, so leta 1922 namestili črpalno postajo, ki je črpala vodo iz nekaterih izvirov, ki so napajali Sardočev mlin.*

*Na filtrirno postajo v Nabrežini je bilo dnevno preusmerjenih do 6.000 m<sup>3</sup> vode, tu so jo prečistili v pitno vodo.*

### 8.2.2 Izgradnja

*Obilne količine in zelo kakovostna voda, ki je bila na razpolago v Štivanu (odsotnost koli bakterij), je občino Trst spodbudila, da je na tistem območju zgradila vodarno, ki bi morala končno rešiti problem vodne oskrbe mesta. V pičlih desetih mesecih gradnje je leta 1929 začel delovati nov objekt z začetno dnevno oskrbo 20.000 m<sup>3</sup> načrpane vode, ki bi morala z nadaljnjimi širitvami doseči dnevnih 75.000 m<sup>3</sup>. Nov vodovod je bil sestavljen iz črpalne postaje s štirimi električnimi črpalkami, z dekantacijskim vodohranom z zmogljivostjo 2.400 m<sup>3</sup>, opremljenim s čistilnim sistemom z galunom, z objektom s filtrirno dvorano (najprej s šestimi, pozneje pa z desetimi hitrimi filtri), z zajetjem filtrirane vode, povezanim s črpalkami (3 po 920 HP in 2 po 500 HP) ter električnim sistemom napajanja. Vodo so razkuževali s plinskim klorom.*

*Glavna vodovodna cev iz jekla, s premerom 900 mm, je bila nameščena vzdolž obalne ceste, v Sesljanu pa so zgradili piezometrični stolp.*

### 8.2.3 Širitve

*Leta 1938 je vodovod dnevno oskrboval mesto s 40.000 m<sup>3</sup>, kar pa ni zadostovalo mestni porabi, saj je takrat mesto štelo že 270.000 prebivalcev; potrebna je bila širitev, ki pa je bila zaradi vojne opravljena šele v letih 1947-52. Najprej so okrepili črpališča z novimi električnimi črpalkami, ki so iz Sardočevih izvirov črpali do največ 100.000 m<sup>3</sup> vode na dan, nameščeno pa je bilo še zajetje na drugem rokavu izvirov reke Timave. Zgradili so nov dekantacijski vodohran s kapaciteto 4.500 m<sup>3</sup>, razširili so filtrirno napravo z izgradnjo desetih hitrih filtrov, na koncu pa so okrepili še črpališče proti mestu.*

*Tudi ti ukrepi so s časom postali nezadostni za potrebe Tržaške pok-*



sul 2° ramo del Timavo. Fu realizzato un nuovo bacino di decantazione della capacità di 4.500 m<sup>3</sup>, venne ampliato l'impianto di filtrazione con la costruzione di altri 10 filtri rapidi e, infine, venne potenziato il sollevamento verso la città.

Anche questi provvedimenti però si rivelarono nel tempo insufficienti per far fronte alla richiesta d'acqua della provincia di Trieste, derivata non tanto dall'incremento della popolazione ormai stabilizzata intorno ai 300.000 abitanti, quanto dal vertiginoso aumento dei consumi civili ed industriali.

Verso la fine degli anni sessanta veniva perciò intrapreso un ulteriore potenziamento dell'acquedotto mediante le seguenti opere:

- a) installazione di nuove prese al secondo e 3° ramo del Timavo;
- b) costruzione di un nuovo bacino di decantazione da 6.000 m<sup>3</sup>;
- c) ampliamento del salone dei filtri e costruzione di altri 16 filtri rapidi;
- d) costruzione di una seconda sala di risollevarimento ed installazione di 4 elettropompe;
- e) posa di una condotta interrata, del diametro di 1.300 mm, da Randaccio alla nuova torre di equilibrio realizzata in località Medeazza e, dalla torre, al Villaggio del Pescatore;
- f) posa di una condotta sottomarina, sempre del diametro di 1.300 mm, dal Villaggio del Pescatore al Porto Franco Vecchio lungo un percorso di 18 km.

#### **8.2.4 I primi inquinamenti del Timavo**

Con la messa in esercizio della condotta sottomarina, avvenuta nella primavera del 1971, i consumi d'acqua della città, rimasti fino ad allora piuttosto compressi, ebbero un'improvvisa impennata, assestandosi dopo pochi anni intorno ai 210.000 m<sup>3</sup>/giorno, con massimi di 240.000 m<sup>3</sup>/giorno in alcune giornate estive.

Per erogare tali ingenti quantità d'acqua fu necessario ricorrere in modo sempre più massiccio alle sorgenti del Timavo, con il rischio di dover far fronte, durante i periodi di piena, agli inquinanti e alle torbide (argille in sospensione) veicolate dall'alto Timavo. Proprio nell'autunno del 1971 si verificò il primo ed imponente episodio di inquinamento del Timavo che costrinse l'Azienda a ridurre l'erogazione dell'acqua in città.

*rajine, ne toliko zaradi števila prebivalstva, ki se je ustalilo pri številu 300.000, ampak zaradi vrtočlavega povečanja civilnih in industrijskih potreb.*

*Proti koncu šestdesetih let so izvedli nove širitve vodovoda, in sicer z naslednjimi objekti:*

- a) *namestitev novih zajetij na drugem in tretjem rokavu izvirov reke Timave;*
- b) *izgradnja novega dekantacijskega vodohrana s kapaciteto 6.000 m<sup>3</sup>;*
- c) *širitev filtrirnega vodohrana s šestnajstimi novimi in dodatnimi hitrimi filtri;*
- d) *izgradnja druge črpališčne hale s štirimi električnimi črpalkami;*
- e) *namestitev glavne vodovodne cevi s premerom 1.300 mm, od vodarne Randaccio v Štivanu do novega vodovodnega stolpa v Medji vasi ter vodovodne zgradbe v Ribiškem naselju;*
- f) *namestitev glavne vodovodne cevi premera 1.300 mm na dno morja, v dolžini 18 km od Ribiškega naselja do starega tržaškega prostocarskega pristanišča.*

#### **8.2.4 Prva onesnaženja Timave**

*Z začetkom delovanja podmorskega transportnega vodovoda, leta 1971, se je potrošnja vode v mestu, ki je bila do tedaj dokaj strnjena, nenadoma močno povečala in se je po nekaj letih ustalila dnevno na okrog 210.000 m<sup>3</sup> in v določenih poletnih dneh dosegla maksimalno porabo 240.000 m<sup>3</sup>.*

*Za dobavo teh ogromnih količin vode je bilo treba vse pogosteje črpati vodo iz izvirov Timave in s tem tvegati, da se v obdobju povišanega pretoka črpa kalno (gline v suspenziji) in onesnaženo vodo, ki se je pretakala iz višjih predelov površinskega toka reke Reke. Že v jeseni leta 1971 je prišlo do prvega velikega onesnaženja Timave, kar je podjetje AcegasApsAmga prisililo k zmanjšanju dobave vode v mesto.*

*Na izviri pri Štivanu se je voda izrazito penila in vsebovala izredno nizke odstotke kisika, njen videz pa je bil rumenkaste barve in zaradi prisotnosti velikih količin organskih snovi je bila smrdeča. Ta problem se je ponavljal ob vsakem povišanju pretoka, vendar v manjši obliki, zaradi česar je podjetje (Acegat) moralo prekinjati dobavo take vode, kar pa je prinašalo posledice pri vodovodni oskrbi.*

Alle sorgenti di S. Giovanni di Duino l'acqua fuoriusciva piena di schiume, pressoché priva di ossigeno disciolto, di colore giallastro e maleodorante per la presenza di grosse quantità di sostanze organiche. Tale episodio si ripropose, in forme più attenuate, in quasi tutti gli episodi di piena del Timavo, costringendo l'Azienda a rinunciare all'apporto di tali acque con pesanti ripercussioni sull'approvvigionamento idrico.

In passato avvennero due gravi episodi di sversamento da idrocarburi, e, fino agli anni '90, il fiume Timavo presentava scarse condizioni dal punto di vista della qualità dell'acqua, a causa dell'inquinamento proveniente da una fabbrica di acidi organici a Ilirska Bistrica (Villa del Nevoso). Le conseguenze di queste immissioni furono un elevato contenuto di sostanza organica e di sali di potassio con relativa difficoltà nel trattamento delle acque.

Nella tabella 1 è possibile osservare alcuni dei parametri chimico-fisici relativi al fiume Timavo.

**Tabella 8. 1 – Parametri chimico-fisici del Fiume Timavo.**

Parametri	Unità di misura	Timavo, 1990	Timavo, 2008	Limiti (D.Lgs 31/01)
Temperatura	°C	11,8	12	-
K <sub>20</sub>	µS/cm	398	390	2.500
DT	°F	21,4	21,8	-
Calcio	mg/l	74	76,7	-
Magnesio	mg/l	6,9	6,6	50
Cloruri	mg/l	6,2	6,7	250
Nitrati	mg/l	7,1	6,9	50
Solfati	mg/l	11,8	9,4	200

### 8.2.5 Il potenziamento della captazione al Sardos e stazione di presa al Sablici-Moschenitze

La situazione del rifornimento idrico durante le piene del Timavo trovava una parziale soluzione alcuni anni più tardi con il potenziamento della captazione alle sorgenti Sardos. Tra il 1975 e il 1979 furono infatti effettuati dei lavori al canale di raccolta delle acque e furono installate

*V preteklosti je prišlo tudi do dveh hudih primerov onesnaženja z izlitem ogljikovodikov v reko Reko. Do devetdesetih let prejšnjega stoletja je bila izvorna voda v reki Timavi dokaj nekakovostna in večkrat onesnažena. Vzrok onesnaženosti je bila industrija organskih kislin v Ilirski Bistrici. Posledica teh izpustov v vodo je bila velika vsebnost organskih snovi in kalijevih soli, ki so oteževale obdelavo v pitno vodo.*

*V Tabeli 1 je mogoče opazovati nekatere kemično-fizične parametre reke Timave.*

**Tabella 8.1 – Kemično-fizični parametri reke Timave.**

Parametri	Enota	Timava, 1990	Timava, 2008	Omejitve (Z. odlok 31/01)
Temperatura	°C	11,8	12	-
K <sub>20</sub>	µS/cm	398	390	2.500
DT	°F	21,4	21,8	-
Kalcij	mg/l	74	76,7	-
Magnezij	mg/l	6,9	6,6	50
Kloridi	mg/l	6,2	6,7	250
Nitrati	mg/l	7,1	6,9	50
Sulfati	mg/l	11,8	9,4	200

### 8.2.5 Okrepitev črpanja iz Sardočevih izvirov in črpalna postaja Sablič-Moščenice

*Problem dobave vode v obdobju naraslih vod na Timavi so nekaj let pozneje, deloma, reševali z okrepitvijo črpanja iz Sardočevih izvirov. Med letoma 1975 in 1979 so namreč opravili dela na zbirnem kanalu vod in namestili dve električni črpalki, vsaka s dnevno črpalno kapaciteto približno 50.000 m<sup>3</sup>.*

*Oskrba z vodo je, kljub vsem ukrepom, še vedno predstavljala nekaj problemov zaradi možnega prelivanja onesnažene vode iz Timave v Sardočeve izvire, in sicer preko podzemnih vodnih povezav, do katerih prihaja v času najbolj naraslih voda.*

*Nove kemične in hidrološke raziskave, ki so jih opravljali že od leta 1973 dalje, so izkazale odlične kvalitete vode v obilnem izvirov Lokavca*



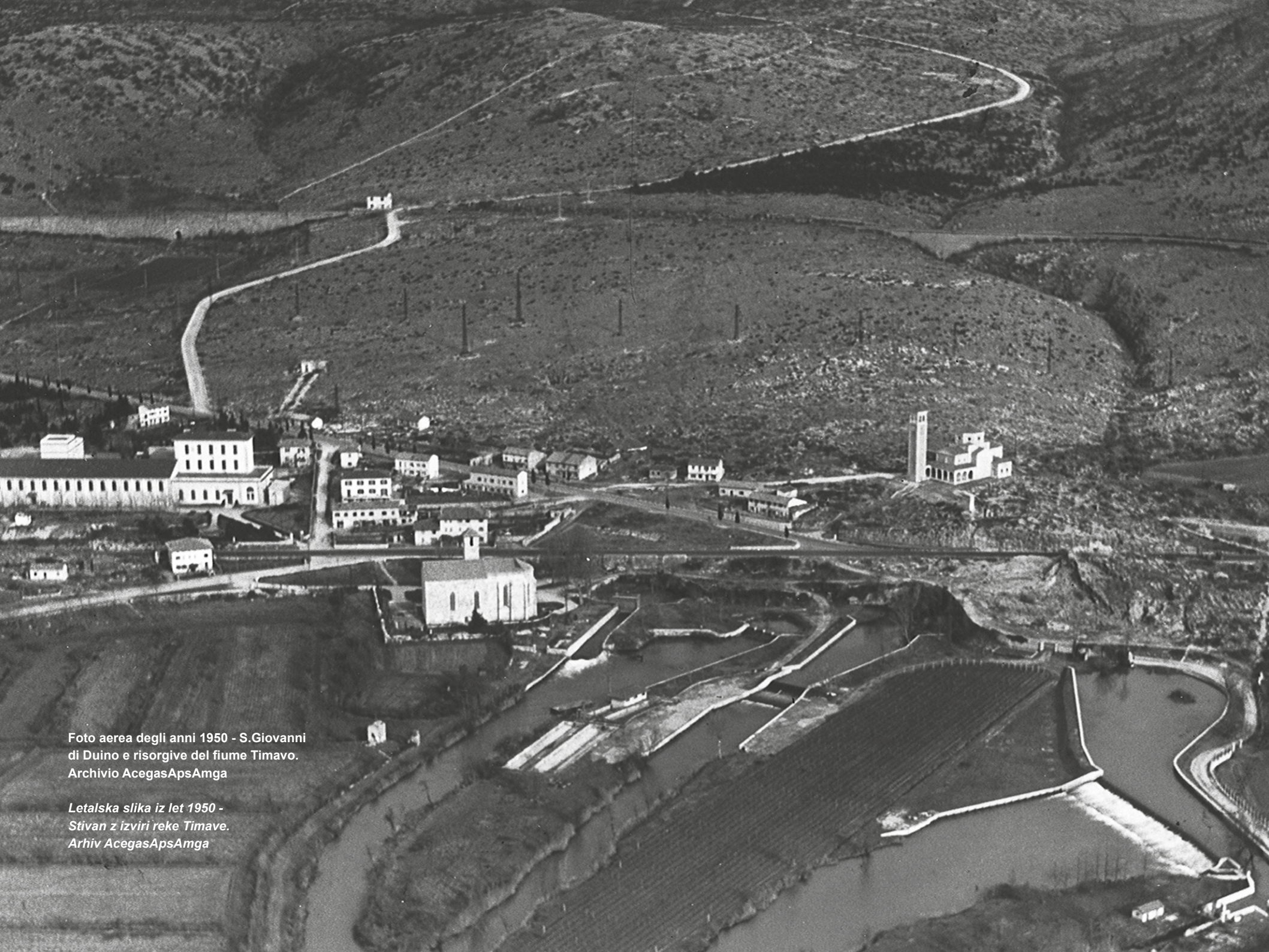


Foto aerea degli anni 1950 - S.Giovanni  
di Duino e risorgive del fiume Timavo.  
Archivio AcegasApsAmga

*Letalska slika iz let 1950 -  
Stivan z izviri reke Timave.  
Arhiv AcegasApsAmga*





Acquedotto Giovanni Randaccio - Sala  
filtri rapidi a sabbia - anni 1930.  
Archivio AcegasApsAmga

Vodarna Giovanni Randaccio - Hala  
hitrih filterskih naprav - leta 1930.  
Arhiv AcegasApsAmga



due elettropompe aventi ciascuna una capacità di sollevamento di circa 50.000 m<sup>3</sup> di acqua al giorno.

L'approvvigionamento idrico, nonostante i provvedimenti presi, presentava ancora alcuni problemi per la possibilità di travasi delle acque inquinate del Timavo verso le sorgenti Sardos, attraverso collegamenti idrici sotterranei che si attivano durante le maggiori piene.

Nuove indagini chimiche ed idrologiche effettuate fin dal 1973 avevano messo in evidenza le ottime caratteristiche delle acque di una cospicua sorgente (Moschenizze Nord) situata in fondo al Vallone del Moschenizze, a soli 1,5 km dall'impianto di Randaccio, e del vicino collettore Sablici che drena le acque dei laghi di Pietrarossa e Doberdò, alimentati prevalentemente dalle acque dell'Isonzo.

La posa di una condotta del diametro di 2.000 mm per il nuovo acquedotto dell'Isonzo consentì l'immediato utilizzo di queste acque. Nel 1984 fu costruita una stazione di presa, con due gruppi di sollevamento, che rese possibile convogliare a Randaccio 50.000 m<sup>3</sup> di acqua al giorno. Rimaneva ancora però il problema dell'insufficienza degli apporti delle restanti sorgenti in certi giorni dell'anno per presenza di inquinamenti del Timavo.

### 8.3. L'acquedotto dell'Isonzo

#### 8.3.1 Le indagini del 1920 e del 1950

L'idea di utilizzare le acque dei sistemi di acquiferi sotterranei in sinistra Isonzo, nel basso Friuli, per l'approvvigionamento idrico della città di Trieste, non è nuova. Risale addirittura al 1873 un progetto per convogliare a Trieste le acque dell'Isonzo, ma solo nel 1919 fu intrapreso uno studio organico al fine di valutare la consistenza e la qualità delle acque sotterranee nella zona compresa tra Pieris e Ronchi. Furono pertanto trivellati 6 pozzi a profondità comprese tra i 25 e 70 m e vennero eseguite diverse indagini idrologiche e di qualità dell'acqua, che risultò perfettamente compatibile sia con l'uso potabile che ovviamente con quello industriale.

Il conseguente progetto per la captazione di 150.000 m<sup>3</sup>/giorno, a

*(Moščenice Sever), ki se nahaja na spodnjem delu Moščeniškega dola in je le 1,5 km oddaljen od vodarne Randaccio ter bližnjega odtočnega kanala v Sabličih, ki odvaja vode iz Doberdobskega in Prelostnega jezera (Lago di Pietrarossa), ki ju napajajo predvsem soške vode.*

*Postavitev glavne vodovodne cevi premera 2.000 mm za novi Soški vodovod je omogočila takojšnje izkoriščanje teh voda. Leta 1984 je bila zgrajena črpalna postaja z dvema elektročrpalkama, ki sta omogočili dnevno dobavo 50.000 m<sup>3</sup> vode v vodarno Randaccio. Ostajal pa je še problem nezadostne dobave vode v določenih obdobjih leta, ko so se pojavljali povišani parametri onesnaženosti Timave na drugih vodnih izviri.*

### 8.3. Soški vodovod

#### 8.3.1 Raziskave v letu 1920 in v letu 1950

*Zamisel o izkoriščanju soške podtalnice v Furlanski nižini na levem bregu Soče za oskrbo Trsta z vodo ni nova. Že leta 1873 je obstajal projekt za dobavo soške vode v Trst, vendar so šele leta 1919 opravili celovito študijo za oceno količine in kakovosti podtalnih voda na območju med Pierisom in Ronkami. Izvrtali so šest vrtin do globin med 25 in 70 m ter opravili več hidroloških raziskav in raziskav o kakovosti vode, ki so potrdile, da so te vode za izredno primerne in uporabne tako za pitje kot za industrijsko rabo.*

*Po teh analizah so projekt, ki bi načrtno zadostoval dnevnemu dnevnemu črpanju 150.000 m<sup>3</sup>, takrat opustili in raje dali prednost izgradnji vodarne Randaccio pri Štivanu.*

*V začetku petdesetih let prejšnjega stoletja je oskrba mesta Trst z pitno vodo postala nezadostna, prevzeli so ponovno misel o črpanju dnevnih 240.000 m<sup>3</sup> iz soške podtalnice. Izvrtali so šest novih vrtin vzdolž linije Škocjan ob Soči-Štarancan in opravili nove poglobljene geološke, hidrogeološke raziskave, hidravlične poizkuse in analize za preverjanje značilnosti voda.*

*Predloženi rezultati so izpostavili odlično kakovost voda, vendar pa so gradnjo tudi tokrat odložili, ker so dali prednost širitvi obstoječega črpalnišča in novi vodovodni povezavi z mestom.*

quel tempo, non ebbe seguito in quanto si preferì realizzare l'acquedotto del Randaccio.

Agli inizi degli anni '50, considerate le precarie condizioni di approvvigionamento idrico della città di Trieste, il progetto fu ripreso allo scopo di valutare la possibilità di emungere dal sottosuolo una portata di 240.000 m<sup>3</sup>/giorno. Vennero trivellati altri 6 nuovi pozzi lungo la linea Pieris-Staranzano e furono condotte nuove e più approfondite indagini geologiche ed idrogeologiche, nonché prove idrauliche ed analisi per accertare le caratteristiche delle acque.

I risultati delle indagini misero in evidenza qualità eccellenti delle acque ma, anche questa volta, la realizzazione dell'opera fu accantonata in quanto si dette la precedenza alle opere di ampliamento della captazione e del trasporto verso la città.

### **8.3.2 Il nuovo progetto negli anni '70 e l'inizio dell'opera**

Gli episodi di inquinamento delle acque del Timavo misero ancora più in luce la necessità di disporre di acque non solo di buona qualità, ma anche protette dagli inquinamenti.

Per la terza volta venne ripreso il progetto dell'acquedotto dell'Isonzo, prendendo in considerazione l'emungimento dai sistemi di acquiferi più profondi e quindi maggiormente protetti. Nel 1975 furono fatte delle trivellazioni ed allestiti due pozzi di grande diametro che raggiunsero, a circa 200 m di profondità, il basamento roccioso: il pozzo di Cassegliano, realizzato lungo la prevista Linea Nord di emunzione, e quello della Risaia che, più vicino al mare, avrebbe permesso di accertare eventuali ingressioni di acqua salmastra.

In base ai risultati delle indagini svolte su questi pozzi e su quelli allestiti nel 1950, fu redatto dal prof. ing. Giuseppe Pistilli, ordinario di Costruzioni Idrauliche all'Università di Napoli, il progetto esecutivo che prevedeva il prelievo di una portata di 3 m<sup>3</sup>/s. Tale portata proveniva per metà dalla Linea Nord (zona di S. Pier d'Isonzo) e per l'altra metà dalla linea sud (zona di Pieris) mediante due condotte del diametro di 1.500 mm che convogliavano e sollevavano le acque fino alla vasca di oscillazione delle Mucille, in Comune di Monfalcone, e da qui, mediante una condotta da 2.000 mm di diametro, fino all'acquedotto Randaccio.

### **8.3.2 Novi projekt iz sedemdesetih let in začetek gradnje**

*Občasna onesnaženja Timave so še bolj izpostavila potrebo po razpolaganju s kakovostno in pred onesnaženjem zaščiteno vodo.*

*Že tretjič so ponovno prevzeli v obravnavo načrt soškega vodovoda ob upoštevanju črpanja iz globljih in zato tudi bolj zaščiteneh vodonosnih sistemov. Leta 1975 so opravili nove vrtine in izvedli dve vrtini velikega premera, ki sta v globini približno 200 m dosegli kamninsko podlago: vrtina »Cassegliano«, ki je bila izvrtana vzdolž predvidene severne črpalne linije, ter vrtino »Risaia«, ki je bližja morju in bi omogočila preverjanje morebitnih vdorov slane vode.*

*Na podlagi rezultatov raziskav na teh dveh vrtinah in na prejšnjih iz leta 1950 je prof. ing. Giuseppe Pistilli, redni profesor na oddelku Hidravlične gradnje Univerze v Neaplju, pripravil načrt, ki je predvideval črpanje 3 m<sup>3</sup> vode na sekundo. Količine načrpane vode naj bi bile razdeljene v razmerju ene polovice med severno črpalno linijo (območje okrog Špetra ob Soči) in druge polovice iz južne črpalne linije (območje okrog Škocjana ob Soči), in sicer po dveh glavnih transportnih vodovodnih ceveh premera 1.500 mm, ki naj bi pretakale in dvigovale vodo do oscilacijskega vodohrana v bližini »Močil« v Občini Tržič (Monfalcone), od tam pa preko glavnega transportnega vodovoda s premerom 2.000 mm odtekale vse do vodarne Randaccio v Štivan.*

*Da bi opravili popolno hidrološko analizo, so vzdolž severne črpalne linije izvrtali in uredili še dve dodatni globoki vrtini, iz katerih so pridobili ogromno geoloških, hidravličnih in hidrokemičnih informacij, ki so večinoma potrdile vsa predvidevanja.*

*Pri črpanju teh vod se uporabljajo vertikalne centrifugalne črpalke s 15-metrov dolgo vgrajeno gredjo, ki jo poganja 75 kW elektro-motor (napajanje 380 V.). S pomočjo elektronsko vodenega sistema, ki uravnava v hitrost vrtljajev, se črpanje lahko modulira v najhomogenejši pretok načrpane vode.*

*Na ta način črpalke lahko delujejo v optimalnih pogojih in pri tem prilagajajo obremenitev glede na potrebe in glede na nivo podtalnice.*

*V osemdesetih letih prejšnjega stoletja so dokončali povezavo cevi premera 2000 mm z vodarno Randaccio in s severno črpalno linijo, od sredine devetdesetih let deluje 12 črpalnih vrtin severne linije, ki trenu-*



Al fine di compiere un'analisi idrogeologica completa furono trivellati ed allestiti due ulteriori pozzi profondi lungo la Linea Nord dai quali si raccolse una poderosa massa di informazioni geologiche, idrauliche e idrochimiche le cui elaborazioni confermarono in gran parte le previsioni.

Oggi per l'attingimento dai pozzi vengono utilizzate pompe centrifughe ad asse verticale con altezza d'albero di 15 m, azionate da motori elettrici aventi una potenza di 75 kW alimentati (a 380 Volt) da un sistema di regolazione continuo della velocità e, quindi, della portata.

In tale modo è sempre possibile far funzionare le pompe in condizioni ottimali adeguando il carico al fabbisogno ed al livello delle falde.

Realizzato negli anni '80 il collegamento DN2000 della Linea Nord con l'acquedotto Randaccio, da metà degli anni '90 sono in servizio i 12 pozzi della Linea Nord, che al momento sono sufficienti a soddisfare l'intero fabbisogno idrico della provincia di Trieste. Nel 2010 è entrato in funzione il primo pozzo della Linea Sud, in concomitanza con la predisposizione dell'allacciamento dell'acquedotto della città di Monfalcone. A Randaccio vengono quindi trattate contemporaneamente sia le acque carsiche che le acque di falda dell'Isonzo.

## 8.4. I problemi dell'utilizzo delle acque carsiche a scopo potabile

### 8.4.1 Origini e portate

In corrispondenza dell'area di San Giovanni di Duino, sono presenti le maggiori emergenze che drenano l'intera idrostruttura carsica: le sorgenti del Timavo, quelle di Sardos, Moschenizze Nord e Sablici. A causa della loro vicinanza con la rete viaria autostradale, e di conseguenza della loro vulnerabilità, le sorgenti di Moschenizze Nord e di Sablici furono dismesse già nel 2010. Le sorgenti del Timavo, dopo la chiusura della fabbrica di acidi organici che inquinava pesantemente l'alto Timavo fino agli anni '90, presentavano discrete caratteristiche di qualità e quindi rappresentavano e oggi rappresentano una riserva idrica per l'approvvigionamento idropotabile. Solo le sorgenti Sardos vengono oggi utilizzate per soddisfare le richieste idriche della città di Trieste e degli

*tno lahko zadostujejo vsem potrebam dobave vode Tržaški pokrajini. Leta 2010 je začelo delovati še prvo črpališče na vrtini južne linije, in sicer z ureditvijo novega vodovodnega priključka mestu Tržič (Monfalcone). V vodarni Randaccio torej lahko sočasno predelujejo v pitne namene kraške podzemne in soške podtalne vode.*

## 8.4. Problemi z uporabo kraških pitnih voda

### 8.4.1 Izvor in količine vode

*V bližini Štivana prihajajo na površje podzemne vode celotnega hidrološkega sistema Krasa: izviri Timave, Sardočevi izviri, izvir Lokavca (Moščenice sever) in izviri v Sabličih. Zaradi bližine avtoceste in zaradi njihove ranljivosti so izvir Lokavca in izvire v Sabličih opustili leta 2010. Izviri Timave imajo, po zaprtju tovarne organskih kislin v Ilirski Bistrici (SLO), močnemu onesnaževalcu gornjega toka Reke (Timavo sup.) vse do devetdesetih let, diskretno kakovost vod in še danes predstavljajo vodno rezervo za potrebe po pitni vodi. Danes uporabljajo samo Sardočeve izvire, ki lahko pokrivajo vodovodne potrebe Trsta in ostalih občin v Tržaški pokrajini s približno 20 % celotne dnevne količine.*

### 8.4.2 Značilnosti in kakovost

*Ranljivost kraškega freaticnega vodonosnika je dobro znana. Sicer se onesnaževalne snovi, ki pronicajo v tla, v velikem primeru samoprečistijo prav zaradi narave tal. Ob povišanju rečnega pretoka pa zaradi kratkega zadrževanja v podzemlju in zaradi hitrih in neposrednih podzemnih drenaž, ki preprečujejo dokončanje procesov samoprečiščevanja, vode postanejo neprimerne za oskrbo pitne vode. V času naraslih rek pa tudi glinasti sedimenti v suspenziji povečajo kalnost voda. Prisotnost koli bakterij v kraških vodah nas ne sme presenetiti, ker skoraj vsa kraška naselja svojo odpadno vodo po kratkem čiščenju odvajajo v podzemlje.*

*Gre za zelo omejeno kontaminacijo v sorazmerju s količino izpustov.*

*Zaradi stalne prisotnosti koli bakterij med naraslimi vodami, pa tudi zaradi glinastih sedimentov v suspenziji, je treba vode prečistiti, preden*

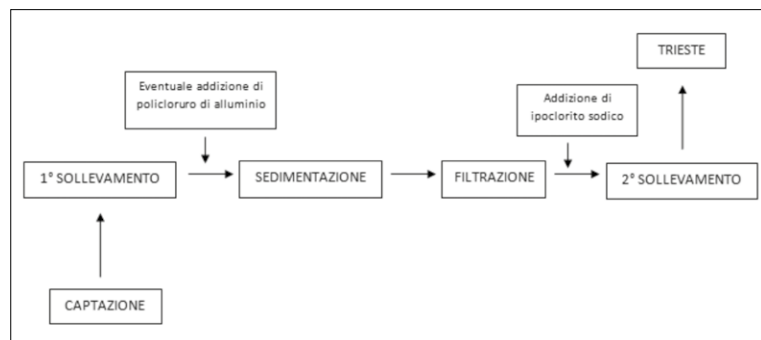
altri comuni della provincia. La loro portata, insufficiente nel complesso, contribuisce per circa il 20% al fabbisogno totale dell'utenza.

#### 8.4.2 Le caratteristiche di qualità

La vulnerabilità della falda freatica carsica è ben nota. D'altronde, le sostanze inquinanti che si infiltrano subiscono un processo di autodepurazione grazie al suolo presente. Durante le piene, però, a causa dei ridotti tempi di permanenza nel sottosuolo e dei drenaggi ipogei diretti e veloci che impediscono il completamento dei processi di autodepurazione, le acque risultano non adatte all'approvvigionamento idrico. Inoltre, sempre in condizioni di piena, il surplus di materiale in sospensione aumenta la torbidità delle acque. La presenza di colibatteri nelle acque carsiche non deve meravigliare dato che quasi tutti i centri abitativi situati sul Carso smaltiscono le acque reflue nel sottosuolo dopo una sommaria depurazione.

Figura 8.1

Schema di processo dell'impianto di potabilizzazione.



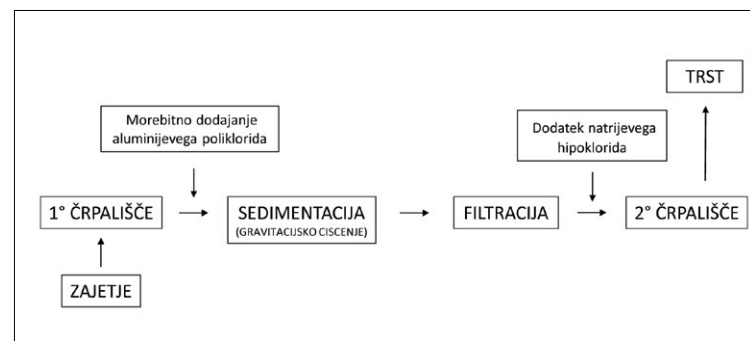
Si tratta di una contaminazione estremamente limitata in rapporto all'entità degli scarichi.

La presenza costante di colibatteri e, durante le piene, di argille in sospensione, rende necessario un trattamento delle acque prima del loro utilizzo a scopo potabile. I primi trattamenti di potabilizzazione delle acque affluenti all'Acquedotto Randaccio risalgono al 1929. Da allora

postanejo uporabne za pitje. Prve obdelave za prečiščevanje vode v vodarni Randaccio segajo v leto 1929. Od takrat je bilo vnesenih veliko izboljšav tako glede kontrole kot tudi na ravni avtomatizacije procesov.

Slika 8.1

Shema procesa cikla za pridobivanje pitne vode.



Iz črpalnih postaj vodo dvignejo do sedimentacijskih vodohranov (kapacitete 2.500 - 4.500 - 6.000 m<sup>3</sup>), kjer pride do precipitacije bolj grobozrnatih lebdečih materialov.

Ob povišanosti kalne vode se uporablja aluminijev poliklorid, ki strjuje (koagulacija) v kosmiče manjše v vodi lebdeče drobce, ti se delno usedajo, delno pa jih zadržijo filterske naprave. Gre za velike betonske bazene, ki vsebujejo filtrirne materiale iz silicijevega peska različnih debelosti, te imajo debelost od 0,5 do 2 mm.

Proces strjevanja (koagulacije) in filtriranja zadrži lebdeče delce v vodi in močno zmanjša prisotne bakterije ter del raztopljenih organskih snovi. Preden filtrirano vodo usmerijo iz črpališča v vodovodni sistem, ki oskrbuje Trst, jo še dodatno obdelajo z natrijevim hipokloridom, ta odstrani še prisotne bakterije in morebitne viruse. Dozirni sistem je popolnoma avtomatiziran in deluje upoštevajoč količino odvajane vode in koncentracijo raztopljenega klora v glavnih vodovodnih ceveh.



sono state apportate notevoli migliorie non solo per quanto riguarda i controlli, ma anche a livello di automazione dei processi.

Dalle stazioni di presa l'acqua viene sollevata fino ai bacini di sedimentazione (da 2500 - 4500 - 6000 m<sup>3</sup>) ove si deposita il materiale in sospensione a maggiore granulometria.

Se l'acqua è torbida, viene utilizzato il policloruro di alluminio, che ha la funzione di coagulare le particelle più fini in forma di fiocchi i quali, in parte sedimentano, e in parte, vengono trattenuti dai filtri. Si tratta di grandi vasche in calcestruzzo contenenti il materiale filtrante costituito da sabbia silicea di diametro compreso tra i 0,5-2 mm.

Il processo di coagulazione e filtrazione non solo elimina le particelle in sospensione nell'acqua ma riduce considerevolmente i batteri presenti e una parte delle sostanze organiche disciolte. L'acqua filtrata prima di venir immessa nelle condotte di convogliamento a Trieste, viene trattata con ipoclorito sodico per eliminare i batteri ancora presenti e gli eventuali virus. Il sistema di dosaggio è completamente automatizzato in funzione della quantità di acqua convogliata e della concentrazione di cloro all'interno delle condotte.

### **8.4.3 I controlli di qualità**

I parametri più significativi della qualità delle acque vengono tenuti sotto costante controllo da un centro operativo presidiato sulle 24 ore. Tale sistema di controllo viene poi integrato con analisi più specifiche effettuate quotidianamente a cura del personale specializzato.

I criteri seguiti per attrezzare le stazioni di presa con sistemi di monitoraggio dell'acqua hanno tenuto conto dei risultati di un gran numero di analisi in discontinuo svolte fin dal 1971.

La misura dell'assorbimento ultravioletto si è rivelata il sistema più adatto per un controllo in continuo del livello di sostanze organiche nelle acque e, pertanto, è stata estesa anche al monitoraggio delle acque del Timavo e del Sardo.

Semplici analisi di verifica del funzionamento degli apparecchi in continuo e del trattamento delle acque vengono effettuate direttamente presso l'acquedotto, in un apposito laboratorio di controllo.

Analisi più complesse, come quelle dei principali cationi e anioni,

### **8.4.3 Controllo della qualità**

*Najpomembnejše parametre kakovosti vode neprestano nadzorujejo v operativnem centru, ki deluje neprekinjeno 24 ur dnevno. Ta sistem dopolnjujejo s še specifičnejšimi analizami, ki jih dnevno opravlja specializirano osebje.*

*Merila za opremo črpalnih postaj s sistemi za monitoring vode so upoštevala nešteto analiznih rezultatov, ki so jih opravljali vse od leta 1971 dalje.*

*Analiza z UV-svetlobo se je izkazala za najprimernejši kontrolni sistem sledenja stopnje prisotnosti organskih snovi v vodah in jo zato uporabljajo tudi pri nadzoru vode iz Timave in Sardočevih izvirov.*

*Preproste analize preverjanja delovanja stalno delujočih naprav ter predelave vode se opravljajo neposredno v vodarni v posebnem kontrolnem laboratoriju.*

*Poglobljene kemijske analize, kot so analize glavnih kationov in anionov, težkih kovin, insekticidov, topil, halogenih spojin, opravijo v laboratoriju za analize, ki se nahaja v Trstu v centralnem servisu Družbe v podružnici »Broletto«. Poseben oddelek opravlja mikrobiološke analize s posebnim poudarkom na kakovosti vode v omrežju.*

*Stopnjo rezidualnega klora v omrežju kontrolirajo neprekinjeno s posebnimi napravami, ki so postavljene v bližini najpomembnejših vodovodnih križišč mestnega vodnega omrežja. To pa zato, da ohranjajo raven dezinfekcije, ki po eni strani zadovoljuje higiensko-sanitarne zahteve, po drugi pa organoleptične značilnosti vode, ki jo dobavljajo uporabnikom.*

dei metalli pesanti, degli insetticidi, dei solventi, dei composti alogenati, vengono svolte presso il laboratorio di analisi, situato nel comprensorio del Broletto. Un'apposita sezione si occupa delle analisi microbiologiche con particolare riguardo all'acqua in distribuzione.

Il livello del cloro residuo viene controllato in continuo da speciali apparecchi siti in corrispondenza dei più importanti nodi della rete di distribuzione. Questo al fine di mantenere un livello di disinfezione che soddisfi, da un lato, le esigenze igienico-sanitarie e, dall'altro, le caratteristiche organolettiche dell'acqua fornita all'utenza.

## 8.5 L'acquedotto oggi

### 8.5.1 La rete di distribuzione

La rete di distribuzione dell'acqua potabile gestita da AcegasApsAmga è presente in maniera capillare su tutto il territorio della provincia di Trieste ad eccezione dei comuni di Sgonico, Monrupino e parte di Duino Aurisina dove il servizio è gestito dall'Acquedotto del Carso, che comunque si approvvigiona tramite misuratori di portata alla rete principale AcegasApsAmga.

Per l'anno 2013, dei 4.837.005,00 m<sup>3</sup> adottati, sono stati distribuiti 1.150.819,00 m<sup>3</sup> all'acquedotto del Carso, e 125.694,00 m<sup>3</sup> a IRIS Ison-tina Reti Integrate e Servizi SpA.

La distribuzione idrica nella provincia di Trieste è alquanto complessa a causa delle diverse quote alle quali si trovano i centri abitati serviti, in primis la città di Trieste.

La rete idrica è composta da:

- due linee di adduzione, una del diametro di 900 mm costruita nel 1929 che raggiunge la città lungo la strada Costiera e una del diametro di 1.300 mm sottomarina che corre parallela alla costa dal Villaggio del Pescatore al Porto Vecchio;
- sedici stazioni di risollevario: Aurisina sorgenti, S.Croce Filtri, Gelsomini, Cologna, Greta, Banne, Pindemonte, Rozzol, S.M. Madalena, Zaule, Farnei, Falseggi, S. Rocco, Basovizza, Baredi-SIOT, Caresana-Skonfite;

## 8.5 Vodovod danes

### 8.5.1 Distribucijsko omrežje

*Distribucijsko omrežje za oskrbo s pitno vodo, s katerim upravlja AcegasApsAmga, je kapilarno prisotno na celotnem ozemlju Tržaške pokrajine z izjemo občin Zgonik, Repentabor in delno Devin-Nabrežina, kjer s storitvami upravlja Konzorcij Kraški Vodovod, ki pa je priključen preko porabnih vodnih merilcev na glavno omrežje AcegasApsAmga.*

*V letu 2013 je bilo od skupno načrpanih 4.837.005,00 m<sup>3</sup>, 1.150.819,00 m<sup>3</sup> namenjenih K. Kraškega Vodovoda in 125.694,00 m<sup>3</sup> soškemu omrežju IRIS Ison-tina Reti Integrate e Servizi SpA.*

*Distribucija vode v Tržaški pokrajini je dokaj kompleksna zaradi naselij z različnimi nadmorskimi višinami, pri tem seveda upoštevamo tudi različno lego samega mesta Trst.*

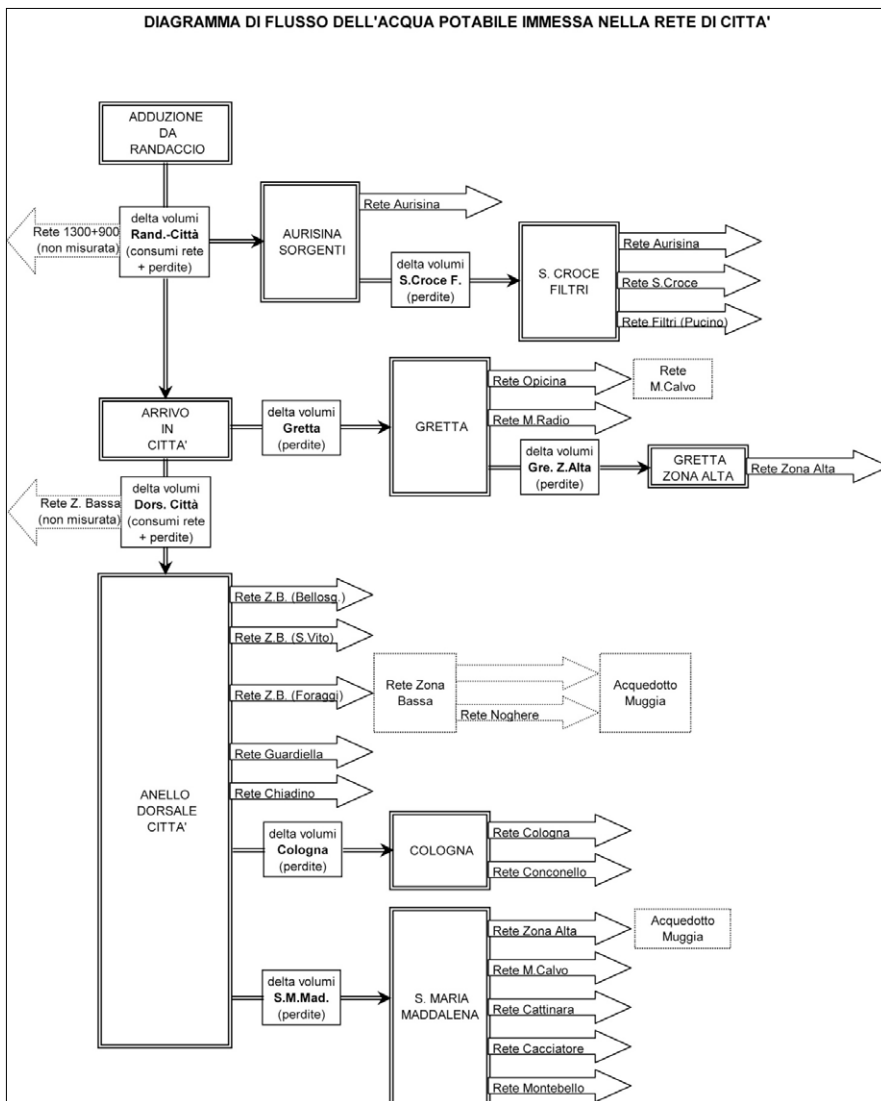
*Vodovodno omrežje sestavljajo:*

- *dva glavna transportna cevovoda za dovajanje, eden s premerom 900 mm, zgrajen leta 1929, ki je položen do mesta po obalni cesti, in drugi s premerom 1.300 mm, ki je položen na morsko dno vzporedno z obalo od Ribiškega naselja do starega pristanišča v Trstu;*
- *šestnajst dviznih postaj (črpališč): Nabrežinski izviri »Brojnica«, Križ (portič), Gelsomini (Rojan), Kolonja, Greta, Bani, Pindemonte, Roccol, Sveta Marija Magdalena, Žavlje, Farned, Sv. Rok, Bazovica, Baredi-SIOT, Mačkovlje-Škonfite;*
- *več kot 30 vodohranov za skladiščenje s skupno kapaciteto 129.000 m<sup>3</sup>;*
- *omrežje glavnih vodovodnih cevi v skupni dolžini približno 1.100 km.*

*Naprave za črpanje in ponovno črpalno dviganje služijo pri pošiljanju vode preko črpalnih sklopov in posebnih vodovodnih cevi, tehnično poimenovanih »tlačne (prementi)«, v distribucijske vodohrane, ki so nameščeni na višjih točkah. Do uporabnikov se tako voda pretaka po gravitacijski sili, iz rezervoarja, ki se nahaja na višji nadmorski višini.*

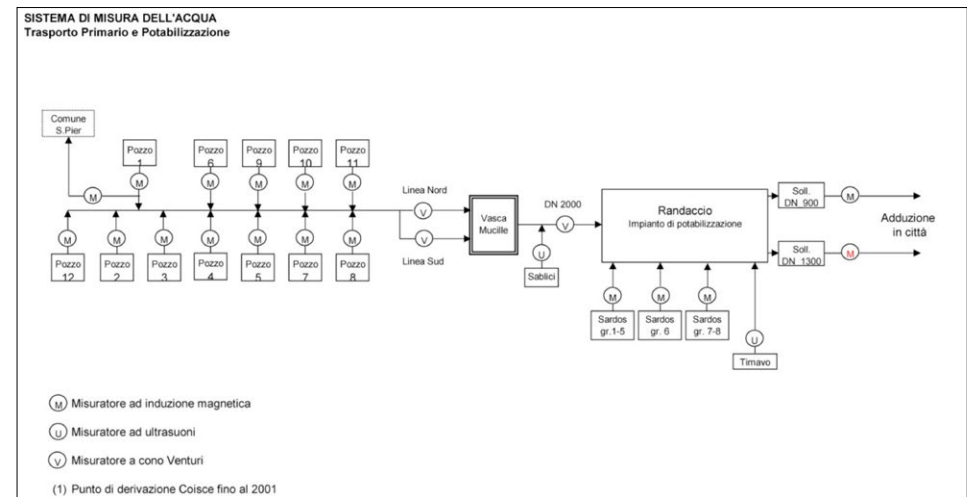
*Na splošno so naprave za črpanje in ponovno črpalno dviganje sestavljene iz sklopa električnih črpal, mehanizmov z zapornimi organi, električne napeljave, merilnih sistemov in avtomatov. Nekatere dvizne*





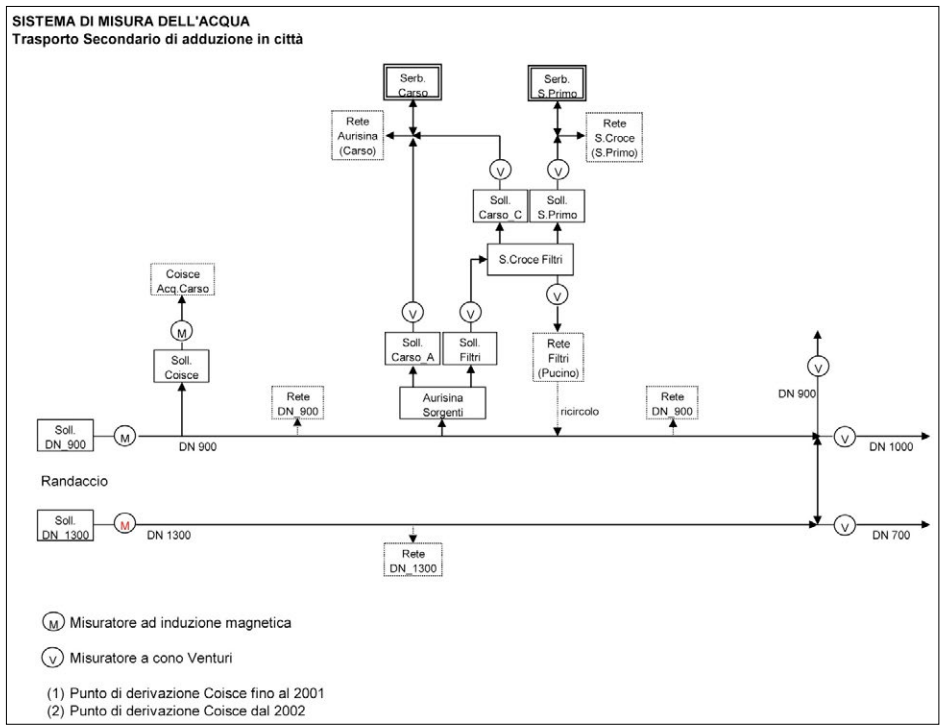
**Figura 8.2**  
**Diagramma di flusso dell'acqua potabile immessa nella rete di città.**

**Slika 8.2**  
**Diagram pretoka pitne vode, ki jo dovajajo v mestno omrežje.**



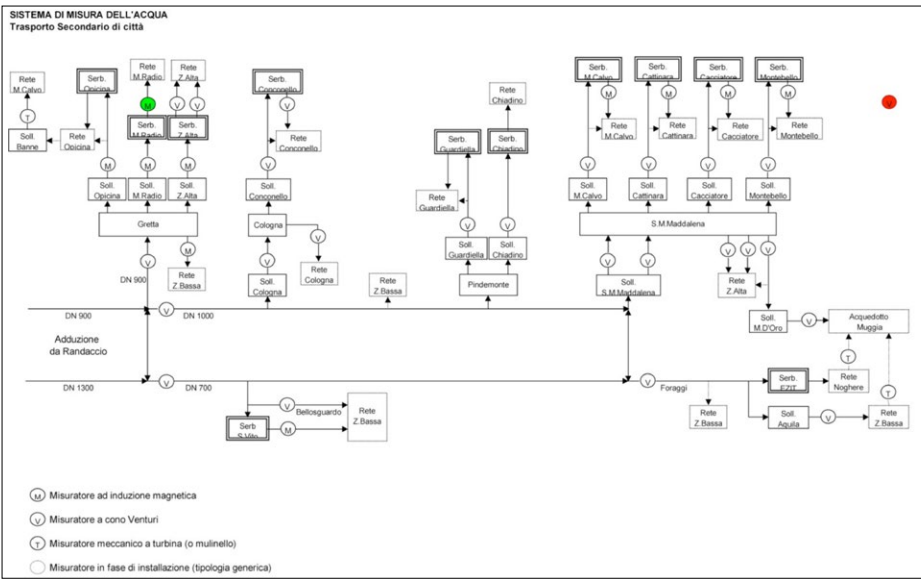
**Figura 8.3**  
**Sistema di misura dell'acqua-Trasporto primario e potabilizzazione.**

**Slika 8.3**  
**Merilni sistem za vodo-Primarni pretok in priprava pitne vode.**



**Figura 8.4**  
**Sistema di misura dell'acqua-Trasporto secondario di adduzione in città.**

**Slika 8.4**  
**Merilni sistem za vodo-Primarni pretok in dovajanje v mesto.**



**Figura 8.5**  
**Sistema di misura dell'acqua-Trasporto secondario di città.**

**Slika 8.5**  
**Merilni sistem za vodo-Sekundarni mestni pretok.**



- oltre 30 serbatoi di stoccaggio per un volume di 129.000 m<sup>3</sup>;
- una rete globale di condotte, per uno sviluppo di circa 1.100 km.

Gli impianti di sollevamento/risollevamento servono a rilanciare l'acqua, attraverso gruppi di pompaggio e speciali condotte chiamate "prementi", nei serbatoi di distribuzione ubicati a quote altimetriche superiori. Va ricordato infatti che l'acqua arriva generalmente all'utenza per gravità, quindi da un serbatoio situato ad una quota altimetrica superiore.

Genericamente, un impianto di sollevamento/risollevamento è costituito da: gruppi elettropompa, organi di manovra e accessori, impianto di alimentazione elettrica, sistemi di misura e automazione. Alcune stazioni sono alimentate da sollevamenti o da serbatoi idrici ad esse adiacenti e direttamente collegati e vengono pertanto chiamate di risollevamento. In ogni stazione possono essere installati uno o più impianti di sollevamento/risollevamento con caratteristiche di portate idriche e pressioni di mandata variabili da cui dipende quindi la potenzialità dell'impianto e di conseguenza la tipologia di alimentazione elettrica in termini di tensione (bassa o media) e la potenza installata (da 6 a 1.250 kW).

I serbatoi idrici di distribuzione rappresentano il punto di partenza delle reti di distribuzione, poiché da essi si dipartono le condotte di rete per l'erogazione idrica all'utenza e sono alimentati o direttamente dal sollevamento principale di Randaccio oppure dai relativi impianti di sollevamento/risollevamento. I serbatoi sono dislocati a quote diverse in funzione delle esigenze orografiche del territorio e degli insediamenti dell'utenza. Genericamente sono costituiti da:

- una o più vasche intercomunicanti della capacità totale dai 100 ai 15.000 m<sup>3</sup> circa;
- una camera di manovra di dimensioni variabili per l'accoglimento degli organi di manovra e degli eventuali sistemi di misura e telecontrollo;
- un'area di rispetto recintata.

Gli interruttori di pressione sono posti lungo le reti di distribuzione e sono costituiti da vasche interrato a pelo libero, di modesta capacità; vengono impiegati dove, per il limitato numero di utenze da servire a

*postaje se napajajo prek dviganja ali iz bližnjih vodohranov, ki so nanje neposredno priključene in jim zato pravijo, da služijo za ponovno dviganje (risollevamento). V takih postajah so lahko postavljene ena ali več takih črpalk, ki jih napaja nizka ali srednja električna napetost z močjo od 6 do 1.250 kW.*

*Distribucijski rezervoarji so izhodiščna točka omrežja, ker iz njih izhajajo glavne vodovodne cevi za dovod vode uporabnikom, ki jih neposredno napaja glavna dvizna postaja vodovoda Randaccio ali temu namenjena črpališča. Rezervoarji so nameščeni na različnih višinskih točkah glede na orografske značilnosti ozemlja in oskrbovanih naselij. V glavnem jih sestavljajo:*

- *eno ali več med seboj povezanih rezervoarjev s skupno kapaciteto od 100 do približno 15.000 m<sup>3</sup>;*
- *prostori za zaporne organe in morebitne merilne sisteme ter daljinsko upravo;*
- *ograjen varstveni pas.*

*Vzdolž distribucijskega omrežja so postavljena vkopana manjša razbremenilna korita, ki omejujejo vodni tlak in oskrbujejo manjša naselja, kjer ni smiselno zgraditi samostojnega vodohrana z lastnim črpališčem.*

*V občini Trst se nahaja 20 vodnih rezervoarjev in 10 razbremenilnih korit za omejitev tlaka; v občini Milje je 9 vodnih rezervoarjev in prav toliko razbremenilnih korit; v občini Dolina so štirje rezervoarji in 9 razbremenilnih korit.*

pressione inferiore, non risulta conveniente realizzare un serbatoio indipendente a quota più bassa, con relativo impianto di risollevarimento.

Nel comune di Trieste sono presenti 20 serbatoi idrici e 10 interruttori di pressione; nel comune di Muggia sono presenti 9 serbatoi idrici ed altrettanti interruttori di pressione; nel comune di San Dorligo della Valle, infine, si trovano 4 serbatoi e 9 interruttori di pressione.

### **8.5.2 La valutazione delle perdite e l'individuazione dei tratti inefficienti**

Per un acquedotto di estrema complessità come quello dell'area triestina risulta di fondamentale importanza la costituzione di un sistema di modellazione e monitoraggio continuo della rete, in modo da controllare le portate convogliate, evitare gli sprechi e localizzare con maggior precisione e tempestività le rotture, in modo da ridurre le perdite ed ottenere un significativo efficientamento nella gestione della distribuzione della risorsa idrica.

Le perdite idriche di un acquedotto si possono suddividere in due categorie principali:

- perdite reali (o perdite fisiche): causate dalle parti danneggiate della rete idrica come, ad esempio, la rottura delle condotte, la dispersione dalle saracinesche, la fuga da prese e collari, lo sfioro dai serbatoi, ecc.
- perdite apparenti (o perdite amministrative): legate al cattivo funzionamento dei contatori (errori di misura e scarsa sensibilità alle basse portate) o ai consumi non autorizzati (prese abusive).

### **8.5.3 Gli interventi migliorativi: la distrettualizzazione**

Negli ultimi anni AcegasApsAmga ha avviato diversi progetti aventi come scopo la distrettualizzazione dell'acquedotto, cioè la suddivisione della rete in sottoreti (i cosiddetti distretti idrici) tramite una partizione "virtuale", in cui ogni distretto viene identificato e delimitato da una serie di punti di misura nei quali viene rilevato, mediante misure in continuo, l'andamento di portata e pressione.

Concentrando l'attenzione su una porzione più ridotta della rete (poche decine di km) ed effettuando continui controlli sui valori di portata e

### **8.5.2 Vrednotenje izgub in odkrivanje neučinkovitih odsekov**

*Zaradi kompleksnosti vodovoda, kakršen je ta na tržaškem območju, je bistvenega pomena uvesti sistem za izvajanje stalne monitoraže v vodnem omrežju. S tem bi pregledovali vodne pretoke in na najboljše, najhitrejši in učinkovit način izsledili okvare, tako da bi se v omrežju zmanjšale vodne izgube. S takimi izbirami bi prišlo tudi do izboljšanja in optimizacije vodovodnih storitev.*

*Vodne izgube iz vodovoda lahko razdelimo v dve glavni kategoriji:*

- *Dejanske izgube (ali fizične izgube): povzročajo jih poškodovani deli vodovodnega omrežja kot so na primer poškodbe na cevovodih, puščanje iz zapornih zasunkov na cevovodih, puščanje iz spojnikov in dovodov, prelivanje vode preko roba rezervoarjev itd.*
- *Navidezne izgube (ali administrativne izgube): vezane na slabo delovanje števcov (napake v meritvah in slaba občutljivost pri nizkih pretokih) ali na nedovoljeno porabo (nezakonita uporaba).*

### **8.5.3 Izboljšave: delitev na podomrežja (distrikte)**

*V zadnjih letih je podjetje AcegasApsAmga uvedlo več projektov, ki imajo za cilj delitev omrežja na podomrežja (takoimenovani vodni distrikti) z „virtualno“ delitvijo, kjer je vsak distrikt določen in omejen z vrsto merilnih točk, kjer s stalnimi meritvami nadzirajo potek pretoka in tlaka.*

*Z osredotočenjem pozornosti na manjši del omrežja (nekaj deset kilometrov) in z neprekinjenim nadziranjem pretoka in tlaka na začetnem in končnem cevovodu je verjetnost odkrivanja izgub in njihove natančne lokacije veliko večja kot v primeru celotnega monitoringa na omrežju. Obširna področja namreč ne dovoljujejo enostavnega odkrivanja vodnih izgub (razen če ne opazimo nekega problema pri polnjenju rezervoarjev v nočnih urah ali ne odkrijemo velikih mlakuž vzdolž vodovodnega omrežja); v trenutku, ko je poškodba zaznavna, je lahko preteklo že veliko časa od njenega nastanka in je bila s tem povzročena velika finančna škoda ter velike izgube vode, ki jih poslabša še težavnost natančnega določanja lokacije poškodbe.*

*Tovrstna izboljšava je omogočila veliko zmanjšanje fizičnih izgub, ki jih obvladujejo in omejujejo prek treh glavnih principov:*



pressione in ingresso e in uscita, le probabilità di registrare una perdita e di individuare con esattezza la sua collocazione sono infatti ben superiori che nel caso di un monitoraggio effettuato sulla rete tout-court. Il grande sviluppo non permette, in effetti, di rilevare agevolmente una dispersione idrica (se non osservando una difficoltà di riempimento dei serbatoi nelle ore notturne oppure rilevando la presenza di ampie pozze d'acqua lungo la viabilità); al momento in cui la rottura si manifesta visibilmente potrebbe essere trascorso già molto tempo dalla sua origine, con conseguenti perdite idriche ed economiche di grande rilievo, aggravate dalla difficoltà che potrebbe sorgere nel rilevare la collocazione esatta della perdita.

Questo lavoro ha permesso e sta permettendo di ridurre in maniera importante le perdite fisiche, gestite e limitate mediante l'applicazione di tre principi fondamentali:

- 1) rapidità e qualità delle riparazioni: il metodo della distrettualizzazione per la ricerca delle perdite permette di accorciare notevolmente le fasi di conoscenza (da quando si origina il danno a quando si diviene consapevoli dello stesso) e di localizzazione (necessario a scoprire con esattezza la rottura) della perdita, producendo un rilevante risparmio idrico ed economico all'ente gestore;
- 2) controllo attivo delle perdite: gli strumenti di misura collocati nei distretti consentono di rilevare un gran numero di rotture lungo la rete idrica e, soprattutto, d'individuare quelle perdite "invisibili" di modesta entità, che in condizioni normali possono perdurare anche diverse settimane o mesi prima di essere rilevate e, alla lunga, possono produrre volumi non fatturati decisamente imponenti;
- 3) gestione della pressione: la migliore comprensione dell'andamento della pressione in rete permette di programmare una riduzione selettiva della stessa nelle ore notturne, riducendo il volume delle perdite di fondo, diminuendo le sollecitazioni delle infrastrutture idriche ed estendendo, in pratica, la vita utile dell'acquedotto.

In generale, il problema che affligge maggiormente l'acquedotto Triestino è legato agli estremi livelli di pressione presenti in rete (fino a 8 bar). Essendoci una diretta proporzionalità tra pressione in rete e livello di

- 1) *Hitrost in kakovost popravil: Metoda delitve na podomrežja pri iskanju izgub omogoča bistveno skrajšanje faz prepoznavanja (od nastanka škode do njene zaznave) in iskanja lokacije poškodbe (potrebne za natančno odkrivanje kraja poškodbe), pri tem pa ima upravljalec vodovoda s to metodo poleg velikega prihranka vode tudi velik finančni prihranek.*
- 2) *Aktivna kontrola izgub: merilni inštrumenti, nameščeni v distriktih, omogočajo odkrivanje večjih števil poškodb vzdolž vodovodnega omrežja in predvsem odkrivanje "nevidnih" izgub manjšega obsega, ki v normalnih pogojih lahko trajajo tudi več tednov ali mesecev, preden jih odkrijejo, in lahko dolgoročno povzročijo zelo velike količinske in nezaračunane izgube.*
- 3) *Uravnavanje tlaka: Natančno poznavanje gibanja tlaka v omrežju omogoča programiranje selektivnega zmanjšanja tlaka v nočnih urah, s čimer se zmanjša obseg izgub, obremenitev vodnih infrastruktur in se s tem tudi podaljša življenjska doba vodovoda.*

*Največji problem Tržaškega vodovoda je vezan na skrajne vrednosti v nivoju tlaka v omrežju (do 8 barov). Ker obstaja neposredno sorazmerje med tlakom v omrežju in količino izgub, je jasno, da je pravilno uravnavanje tlaka v omrežju ena od pglavitnih strategij podjetja.*

*Da bi znižali tlak v omrežju, so opravili več posegov:*

- *Namestitev reducirnih ventilov tlaka, ki je v vodnem distriktu Goli vrh pri Padričah omogočila redukcijo tlaka v omrežju z 80 m na 60 m (redukcija za skoraj 2 bara);*
- *Namestitev ventilov on/off za reguliranje pretokov znotraj posameznih distriktov;*
- *Zaprtje odvečnih odcepov (izbranih na podlagi rezultatov hidravličnega oblikovanja omrežja in z zagotavljanjem vodne oskrbe vsem uporabnikom).*

*Z vsemi omenjenimi posegi je bilo doseženo zmanjšanje minimalne nočne porabe (ki ga navaja International Water Association iz 18,5 l/s na 12,2 l/s).*

*Z vidika potrošnje je septembra 2013 količina vode, ki je pretekla*

perdita, appare chiaro come una corretta gestione della pressione debba essere una delle strategie aziendali principali.

Al fine di ridurre le pressioni in rete sono stati eseguiti diversi interventi:

- installazione di valvole riduttrici di pressione, che, nel distretto idrico di Monte Calvo hanno permesso la riduzione della pressione nella rete da un valore di 80 m a un valore di 60 m (dunque una riduzione di circa 2 bar);
- installazione di valvole on/off per la regolazione dei flussi all'interno dei singoli distretti;
- chiusura di tratti di condotte ridondanti (scelte in base ai risultati della modellazione idraulica della rete, in modo tale da assicurare l'approvvigionamento idrico a tutte le utenze).

Grazie a questi interventi, si è potuto riscontrare un abbassamento del minimo consumo notturno (che viene considerato dall'International Water Association come indicatore del livello di perdita) da un valore di 18,5 l/s a un valore di 12,2 l/s.

Dal punto di vista dei consumi, nel mese di settembre 2013 il volume d'acqua transitato nel distretto di Monte Calvo è risultato pari a 7406,291 m<sup>3</sup>; mentre nel mese di settembre 2014 questa quantità si è abbassata fino ad un valore pari a 4852,262 m<sup>3</sup>, con un risparmio di 2554,029 m<sup>3</sup> di acqua.

Dal punto di vista economico, considerando che il costo marginale per m<sup>3</sup> di acqua sollevata è di 0,31€, il risparmio conseguito è risultato pari a 7.917,490 €.

#### 8.5.4 La verifica dei trend nell'uso del territorio e le necessità di approvvigionamento idrico

Secondo il "Land accounts data viewer 2000-2006", resoconto che viene compilato a cadenza decennale o quinquennale dall'European Environmental Agency e contenente statistiche relative all'uso del suolo e ai cambiamenti nelle destinazioni d'uso degli stessi, l'area Triestina presenta, rispetto alla sua superficie, una percentuale di aree artificiali piuttosto rilevante (circa il 7%), a fronte del 40% di aree agricole e del 53% di aree forestali o semi-naturali.

skozi distrikt Goli vrh, znašala 7406,291 m<sup>3</sup>; septembra 2014 pa se je omenjena količina znižala na 4852,262 m<sup>3</sup>, prihranek vode je znašal 2554,029 m<sup>3</sup>.

Z ekonomskega vidika in ob upoštevanju, da je marginalni strošek za m<sup>3</sup> dvignjene vode 0,31€, znaša doseženi prihranek 7.917,490 €.

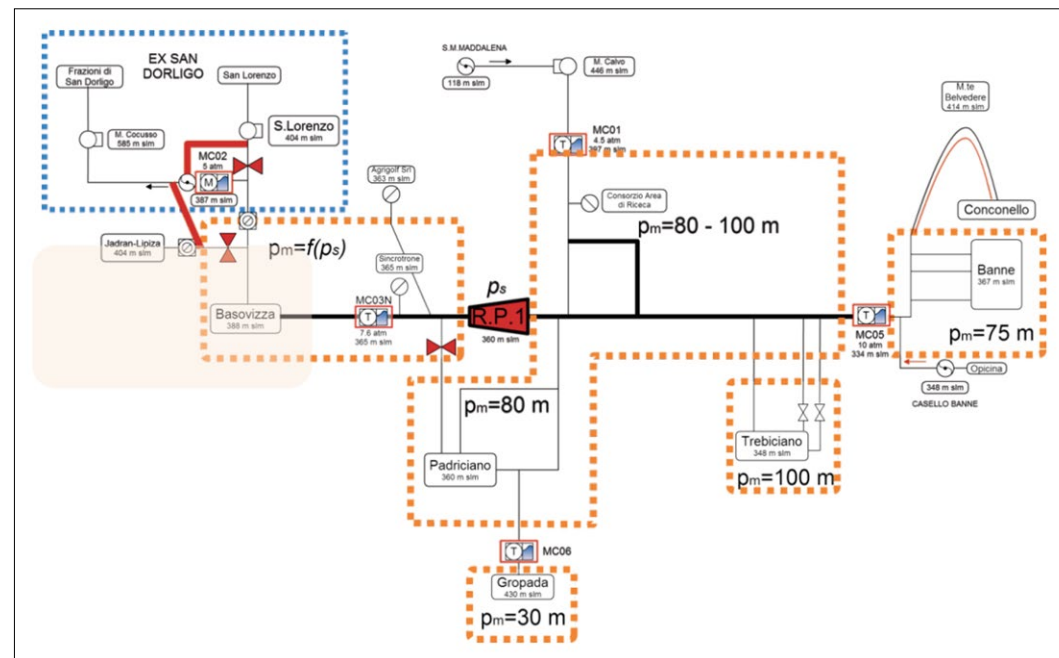


Figura 8.6  
Schema a blocchi del distretto di Monte Calvo.

Slika 8.6  
Shema distrikta Goli vrh (Monte Calvo).



L'aumento del consumo e dell'impermeabilizzazione del suolo è spesso determinato da strategie di pianificazione del territorio che spesso non tengono in conto la perdita irreversibile di suolo, gli effetti ambientali collegati e la qualità della risorsa sacrificata. Le attuali dinamiche del processo insediativo e l'urbanizzazione diffusa, in assenza di una corretta gestione dei beni ambientali, portano ad una invasione di capannoni, di infrastrutture, di "seconde case" accompagnata da una progressiva diminuzione della superficie di suoli di elevata qualità, con un alto valore agricolo perché particolarmente fertili.

Attualmente l'area triestina risulta soggetta a un decremento demografico, e la crisi del 2008 ha comportato una crescente deindustrializzazione della zona. Si ipotizza dunque che le risorse disponibili saranno sufficienti a soddisfare il fabbisogno idrico da qui ai prossimi 20 anni, anche grazie alle riserve idriche di cui dispone l'area. Questo trend è confermato dai bilanci integrati aziendali consultabili on line, dai quali viene evidenziato come il volume di acqua addotta nella rete abbia subito una variazione dal valore di 52.119.241 m<sup>3</sup> (calcolati per l'intero 2005) a un valore di 50.853.197 m<sup>3</sup> per l'anno 2012.

### **8.5.5 La programmazione futura e casi studio**

Per quanto riguarda le attività future, si cercherà di utilizzare tutte le tecnologie più avanzate e l'esperienza acquisita fino ad ora con la distrettualizzazione. Si utilizzeranno dunque strumentazioni sofisticate quali noise loggers, strumenti per la verifica della qualità dell'acqua, misuratori di pressione e portata, telecontatori intelligenti elettromagnetici o ad ultrasuoni, valvole e attuatori. Verranno messe a punto le analisi di qualità e vulnerabilità della rete e la costruzione del modello del sistema di distribuzione, con relativa calibrazione. Si redigerà inoltre un pipe and instrumentation diagram, nel quale la rete verrà schematizzata come se fosse un processo industriale, mostrando tutte le interconnessioni tra le apparecchiature, il sistema di tubazioni di interconnessione e la strumentazione utilizzata per il controllo del processo stesso.

Si prevede che l'installazione di tutti i dispositivi venga completata entro la fine del 2015. Una volta che tutte le apparecchiature saranno a regime, si potrà istituire una task force dedicata al monitoraggio della

### **8.5.4 Preverjanje trendov v uporabi na ozemlju in potreb po oskrbi z vodo**

*Po ugotovitvah „Land accounts data viewer 2000-2006«, poročila, ki ga vsakih pet ali deset let pripravi European Environmental Agency in vsebuje statistike s področja uporabe in sprememb namembnosti tal, ima Trst z okolico, glede na površino, precej visok odstotek urbaniziranih (umetnih) območji (približno 7 %), v primerjavi s 40 % kmetijskih in 53 % gozda ali polnaravnih površin.*

*Povečana potrošnja in neprepustnost tal sta vzrok strategij in prostorskega načrtovanja, ki pogosto ne upoštevajo nepopravljive izgube tal in s tem povezanih okoljskih učinkov na kakovost žrtvovanega vira. Aktualne dinamike naseljevanja in razširjene urbanizacije, ob odsotnosti pravilnega ravnanja z okoljskim bogastvom, vodijo v pravo invazijo s halami, infrastrukturami, „vikenticami“, ki se jim pridruži še postopno zmanjševanje površine zelo kakovostnih obdelovalnih in izredno plodnih tal.*

*Trenutno je na Tržaškem zaznati demografsko upadanje, kriza od leta 2008 dalje pa je privedla do rastoče deindustrializacije območja. Predvidevati je torej, da bodo razpoložljivi viri zadostovali za zadovoljevanje potreb po oskrbi z vodo še naslednjih 20 let, tudi zaradi še razpoložljivih vodnih virov. Ta trend potrjujejo tudi celovite vodne bilance podjetja, ki si jih lahko ogledamo na spletu, iz katerih je razvidno, da se je količina prečrpane vode v omrežje zmanjšala s prejšnjih 52.119.241 m<sup>3</sup> (izračun je iz celotnega leta 2005) na 50.853.197 m<sup>3</sup> v letu 2012.*

### **8.5.5 Bodoče načrtovanje in študijski primeri**

*Pri bodočih dejavnostih bo treba uporabiti vse naj sodobnejše tehnologije in doslej pridobljene izkušnje s sistemom porazdelitve na distrikte. Posluževali se bomo skrajno izpopolnjenih naprav, kot so noise loggers, naprav za preverjanje kakovosti vode, merilcev tlaka in pretoka, vodomero v na daljinsko odčitavanje, elektromagnetnih ali ultrazvočnih vodomero v, ventilov in podobno; treba bo pripraviti analize kakovosti in ranljivosti omrežja ter zgraditi model distribucijskega sistema s pripadajočimi merilnimi napravami. Pripraviti bo treba tudi pipe and instrumentation diagram, v katerem bo omrežje shematsko prikazano tako, kot da bi šlo za*

rete, la quale andrà a costituire parte integrante della gestione stessa dell'acquedotto.

Nello specifico, si può considerare il caso studio riguardante l'installazione delle valvole riduttrici di pressione, attraverso le quali è stata applicata la regolazione ottimale (pressure management) delle pressioni di esercizio al distretto pilota di Monte Calvo.

L'obiettivo è abbassare la pressione nel ramale verso Basovizza-Padriciano tramite i seguenti interventi strutturali sulla rete:

- inserimento di una valvola riduttrice di pressione VRP della Fiver Plasson DN150 su bypass eseguito su DN 400 in corrispondenza del bar di Padriciano;
- manovra su una valvola nell'abitato di Padriciano per garantire pressioni minori in una parte del paese;
- messa sotto pompaggio del ramale di San Lorenzo (succ. PUNTO A) e di Jadran-Lipiza (succ. PUNTO B).

Le perdite di carico del ramale che alimenta l'abitato di Basovizza sono quantificabili in 4-5 m, rilevate da un'analisi degli andamenti delle pressioni di esercizio in rete nei punti di monitoraggio MC03, posto in ingresso del centro abitato e del punto MC02, collocato prima della centrale di sollevamento di Basovizza. Le pressioni di esercizio si mantengono alte, con picchi di 80 m nell'abitato di Padriciano e valori medi di 60 m in centro a Basovizza e massimi superiori ai 90 m sul ramale discendente per la strada statale 14.

L'abbattimento delle pressioni della valvola riduttrice è vincolato dalla pressione minima da garantire in rete nei punti più sfavoriti. Nel caso in esame:

- PUNTO A: serbatoio di San Lorenzo (30 m<sup>3</sup>), posto a quota 404 m s.l.m., che è alimentato a gravità direttamente dal serbatoio di Monte Calvo (444-446 m s.l.m.);
- PUNTO B: il punto collocato presso il Valico di Basovizza, quota 404 m s.l.m.. Qui è presente il contatore Jadran-Lipiza (SLO), che monitora i consumi sloveni fermi dal 2010. In quest'area sono presenti, nella parte italiana, edifici per usi militari, dei quali non si conoscono i consumi.

*industrijski proces, kjer bodo predstavljene vse medsebojne povezave med napravami, sistemi povezovalnih cevovodov in uporabljeni inštrumenti za nadziranje samega procesa.*

*Predvideva se, da bo nameščanje vseh teh naprav zaključeno do konca leta 2015. Ko bodo vse naprave popolnoma delovale, bo mogoče ustanoviti delovno skupino, ki bo zadolžena za monitoring omrežja, kar bo sestavni del samega upravljanja z vodovodnim omrežjem.*

*V danem primeru lahko upoštevamo študijski primer, ki se nanaša na razbremenilne ventile za redukcijo tlaka, preko katerih je bilo vpeljana optimalno usmirjenje (pressure management) uporabnega tlaka v pilotskem distriktu GOLI VRH (Monte Calvo).*

*Cilj je znižanje tlaka v smeri Bazovica-Padriče, in sicer s pomočjo naslednjih strukturnih posegov na omrežju:*

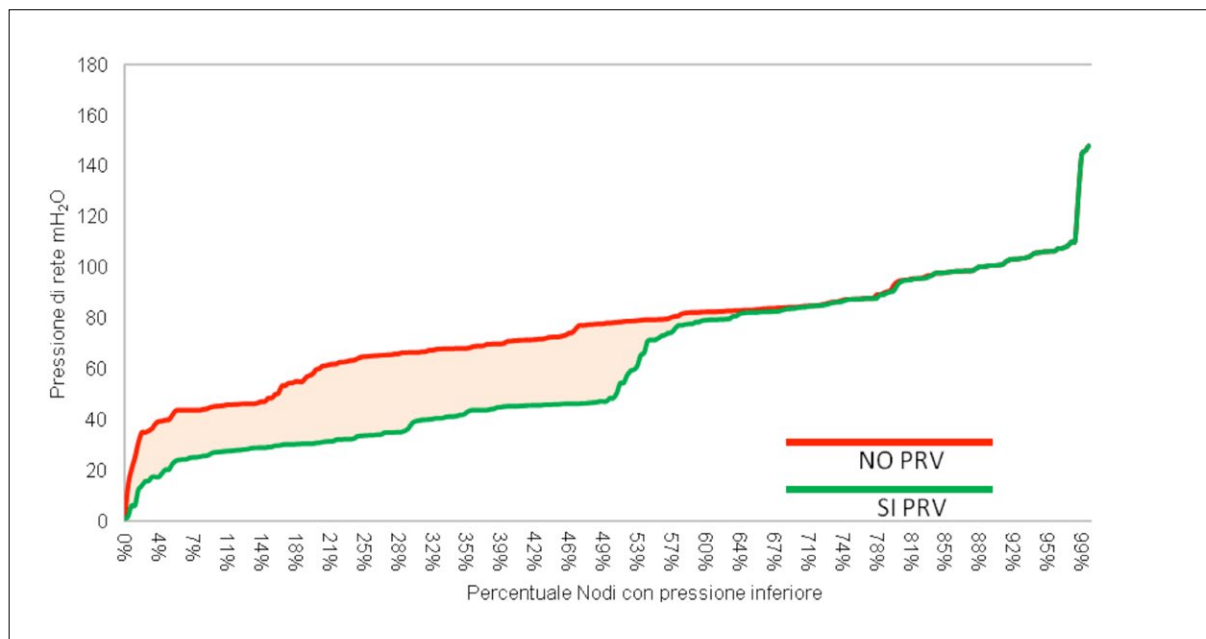
- *Namestitev razbremenilnika VRP modela Fiver Plasson DN150 na obvodu, postavljenega cevovodu DN 400, v bližini bara na Padričah (Padriciano);*
- *Poseg na ventilu na Padričah (Padriciano), da bi zagotovili zmanjšan tlak v enem predelu vasi;*
- *Vzpostavitev črpališča na sekundarnem omrežju Jezera (San Lorenzo) (naslednja TOČKA A) in Jadrana-Lipiza na slovenskem ozemlju (naslednja TOČKA B).*

*Obremenilne izgube na odcepu, ki dovaja vodo v Bazovico (Basovizza), so ocenjene na 4-5 m, kar izhaja iz analize gibanja delovnega tlaka v omrežju na točki za monitoring MC03, nameščeni na začetku vasi ter na točki MC02, nameščeni pred dviznim črpališčem v Bazovici (Basovizza). Delovni tlak je dokaj visok, na Padričah (Padriciano) doseže večkrat tudi do 80 m, v središču Bazovice (Basovizza) povprečne vrednosti 60 m ter maksimalne vrednosti, ki presegajo 90 m na odcepu, ki se spušča po državni cesti št. 14.*

*Znižanje tlaka z razbremenilnikom je vezano na minimalni tlak, ki ga je treba zagotoviti v omrežju na najbolj občutljivih točkah. V proučenem primeru:*

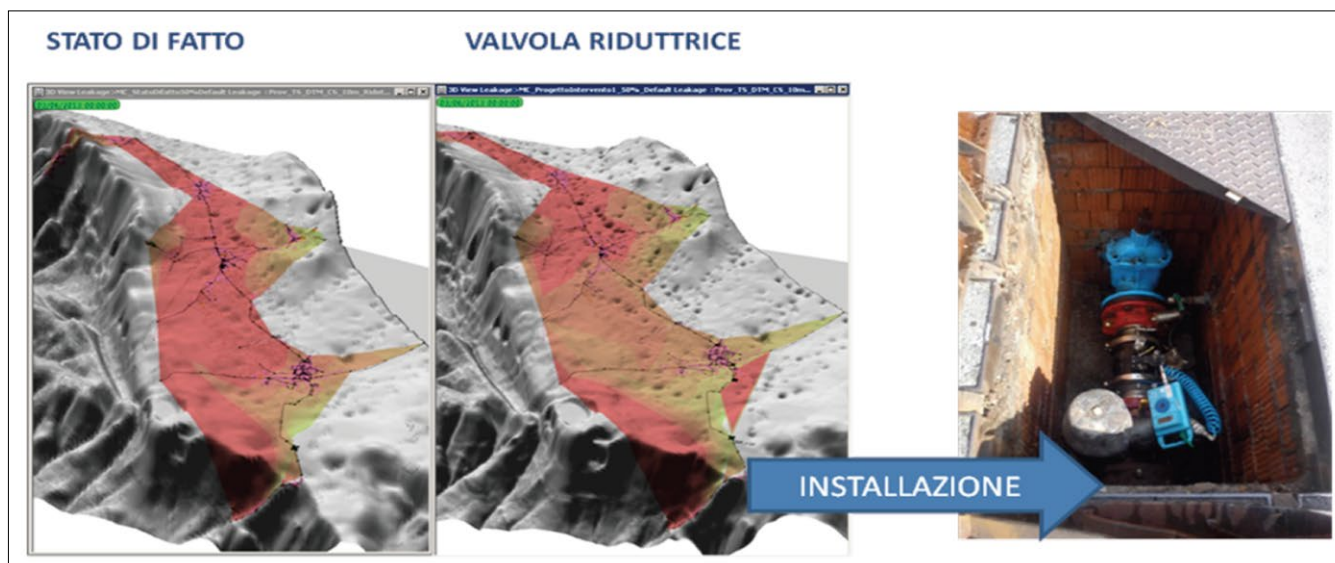
- *TOČKA A: vodohran na Jezeru (San Lorenzo) (30 m<sup>3</sup>), nameščen na 404 m nadmorske višine in ga po gravitaciji neposredno napaja vo-*





**Figura 8.7**  
**Frequenza cumulata delle pressioni in rete relativa alle ore 3.00 a.m.**

**Slika 8.7**  
**Skupna pogostnost tlaka v omrežju ob 3.00.**



**Figura 8.8**  
**Proiezione su DTM del livello di perdita prima e dopo l'installazione della valvola riduttrice di pressione.**

**Slika 8.8**  
**Projekcija DTM nivoja izgub, pred in po namestitvi razbremenilnega ventila.**

- PUNTO C: occorre garantire al punto MC02 ove collocato il sollevamento una pressione di 20 m.

I vantaggi di questa soluzione sono:

- minore sollecitazione della rete e aumento di durata delle condotte;
- diminuzione dei costi energetici;
- si garantisce comunque la fornitura all'abitato di Gropada;
- il taglio della pressione in rete potrà in futuro modularsi sulla pressione minima da garantire nei punti più sfavoriti della rete;
- la valvola riduttrice non necessita di una elettrovalvola d'appoggio nel caso di inversione di flusso;
- parte dell'abitato di Padriciano beneficia dell'abbattimento della pressione.

Gli svantaggi di questa soluzione sono:

- la riduzione della pressioni è vincolata alla realizzazione dell'alimentazione meccanica dei PUNTI A e B;
- parte dell'abitato di Padriciano rimane sollecitata con pressioni di esercizio elevate (~80 m).

Il sistema è stato valutato con un modello matematico in ambiente infoworks. Il settaggio della pressione di taglio della valvola è stato imposto a 45 m.

Di seguito si riporta l'esito della simulazione in termini di pressioni tramite il grafico delle frequenze cumulate, l'andamento prima e dopo del cielo piezometrico, e variazione nel tempo delle pressioni di esercizio valutate nel nodo MC02.

- *dohran z Golega vrha (Monte Calvo) 444-446 m nadmorske višine;*
- *TOČKA B: točka pri državni meji v Bazovici (Basovizza), 404 m nadmorske višine. Tu je prisoten vodomer Jadran-Lipica (SLO), ki že od leta 2010 stalno nadzoruje slovensko porabo. Na italijanski strani meje so na tem območju prisotni še vojaški objekti, katerih poraba vode ni znana.*
- *TOČKA C: na točki MC02, kjer je nameščena črpalna postaja, je treba zagotoviti tlak 20 m.*

*Prednosti takšne rešitve so:*

- *Manjša obremenitev omrežja in podaljšana življenjska doba cevovodov;*
- *Zmanjšanje energetskih stroškov;*
- *Zagotovljena je gotova dobava vode v naselje Gropada;*
- *Znižanje tlaka v omrežju bo v prihodnosti mogoče modulariti glede na minimalni tlak, ki bo moral biti zagotovljen tudi na naj šibkejših točkah omrežja;*
- *Razbremenilni ventil ne potrebuje podpornega elektro ventila v primeru vzvratnega pretoka;*
- *Del vasi Padriče (Padriciano) pridobi prednost znižanega tlaka.*

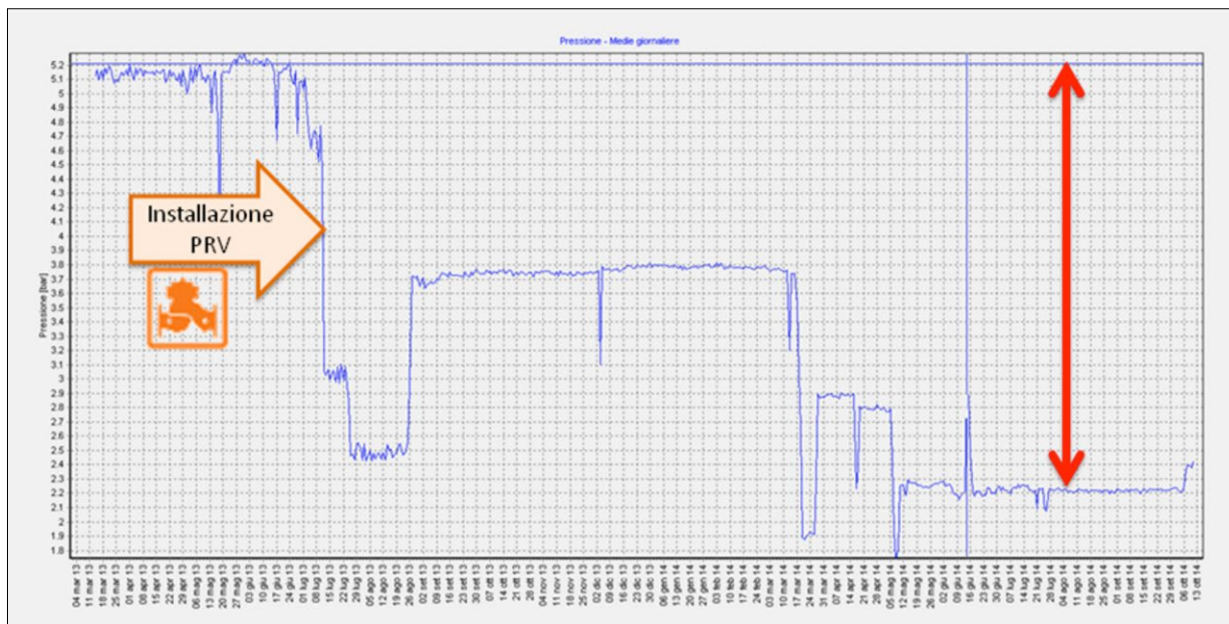
*Slabosti teh rešitev so:*

- *znižanje tlaka je vezano na mehansko predelavo omrežja TOČKI A in B;*
- *del vasi Padriče (Padriciano) pa še vedno ostane obremenjen z visokim delovnim tlakom (~80 m).*

*Sistem je bil prirejen po matematičnim vzorcu v okolju infoworks. Parametriranje tlaka, na razbremenilnim ventilu, je bilo nastavljeno na 45 m.*

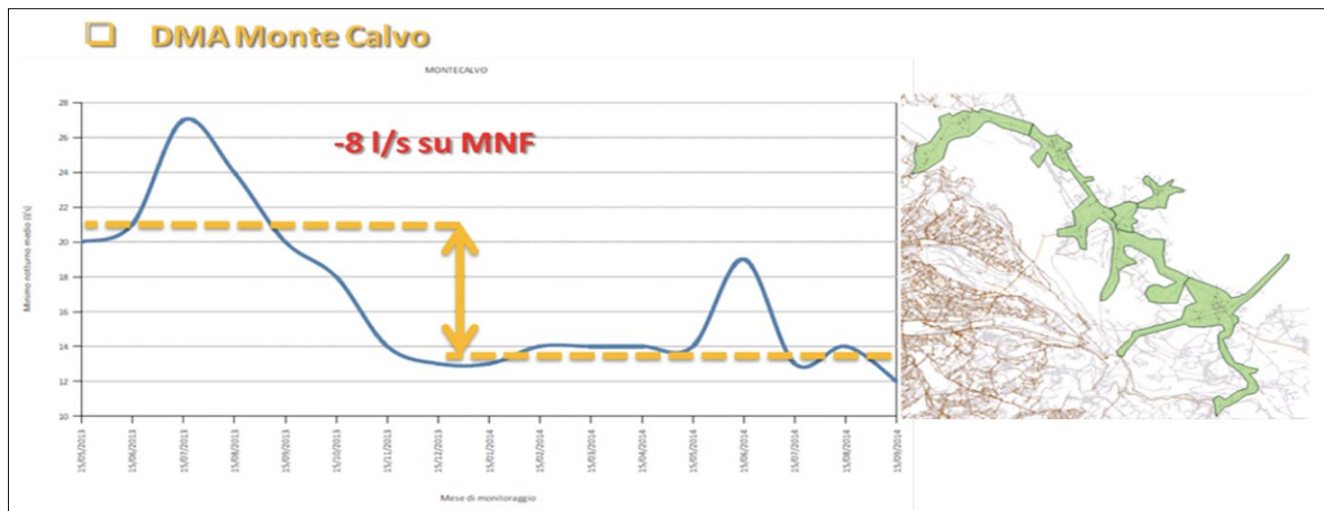
*V nadaljevanju prikazujemo izid simulacije tlaka na grafikonu, ki prikazuje skupno pogostnost in potek pred in po piezometričnem nivoju ter spremembe delovnega tlaka, ocenjene na točki MC02.*





**Figura 8.9**  
 Andamento della pressione (bar) nel periodo di monitoraggio (maggio 2013-settembre 2014).

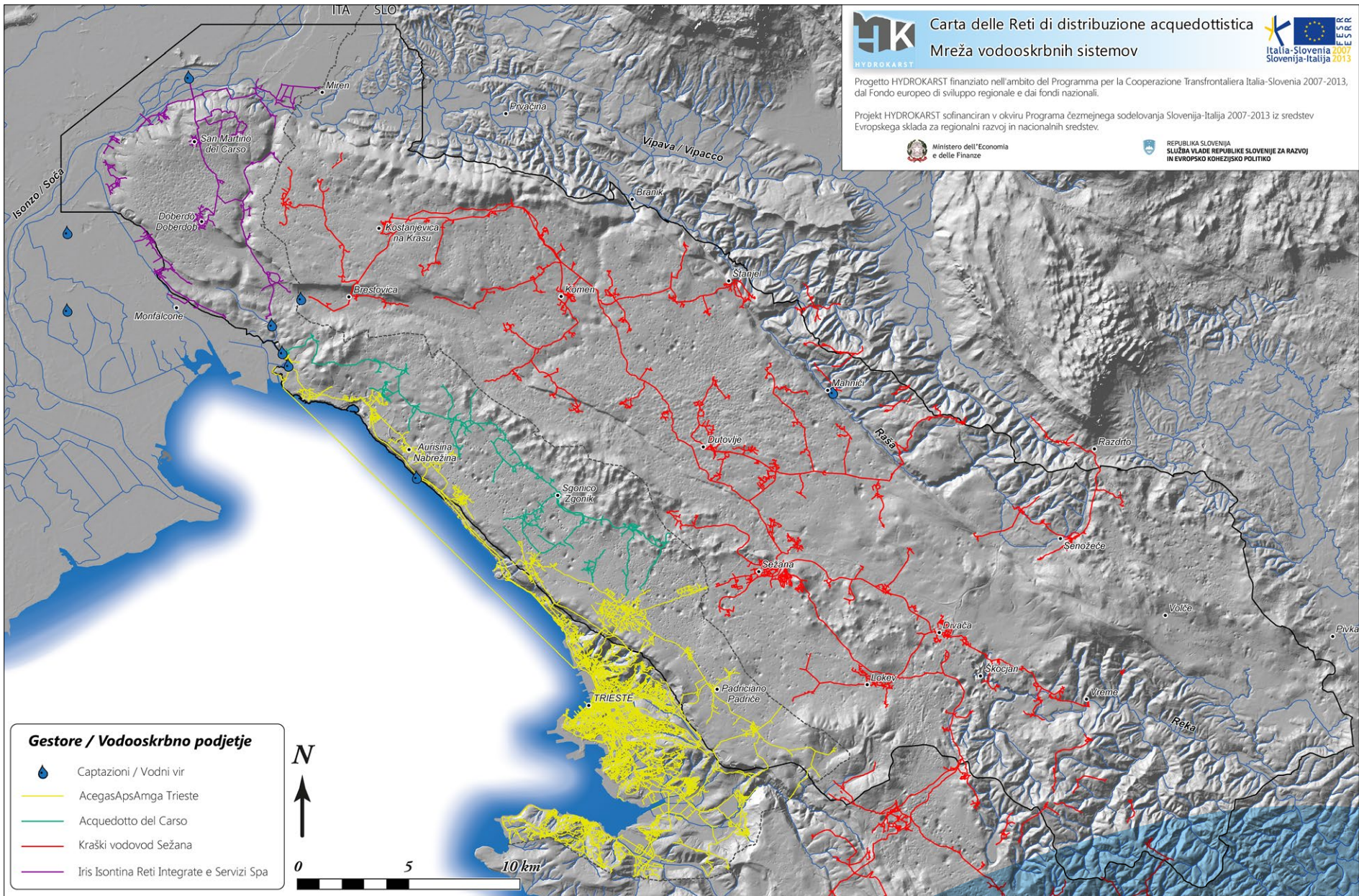
**Slika 8.9**  
 Potek tlaka (v barih) med obdobjem monitoraže (maj 2013-september 2014).



**Figura 8.10**  
 Andamento del minimo consumo notturno nel periodo di monitoraggio (maggio 2013-settembre 2014).

**Slika 8.10**  
 Potek najnižje nočne porabe vode med obdobjem monitoraže (maj 2013-september 2014).





Carta delle Reti di distribuzione acquedottistica  
Mreža vodooskrbnih sistemov








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

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



**Gestore / Vodooskrbno podjetje**

-  Captazioni / Vodni vir
-  AcegasApsAmga Trieste
-  Acquedotto del Carso
-  Kraški vodovod Sežana
-  Iris Isontina Reti Integrate e Servizi Spa





# Kraški vodovod Sežana

## Analisi di stabilità della rete di distribuzione, verifica dei trend nell'uso del territorio e delle necessità di approvvigionamento idrico

### *Analiza stabilnosti distribucijske mreže, pregled trendov v potrošnji na ozemlju in posledičnega oskrbovanja z vodo*

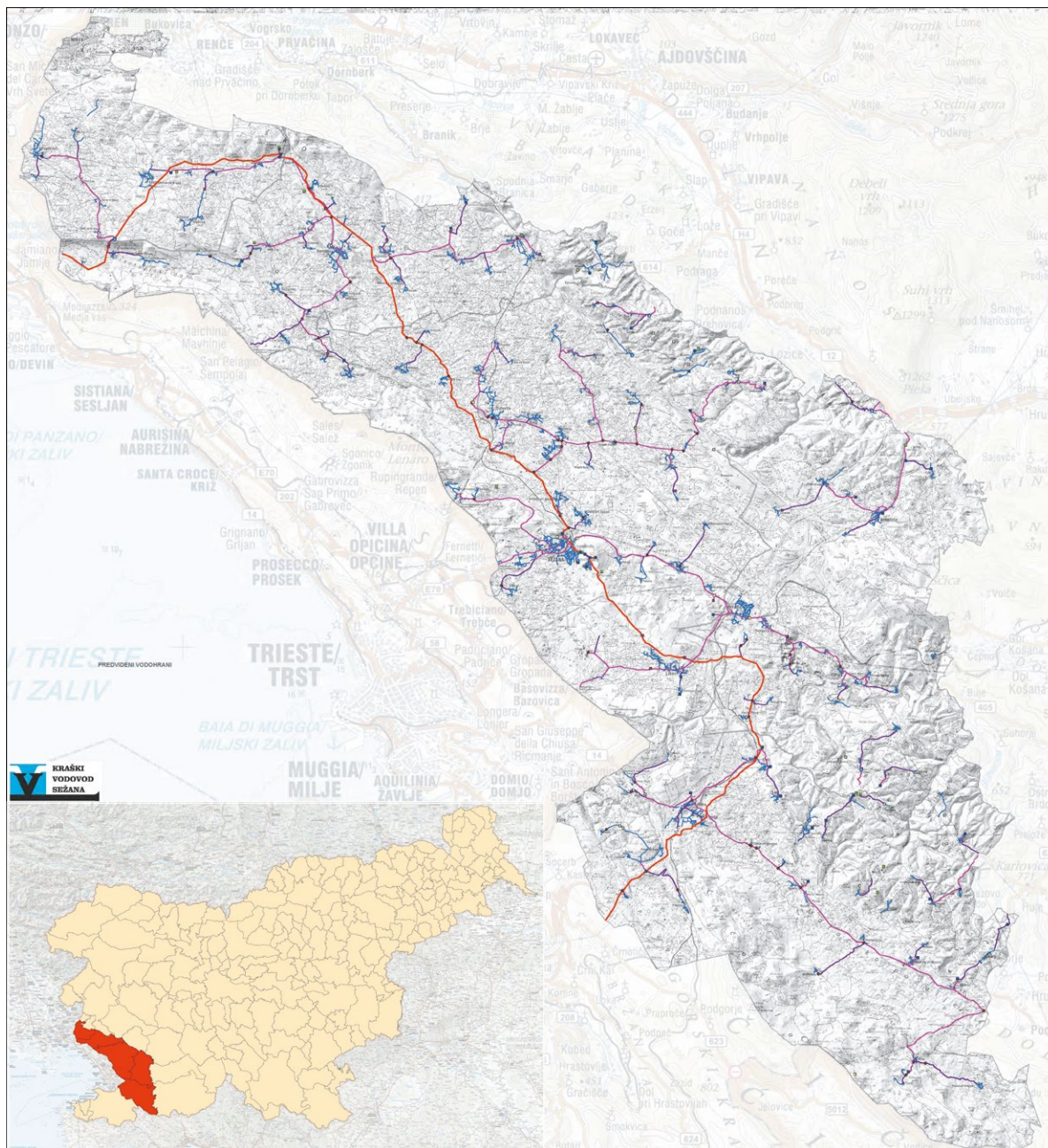
TJAŠA KOROŠEC  
Kraški vodovod Sežana, d.o.o.

#### 9.1 L'approvvigionamento idrico del Carso nel passato

In passato l'approvvigionamento idrico sul Carso ha rappresentato un grave problema a causa della carenza di fonti idriche superficiali che ha spinto gli abitanti a costruire delle cisterne o pozzi dove nei giorni di pioggia si raccoglievano le acque meteoriche per conservarle per i periodi di siccità. Sul Carso tali pozzi sono chiamati col termine dialettale "štirna". La costruzione di un pozzo è un'operazione costosa che solo i più abbienti si potevano permettere. Per questo quasi ogni villaggio aveva un suo pozzo a disposizione di tutti gli abitanti. La storia dell'approvvigionamento idrico pubblico sul Carso ha avuto inizio con gli antichi acquedotti ferroviari e militari che portavano l'acqua dai punti di prelievo nella zona del Monte Nanos sulla direttrice Razdrto - Santa Croce, dal sistema del fiume Hubelj sulla direttrice Dornberk - Komen e dal sistema idrico di Ilirska Bistrica sulla direttrice Obrov - Kozina. Negli anni Settanta del secolo scorso nel sistema dell'acquedotto carsico è stato inserito anche l'acquedotto di Padež, che in precedenza forniva l'acqua agli edifici ferroviari sulla direttrice Gornje Ležeče - Divača - Sežana. A causa del crescente fabbisogno e dell'impossibilità dell'acquedotto esistente di garantire i quantitativi d'acqua necessari al benessere della popolazione, gli speleologi e gli idrogeologi hanno intrapreso delle ricerche sulle acque

#### 9.1 Vodooskrba Krasa nekoč

*Na Krasu je oskrba z vodo v preteklosti predstavljala velik problem predvsem zaradi pomanjkanja površinskih vodnih virov. Zato so bili prebivalci primorani graditi zbiralnike za vodo – vodnjake, kjer so v deževnih dneh lovili meteorno vodo in jo shranjevali za sušna obdobja. Takim vodnjakom na Krasu pravimo štirna. Ker je gradnja vodnjaka precej draga in so si jo lahko privoščili samo bogatejši, je skoraj vsaka vas imela še vaško štirno, ki so jo lahko koristili vsi vaščani. Začetek javne vodooskrbe na Krasu predstavljajo stari železniški in vojaški vodovodi, ki so na Kras vodili vodo iz nanoških zajetij na relaciji Razdrto – Križ, iz sistema Hubelj na relaciji Dornberk – Komen ter iz sistema Ilirska Bistrica na relaciji Obrov – Kozina. V sedemdesetih letih prejšnjega stoletja je bil v sistem Kraškega vodovoda vključen tudi vodovod Padež, ki je pred tem z vodo oskrboval železniške objekte na relaciji Gornje Ležeče – Divača – Sežana. Zaradi vedno večjih potreb in ker obstoječi vodovod ni zagotavljal zadostnih količin vode, so jamarji in hidrogeologi raziskali podzemno vodo in kraške podzemne tokove pri Brestovici pri Komnu. Tik ob nekdanjem mejnem prehodu Klariči, na meji z Italijo, so se konec sedemdesetih let prejšnjega stoletja izvajale hidrogeološke raziskave podzemne vode na tržaško komenskem Krasu in s črpalnim preizkusom so bile potrjene potrebne količine vode*



**Figura 9.1**  
L'area rifornita dal KVS.

**Slika 9.1**  
Karta oskrbovalnega območja  
Kraškega vodovoda Sežana.



ipogee e sulle direzioni di deflusso nell'area di Brestovica presso Komen, e più precisamente in prossimità dell'ex valico di Klariči, al confine con l'Italia; le prove di pompaggio effettuate hanno confermato l'esistenza di un quantitativo d'acqua sufficiente all'approvvigionamento dei comuni del Carso. Nel 1981, dopo l'introduzione dell'autotassazione, hanno pertanto avuto inizio i lavori di costruzione dell'acquedotto tra Brestovica e Sežana, prolungato negli anni successivi verso Divača e Kozina.

*za oskrbo kraških občin. Zato se je leta 1981, po uvedbi samoprispevka, začela izgradnja vodovoda od Brestovice do Sežane in se v prihodnjih letih nadaljevala proti Divači in Kozini.*



**Figura 9.2**  
Impianto di depurazione  
di Sela na Krasu.

**Slika 9.2**  
Vodarna Sela na Krasu.

## 9.2 L'approvvigionamento idrico oggi

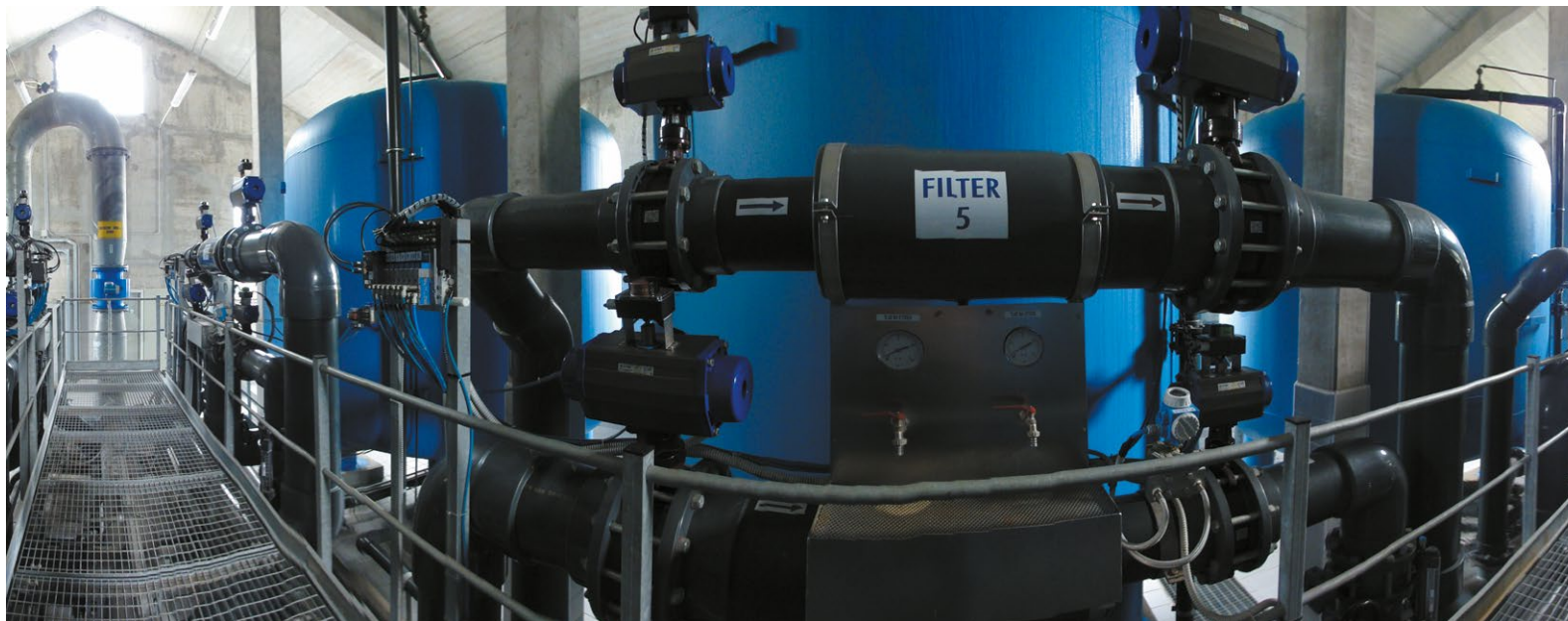
L'acquedotto Kraški vodovod Sežana (KVS – Acquedotto carsico di Sežana) fornisce l'acqua potabile a 5 comuni carsici: Sežana, Hrpelje-Kozina, Divača, Komen e al tratto carsico del comune di Miren-Kostanjevica; soprattutto nei mesi estivi l'acqua proveniente dall'acquedotto di Brestovica rifornisce d'acqua anche una parte della costa slovena. Il KVS rifornisce d'acqua un'area che spazia da Opatje Selo a ovest fino a Razdrto e Senožeče a Est, fino agli abitati di Obrov e Golac nei Brkini. L'area ha una morfologia complessa con dislivelli elevati: dal punto più basso rifornito dall'acquedotto – Brestovica pri Komnu, posto ad un'altezza di 42 m sul livello del mare – fino ad alcuni abitati nel comune di Hrpelje-Kozina situati a 750 m s.l.m.

L'approvvigionamento idrico dell'area rifornita dal KVS è assicurato

## 9.2 Vodooskrba Krasa danes

*Kraški vodovod Sežana (KVS) s pitno vodo oskrbuje območje petih kraških občin in sicer občino Sežana, Hrpelje-Kozina, Divača, Komen in kraški del občine Miren – Kostanjevica, predvsem v poletnih mesecih pa se z vodo iz Brestoviškega vodovoda oskrbuje tudi del slovenske obale. Oskrbovalno območje Kraškega vodovoda Sežana obsega območje od Opatjega sela na zahodu do Razdrtega oz. Senožeč na vzhodu, pa vse do naselij Obrov in Golac v Brkinih. Območje je višinsko zelo razgibano, in sicer od najnižjega oskrbovanega naselja Brestovica pri Komnu na nadmorski višini 42 m pa do višje ležečih naselij v občini Hrpelje – Kozina na nadmorski višini 750 m.*

*Oskrbovalno območje KVS se napaja iz več vodnih virov. Kot glavni vodni vir služi vodni vir Klariči, ki se nahaja v bližini Brestovice pri Komnu,*



**Figura 9.3**  
Filtri rapidi a sabbia.

**Slika 9.3**  
Hitri peščeni filtri.



da più fonti. La fonte principale è il punto di prelievo di Klariči nei pressi di Brestovica pri Komnu; l'area di Senožeče è rifornita dall'acquedotto del Nanos con punti di prelievo situati nei dintorni di Razdrto. Il KVS gestisce anche alcuni acquedotti locali minori della valle della Branica, a Vrhe e nei Brkini. Una parte del comune di Hrpelje-Kozina utilizza l'acqua proveniente dall'acquedotto di Ilirska Bistrica, le cui risorse idriche sono gestite dall'impresa Komunala Ilirska Bistrica. In caso di necessità l'acquedotto di Brestovica può rifornirsi grazie al collegamento con l'acquedotto triestino gestito dall'AcegasApsAmga all'ex valico di frontiera di Ferneti (con un prelievo contrattuale massimo di 40 l/s).

### **9.2.1 Klariči – il punto di prelievo dell'acquedotto di Brestovica**

Il punto di prelievo di Klariči è la fonte di rifornimento principale dell'acquedotto KVS. Si tratta di un punto di prelievo a pozzo situato sul confine nelle immediate vicinanze dell'ex valico di frontiera di Klariči. Esso è composto dai pozzi VB-4/79, VB-4/80 e VB-4/81 provvisti di pompe dalla capacità complessiva di 250 l/s. Accanto al punto di prelievo è stato costruito un nuovo pozzo, VB-10, che non è ancora collegato al sistema. Dai pozzi di prelievo di Klariči l'acqua percorre una tubazione in acciaio della lunghezza di 2,7 km e del diametro di 500 mm fino al serbatoio e all'impianto di depurazione di Sela na Krasu (275 m sul livello del mare), dove l'acqua "grezza" viene depurata e disinfettata. L'impianto comprende 6 filtri rapidi a sabbia. Prima del filtraggio, all'acqua "grezza" viene aggiunto un quantitativo minimo di flocculante, essendo la torbidità dell'acqua in entrata prevalentemente inferiore a 1 NTU. Successivamente si effettuano il filtraggio dell'acqua "grezza" con filtri a sabbia e la disinfezione con cloro in stato gassoso. L'acqua generata dal lavaggio dei filtri controcorrente viene raccolta nel bacino dell'acqua di scarto. Dopo alcune ore di sedimentazione, i fanghi vengono pompati e inviati ad un impianto di disidratazione, mentre le acque di scarto vengono disperse nel terreno. L'acqua viene poi pompata dall'impianto di depurazione di Sela na Krasu al serbatoio Lipa, da dove scorre, per gravità, verso Sežana. A causa dell'estensione della rete e della distanza degli utenti finali dall'impianto di depurazione (più di 500 km di rete), nei punti

*senožeško območje se oskrbuje iz nanoškega vodovoda z zajetji v bližini Razdrtega. KVS je upravljavec tudi na nekaterih manjših lokalnih vodovodih v dolini Branice, na Vrheh in v Brkinih. Del občine Hrpelje – Kozina se oskrbuje z vodo iz vodovoda Ilirska Bistrica, vodni vir katerega upravlja Komunala Ilirska Bistrica. Kot rezervni vodni vir brestoviškega vodovoda pa služi tudi povezava na tržaški vodovod AcegasApsAmga na nekdanjem mejnem prehodu Fernetiči (s pogodbenim odjemom do 40 l/s).*

### **9.2.1 Klariči – vodni vir Brestoviškega vodovoda**

*Vodni vir Klariči je največji in glavni vodni vir Kraškega vodovoda. Je vodnjaško črpališče, locirano na samem mejnem pasu ob bivšem mejnem prehodu Klariči. Sestavljajo ga vodnjaki VB-4/79, VB-4/80 in VB-4/81 opremljeni s črpalkami s skupno kapaciteto 250 l/s. Ob črpališču je zgrajen nov vodnjak VB-10, ki pa še ni vključen v sistem. Iz črpalnih vrtin v Klaričih se črpa voda po 2,7 km dolgem jeklenem cevovodu premera 500 mm do rezervoarja in čistilne naprave Sela na Krasu na nadmorski višini 275 m. V vodarni Sela na Krasu se izvaja čiščenje in dezinfekcija surove vode. V objektu je nameščenih 6 hitrih peščenih filtrov. Pred filtriranjem se surovi vodi dodaja flokulant v zelo nizkih odmerkih, saj je že vstopna motnost surove vode večinoma nižja od 1 NTU. Sledi filtracija surove vode preko peščenih filtrov in nato še dezinfekcija s plinskim klorom. Odpadna voda, ki nastaja pri protitočnem izpiranju filtrov, se odvaja v bazen odpadne vode. Po nekajurnem usedanju se gošča izčrpa na napravo za dehidracijo blata, odpadne vode pa se odvajajo v ponikovalnico. Iz vodarne Sela na Krasu se voda črpa v rezervoar Lipa, od koder je mogoč težnostni pretok vode proti Sežani. Zaradi velikosti omrežja in oddaljenosti končnih porabnikov od vodarne (več kot 500 km omrežja) izvajamo v črpališču v Sežani in Rodiku še dokloriranje vode prav tako s plinskim klorom.*

### **9.2.2 Nanoški vodovod in lokalni vodovodi**

*Poleg z glavnim, Brestoviškim vodovodom, Kraški vodovoda Sežana upravlja tudi z Nanoškim vodovodom, ki se napaja iz več zajetij v bližini Razdrtega s kapaciteto okrog 6 l/s, ter z nekaj manjšimi zajetji za os-*

di prelievo di Sežana e Rodik viene effettuato un ulteriore cloraggio con cloro in stato gassoso.

### 9.2.2 L'acquedotto del Nanos e gli acquedotti locali

Il KVS gestisce, oltre all'acquedotto principale di Brestovica, anche l'acquedotto del Nanos, approvvigionato da più punti di prelievo situati nei pressi di Razdrto con una capacità di circa 6 l/s e con alcuni punti di prelievo minori per l'approvvigionamento degli acquedotti locali di Štjak, Branica, Barka e Mahniči con una fornitura di circa 0,5 l/s nei periodi di pioggia, mentre nei periodi di siccità la fornitura di queste fonti non copre i bisogni, perciò si rende necessaria la fornitura d'acqua con cisterne. Anche in queste fonti l'acqua potabile è preparata tramite filtraggio con filtri rapidi a sabbia seguito dalla disinfezione con cloro in stato gassoso o ipoclorito di sodio.

## 9.3 Il sistema dell'acquedotto KVS

Il sistema per la fornitura idrica dell'acquedotto KVS si avvale di 43 serbatoi con una capacità complessiva di 12.000 m<sup>3</sup> e un volume di 50 – 1000 m<sup>3</sup>, 18 riduttori di pressione, 2 impianti di depurazione per il trattamento delle acque grezze e 4 impianti di depurazione minori in container, 700 idranti e varie infrastrutture necessarie al funzionamento dell'acquedotto. All'acquedotto pubblico sono allacciati 154 dei 180 abitati presenti in 5 comuni carsici. KVS gestisce 9100 allacciamenti che forniscono l'acqua a circa 22.000 utenti. Ogni anno sono immessi nel sistema da 2.500.000 m<sup>3</sup> a 3.500.000 m<sup>3</sup> d'acqua.

L'acquedotto KVS gestisce più di 560 km di tubazioni con un diametro massimo di  $\Phi$  500. La rete è composta da tubature di materiali diversi, e, nello specifico in tabella 9.2.

*krbo lokalnih vodovodov Štjak, Branica, Barka in Mahniči z izdatnostjo okrog 0,5 l/s v deževnem obdobju, v sušnem obdobju pa izdatnost teh vodnih virov ne pokriva potreb, zato je potreben dovoz vode s cisternami. Tudi na teh vodnih virih se pitna voda pripravlja s filtriranjem preko hitrih peščenih filtrov, sledi pa dezinfekcija s plinskim klorom oz natrijevim hipokloritom.*

## 9.3 Vodovodni sistem KVS

*Na vodovodnem sistemu KVS je zgrajenih 43 vodohranov s skupno kapaciteto 12.000 m<sup>3</sup> in prostorninami od 50 – 1000 m<sup>3</sup>, 18 raztežilnikov, 2 večji čistilni napravi za obdelavo surove vode in 4 manjše kontejnerske čistilne naprave, 700 hidrantov in večje število drugih objektov potrebnih za pravilno delovanje vodovoda. Na javni vodovod je priključenih 154 od 180 naselij v petih kraških občinah. V upravljanju imamo 9100 priključkov, iz katerih se oskrbuje približno 22.000 uporabnikov. Letno oddamo v sistem med 2.500.000 m<sup>3</sup> in 3.500.000 m<sup>3</sup> vode.*

**Tabella 9.1 – I quantitativi d'acqua immessi nel sistema dell'acquedotto KVS negli anni 2007-2013.**

**Tabella 9.1 – Količine vode oddane v sistem Kraškega vodovoda v letih 2007-2013.**

Anno / Leto	Quantitativi d'acqua immessi nel sistema in m <sup>3</sup> Količina vode oddane v sistem v m <sup>3</sup>
2007	2.924.368
2008	3.002.503
2009	2.995.800
2010	2.591.634
2011	2.963.018
2012	3.234.393
2013	2.776.001



## 9.4 Monitoraggio e qualità dell'acqua potabile

La qualità dell'acqua potabile ricade nei dettami del Regolamento sull'acqua potabile (GU della RS, n. 19/04, 35/04, 26/06, 92/06 e 25/09), armonizzato alle direttive UE. La qualità dell'acqua potabile deve essere costantemente monitorata. Secondo il regolamento il controllo deve essere doppio, sia interno che esterno. Il monitoraggio interno si svolge ai sensi del sistema HACCP, il che vuol dire che l'acqua potabile viene monitorata dal prelievo fino all'utente finale. Questo tipo di monitoraggio assicura un alto grado costante di sicurezza dell'acqua potabile. Il monitoraggio esterno è svolto a cura del Ministero della Sanità sloveno. La conformità dell'acqua potabile ai regolamenti sanitari e al Regolamento sull'acqua potabile è appurata per mezzo di analisi di laboratorio svolte da laboratori autorizzati. Il Regolamento sull'acqua potabile definisce i parametri microbiologici, chimici e quelli relativi agli indicatori, nonché i loro valori limite. Il monitoraggio interno prevede la predisposizione di un piano annuale di campionamento dell'acqua potabile che definisce i punti di prelievo, la frequenza del campionamento e il tipo di analisi da effettuare. Un importante elemento nel processo di controllo del sistema di fornitura di acqua potabile è il sistema di controllo per la gestione a distanza e il monitoraggio delle infrastrutture per la fornitura dell'acqua potabile.

## 9.5 Il sistema centrale di controllo CNS (Centralni nadzorni sistem)

La genesi del sistema CNS risale agli anni Novanta del secolo scorso, all'epoca degli interventi di ammodernamento dell'impianto di depurazione di Sela na Krasu: a quell'epoca si è avvertita l'esigenza di una maggior trasparenza e di un maggior controllo a distanza nella gestione dell'impianto idrico. A causa della vastità dell'area servita e della presenza di più fonti di prelievo e infrastrutture, l'esistenza di un sistema centrale di controllo è indispensabile per assicurare il monitoraggio del funzionamento del sistema. La comunicazione e la trasmissione dei dati

*Kraški vodovod Sežana upravlja s preko 560 km cevovodov s premerom do  $\Phi$  500. Omrežje je sestavljeno iz različnih cevovodnih materialov (Tabela 9.2).*

**Tabella 9.2**

**Tabella 9.2**

Materiale / Material	Lunghezza / Dolžina (km)
JE- jeklene cevi	97
LŽ- litoželezne cevi	9
NL- cevi iz nodularne litine	65
PE - polietilenske cevi	270
PVC cevi	65
AC- azbestno-cementne cevi	52
PC - pocinkane cevi	8

## 9.4 Nadzor in kakovost pitne vode

*Kakovost pitne vode ureja Pravilnik o pitni vodi (Ur. l. RS, št. 19/04, 35/04, 26/06, 92/06 in 25/09), ki je usklajen z direktivo Evropske unije. Kakovost pitne vode mora biti pod stalnim nadzorom. V skladu z omenjenim pravilnikom je ta nadzor dvojni: notranji in zunanji. Notranji nadzor zagotavljamo po načelih HACCP sistema, kar pomeni, da pitno vodo spremljamo od zajema do porabnika. Tak način nadzora zagotavlja stalen visok nivo varnosti pitne vode. Zunanji nadzor – monitoring zagotavlja ministrstvo, pristojno za zdravje. Zdravstveno ustreznost in skladnost pitne vode v skladu s Pravilnikom o pitni vodi, ugotavljamo z laboratorijskimi preskušanji. Laboratorijska preskušanja izvajajo pooblašteni laboratoriji. Pravilnik o pitni vodi določa mikrobiološke, kemične in indikatorske parametre, ter njihove mejne vrednosti. Skladno z notranjim nadzorom imamo izdelan letni plan vzorčenja pitne vode, v katerem so definirana mesta vzorčenja, frekvenca vzorčenja in vrste preskušanj.*





e degli ordini tra il centro (ossia la sede dell'azienda) e le singole infrastrutture si avvale di varie tecnologie di comunicazione (trasmissioni GPRS, fibre ottiche, trasmissioni radio...). Il sistema CNS fornisce anche i dati necessari al controllo dell'impianto idrico e al monitoraggio della qualità dell'acqua nei vari impianti che compongono la nostra rete idrica (HACCP). Il sistema CNS trasmette pertanto i dati relativi al flusso, al livello dell'acqua, alla pressione, alla concentrazione di cloro, alla torbidità, all'avvio e all'arresto delle pompe, all'eventuale ingresso di persone nelle infrastrutture ecc.


Il CNS include circa la metà delle infrastrutture che ricadono sotto la nostra gestione; ciononostante si provvede al monitoraggio di tutte le infrastrutture principali che compongono il sistema idrico. Il sistema consente anche l'invio di SMS per informare o allarmare i responsabili, assicurando una maggior trasparenza e affidabilità, e la razionalizzazione dei costi di manutenzione e la riduzione dei tempi di reazione in caso di difetti. Il sistema comprensivo del centro di gestione è progettato in modo da permettere l'espansione progressiva a nuove infrastrutture (serbatoi, punti di prelievo o di pompaggio, pozzi ecc.). Un ulteriore sviluppo del progetto CNS permetterà in modo indiretto di ridurre le perdite idriche, che rappresenta uno dei nostri obiettivi in un'ottica di razionalizzazione e sviluppo sostenibile dell'impresa.

*Pomemben element v procesu nadzora sistema oskrbe s pitno predstavlja nadzorni sistem za daljinsko vodenje in nadzor objektov pitne vode.*

## **9.5 CNS - Centralni nadzorni sistem**

*Začetki uvajanja CNS segajo v devetdeseta leta prejšnjega stoletja, ko se je posodabljala čistilna naprava za pitno vodo v Selih na Krasu in se je pojavila potreba po večji preglednosti ter daljinskem nadzoru in upravljanju vodovodnega sistema. Zaradi velikega območja in večjega števila vodnih virov in objektov je centralni nadzorni sistem nujen za nadzor nad delovanjem sistema. Za komunikacijo in prenos podatkov oz. ukazov med centrom na sedežu podjetja in posameznimi lokacijami, kjer so postavljeni objekti, uporabljamo najrazličnejše komunikacijske tehnologije (GPRS prenos, optični kabel, radijski prenos ...). CNS nas oskrbuje s podatki, ki služijo za nadzor vodovodnega omrežja, kakor tudi za spremljanje kvalitete vode v različnih vodovodnih sistemih naše ga omrežja (HACCP). Tako se v CNS prenašajo meritve pretoka, nivoja vode, tlaka, koncentracije klora, motnosti, vklop in izklop črpalk, javljanje vstopa v objekt idr.*

*V CNS je vključena pribl. polovica objektov s katerimi upravljamo, vsekakor pa imamo pod nadzorom vse najpomembnejše objekte vodovodnega sistema. Omogočeno je tudi SMS-obveščanje in alarmiranje odgovornih, kar vse zagotavlja večjo preglednost in zanesljivost sistema, omogoča pa tudi racionalizacijo stroškov vzdrževanja in skrajša odzivne čase ob pojavu napak. Celoten sistem s centrom vodenja je zasnovan tako, da je možno postopno priključevanje novih objektov kot so vodohrani, zajetja, črpališča, vrtine idr. Nadaljnji razvoj projekta CNS posredno omogoča zmanjševanje vodnih izgub, kar je tudi eden od ciljev v smislu racionalizacije in trajnostnega razvoja podjetja.*



Il Timavo superiore a San Canziano.

*Reka Reka pri Škocjanu.*



# La protezione delle acque sotterranee

## Zaščita podzemnih voda

PHILIPPE TURPAUD\*, LUCA ZINI\*, NATASA RAVBAR\*\*, FRANCO CUCCHI\*

\* Dipartimento di Matematica e Geoscienze, Università degli Studi di Trieste

\*\* Inštitut za raziskovanje krasa ZRC SAZU

Gli acquiferi carsici presentano notevoli potenzialità idriche e vengono spesso sfruttati a scopo idropotabile, ma sono dei sistemi estremamente fragili e vulnerabili. Le autorità competenti e le società acquedottistiche spesso non hanno gli strumenti e le basi scientifico-giuridiche tali da poter delineare le aree di salvaguardia di tali acquiferi. Da qui nasce l'esigenza di elaborare mappe tematiche specifiche che agevolino gli organi decisionali competenti. Per rispondere a queste esigenze all'interno del Progetto HYDROKARST, è stata pertanto realizzata la *Carta della vulnerabilità intrinseca dell'acquifero del Carso Classico* e sono stati informatizzati tutti i centri di pericolo.

### 10.1 Carta della vulnerabilità

L'acquifero del Carso Classico copre una superficie di circa 738 km<sup>2</sup> e fornisce tramite gli acquedotti sloveno ed italiano acqua potabile a più di 240.000 persone. Il carattere transfrontaliero dell'acquifero (un terzo dell'acquifero si trova in Italia e il restante in Slovenia) ha reso necessaria una collaborazione internazionale per stabilire delle linee guida comuni per la protezione delle risorse idriche, e la Carta della vulnerabilità è uno degli strumenti che ne agevolano la definizione. Ricercatori di entrambe le nazioni hanno partecipato all'acquisizione e all'interpretazione dei dati nonché alla realizzazione della carta.

La vulnerabilità intrinseca di un acquifero identifica la sua predisposizione all'inquinamento attraverso la delimitazione di aree aventi diversa suscettibilità e tiene in considerazione la capacità di autodepura-

*Kraški vodonosniki predstavljajo velike vodne potencialne in jih pogosto izkoriščajo za pitno vodo, vendar gre za izredno občutljive in ranljive sisteme. Pristojne oblasti in vodovodna podjetja pogosto nimajo instrumentov in znanstveno-pravnih podlag, da bi lahko začrtali zaščiten območja omenjenih vodonosnikov. Od tod izhaja potreba po pripravi specifičnih tematskih kart, ki bi organom odločanja olajšale delo. V odgovor na te potrebe je bilo znotraj Projekta HYDROKARST pripravljeno Kartiranje naravne ranljivosti vodonosnika klasičnega Krasa.*

### 10.1 Karte ranljivosti

*Klasični kraški vodonosnik pokriva približno 738 km<sup>2</sup> površine ter preko slovenskega in italijanskega vodovoda oskrbuje s pitno vodo več kot 240.000 oseb. Zaradi čezmejne narave vodonosnika (ena tretjina se nahaja v Italiji, ostalo v Sloveniji) je bilo za določitev skupnih smernic za zaščito vodnih virov potrebno mednarodno sodelovanje. Raziskovalci iz obeh držav so sodelovali pri pridobivanju in interpretaciji podatkov ter pri pripravi kart ranljivosti, ki so bile izbrane kot temeljno orodje pri oblikovanju skupnih vodovarstvenih smernic.*

*Naravna ranljivost vodonosnika določa njegovo predispozicijo za onesnaženje. Upošteva sposobnost samoočiščevanja vodnega sistema in tako razmejuje območja z različno občutljivostjo (Margat, 1968, Vrba in Zaporožec, 1994). Karta ranljivosti je rezultat prekrivanja tematskih kart, ki upoštevajo vse faktorje, ki vplivajo na pretok onesnaževala proti vodnemu telesu (Slika 10.1). Obstajata dve karti naravne*



zione del sistema acquifero nel suo complesso (Margat, 1968, Vrba & Zaporozec, 1994). La carta della vulnerabilità è il risultato della sovrapposizione di mappe tematiche che tengono in considerazione tutti quei parametri che influenzano il moto di un inquinante verso un acquifero (Figura 10.1). Due sono le carte della vulnerabilità intrinseca che sono state realizzate: la carta della Vulnerabilità delle Acque Sotterranee (VAS, Resource Vulnerability) che prende in considerazione le riserve idriche nella loro globalità, e la carta della Vulnerabilità delle Captazioni (VC, Source Vulnerability) che prende in considerazione la vulnerabilità dei punti di prelievo, siano essi sorgenti captate o pozzi di produzione.

La distinzione tra la Vulnerabilità delle Acque Sotterranee e Vulnerabilità della Captazione è descritta in Figura 10.1: la prima riguarda la riserva idrica contenuta nell'intero acquifero, la seconda considera la sensibilità all'inquinamento dei punti di approvvigionamento idrico.

ranljivosti: karta ranljivosti podzemnih voda (VAS, Resource Vulnerability), ki se osredotoča na zaščito vodnih zalog, ter ranljivost vodnih virov (VC Source Vulnerability), ki se osredotoča na zaščito zajetih izvirov ali vrtin.

Obe oceni ranljivosti sta bili izdelani na podlagi metode Slovenski pristop (Ravbar & Goldscheider, 2007; 2009), ki se naslanja na smernice projekta COST Action 620 (Daly et al., 2002; Zwahlen, 2004) in dopolnjuje metodo COP (Vias et al., 2006). Slovenski pristop je specifično prirejen za kraška območja v Sloveniji (Slika 10.2).

Rezultati kartiranja so bili pridobljeni s pomočjo GIS (ArcGis 10.2). Proučevano območje je bilo razdeljeno na 10-metrsko mrežo, ki pokriva 906 km<sup>2</sup> ozemlja in vključuje klasični Kras ter manjši del porečij Soče, Vipave in Reke, ki obilno prispevajo k napajanju kraškega vodonosnika (Boegan, 1938, Mosetti & D'Ambrosi, 1963).

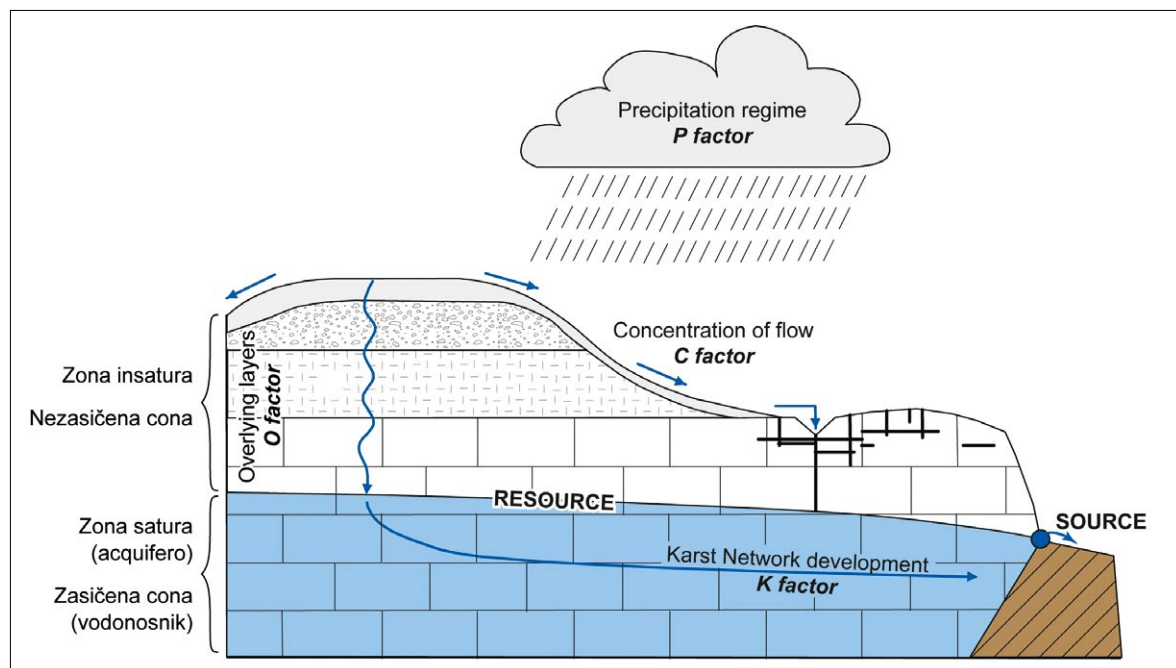


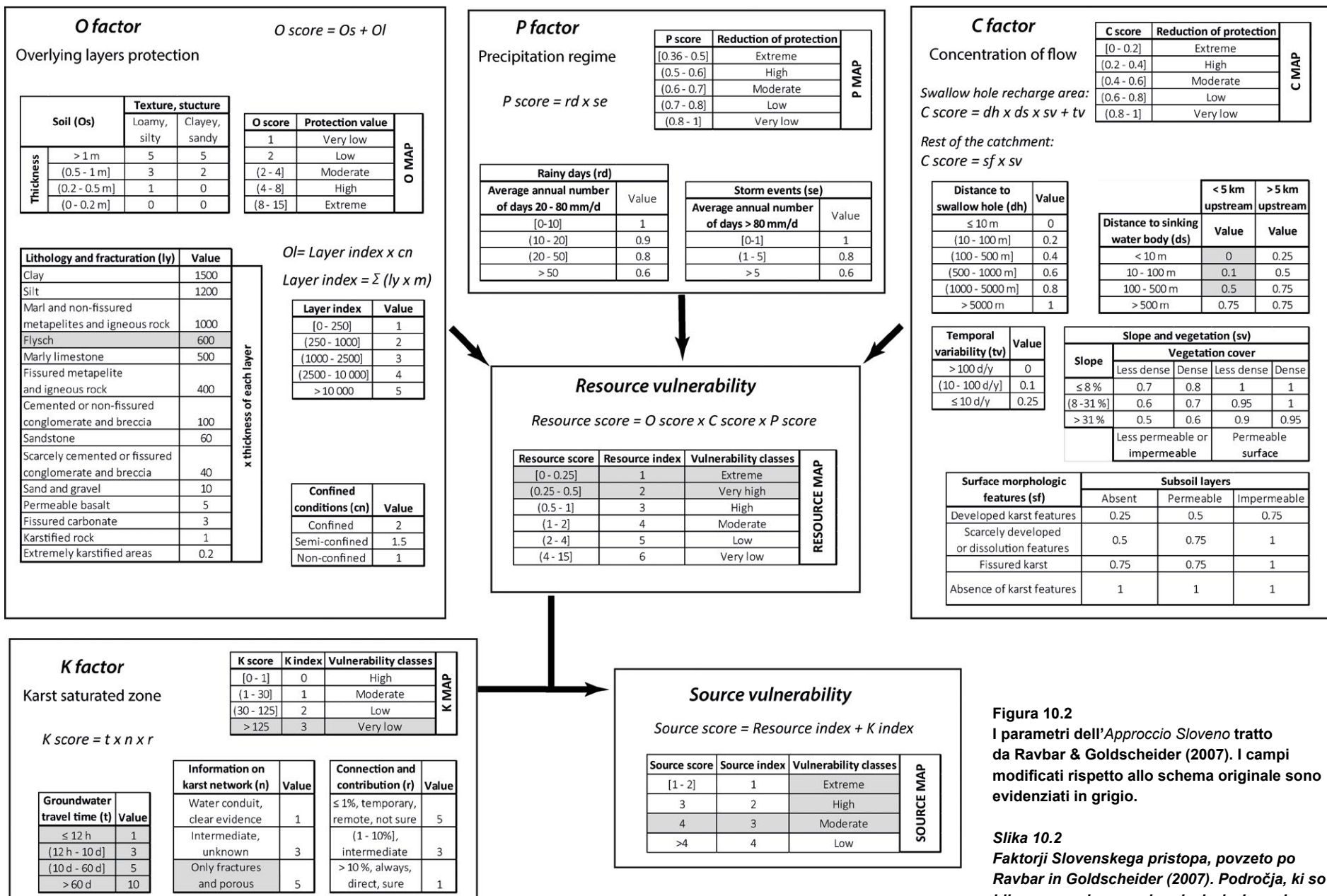
Figura 10.1

Schema semplificato per la redazione delle carte di vulnerabilità per le aree carsiche, basato sulle raccomandazioni di COST Action 620 (Daly et al., 2002; Zwahlen, 2004) e da Goldscheider (2010). I principali parametri da tenere in considerazione sono i processi che avvengono nella zona insatura (parametro O), il regime delle precipitazioni (parametro P), i punti o le aree a infiltrazione concentrata (parametro C) e lo sviluppo della rete carsica ipogea (K).

Slika 10.1

Poenostavljena shema za pripravo kart ranljivosti kraških območij, osnovana na priporočilih iz COST Action 620 (Daly idr., 2002; Zwahlen, 2004) in iz Goldscheiderja (2010). Glavni faktorji, ki jih je treba upoštevati, so procesi, do katerih prihaja v nezasičeni coni (faktor O), vpliv padavin (faktor P), točke ali območja koncentrirane infiltracije (naklon pobočja - faktor C) ter podzemni razvoj zakraselega sistema (K). Razlikovanje med ranljivostjo podzemnih vod in ranljivostjo vodnih virov je ponazorjena na sledeč način: prva se nanaša na vodne zaloge v celotnem vodonosniku, druga pa upošteva zajetja za vodooskrbo.





**Figura 10.2**  
I parametri dell'Approccio Sloveno tratto da Ravbar & Goldscheider (2007). I campi modificati rispetto allo schema originale sono evidenziati in grigio.

**Slika 10.2**  
Faktorji Slovenskega pristopa, povzeto po Ravbar in Goldscheider (2007). Področja, ki so bila spremenjena v primerjavi z izvorno shemo, so označena s sivo barvo.

Entrambe le carte sono state elaborate seguendo il protocollo denominato *Approccio Sloveno* (Ravbar & Goldscheider, 2007; 2009), che trae ispirazione dalle direttive del Comitato della COST Action 620 (Daly et al., 2002; Zwahlen, 2004) e rielabora il protocollo COP (Vias et al. 2006). L'Approccio Sloveno è specificamente calibrato per le aree carsiche (Figura 10.2).

Il progetto è stato realizzato su piattaforma GIS (ArcGis 10.2) suddividendo l'area di studio in una griglia di 10 m coprendo un territorio di 906 km<sup>2</sup> che include il Carso Classico e una modesta parte dei bacini idrografici dei fiumi Isonzo, Vipacco e Reka che contribuiscono in maniera importante alla ricarica dell'acquifero carsico (Boegan, 1938, Mossetti & D'Ambrosi, 1963).

## 10.2 Carta della vulnerabilità delle acque sotterranee

La carta della Vulnerabilità delle Acque Sotterranee (VAS) considera la vulnerabilità dell'acquifero nel suo insieme e valuta i processi di auto-depurazione che si attivano nel suolo e nella zona insatura congiuntamente ai meccanismi d'infiltrazione dell'acqua. Tre sono i parametri considerati:

- il **parametro O** che tiene in considerazione la tipologia del suolo e dell'insaturo;
- il **parametro C** che tiene in considerazione le modalità dell'infiltrazione delle acque;
- il **parametro P** che tiene conto del regime delle precipitazioni.

### 10.2.1 Parametro O

Prima di raggiungere le acque sotterranee, l'acqua si infiltra e percola attraverso la zona insatura. Durante questo percorso, le sostanze disciolte sono soggette a fenomeni di filtrazione (fisica o per fissazione sulle argille), di alterazione chimica e/o di degradazione batterica/enzimatica. Il parametro O considera la protezione fornita al corpo idrico dalla zona insatura. Il suo valore dipende da due sotto parametri **Os** e **OI**,

## 10.2 Karta ranljivosti podzemnih voda

*Karta ranljivosti podzemnih voda (RPV) upošteva ranljivost podtalnice in ocenjuje procese samoočiščevanja, ki se sprožajo v tleh in v nezasičeni coni, skupaj z mehanizmi infiltracije vode. Upošteva tri faktorje:*

- **faktor O**, ki upošteva debelino in tipologijo kamnin v nezasičeni coni ter prsti,
- **faktor C**, ki upošteva način infiltracije vode,
- **ter faktor P**, ki upošteva način napajanja vodonosnika.

### 10.2.1 Faktor O

*Preden pride do podzemnih voda, voda pronica in se preceja preko nezasičene cone. Med to potjo so raztopljene snovi podvržene filtraciji (fizični ali zaradi pričvrstitve na ilovico), kemičnim spremembam in/ali biodegradaciji. Faktor O upošteva zaščito, ki jo vodnemu telesu nudi nezasičena cona. Njegova vrednost je odvisna od dveh podfaktorjev, Os in OI, ki opredeljujeta prispevek časa in transportnih procesov v plasteh prsti (Os) in kamnin, ki se nahajajo nad vodonosnikom (OI).*

*Karta faktorja O (Slika 10.3a) predstavlja dejstvo, da na Krasu vrednosti zaščite nezasičene cone nihajo od 1 (zelo nizka zaščita) do 6 (visoka zaščita), kar je manj kot v dolini Soče in na flišu, kjer so te vrednosti običajno med 7 in 9 (visoka do izredno visoka). Na to precej vpliva tanka ali pogosto odsotna plast prsti in visoka stopnja zakrasedlosti, kar omogoča hitro vertikalno pronicanje v spodnje ležeče plasti in zmanjšuje naravno zaščito. Ker so vrednosti zaščite, ki jo nudi nezasičena cona (OI), podobne na celotnem proučevanem območju, vsote na karti faktorja O v glavnem odražajo distribucijo tipa in debeline prsti.*

### 10.2.2 Faktor C

*Faktor C kvantificira način infiltracije in situacije, v katerih se pojavi obvod zaščitnih plasti, ki jo nudi nenasičena cona (O). Za dva možna mehanizma infiltracije sta bili izdelani dve različni metodi izračuna:*

- 1) *Kjer gre za difuzno infiltracijo padavin, so upoštevani faktorji: naklon pobočja, gostota vegetacije, sposobnost infiltracije površinskih in podpovršinskih slojev ter razvitost površinskih kraških pojavov.*



che quantificano il contributo inerente il tempo di residenza delle acque in questa zona e quindi ai processi di attenuazione del suolo (Os) e degli orizzonti sovrastanti all'acquifero siano essi roccia o sedimenti (OI).

La Carta del parametro O (Figura 10.3a) mette in evidenza come il Carso presenti valori di protezione variabili da 1 (protezione molto bassa) a 6 (protezione alta), chiaramente inferiori a quelli offerti dalla Pianura dell'Isonzo e dalle zone in flysch compresi solitamente tra 7 e 9 (protezione da alta ad altissima). Questo è il risultato conseguente al fatto che nelle aree carsiche il suolo è generalmente poco potente o assente e la carsificazione, nonostante il notevole spessore dell'insaturo, favorisce un rapido transito verticale verso la falda e quindi una bassa protezione. Dato che i valori della protezione fornita dall'insaturo (OI) sono simili su tutto l'areale investigato, i punteggi nella carta del parametro O rispecchiano, in linea di massima, la distribuzione degli spessori del suolo presenti sul Carso.

### 10.2.2 Parametro C

Il parametro C quantifica tutte quelle situazioni nelle quali si verifica un bypass alla protezione fornita dall'insaturo (O) per infiltrazione diretta e concentrata delle acque nell'acquifero. Per i due meccanismi di infiltrazione possibili sono stati elaborati due distinti metodi di calcolo:

- 1) dove le precipitazioni si infiltrano in un modo diffuso ma rapido, i fattori considerati sono l'acclività, la densità della vegetazione, la capacità d'infiltrazione dell'orizzonte superficiale e lo sviluppo delle forme carsiche;
- 2) dove gli inghiottitoi raccolgono puntualmente le acque superficiali i fattori considerati sono la distanza dall'inghiottitoio, la distanza dal corso d'acqua, la frequenza e la durata dell'attività degli stessi. Giustamente vengono tenuti in considerazione anche l'acclività, la densità della vegetazione e la capacità d'infiltrazione.

Il Carso Classico è caratterizzato da inghiottitoi cui fanno capo estesi bacini di alimentazione ubicati all'esterno dell'acquifero. Si tratta di bacini in flysch o in depositi alluvionali con suoli che raggiungono frequentemente spessori importanti e con valori del parametro O alti, compresi

- 2) *Kjer gre za koncentrirano napajanje (npr. preko ponorov, požiralnikov), so upoštevani faktorji: razdalja od požiralnika, razdalja od vodnega toka, pogostnost in trajanje aktivnosti obeh. Upošteva se tudi naklon pobočja, gostota vegetacije in sposobnost infiltracije površinskih slojev.*

*Za klasični Kras so značilni ponori, ki drenirajo obsežna območja (več sto km<sup>2</sup>) nepropustnih kamnin z večjimi vodotoki. Gre za flišnate ali naplavinške podlage, kjer prsti pogosto dosežajo velike debeline. Zato ta območja dosežajo visoke vrednosti faktorja O, med 7 in 9. Točke koncentrirane infiltracije, kot so ponori, pa predstavljajo direkten stik površinskih in podzemnih voda, zato so pri ocenjevanju ranljivosti označene kot zelo ranljive. V ta namen smo delno spremenili vrednosti podfaktorju ds. Praktični učinek te spremembe je tudi razširitev varstvenih pasov višjega reda vzdolž ponikalnic.*

*Na Klasišnem Krasu ima faktor C visoke do zmerne vrednosti (Slika 10.3b). Razlika med tema dvema razredoma je predvsem v identifikaciji območji z zelo razvitimi kraškimi pojavi ("developed karst feature" v podfaktorju sf), ki jo določimo na podlagi litoloških značilnosti in gostote dolin.*

*V nižinskih in flišnatih predelih je zaščita v glavnem visoka ali zelo visoka. Le ob vodnih tokovih ponikalnic in v bližini ponorov postane nizka ali zelo nizka.*

### 10.2.3 Faktor P

*Intenzivne padavine lahko povzročijo ogromen delež h koncentriranemu napajanju vodonosnika saj prihaja do prekoračitve infiltracijskih zmogljivosti prsti in do površinskega odtokanja. Koncentriran odtok pa pomeni delen ali popoln obvod zaščitnih plasti. Bolj kot so padavine intenzivne, manj učinkovita je zaščita vodonosnika.*

*Faktor P upošteva količino in intenzivnost padavin na podlagi povprečnega letnega števila dni v letu s padavinami med 20 in 80 mm/leto, in ekstremna neurja, ko padavine presegajo 80 mm/leto.*

*Na podlagi tridesetletnih obdelanih zgodovinskih serij, ki se nanašajo na šest pluviometrov (v Sloveniji upravlja z njimi ARSO, v Italiji pa*

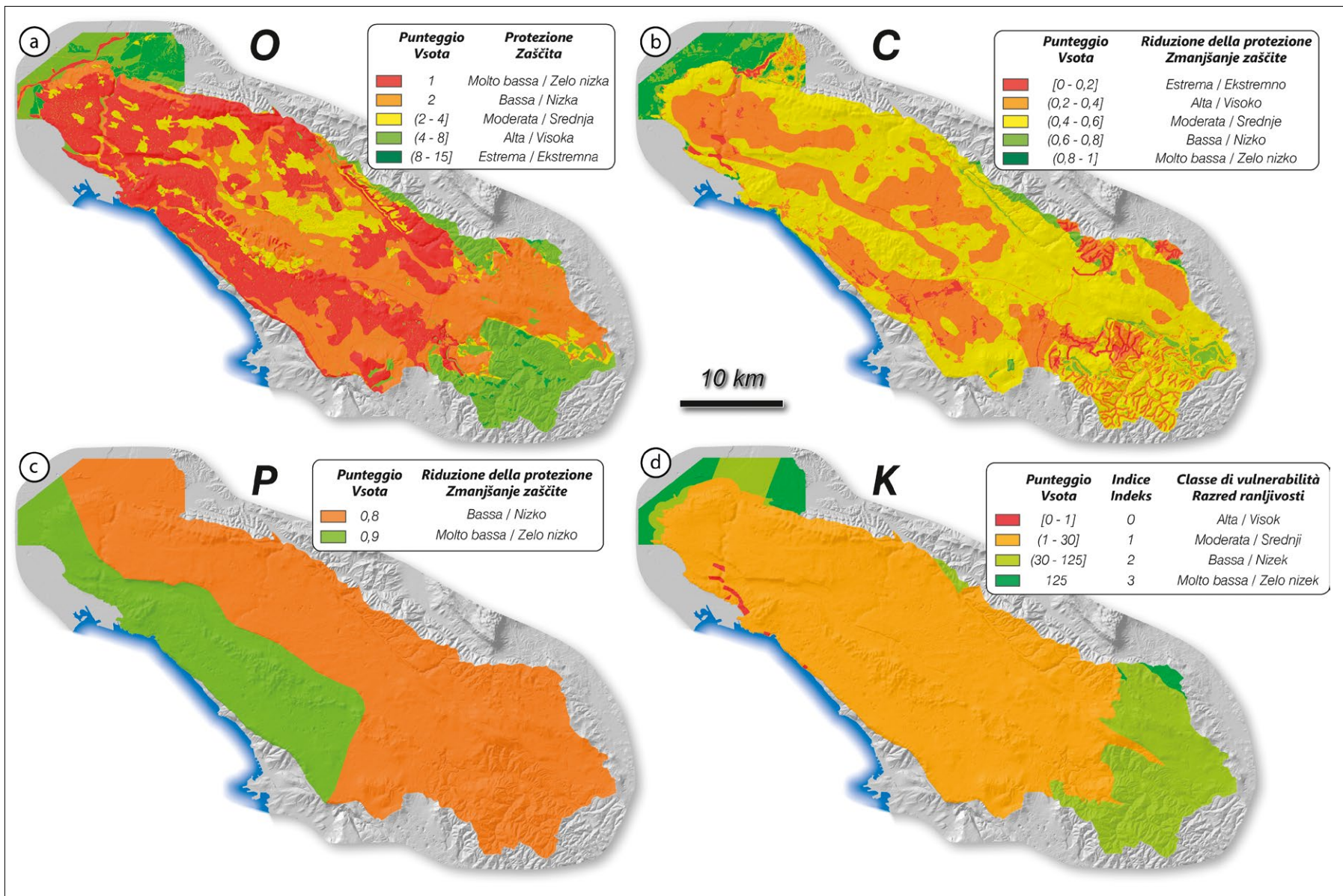


Figura 10.3  
Carte dei punteggi dei parametri O, C, P e K.

Slika 10.3  
Karte faktorjev O, C, P in K.



tra 7 e 9. Il meccanismo di ricarica associato a questi inghiottitoi rappresenta un punto critico nella valutazione della vulnerabilità. Per tenere nella giusta considerazione tali contesti è stato pertanto necessario aggiungere una classe al sottoparametro **ds** e abbassarne i valori. L'effetto pratico di tale modifica, è quello di ampliare la fascia di rispetto lungo i corsi d'acqua rispetto al metodo originale.

Sul Carso Classico il parametro C ha valori da alti a moderati (Figura 10.3b). La distinzione tra queste due classi è dovuta essenzialmente all'identificazione di aree con un carsismo molto sviluppato ("developped karst feature" nel sub parametro **sf**) definito in base alle caratteristiche litologiche e alla densità delle doline.

Nelle aree di pianura e nei bacini in flysch, la riduzione della protezione risulta generalmente bassa o molto bassa ad eccezione dei tratti disperdenti dei corsi d'acqua e delle aree attigue agli inghiottitoi dove diventa alta o estrema.

### 10.2.3 Parametro P

Durante le precipitazioni, parte delle acque meteoriche si infiltrano nel terreno (precipitazione efficace) e se la loro intensità è superiore alla capacità di infiltrazione del suolo, allora ha inizio il ruscellamento che dà luogo ad una concentrazione del deflusso. Di conseguenza, più le precipitazioni sono intense meno è efficace la protezione dell'acquifero.

Il parametro P considera la quantità e l'intensità delle precipitazioni sulla base del numero medio annuo di giorni aventi precipitazioni comprese fra 20 e 80 mm/g, o con eventi temporaleschi estremi in cui le precipitazioni superano gli 80 mm/g.

Sulla base dei dati delle serie storiche trentennali elaborate relative a sei pluviometri (gestiti da ARSO in Slovenia e da ARPA-OSMER in Italia), l'area di studio è stata suddivisa in due zone omogenee per intensità di precipitazione, una più prossima alla costa (punteggio P = 0,9) e una più interna (punteggio P = 0,8).

ARPA-OSMER), *smo proučevano območje razdelili na dve homogeni coni po intenzivnosti padavin: ena je bližje obali (P = 0,9), druga pa je bolj v notranjosti (P = 0,8).*

### 10.2.4 Karta vas

*Karto ranljivosti podzemnih voda dobimo z zmnožkom faktorjev O, C in P. Tako pridobljene vrednosti smo naknadno porazdelili v šest razredov ranljivosti, od ekstremne do zelo nizke.*

*Ker so kraški vodonosniki tudi zelo ranljivi, smo se odločili, da za boljše ločevanje višjih razredov, razred večje ranljivosti razdelimo od prvotnega razreda najvišje ranljivosti (od 0-0,5 točk) na dva razreda: zelo visoka ranljivost (0,25-0,5) in ekstremna ranljivost (0-0,25).*

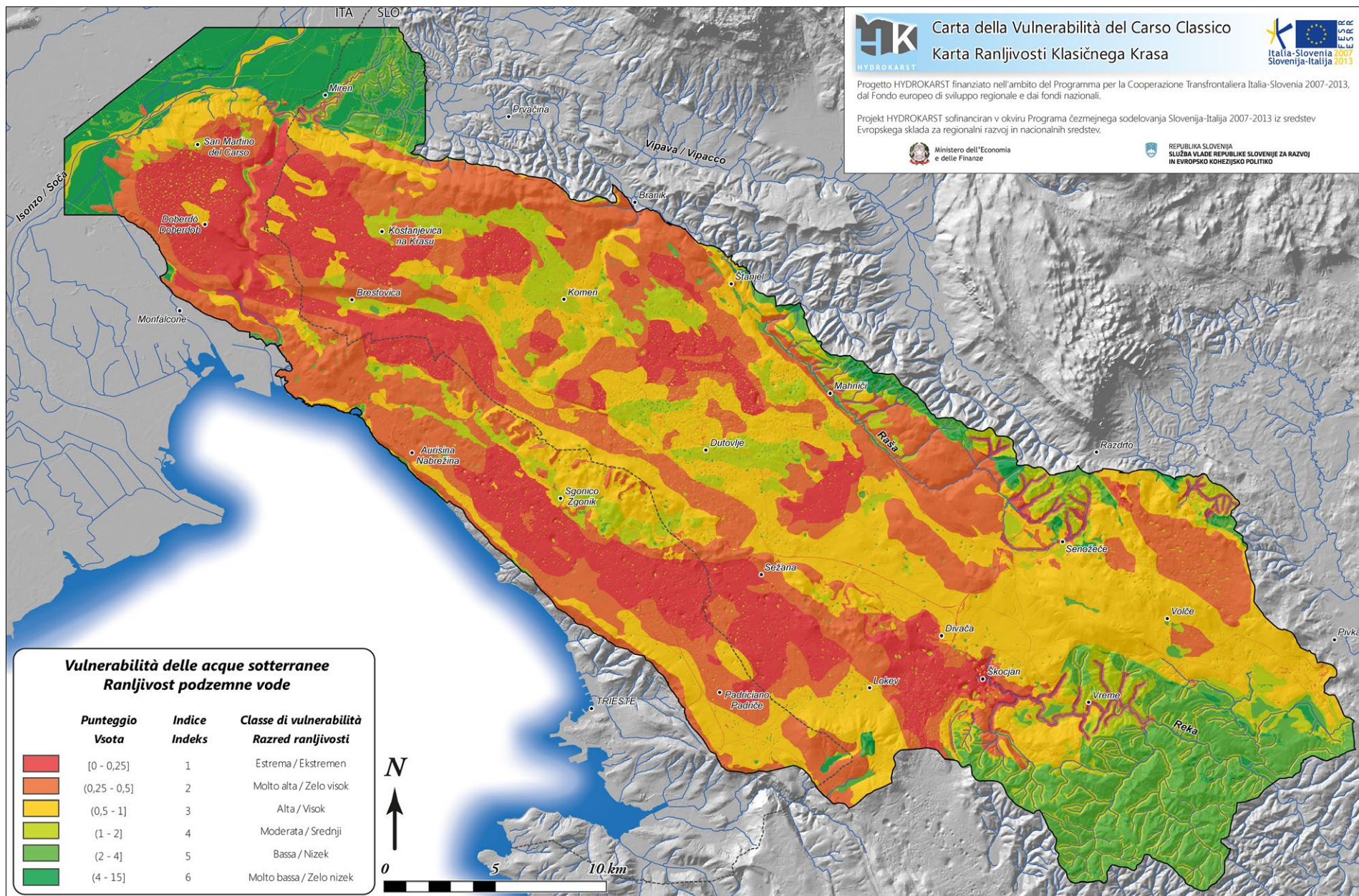
*Na Klasičnem Krasu gre ranljivost od visoke do ekstremne, kar izpostavlja celovito občutljivost vodonosnika (Sliki 10.4 in 10.5). Distribucija razredov ranljivosti odraža heterogenost kraškega okolja in je vezana na spremembe debeline prsti in na neenakomerno distribucijo kraških pojavov. Drugače je v porečjih Soče in Vipave ter Reke, kjer je ranljivost v povprečju nižja (od zmerna do zelo nizka), z izjemo območij vodnih tokov v neposredni bližini ponorov, kjer je ranljivost visoka do ekstremna. Zaradi neposredne povezanosti med površinskimi in podzemnimi vodami, značilne za proučevano območje, so ta, sicer manjša območja, zelo pomembna za visoko zaščito vodonosnika.*

## 10.3 Karta ranljivosti vodnih virov

*Karta ranljivosti vodnih virov upošteva ranljivost virov oskrbe z vodo in razen faktorjev O, C, P, ocenjuje tudi mehanizme pretoka vode znotraj vodonosnika (Priloga 5). Ti mehanizmi so ocenjeni s faktorjem K, ki upošteva:*

- 1) čas pretoka v zasičeni coni,*
- 2) informacije o razvitosti kraške mreže oziroma zakraselosti zasičene cone,*
- 3) informaciji o prispevnem zaledju vodnega vira.*





**Figura 10.4**  
 Carta della Vulnerabilità delle Acque Sotterranee ottenuta moltiplicando le carte dei parametri O, C e P. Più il colore si avvicina al rosso, più l'acquifero è vulnerabile.

**Slika 10.4**  
 Karta ranljivosti podzemnih voda, pridobljena z množenjem faktorjev O, C in P. Bolj kot se barva približa rdeči, bolj je vodonosnik ranljiv.



### 10.2.4 Carta della VAS

La carta della VAS è ottenuta dal prodotto dei punteggi assegnati alle mappe relative ai parametri O, C e P. I valori ricavati sono stati successivamente riclassificati in sei classi di vulnerabilità, da estrema a molto bassa.

Poiché gli acquiferi carsici maturi sono anche molto vulnerabili, per meglio distinguere le classi più elevate, si è deciso di dividere la classe relativa alla vulnerabilità maggiore derivante dal metodo originale (punteggio 0-0,5) in due classi: vulnerabilità molto alta (0,25-0,5) e vulnerabilità estrema (0-0,25).

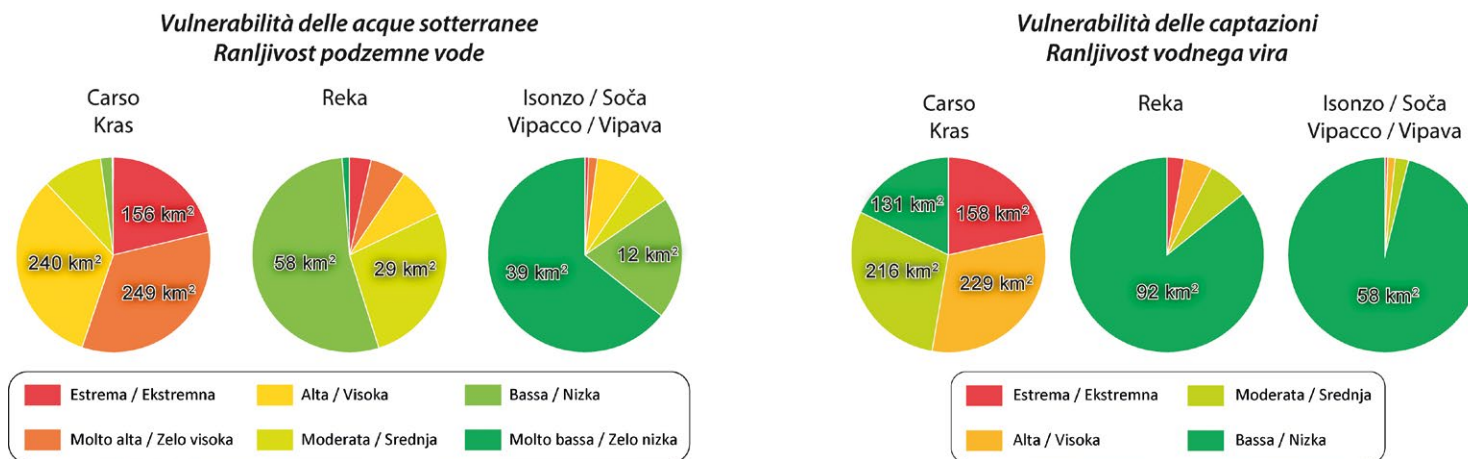
Sul Carso Classico, la vulnerabilità che ne risulta va da alta ad estrema, il che sottolinea la complessiva suscettibilità dell'acquifero (Figura 10.4 e 10.5). La distribuzione sul terreno delle classi di vulnerabilità rispecchia l'eterogeneità dell'ambiente carsico ed è legata alle variazioni di spessore del suolo e all'irregolare distribuzione sul territorio delle forme carsiche. Diversa è la situazione dei bacini dell'Isonzo-Vipacco e del Reka dove la vulnerabilità è mediamente inferiore (da moderata a molto bassa) ad eccezione delle aree dei corsi d'acqua nelle immediate vicinanze degli inghiottitoi dove la vulnerabilità è alta o estrema. La connessione diretta tra le acque superficiali e quelle sotterranee, caratteristica di questi settori dell'area di studio, rende queste aree, benché di modeste dimensioni, di grande importanza per la protezione dell'acquifero.

Vrednost faktorja K (Slika 10.3d) smo definirali za štiri različna območja zajetij: Timava/Moščenice/Sardoč, izviri v Nabrežini in vodna vira Klariči in Mahniči.

Karto ranljivosti vodnih virov dobimo, če karti ranljivosti podzemnih voda prištejemo karto faktorja K.

Da bi bil faktor K v skladu s slovenskimi zakonskimi predpisi o vodovarstvenih območjih (Ur.l. RS 64/2004) in upošteval Slovenski pristop, smo se odločili, da prekvalificiramo faktor t, ki se nanaša na čas pretoka. Uveden je bil tudi nov razred za vrednosti K, višje od 125. Spremenjena je bila tudi shema klasifikacije ranljivosti vodnih virov: nova klasifikacija ima štiri razrede namesto prvotnih treh.

Na karti ranljivosti vodnih virov obširna območja krasa predstavljajo ekstremno ranljivost, kar 158 km<sup>2</sup>, kar je približno 21,5 % celotnega obravnavanega območja. Nehomogena značilnost klasičnega Krasa je videti bolj poudarjena na karti ranljivosti vodnih virov kot na karti ranljivosti podzemnih voda. Razlog je v dodanih informacijah o pretakanju voda v zasičeni coni in v razliki v številu razredov končne ranljivosti (4 oziroma 6). Območja največje ranljivosti niso med seboj povezana in niti niso nujno v bližini izvirov za oskrbo z vodo. Visoka in ekstremna ranljivost sta značilni tudi za območja v bližini požiralnikov in ponikalnic.



**Figura 10.5**  
Superficie delle aree coperte dalle diverse classi di vulnerabilità nel Carso Classico, nel bacino del Reka e nel bacino dell'Isonzo / Vipacco.

**Slika 10.5**  
Površine območij, ki jih pokrivajo različni razredi ranljivosti na Klasičnem Krasu, v porečju reke Reke, Soče in Vipave.

### 10.3 Carta della vulnerabilità delle captazioni

La carta della Vulnerabilità delle Captazioni (VC) considera la vulnerabilità delle fonti di approvvigionamento idrico e valuta, oltre ai parametri O, C, P, i meccanismi di transito delle acque all'interno dell'acquifero dalla zona di infiltrazione alla fonte di approvvigionamento (Tavola 5). Questi meccanismi sono quantificati nel parametro K che prende in considerazione:

- 1) il tempo di percorrenza, cioè il tempo che intercorre fra l'arrivo dell'acqua nell'acquifero e la sua comparsa alla fonte;
- 2) le informazioni sulla maturità del reticolo carsico;
- 3) l'estensione dell'area di alimentazione del punto captato.

Il valore del parametro K (Figura 10.3d) è stato definito per le quattro diverse aree di captazione Timavo/Moschenizze/Sardos, le sorgenti di Aurisina e i pozzi di Klarici e di Mahniči.

La carta della VC è ottenuta sommando alla carta della VAS la mappa relativa al parametro K.

Per rendere il parametro K compatibile con i dettami della legislazione slovena sulle aree di salvaguardia (Ur.l. RS 64/2004), rispetto all'*Ap-proccio Sloveno*, si è deciso di riclassificare il parametro  $t$  relativo al tempo di percorrenza. È stata pertanto introdotta una nuova classe per i valori di K maggiori a 125. Anche lo schema di classificazione della carta della VC è stato modificato per ottenere un maggiore potere discriminante: la nuova classificazione è quindi di quattro classi invece delle tre previste dal metodo originale.

Nella carta della VC, ampie aree del Carso presentano una vulnerabilità estrema, ben 158 km<sup>2</sup> corrispondenti circa al 21,5% dell'intera superficie considerata. La caratteristica disomogeneità di un'area carsica come quella del Carso Classico, appare più pronunciata nella carta della VC che nella carta della VAS anche a causa della differenza nel numero di classi (4 e 6 rispettivamente). Le aree a vulnerabilità più elevata sono scollegate tra loro e non sono necessariamente prossime alle fonti di approvvigionamento idrico indipendentemente dall'influenza del parametro K. Vulnerabilità da alta ad estrema caratterizzano anche le

*Glavna razlika s karto ranljivosti podzemnih voda je manjša celotna ranljivost severovzhodnega dela proučevanega območja, ki se rahlo ločuje od ostalega vodonosnika, ker je deloma ločena od Raškega preloma.*

### 10.4 Zaključki

*Karta ranljivosti vodnih virov pokaže, da so obsežne površine klasičnega Krasa - skupaj gre za 52,7 % površine na 386 km<sup>2</sup> - zelo do ekstremno ranljive, kar odraža občutljivost kraškega vodonosnika na onesnaževanje. Ob upoštevanju posebnih mehanizmov pretakanja v nezasičeni coni in mehanizmov prehajanja vode v zasičeni cono, ne bi mogli pričakovati drugačnega rezultata.*

*Neenakomerna distribucija ekstremno ranljivih območij kaže na skrajno spremenljivost kraškega terena in na to, da so tudi območja, ki so močno oddaljena od virov oskrbe, lahko zelo ranljiva. Heterogenost kraških pojavov pa povzroča, da celo na sosednjih območjih prihaja do različno hitre infiltracije. Kjer je pronicanje hitro, je degradacija onesnaževalcev nizka, kjer je napajanje počasno, pa je moč samoočiščenja večja. Poleg tega je nekaj vodonosnikov medsebojno povezanih preko velikih podzemnih vodnih poti, kjer se voda hitro pretaka in ima zato majhno sposobnost samoočiščenja. Druge podzemne vodne poti pa so povezane samo s sistemi razpok, ki imajo majhno prevodnost vode in zato večjo samoočiščevalno moč.*

*V razvitih državah nacionalne zakonodaje s področja varovanja vodnih virov na kraških območjih upoštevajo čas pretokanja voda v vodonosniku kot osnovni kriterij za razmejevanje vodovarstvenih pasov. Ta pristop je primeren za porozne vodonosnike, a ni enako uporaben pri karbonatnih vodonosnikih, kjer bi zaščitena območja postala zelo obsežna in ne bi upoštevala heterogenosti hidrostrukture krasa. Karta ranljivosti vodnih virov omogoča identifikacijo najbolj ranljivih območij in zato predstavlja dobro alternativno podlago za varovanje. Upošteva vse faktorje, ki vplivajo na pretok onesnaževal v kraškem vodonosniku. Ob uporabi te podlage bi bila zaščitena tista območja, ki so v nepo-*



aree vicine agli inghiottitoi e ai corsi d'acqua disperdenti.

La differenza principale con la carta della VAS è la vulnerabilità minore complessiva della parte nord-orientale dell'area di studio, questa zona si distingue parzialmente dal resto dell'acquifero perché rimane parzialmente separata dalla presenza della faglia della Rasa.

## 10.4 Conclusioni

La carta della VC evidenzia come ampie aree del Carso Classico, complessivamente il 52,7% della superficie per 386 km<sup>2</sup>, siano a vulnerabilità da alta ad estrema, il che rispecchia la suscettibilità dell'acquifero carsico all'inquinamento. Considerati in particolare i meccanismi di percolazione nella zona vadosa e quelli di transito delle acque nella zona

*sredni bližini objektov za zajetja, a tudi vsa tista, ki so sicer oddaljena, a so hidrološko neposredno povezana z vodnimi viri. S tega zornega kota bi morala biti vsa območja, ki so v karti ranljivosti vodnih virov označena kot "ekstremno ranljiva", deležna najvišje stopnje zaščite, neodvisno od kriterija oddaljenosti od vodnih virov. Zaščitena bi morala biti tudi ozemlja v neposredni bližini ponikalnic, v bližini ponorov, tako kot je poudarjeno v karti za Reko, Vipavo in Rašo.*

**Terminal Intermodale  
di Trieste, Ferneti.**

**Tržaški Intermodalni  
Terminal, Fernetiči.**



satura non ci si poteva aspettare un risultato diverso.

La distribuzione a macchie di leopardo delle aree estremamente vulnerabili indica l'estrema variabilità dei territori carsici ed evidenzia che aree anche molto distanti dalle fonti di approvvigionamento possono presentare una vulnerabilità molto elevata. L'eterogeneità nei processi di carsificazione, infatti, fa sì che aree giustapposte siano caratterizzate da velocità di infiltrazione differenti. Dove l'infiltrazione è rapida, l'attenuazione degli inquinanti è bassa, dove l'infiltrazione è lenta, il potere di autodepurazione è maggiore. Inoltre alcuni volumi di acquifero sono connessi tra di loro attraverso grandi condotte che forniscono poca capacità di attenuazione trasferendo velocemente le acque, mentre altri sono connessi dai soli sistemi di fessurazione aventi una bassa conducibilità idraulica e una più alta capacità autodepurante.

Le legislazioni nazionali considerano il tempo di percorrenza delle acque nell'acquifero come il criterio base per la delimitazione delle aree di salvaguardia, anche in ambiente carsico. Questo approccio valido per gli acquiferi porosi non è altrettanto applicabile agli acquiferi carbonatici dove le aree di salvaguardia diventerebbero molto ampie e non terrebbero in considerazione l'eterogeneità dell'idrostruttura. La carta della VC rappresenta perciò una valida base alternativa per la delimitazione delle aree di salvaguardia visto che tiene in considerazione tutti i parametri che guidano la possibile diffusione e propagazione di un inquinante in un acquifero carsico. Utilizzando questa base verrebbero tutelate non solo le aree nelle immediate vicinanze alle opere di captazione, ma anche tutti quei territori che, seppur distanti, sono in diretta connessione con i punti di prelievo. In quest'ottica, tutte le aree definite come "estremamente vulnerabili" nella carta della VC, dovrebbero essere salvaguardate con tutele via via decrescenti in funzione della distanza dalle opere di captazione. Questo permetterebbe di tenere in considerazione anche gli effetti di diluizione. La salvaguardia dovrebbe essere assegnata anche ai territori limitrofi ai corsi d'acqua nelle prossimità degli inghiottitoi così come evidenziato in carta per il Reka, il Vipacco e la Raša.

## 10.5 Obremenjevalci podzemnih voda

CHIARA BOCCALI, SILVIA CLEVA, LUCA ZINI, CHIARA CALLIGARIS

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

*Onesnaženje podzemnih voda je časovno in prostorsko posredno ali neposredno vezano na človekove dejavnosti. Območja obremenjevalcev voda so značilno povezana s širokim spektrom industrijskih, kmetijskih, trgovskih in gospodinjstvih dejavnosti. Za pravilno izkoriščanje vodnega vira je torej treba poznati in razmejiti omenjene vire onesnaževanja, kjer je le mogoče, pa oceniti stopnjo tveganja za onesnaženje.*

*Kot dopolnilo karti naravne ranljivosti je bila pripravljena karta obremenjevalcev, ki umesti in klasificira tiste infrastrukture in dejavnosti, ki lahko predstavljajo tveganje za kakovost voda.*

*V ta namen je bil uporabljen takoimenovani Slovenski pristop (Ravbar & Goldscheider, 2007), ki predvideva prepoznavanje obremenjevalcev, povezanih z infrastrukturo (bencinske črpalke, ceste in železnice, rekreacijske dejavnosti, pokopališča itd.), industrijskimi dejavnostmi (kamnolomi, tovarne in proizvajalci energije, industrijska skladišča itd.), in kmetijstvom.*

*Osnovna podlaga za omenjeno razlikovanje je karta rabe tal, narajena na podlagi podatkov projekta Moland (Priloga 4). Tem smo dodali še informacije, pridobljene iz zračnih posnetkov, topografskih kart in/ali specifičnih katalogov (na primer kmetijski informacijski sistem S.I.AGRI. FVG).*

*Šibka urbanizacija in industrializacija kraškega ozemlja se odraža v lokalni in občasni izpostavljenosti virom onesnaževanja. Med največje onesnaževalce sodita kmetijstvo in promet, torej cestne in železniške povezave med manjšimi naselji. Z razliko od kraškega območja pa ravninski severni predeli predstavljajo večjo koncentracijo obremenjevalcev, vezanih na gostejšo poselitev in industrijske dejavnosti.*



## 10.5 Centri di pericolo

CHIARA BOCCALI, SILVIA CLEVA, LUCA ZINI, CHIARA CALLIGARIS

Dipartimento di Matematica e Geoscienze, Università degli Studi di Trieste

L'inquinamento delle acque sotterranee, nello spazio e nel tempo, è connesso direttamente o indirettamente alle attività antropiche. Le fonti di pericolo sono tipicamente associate ad una vasta serie di attività industriali, agricole, commerciali e domestiche. Per un corretto uso della risorsa idrica è quindi necessario conoscere e localizzare tali fonti e, ove possibile, quantificarne il grado di pericolosità.

A integrare la carta della vulnerabilità intrinseca si è quindi creata una carta dei centri di pericolo, che localizza e classifica le infrastrutture e le attività che possono generare un pericolo per la qualità delle acque sotterranee.

A tal proposito è stato utilizzato il cosiddetto *Approccio Sloveno* (Ravbar & Goldscheider, 2007), che prevede di riconoscere sul territorio centri di pericolo legati allo sviluppo infrastrutturale (quali stazioni di rifornimento, strade e ferrovie, attività ricreative, cimiteri, ecc.), alle attività industriali (quali cave, impianti industriali e di produzione energetica, magazzini industriali, ecc.), all'agricoltura e all'allevamento.

La carta di base per tali distinzioni è quella dell'uso del suolo (Tavola 4) elaborata a partire dai dati del progetto Moland a cui sono state associate ulteriori informazioni desunte da fotografie aeree, da carte topografiche e/o da cataloghi su tematiche specifiche (ad esempio il sistema informativo agricolo S.I.AGRI. FVG).

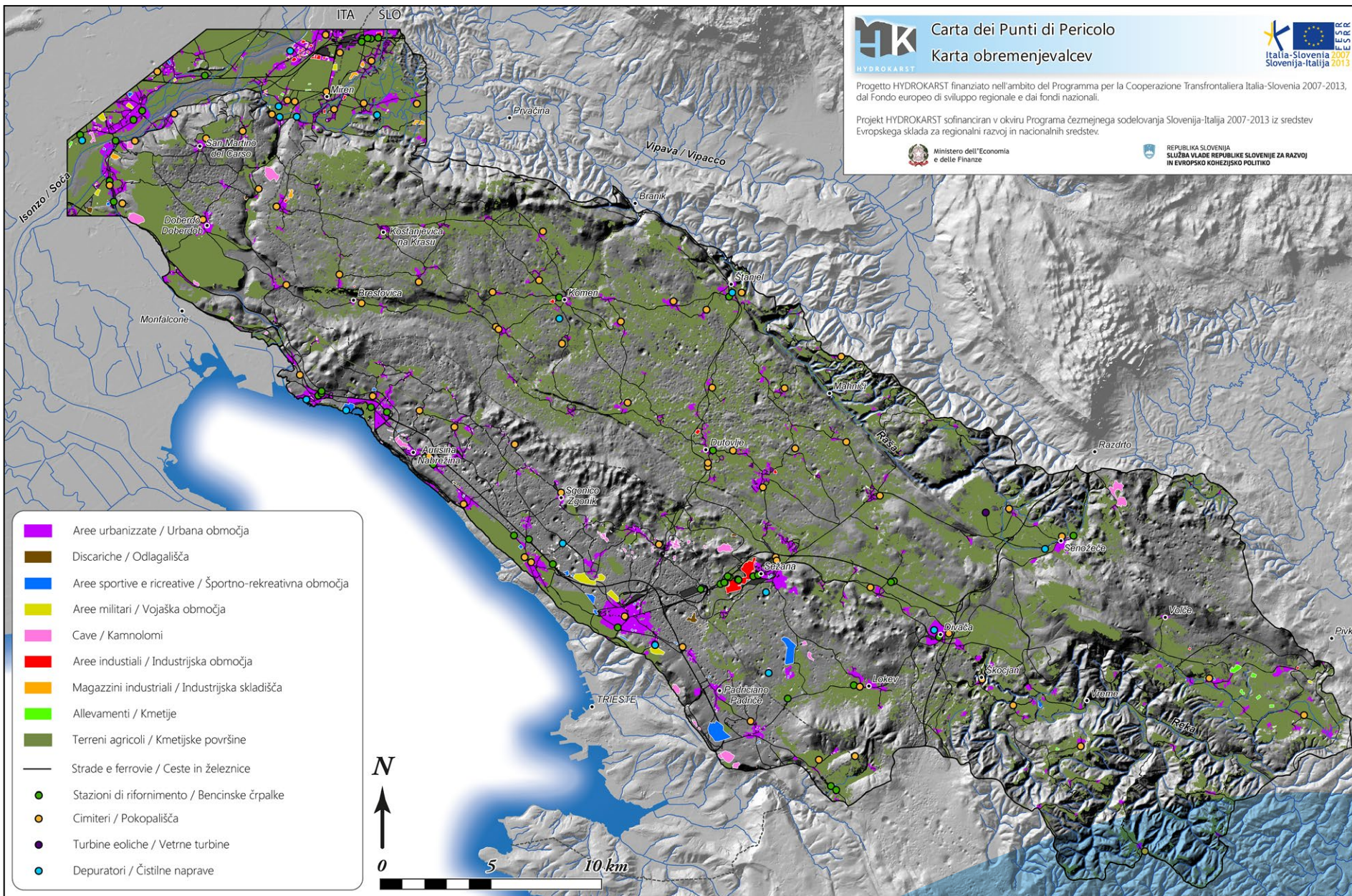
La scarsa urbanizzazione del territorio carsico si riflette in una locale e sporadica esposizione alle fonti di pericolo. L'impatto più evidente è dato dall'agricoltura e dai trasporti, quali strade e ferrovie di collegamento dei modesti centri abitati. Diversamente dall'area carsica, le aree pianeggianti settentrionali, ai piedi dei rilievi, evidenziano una maggior concentrazione di centri di pericolo, legati alla maggior urbanizzazione e alle attività industriali.



**Un esempio di punto di pericolo.**

**Primer nevarne točke.**

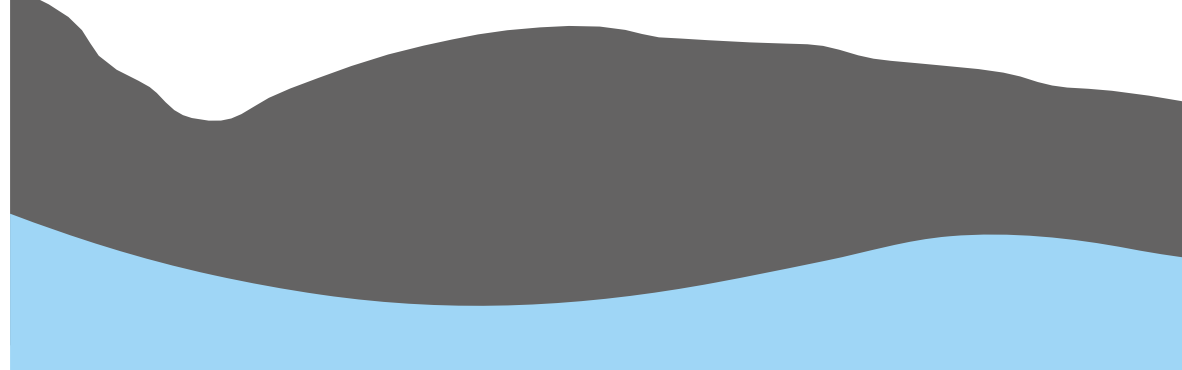






# Bibliografia

## Viri



- Amato A., Barnaba P.F., Finetti I., Groppi G., Martinis B., Muzzin A., 1976 – *Geodynamic outline and seismicity of Friuli Venezia Giulia Region*. Boll. Geof. Teor. Appl., **19** (72), 1: 217-256.
- Armstrong S.C. and Sturchio N.C., 1998 – *Strontium isotopic evidence on the chemical evolution of pore waters in the Milk River Aquifer, Alberta, Canada*. App. Geochem., **13**: 463-475.
- Barbieri M., Boschetti T., Pettita M., Tallini M., 2005 – *Stable isotope ( $2H$ ,  $18O$  and  $^{87}Sr/^{86}Sr$ ) and hydrochemistry monitoring for groundwater hydrodynamics analysis in a karst aquifer (Gran Sasso, Central Italy)*. Appl. Geochem., **20**: 2063-2081.
- Bensi S., Fanucci F., Pavšić J., Tunis G., Cucchi F., 2007 – *Nuovi dati biostratigrafici, sedimentologici e tettonici sul Flysch di Trieste*. Rend. Soc. Geol. It., **4**: 145.
- Bensi S., Fanucci F., Podda F., 2009 – *Strutture a macro e mesoscala delle Dinaridi triestine (Carta GEO-CGT del FVG)*. Rendiconti Online Soc. Geol. It., **5**: 32–35.
- Boegan E., 1938 – *Il Timavo. Studio sull'idrologia carsica subaerea e sotterranea*. Memorie dell'Istituto Italiano di Speleologia, Trieste, Italy, 251 p.
- Bonadonna L., Briancesco R., Paradiso R., Semproni M., 2013 – *Validità di metodi utilizzati per la determinazione di enterococchi intestinali in acque naturali e sottoposte a clorazione*. Biologia Ambientale, **27** (2): 15-20.
- Botosaneanu L., 1986 – *Stygofauna Mundi. A faunistic, distributional, and ecological synthesis of the world fauna inhabiting subterranean waters (including the Marine Interstitial)*. Leiden E. J. Brill. The Netherlands. 740p.
- Burelli G., Masetti D., Furlani S., Biolchi S., Bensi S., Cucchi F., Piano C., 2008 – *The drowning sequence of the paleogenic carbonate ramp outcropping in the Trieste Karst*. EGU 2008-A-09713, Wien.
- Buser S., 1968 – *Osnovna Geološka karta SFRJ, list Gorica, 1:100.000*. Zvezni Geoloski Zavod, Beograd.
- Buser S., 1967 – *Osnovna Geološka karta SFRJ, list Tolmin, 1:100.000*. Zvezni Geoloski Zavod, Beograd.
- Buser S., Grad K., Pleničar M., 1967 – *Osnovna Geološka karta SFRJ, list Postojna, 1:100.000*. Zvezni Geoloski Zavod, Beograd.
- Busetti M., Volpi V., Nicolich R., Barison E., Romeo R., Baradello L., Brancatelli G., Giustiniani M., Marchi M., Zanolla C., Wardell N., Nieto D., Ramella R., 2010 – *Dinaric tectonic features in the Gulf of Trieste (Northern Adriatic)*. Boll. Geof. Teor. Appl., **51**: 117-128.
- Caffau M., Tsakiridou E., Colizza E., Melis R., Pugliese N., 2001 – *Il Santoniano-Campaniano nel Carso Triestino: il livello a Keramosphaerina tergestina (STACHE)*. St. Trent. Sc. Nat., Acta Geol., **77**: 73-79.
- Caffau M., Pleničar M., Pugliese N., Drobne K., 1998 – *Late Maastrichtian rudists and microfossils in the Karst Region (NE Italy and Slovenia)*. Geobios, memoires, **22**: 37-46.
- Camacho A.I., 1992 – *The natural history of biospeleology*. Consejo superior de investigaciones científicas, Madrid. S.C.I.S. 680p.
- Cancian G., 1987 – *L'idrologia del Carso goriziano-triestino tra l'Isonzo e le risorgive del Timavo*. Studi Trentini di Scienze Naturali, **64**: 77–98.
- Carulli G.B., 2006 – *Carta Geologica del Friuli Venezia Giulia, scala 1:150.000*. Direzione Centrale Ambiente e Lavori Pubblici, Servizio Geologico, Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia, SELCA, Firenze.
- Cavin L., Jurkovšek B. & Kolar-Jurkovsek T., 2000 – *Stratigraphic succession of the Upper Cretaceous fish assemblages of Kras (Slovenia)*. Geologija, **43**(2):165-195.
- Civita M., Cucchi F., Eusebio A., Garavoglia S., Maranzana F., Vigna B., 1995 – *The Timavo hydrogeologic system: an important reservoir of supplementary water resources to be reclaimed and protected*. Acta Carsologica, **24**: 169-186.
- Colizza E., Cucchi F. & Ulcigrai F., 1989 – *Caratteristiche geolitologiche e strutturali del "Membro di Rupingrande" della "Formazione dei Calcari del Carso Triestino"*. Bollettino Soc. Adriatica di Scienze, **71**: 29-46.
- Craig H., 1961 – *Isotopic variations in meteoric waters*. Science, **133**:1702–1703.

- Cucchi F., Forti F., 1981 – *La "Cattura" del Timavo superiore a Vreme*. Atti e Mem. Comm. Grotte E. Boegan., **21**: 55-64.
- Cucchi F., Piano C., 2013 – *Carta geologica del Carso Classico (tratta dalla Carta di sintesi geologica alla scala 1:10.000 – Progetto GEO-CGT) e Breve Note Illustrative della Carta Geologica del Carso Classico Italiano, con F. Fanucci, N. Pugliese, G. Tunis, L. Zini*. Direzione centrale ambiente energia e politiche per la montagna, Servizio Geologico, Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia, Trieste.
- Cucchi F., Pirini Radrizzani C., Pugliese N., 1987 – *The carbonate stratigraphic sequence of the Karst of Trieste (Italy)*. Mem. Soc. Geol. It., **40**: 35-44.
- Cucchi F., Zini L., 2009 – *Paesaggi carsici nel Friuli Venezia Giulia*. Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia. 112p.
- Cuscito G., Halupca E., Foscan L., Uršič B., Uršič M., Forti F., Habe F., Dolce S., Stoch F., Leben F., 1990 – *Reka – Timav. Podobe, zgodovina in ekologija kraške reke*. Založba Mladinska knjiga, Ljubljana.
- Cvijic J., 1893 – *Das karstphenomenon. Versuch einer morphologischen Monographie*. Geograph. Abhandlungen Band, Wien, V, Heft, **3**: 1-114.
- Daly D., Dassargues A., Drew D., Dunne S., Goldscheider N., Neale S., Popescu I.C. & Zwahlen F., 2002 – *Main concepts of the "European approach" to karst-groundwater-vulnerability assessment and mapping*. Hydrogeology Journal, **10**: 340-345.
- D'Ambrosi C., 1953 – *Carta geologica delle Tre Venezie. Foglio 53° "Trieste"*. Uff. Idrogr. Mag. Acque, Venezia.
- Del Ben A., Finetti I., Rebez A., Slejko D., 1991 – *Seismicity and seismotectonics at the Alps-Dinarides contact*. Boll. Geof. Teor. Appl., **32**: 155-176.
- De Zanche V., Pavlovec R., Proto Decima F. 1967 - *Mikrofavna in mikrofacies eocenskih flišnih plasti pri Ustju v Vipavski dolini*. Razprave IV. razreda SAZU **10**: 205-263, Ljubljana.
- Dobruskina I., Jurkovšek B., Kolar-Jurkovšek T. 1999 - *Upper Cretaceous flora of Slovenia*. Annales **9**(2): 243-256, Koper.
- Doctor D.H., Lojen S. and Horvat M., 2000 – *A stable isotope investigation of the Classical Karst aquifer: evaluating karst groundwater components for water quality preservation*. Acta Carsologica, **29**(1): 79–82.
- Doctor D.H., Alexander E.C. Jr., Petrič M., Kogovšek J., Urbanc J., Lojen S. and Stichler W., 2006 – *Quantification of karst aquifer discharge components during storm events through end-member mixing analysis using natural chemistry and stable isotopes as tracers*. Hydrogeol. J., **14**: 1171–1191.
- Doctor D.H., 2008 – *Hydrologic connections and dynamics of water movement in the classical Karst (Kras) aquifer: Evidence from frequent chemical and stable isotope sampling*. Acta Carsologica, **37**(1): 101-123. DOI: <http://dx.doi.org/10.3986/ac.v37i1.163>.
- Dolenc T., Pavšič J., 1995 – *Elemental and stable isotope variations in the Cretaceous–Tertiary boundary sediments from the Soča Valley, NW Slovenia*. Terra Nova, **7**: 630–635.
- Dolenc T., Cucchi F., Giacomich R., Marton R., Ogorelec B., 1995 – *Abiotic characteristics of carbonate rocks from the K/T boundary in the Karst area (isotops, geochemistry, geochronology and paleomagnetism)*. 4th Intern. Workshop ESF Sci. Network "Impact Cratering and Evolution of the Planet Earth", Ancona 12–17 may 1995, Abstracts and Field Trips, pp. 68–69, Ancona.
- Drobne K., Ogorelec B., Pleničar M., Barattolo F., Turnsek D., Zucchi Stolfa M.L., 1987 – *The Dolenja Vas Section, a Transition from Cretaceous to Paleocene in the NW Dinarides, Yugoslavia*. Mem. Soc. Geol. It., **40**: 73–84.
- Drobne K., Ogorelec B., Riccamboni R., 2007 – *Bangiana hansenii n. gen. n. sp. (Foraminifera) an index fossils species of Danian age (Lower Palaeocene) from the Adriatic Carbonate Platform (SW Slovenia, NE Italy, Herzegovina)*. Razprave IV. Razreda SAZU, **48**(1): 5-71.
- Flora O., Longinelli A., 1989 – *Stable isotope hydrology of classical karst area, Trieste, Italy*. In: International Atomic Energy Agency (IAEA) Isotope techniques in the study of the hydrology of fractured and fissured rocks, Panel Proceedings Series, 17th–21th November 1986, Vienna. International Atomic Energy Agency (IAEA), 203–213.
- Ford D., 2004 – *Karst*. In: Encyclopedia of caves and karst science. (Eds.) Gunn J., ISBN 1-57958-399-7 (Print Edition), Taylor and Francis Group, New York London, 1940p.
- Furlani S., Cucchi F., Forti F., Rossi A., 2009 – *Comparison between coastal and inland Karst limestone lowering rates in the northeastern Adriatic Region (Italy and Croatia)*. Geomorphology, **104**: 73-81.
- Gabrovšek F., Peric B., 2006 – *Monitoring the flood pulses in the epiphreatic zone of karst aquifer: the case of Reka river system, karst plateau, SW Slovenia*. Acta Carsologica, **35**(1): 35-45.
- Gams I., 1993 – *Karst denudation measurements in Slovenia and their geomorphological value*. Naše jame, **35**(1): 21-30.
- Gasparo F., 1995 – *La fauna delle grotte e delle acque carsiche sotterranee della Venezia Giulia, stato delle ricerche e check list delle specie cavernicole*. Atti e Memorie della Commissione Grotte" E. Boegan", **32**: 17-42.
- Gemiti F., Licciardello M., 1977 – *Indagini sui rapporti di alimentazione delle acque del Carso triestino e goriziano mediante l'utilizzo di alcuni traccianti naturali*. Annali Gruppo Grotte Ass. 30 Ott., **6**: 43–61.
- Gemiti F., 1984 – *La portata del Timavo alle risorgive di S. Giovanni di Duino*. Annali Gruppo Grotte Ass. XXX Ott., **7**: 23-41.
- Gemiti F., 1995 – *Portata liquida e portata solida del Timavo alle risorgive di S. Giovanni di Duino*. Hydrores., **13**: 75-88.



- Goldscheider N., 2010 – *Delineation of spring protection zones*. In: Kresic N., Stevanovic Z. (Eds.): Groundwater hydrology of springs. Elsevier, 305-338.
- Gosselin D.C., Nabelek P.E., Peterman Z.E., Sibray S., 1997 – *A reconnaissance study of oxygen, hydrogen and strontium isotopes in geochemically diverse lakes, Western Nebraska, USA*. J. Paleolimnol., **17**: 51-65.
- Gosselin D.C., Harvey F.E., Frost C., Stotler R., Macfarlane P.A., 2004 – *Strontium isotope geochemistry of groundwater in the central part of the Dakota (Great Plains) aquifer, USA*. Appl. Geochem., **19**: 359-377.
- Grillo B., 2009 – *Ricostruzione dell'idrodinamica delle acque di falda del Carso Classico*. Tesi di dottorato inedita, 355p.
- Gunn J., 2004 – *Encyclopedia of Cave and Karst Science*. Fitzroy Dearborn, New York & London, ISBN 1-57958-399-7. 902 p.
- Gušić I., Jelaska V., 1993 – *Upper Cenomanian–Lower Turonian sea-level rise and consequences on the Adriatic–Dinaric carbonate platform*. Geol. Rundsch., **82**(4): 676–686.
- Habič P., 1989 – *Kraška bifurkacija Pivke na jadransko črnorskem razvodju*. Acta carsologica, **18**: 233-264.
- Han G., Liu C.-Q., 2004 – *Water geochemistry controlled by carbonate dissolution: a study of the river waters draining karst-dominated terrain, Guizhou Province, China*. Chem. Geol., **204**: 1-21.
- Haq B.U., Hardenbol J., Vail P.R., 1987 – *Chronology of fluctuating sea levels since the Triassic*. Science, **235**(4793): 1156-1167.
- ISO 748:2007 – Hydrometry. Measurement of liquid flow in open channels using current-meters or floats.
- ISO/TS 24154:2005 – Hydrometry. Measuring river velocity and discharge with acoustic Doppler profilers.
- Johnson T.M., DePaolo D.J., 1994 – *Interpretation of isotopic data in groundwater-rock systems: model development and application to Sr isotope data from yucca Mountain*. Water Resour. Res., **30**: 1571-1587.
- Johnson T.M., Roback R.C., McLing T.L., Bullen T.D., DePaolo D.J., Doughty C., Hunt R.J., Smith R.W., DeWayne Cecil L., Murrell M.T., 2000 – *Groundwater "fast paths" in the Snake River Plain aquifer: radiogenic isotope ratios as natural groundwater tracers*. Geology, **28**: 871-874.
- Jurkovšek B., 2010 – *Geoloska karta severnega dela Trzasko-komenske planote 1:25 000*. Ljubljana: Geoloski zavod Slovenije.
- Jurkovšek B., Tešovič B.C., Kolar- Jurkovšek T., 2013 – *Geologija Krasa, Geology of Kras*. Geološki zavod Slovenije, Ljubljana.
- Jurkovšek B., Toman M., Ogorelec B., Šribar L., Drobne K., Poljak M., Šribar Lj., 1996 – *Formacijska Geološka Karta južnega dela Tržaško-Komenske Planote. Kredne in paleogenske karbonatne kamnine/Geological Map of the Southern part of the Trieste-Komen plateau (Slovenia), 1:50.000*. Inštitut za geologijo, geotehniko in geofiziko, Ljubljana, 143p.
- Jurkovšek B., Kolar-Jurkovšek T., 1995 – *Upper Cretaceous ray Rhinobatos from the Lipica formation near Dobravlje (Trieste – Komen Plateau, Slovenia)*. Annales, Series Historia Naturalis, **5**(1).
- Jurkovšek B., Kolar-Jurkovšek T., 2007 – *Fossil assemblages from the Upper Cretaceous Komen and Tomaj Limestones of Kras (Slovenia)*. Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie – Abhandlungen, **245**(1): 83-92.
- Katz B.G., Bullen T.D., 1996 – *The combined use of <sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr and carbon and water isotopes to study the hydrochemical interaction between groundwater and lakewater in mantled karst*. Geochim. Cosmochim. Acta, **60**: 5075-5087.
- Kogovšek J. & Petrič M., 2007 – *Directions and dynamics of flow and transport of contaminants from the landfill near Sežana (SW Slovenia)*. Acta carsologica, **36**(3): 413-424.
- Kranjc A., 2000 – *Karst Water Research in Slovenia*. Acta carsologica, **29**(1): 117-125.
- Kranjc A. (ur.), Likar V., Žalik Huzjan M., 1999 – *Kras: pokrajina, življenje, ljudje*. Založba ZRC SAZU, Ljubljana.
- Košir A., 2003 - *Litostratigrafska revizija zgornje krede in paleogena v jugozahodni Sloveniji*. Geološki zbornik, **17**: 92-98, Ljubljana.
- Košir A., 2004 - *Microcodium revisited: root calcification products of terrestrial plants on carbonate-rich substrates*. J. Sediment. Res., **74**: 845-857.
- Krivic P., Drobne F., Juren A., Kokol L., Strojjan M. and Ravnikar B., 1986 – *Letno poročilo 1986. Pitne, tehnološke in mineralne vode. Hidrogeološke raziskave vodnih virov v karbonatnih kamninah. Letno poročilo hidrogeološke raziskave zaledja vodnih virov pri Klaričih*. Geological Survey of Slovenia, Report No. 2956, Ljubljana.
- Lenaz D., Princivalle F., 1996 – *Crystal-chemistry of detrital chromites in sandstones from Trieste (NE Italy)*. Neues Jahrbuch für Mineralogie, Monatshefte, **9**: 429-434.
- Lenaz D., De Min A., Longo Salvador G., Princivalle F., 1996 – *Caratterizzazione mineralogica della terra rossa di dolina del Carso Triestino*. Boll. Soc. Adr. Sc., **77**: 59-67.
- Ludwig K.R., 1994 – *Analyst. A computer program for control of a thermal-ionization single-collector mass spectrometer*. USGS. Open-file report, 92-543.
- Margat J., 1968 – *Vulnérabilité des nappes d'eau souterraine à la pollution*. BRGM Publication 68 SGL 198 HYD, Orléans, France, 10p.
- Martinis B., 1951 – *Carta geologica delle Tre Venezie. Foglio 40° "Gorizia"*. Uff. Idrogr. Acque Venezia, Firenze.

- Merlak E., Brun C., Gemiti F., Semeraro R., 2007 – *Chemistry of percolation and base-flow water in the Carso/Kras for the knowledge of the strategic reservoir in Trieste and Slovenian karst plateau*. 6th Symposium on Karst Protection, 29-30 September 2007 Beograd (Serbia).
- Mosetti F., D'Ambrosi C., 1963 – *Alcune ricerche preliminari in merito a supposti legami di alimentazione fra il Timavo e l'Isonzo*. Bollettino di Geofisica Teorica e Applicata, **5**(17): 69-84.
- Mosetti F., 1965 – *Nuova interpretazione di un esperimento di marcatura radioattiva del Timavo*. Bollettino di Geofisica teorica e applicata, **7**(27): 218-243.
- Musgrove M., Banner J.L., 2004 – *Controls on the spatial and temporal variability of vadose dripwater geochemistry: Edwards Aquifer, central Texas*. Geochim. Cosmochim. Acta, **68**: 1007-1020.
- Musgrove M., Stern L.A., Banner J.L., 2010 – *Springwater geochemistry at Honey Creek State Natural Area, central Texas: implications for surface water and groundwater interaction in a karst aquifer*. J. Hydrol., **388**: 144-156.
- Négre Ph., Petelet-Giraud E., 2004 – *Strontium isotopes as tracers of groundwater-induced floods: the Somme case study (France)*. J. Hydrol., **305**: 99-119.
- Oetting G.C., Banner J.L., Sharp J.M.Jr., 1996 – *Regional controls on the geochemical evolution of saline groundwaters in the Edwards aquifer, central Texas*. J. Hydrol., **181**: 251-283.
- Ogorelec B., Dolenc T., Cucchi C., Giacomich R., Drobne K., Pugliese N., 1995 -*Sedimentological and Geochemical Characteristics of Carbonate Rocks from the K/T boundary to Lower Eocene in the Karst Area (NW Adriatic Platform)*. First Croatian Geological Congress, Opatija, 415-421.
- Otoničar B., 2007 – *Upper Cretaceous to Paleogene forbulge unconformity associated with foreland basin evolution (Kras, Matarsko Podolje and Istria; SW Slovenia and NW Croatia)*. Acta Carsologica, **36**(1): 101-120.
- Palci A., Jurkovšek B., Kolar-Jurkovšek T., Caldwell M.W., 2008 – *New palaeoenvironmental model for the Komen (Slovenia) Cenomanian (Upper Cretaceous) fossil lagerstätte*. Cretaceous Research, **29**(2): 316-328.
- Palmer M.R. and Edmond J.M., 1992 – *Controls over the strontium isotope composition of river water*. Geochim. Cosmochim. Acta, **56**: 2099-2111.
- Peric B., Gabrovšek F., Boschin W., Kogovšek J. & Krafft H., 2012 – *Karst water course tracing between ponor and springs: the Reka river example, Kras/Carso, SW Slovenia-NE Italy*. In: Šebela S. (Ed.) – International Congress on "Scientific Research in Show Caves", 13th to 15th September 2012, Postojna: 32-33.
- Petrini R., Italiano F., Ponton M., Slejko F.F., Aviani U., Zini L., 2013 – *Geochemistry and isotope geochemistry of the Montefalcone thermal waters (Northern Italy): interference on the deep geothermal reservoir*. Hydrogeol J., **21**: 1275-1287.
- Pirini Radrizzani C., Pugliese N. & Stocca G., 1987 – *The Cretaceous–Tertiary boundary at the Monte Grisa (Karst of Trieste–Italy)*. Mem. Soc. Geol. It., **53**–66.
- Placer L., 2007 – *Kraški rob (landscape term) Geologic section along the motorway Kozina – Koper (Capodistria)*. Geologija, **50**(1): 29-44.
- Placer L., Vrabc M., Celarc B., 2010 – *The base for understanding of the NW Dinarides and Istria Peninsula tectonics*. Geologija, **53**(1): 55-86.
- Pleničar M., Polsak A., Sikic D., 1973 – *Osnovna Geološka karta SFRJ, list Trst, 1:100.000*. Zvezni Geoloski Zavod, Beograd.
- Pugliese N., Drobne K., Barattolo F., Caffau M., Galvani R., Kedves M., Montenegro M.E., Pirini Radrizzani C., Pleničar M., Turnšek D., 1995 – *Micro- and Macrofossils from K/T Boundary Through Paleocene in the Northern Adriatic Platform*. First Croatian Geological Congress, Opatija, 505-513.
- 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.
- Ravbar N., Goldscheider N., 2009 – *Comparative application of four methods of groundwater vulnerability mapping in a Slovene karst catchment*. Hydrogeology Journal, **17**: 725-733.
- Sacco F., 1922 - *Schema di Carta geologica della Venezia Giulia: Zona meridionale (Istria)*; composta e disegnata per la Società Alpina delle Giulie (Sezione di Trieste del Club Alpino Italiano): scala 1:200.000 per le lunghezze; 1:100.000 per le altezze.
- Samež D., Casagrande G., Cucchi F., Zini L., 2005 – *Idrodinamica dei laghi di Doberdò e di Pietrarossa (Carso Classico, Italia). Relazioni con le piene dei fiumi Isonzo, Vipacco e Timavo*. Atti e Memorie Commissione Grotte "E. Boegan", **40**: 13-152.
- Sawicki L., 1909 – *Ein Beitrag zum geographischen Zyklus Karst*. Geographisches Zeitschrift, **15**: 185-204.
- Sket B., Velkoverh F., 1980 – *Postojnsko-planinski jamski sistem kot model za proučevanje onesnaženja podzemeljskih voda (The Postojna-Planina Cave System as a model for the investigations of the polluted subterranean rivers)*. Naše Jame, **22**: 27-44.
- Sket B., Bole J., 1981 – *Organizmi kot indikatorji podzemeljskih vodnih povezav (Organisms as indicators of subterranean water connections)*. Naš Krš, **10-11**: 243-252.



- Spada P., Lenaz D., Longo Salvador G., De Min A., 2002 – *Mappa geochimica preliminare dei suoli di dolina del Carso triestino: analisi geostatistica e implicazioni genetiche*. Mem. Soc. Geol. It., **57**: 569-575.
- Stammer H.J., 1932 – *Die Fauna des Timavo – ein Beitrag zur Kenntnis der Höhlengewässer, des Süß- und Brackwassers im Karst*. Zoologische Jahrbücher. Abteilung für Systematik, Geographie und Biologie der Tier 63.
- Stoch F., Dolce S., 1994 – *Progetto Timavo: risultati delle indagini sulla fauna delle acque sotterranee*. Atti e Memorie della Commissione Grotte "E. Boegan", **31**: 59-71.
- Tarao A., Tunis G., Venturini S., 2005 – *Dropstones, pseudoplanktonic forms and deep-water decapod crustaceans within a Lutetian condensed succession of central Istria (Croatia): relation to paleoenvironmental evolution and palaeogeography*. Science Direct – Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, **218**: 325-345.
- Tewari V.C., Stenni B., Pugliese N., Drobne K., Riccamboni R., Dolenc T., 2007 – *Peritidal depositional facies and carbon isotope variation across K/T boundary carbonates from NW Adriatic platform*. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, **255**: 77-86.
- Timeus, G., 1928 – *Nei misteri del mondo sotterraneo: risultati delle ricerche idrogeologiche sul Timavo 1895–1914, 1918–1927*. Atti e Memorie Commissione Grotte "E. Boegan", **22**: 117-133.
- Tišljar J. & Velić I., 1991 – *Carbonate facies and depositional environments of the Jurassic and Cretaceous deposits of the Karst dinarides (Croatia)*. Geol. Vjesnik, **44**: 215-234.
- Tišljar J., Vlahović I., Velić I., Sokač B., 2002 – *Carbonate Platform Megafacies of the Jurassic and Cretaceous Deposits of the Karst Dinarides*. Geol. Croat., **55**(2): 139-170.
- Tunis G., Pugliese N., Jurkovišek B., Ogorelec B., Drobne K., Riccamboni R., Tewari V. C., 2011 - *Microbialites as markers of biotic and abiotic events in the Karst district, Slovenia and Italy*. In: Tewari, V. C. & Seckbach, J. (Eds.). *Stromatolites: interaction of microbes with sediments, Cellular origin and life in extreme habitats and astrobiology*, **18**. Dordrecht [etc.], Springer: 251-272.
- Urbanc J., Kristan S., 1998 – *Isotope investigation of the Brestovica water source during an intensive pumping test*. RMZ – Materials and Geoenvironment, **45**(1–2): 87-191.
- Urbanc J., Mezga K., and Zini L., 2012 – *An assessment of capacity of Brestovica – Klariči karst water supply (Slovenia)*. Acta Carsologica, **41**(1): 89-100, DOI: <http://dx.doi.org/10.3986/ac.v41i1.50>.
- Valvasor J.W., 1689 – *Die Ehre dess Herzogthums Crain*. Ljubljana and Nürnberg, Endter, 4 vols. (Vol.1, Buch IV, pp.519-520; Vol.4., Buch XIII, pp.3-11).
- Vavassori G.A., 1553 – *La vera descrizione del Friuli*.
- Venturini S., 2005 – *L'evento a Keramosphaerina tergestina: considerazioni bio-cronostratigrafiche = The Keramosphaerina tergestina event: bio-chronostratigraphic aspects*. Natura Nascosta, **31**: 15-22.
- Velić I., Vlahović J., Matičec D., 2002 – *Depositional sequences and Palaeogeography of the Adriatic Carbonate Platform*. Mem. Soc. Geol. It., **57**: 141-151.
- Vlahović I., Tišljar J., Velić I., Matičec D., 2005 – *Evolution of the Adriatic Carbonate Platform: Paleogeography, main events and depositional dynamics*. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, **220**: 333-360.
- Vías J.M., Andreo B., Perles J.M., Carrasco F., Vadillo I., 2006 – *Proposed method for groundwater vulnerability mapping in carbonate (karstic) aquifers: the COP method: application in two pilot sites in southern Spain*. Hydrogeology Journal, **14**(6): 912-925.
- Vrba J., Zaporozec A. (Eds.), 1994 – *Guidebook on Mapping Groundwater Vulnerability. International Contributions to Hydrogeology*, 16, Verlag Heinz Heise, Hannover, Germany, 131 p.
- Vreča P., Krajcar Bronić I., Horvatinčić N., and Barešić J., 2006 – *Isotopic characteristics of precipitation in Slovenia and Croatia: Comparison of continental and maritime stations*. J. Hydrol., **330**: 457-469, DOI: 10.1016/j.jhydrol.2006.04.005.
- White W.B., Culver D.C., 2012 – *Encyclopedia of Caves*. Elsevier Inc.
- Zini L., Calligaris C., Treu F., Zavagno E., Iervolino D., Lippi F., 2013 – *Groundwater sustainability in the Friuli Plain*. AQUA mundi, **4**: 41-54.
- Zini L., Calligaris C., Zavagno E., 2014 – *Classical Karst hydrodynamics: a shared aquifer within Italy and Slovenia*. ISSN: 0144-7815. IAHS Publication, **364**: 499-504.
- Zini L., Visintin L., Cucchi F., Boschin W., 2011 – *Potential impact of a proposed railway tunnel on the karst environment: the example of Rosandra valley, classical karst region, Italy-Slovenia*. Acta Carsologica, **40**(1): 207-218.
- Zwahlen F., 2004 – *Vulnerability and Risk Mapping for the Protection of Carbonate (Karstic) Aquifers*. Final report COST action 620 – European Commission, Directorate-General for Research, Brüssel, Luxemburg, 297 p.

Publicazione 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 Matematica e Geoscienze dell'Università degli Studi di Trieste; Geološki zavod Slovenije; Znanstvenoraziskovalni center Slovenske akademije znanosti in umetnosti - Inštitut za raziskovanje krasa; AcegasApsAmga Gruppo Hera; Kraški Vodovod Sežana d.o.o.; Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia – Direzione centrale ambiente, energia e politiche per la montagna; Nacionalni inštitut za biologijo.

*Publikacija sofinancirana v okviru Programa čezmejnega sodelovanja Slovenija-Italija 2007-2013 iz sredstev Evropskega sklada za regionalni razvoj in nacionalnih sredstev.*

*Vsebina publikacije ne odraža nujno uradnega stališča Evropske unije.*

*Za vsebino publikacije so odgovorni izključno avtorji Dipartimento di Matematica e Geoscienze dell'Università degli Studi di Trieste, Geološki zavod Slovenije, Znanstvenoraziskovalni center Slovenske akademije znanosti in umetnosti - Inštitut za raziskovanje krasa, AcegasApsAmga Gruppo Hera, Kraški Vodovod Sežana d.o.o., Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia – Direzione centrale ambiente, energia e politiche per la montagna, Nacionalni inštitut za biologijo.*



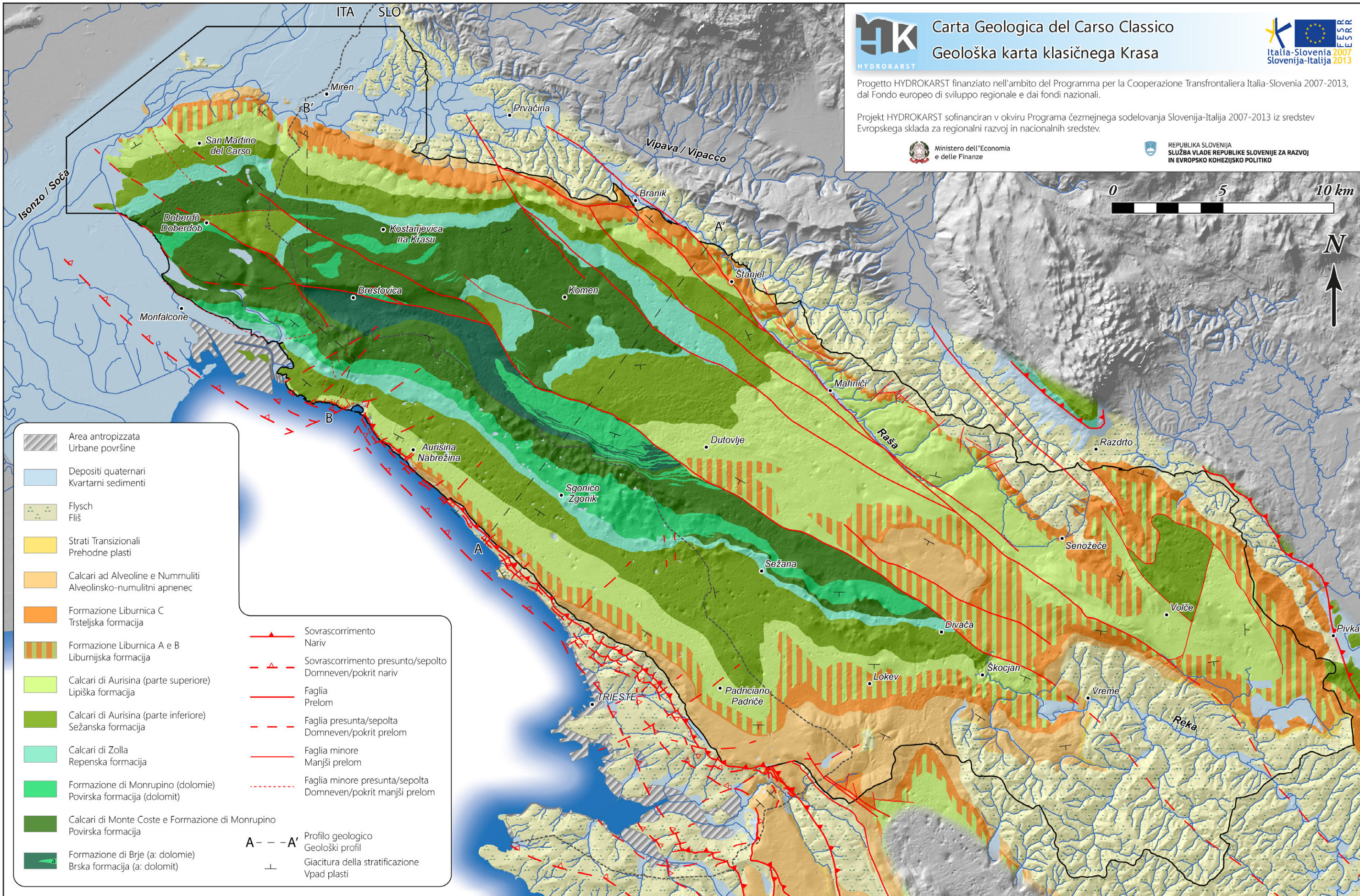


Carta Geologica del Carso Classico  
Geološka karta klasičnega Krasa



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

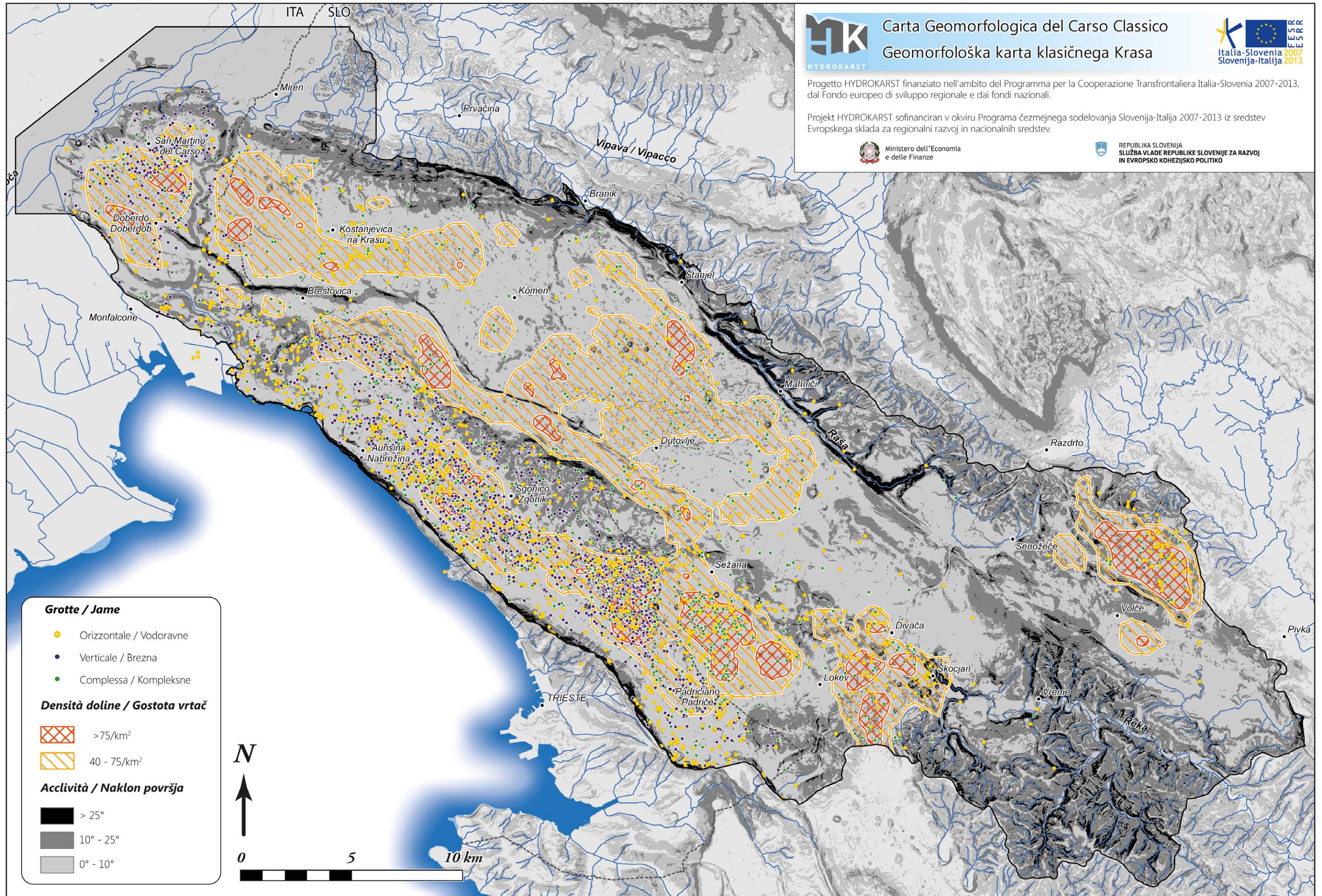
Projekt HYDROKARST sofinanciran v okviru Programa čezmejnega sodelovanja Slovenija-Italija 2007-2013 iz sredstev Evropskega sklada za regionalni razvoj in nacionalnih sredstev.



- Area antropizzata  
Urbane površine
- Depositi quaternari  
Kvartarni sedimenti
- Flysch  
Fliš
- Strati Transizionali  
Prehodne plasti
- Calcari ad Alveoline e Nummuliti  
Alveolinsko-numulitni apnenec
- Formazione Liburnica C  
Trsteljska formacija
- Formazione Liburnica A e B  
Liburnijska formacija
- Calcari di Aurisina (parte superiore)  
Lipiška formacija
- Calcari di Aurisina (parte inferiore)  
Sežanska formacija
- Calcari di Zolla  
Repenska formacija
- Formazione di Monrupino (dolomie)  
Povirska formacija (dolomit)
- Calcari di Monte Coste e Formazione di Monrupino  
Povirska formacija
- Formazione di Brje (a: dolomie)  
Brska formacija (a: dolomit)

- Sovrascorrimento  
Nariv
- Sovrascorrimento presunto/sepolto  
Domneven/pokrit nariv
- Faglia  
Prelom
- Faglia presunta/sepolta  
Domneven/pokrit prelom
- Faglia minore  
Manjši prelom
- Faglia minore presunta/sepolta  
Domneven/pokrit manjši prelom
- Profilo geologico  
Geološki profil
- Giacitura della stratificazione  
Vpad plasti



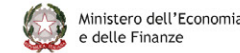


Carta Geomorfologica del Carso Classico  
 Geomorfološka karta klasičnega Krasa



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

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



**Grotte / Jame**

- Orizzontale / Vodoravne
- Verticale / Brezna
- Complessa / Kompleksne

**Densità doline / Gostota vrtač**

- > 75/km<sup>2</sup>
- 40 - 75/km<sup>2</sup>

**Acclività / Naklon površja**

- > 25°
- 10° - 25°
- 0° - 10°





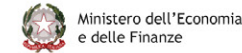


Carta Idrogeologica del Carso Classico  
 Hidrogeološka karta klasičnega Krasa



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

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



Test di tracciamento / Sledilni poskus

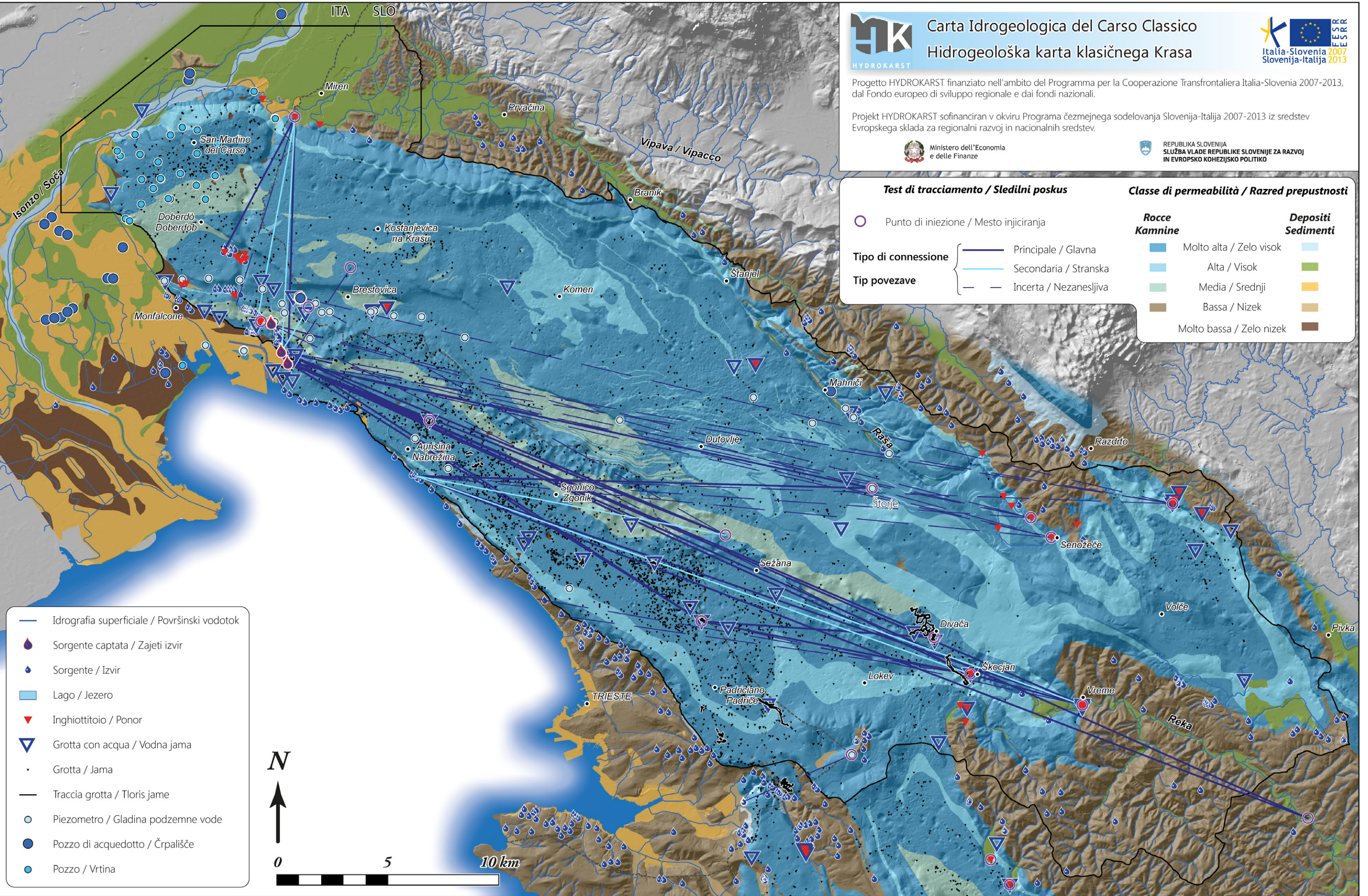
○ Punto di iniezione / Mesto injiciranja

Tipo di connessione  
 Tip povezave

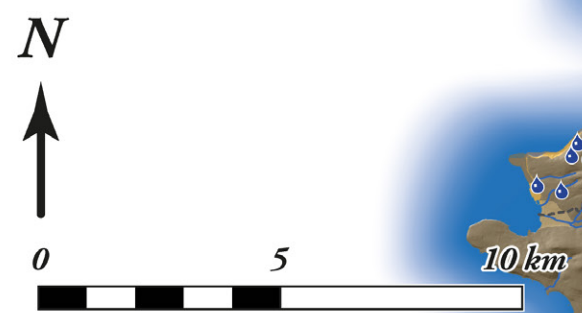
— Principale / Glavna  
 — Secondaria / Stranska  
 - - Incerta / Nezanesljiva

Classe di permeabilità / Razred prepustnosti

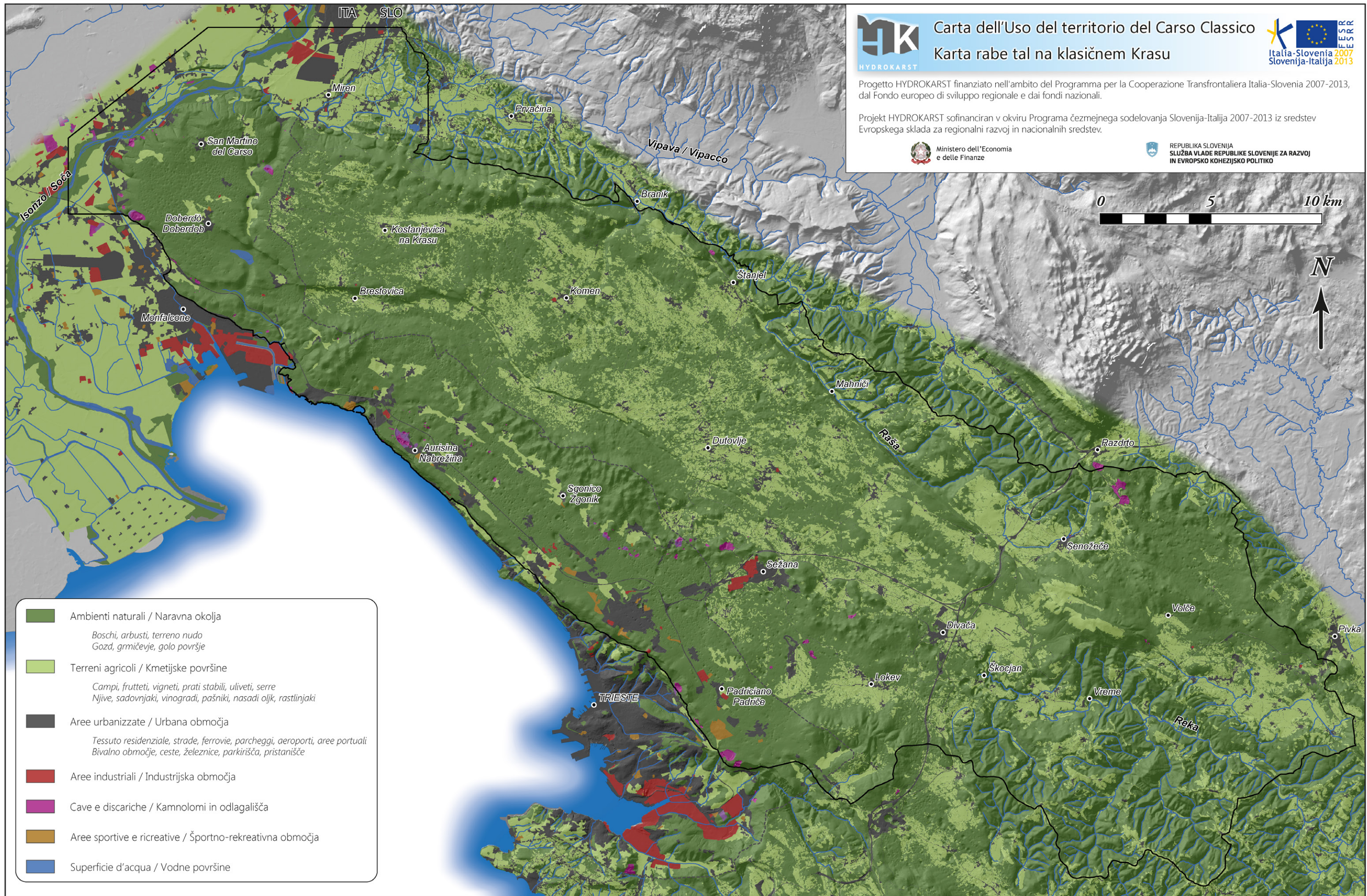
Rocce Kamnine	Depositi Sedimenti
■ Molto alta / Zelo visok	■
■ Alta / Visok	■
■ Media / Srednji	■
■ Bassa / Nizek	■
■ Molto bassa / Zelo nizek	■



- Idrografia superficiale / Površinski vodotok
- Sorgente captata / Zajeti izvir
- Sorgente / Izvir
- Lago / Jezero
- ▼ Inghiottoio / Ponor
- ▽ Grotta con acqua / Vodna jama
- Grotta / Jama
- Traccia grotta / Tloris jame
- Piezometro / Gladina podzemne vode
- Pozzo di acquedotto / Črpališče
- Pozzo / Vrtina







Carta dell'Uso del territorio del Carso Classico  
 Karta rabe tal na klasičnem Krasu



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

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



- Ambienti naturali / Naravna okolja  
*Boschi, arbusti, terreno nudo  
 Gozd, grmičevje, golo površje*
- Terreni agricoli / Kmetijske površine  
*Campi, frutteti, vigneti, prati stabili, uliveti, serre  
 Njive, sadovnjaki, vinogradi, pašniki, nasadi oljk, rastlinjaki*
- Aree urbanizzate / Urbana območja  
*Tessuto residenziale, strade, ferrovie, parcheggi, aeroporti, aree portuali  
 Bivalno območje, ceste, železnice, parkirišča, pristanišče*
- Aree industriali / Industrijska območja
- Cave e discariche / Kamnolomi in odlagališča
- Aree sportive e ricreative / Športno-rekreativna območja
- Superficie d'acqua / Vodne površine

Tavola 4 – Carta dell'Uso del territorio del Carso Classico  
 Priloga 4 – Karta rabe tal na klasičnem Krasu





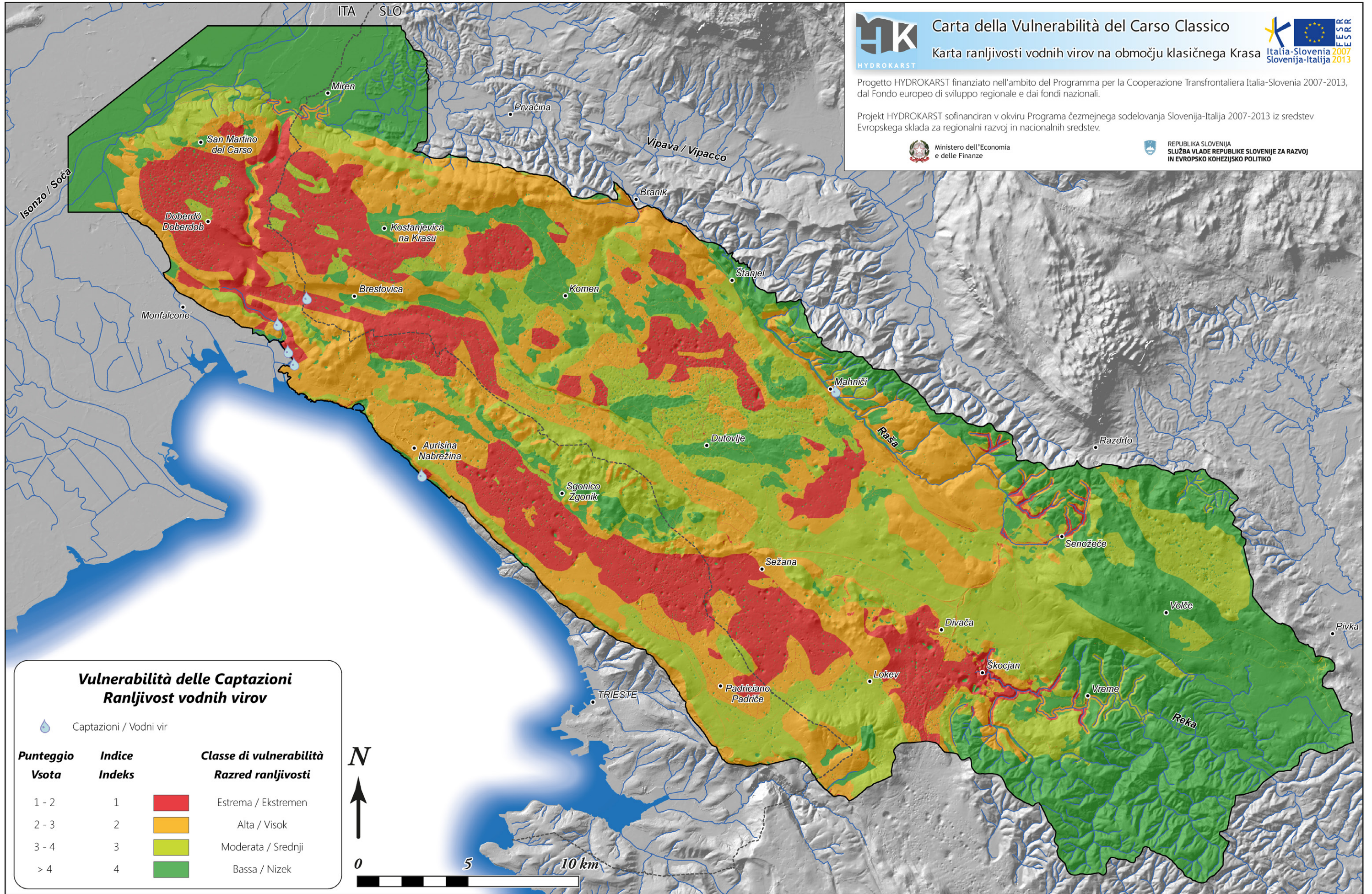
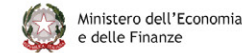
# Carta della Vulnerabilità del Carso Classico

## Karta ranljivosti vodnih virov na območju klasičnega Krasa



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

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



### Vulnerabilità delle Captazioni Ranjivost vodnih virov

Captazioni / Vodni vir

Punteggio Vsota	Indice Indeks	Classe di vulnerabilità Razred ranljivosti
1 - 2	1	Estrema / Ekstremen
2 - 3	2	Alta / Visok
3 - 4	3	Moderata / Srednji
> 4	4	Bassa / Nizek







ISBN 978-88-8303-621-7



9 788883 036217 >

[WWW.HYDROKARST-PROJECT.EU](http://WWW.HYDROKARST-PROJECT.EU)

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

*Projekt 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