

L.R. 15/2016, art. 7  
L.R. 9/2024, art. 10, c. 2

B.U.R. 11/6/2025, n. 24

Decreto del Direttore del Servizio geologico 29 maggio 2025, n. 27484 GRFVG -  
CSR/PRO/1

**Legge regionale 14 ottobre 2016, n. 15, art. 7, commi 1 e 2. Approvazione dei criteri per l'individuazione delle aree carsiche, dei relativi acquiferi carsici, delle zone sorgentifere e delle aree di ricarica dell'acquifero carsico e loro individuazione.**

## IL DIRETTORE DEL SERVIZIO

VISTA la legge regionale 14 ottobre 2016, n. 15 "Disposizioni per la tutela e la valorizzazione della geodiversità, del patrimonio geologico e speleologico e delle aree carsiche", con la quale la Regione Autonoma Friuli-Venezia Giulia assicura la conservazione e la valorizzazione del patrimonio geologico e speleologico regionale, delle forre, delle aree carsiche e dei relativi acquiferi ed in particolare:

- l'articolo 7, comma 1, nel quale è previsto che la struttura regionale competente in materia di geologia approvi i criteri per l'individuazione delle aree carsiche, dei relativi acquiferi carsici, delle zone sorgentifere, delle aree di ricarica dell'acquifero carsico e provveda alla loro successiva individuazione con proprio decreto, pubblicato sul Bollettino ufficiale della Regione e sul sito istituzionale della Regione;

- l'articolo 7, comma 2, della legge regionale 15/2016, prevede che all'interno delle aree carsiche la Regione individui le aree soggette ad infiltrazione diffusa, le aree soggette ad infiltrazione concentrata e le zone sorgentifere;

VISTA la legge regionale 17 aprile 2014, n. 7 (Disposizioni in materia di dati aperti e loro riutilizzo) che dispone che la Regione riconosca a ogni cittadino il diritto di accedere, mediante sistemi informatici, in condizioni di eguaglianza, alle informazioni e ai servizi on-line forniti dalla Regione, demandando ad un regolamento attuativo l'individuazione delle modalità di pubblicazione dei dati, delle informazioni e dei documenti contenenti dati pubblici e le modalità di gestione e aggiornamento del portale regionale di accesso ai medesimi;

VISTO il Regolamento approvato con D.P.Reg. 21 luglio 2008, n. 0174/Pres. che all'articolo 2 stabilisce che la diffusione e la cessione dei dati e delle informazioni cartografiche e territoriali di proprietà dell'Amministrazione regionale siano diffusi e ceduti a titolo gratuito mediante i servizi messi a disposizione dall'Infrastruttura Regionale di Dati Ambientali e Territoriali (IRDATfvg)

VISTA la Delib.G.R. 19 giugno 2020, n. 893 (Articolazione organizzativa generale dell'Amministrazione regionale e articolazione e declaratoria delle funzioni delle strutture organizzative della Presidenza della Regione, delle Direzioni centrali e degli Enti regionali) e successive modifiche e integrazioni che attribuisce al Servizio geologico della Direzione centrale difesa dell'ambiente, energia e sviluppo sostenibile la competenza in materia di geologia

DATO atto che la Regione, per tramite del Servizio geologico e del Servizio gestione risorse idriche della Direzione centrale difesa dell'ambiente, energia e sviluppo sostenibile, ha realizzato un progetto pluriennale di collaborazione con il Dipartimento di Matematica, Informatica e Geoscienze dell'Università degli Studi di Trieste, sviluppato in sinergia e cooperazione con gli Enti gestori del servizio idrico integrato del FVG e l'Autorità unica per i servizi idrici e i rifiuti (AUSIR), nell'ambito del quale sono stati individuati e testati i criteri e le metodologie per l'individuazione e classificazione delle aree ed acquiferi carsici nonché dei tematismi previsti da dall'art. 7 comma 2 della legge regionale 15/2016, successivamente applicati su tutto il territorio regionale portando all'individuazione di 87 aree ed acquiferi carsici regionali e transfrontalieri, come riportato nel documento tecnico finale, sottoscritto dai responsabili scientifici della collaborazione, che si approva facendolo proprio;

RITENUTO per quanto in premessa di approvare i criteri per l'individuazione delle aree carsiche, dei relativi acquiferi carsici, delle zone sorgentifere e delle aree di ricarica

dell'acquifero carsico, di cui all'art. 7 comma 1 della L.R. 15/2016 e riportati nell'Allegato 1, paragrafi da 2 a 7;

RITENTO altresì di individuare le aree carsiche ed i relativi acquiferi, le aree ad infiltrazione concentrata e le aree ad infiltrazione diffusa di cui all'art. 7 comma 1 e comma 2 della L.R. 15/2016 e riportati nell'Allegato 1, paragrafo 8;

VISTO il Regolamento di organizzazione dell'Amministrazione regionale e degli Enti regionali, approvato con D.P.Reg. 277/Pres. del 27 agosto 2004 e successive modifiche e integrazioni; VISTA la Delib.G.R. n. 1732 del 10 novembre 2023 con la quale è stato conferito l'incarico di direttore del Servizio geologico;

#### DECRETA

1. Di approvare i criteri per l'individuazione delle aree carsiche, dei relativi acquiferi carsici, delle zone sorgentifere e delle aree di ricarica dell'acquifero carsico, come riportati nell'Allegato 1, paragrafi da 2 a 7.
2. Di individuare le aree carsiche ed i relativi acquiferi, le aree ad infiltrazione concentrata e le aree ad infiltrazione diffusa come riportati nell'Allegato 1, paragrafo 8.
3. Di pubblicare i dati e relativi metadati di cui al punto 2 sul sito istituzionale della Regione, per tramite dell'Infrastruttura Regionale dei Dati Ambientali e Territoriali (IRDATfvg) in formato aperto e liberamente scaricabile;
4. Di pubblicare il presente decreto sul Bollettino ufficiale della Regione.

Trieste, 29 maggio 2025

**Legge regionale 14 ottobre 2016, n. 15, art. 7, comma 1. Approvazione dei criteri per l'individuazione delle aree carsiche, dei relativi acquiferi carsici, delle zone sorgentifere e delle aree di ricarica dell'acquifero carsico e loro individuazione**

## Sommario

1. Premessa.....	2
2. Criteri di individuazione delle aree carsiche.....	3
3. Criteri di classificazione.....	4
4. Criteri per l'individuazione degli acquiferi carsici e relative aree di ricarica.....	4
5. Criteri per l'individuazione delle aree soggette ad infiltrazione concentrata e delle aree soggette ad infiltrazione diffusa.....	5
6. Criteri per l'individuazione delle aree sorgentifere.....	6
7. Modello concettuale.....	6
8. Individuazione delle aree carsiche, dei relativi acquiferi carsici, delle sorgenti e delle aree di ricarica, in applicazione all'art.7 della L.R. 15/2016.....	7

## 1. **Premessa**

La Legge regionale 14 ottobre 2016, n. 15 '*Disposizioni per la tutela e la valorizzazione della geodiversità, del patrimonio geologico e speleologico e delle aree carsiche*' ha istituzionalizzato una visione d'insieme del fenomeno carsico, riconoscendo il legame indissolubile tra le grotte, le aree carsiche e gli acquiferi carsici. La norma regionale dispone che il Servizio geologico approvi i **criteri per l'individuazione delle aree carsiche, dei relativi acquiferi carsici, delle zone sorgentifere, delle aree di ricarica dell'acquifero carsico** e provveda alla loro successiva individuazione con proprio decreto, pubblicato sul Bollettino ufficiale della Regione e su proprio sito istituzionale, trasmesso ai Comuni interessati che ne danno pubblicità nelle forme idonee (art. 7, comma 1).

Nell'ambito di tale caratterizzazione, l'art. 7 comma 2 prevede che la Regione individui all'interno delle aree carsiche del Friuli Venezia Giulia i seguenti tematismi:

- a) **aree soggette a infiltrazione diffusa**, ovvero porzioni di territorio caratterizzate dall'affioramento di rocce carsificabili, eventualmente coperte da depositi detritici, su cui si sia sviluppata una copertura vegetale;
- b) **aree soggette a infiltrazione concentrata**, ovvero porzioni di territorio caratterizzate dall'affioramento di rocce carsificabili denudate e/o dalla presenza di morfologie carsiche superficiali, che condizionano le modalità di infiltrazione delle acque nel sottosuolo, quali doline, inghiottitoi, polje, valli cieche o asciutte;
- c) **zone sorgentifere**, ovvero zone in cui sono ubicate le sorgenti del sistema carsico, nelle quali emerge una parte della risorsa idrica; le sorgenti possono essere costituite anche da grotte sature d'acqua.

Per ottemperare alle finalità di cui sopra, l'art.7 comma 3 prevede che la Regione acquisisca le necessarie informazioni di carattere geologico, geomorfologico ed idrogeologico, che comprendono peraltro la redazione di **carte idrogeologiche e di vulnerabilità**.

Le definizioni di area carsica e delle morfologie/aspetti ad essa correlati sono già disciplinate dalla stessa L.R. 15/2016 art. 2 comma 1 lettera da f) a j). Tali definizioni, tratte dalla bibliografia scientifica di riferimento ed universalmente riconosciute, nonché in linea con altre leggi di settore emanate da altre Regioni, sono qui interamente riportate per una lettura esaustiva del presente documento:

- f) **area carsica**: zona formata da rocce carsificabili, solubili, nelle quali l'idrografia di superficie è limitata e il sottosuolo è caratterizzato da sistemi carsici; le aree carsiche sono caratterizzate in superficie da forme quali depressioni chiuse, doline, campi solcati, valli cieche, inghiottitoi e zone sorgentifere;
- g) **forma carsica**: morfologia epigea o ipogea dovuta al processo carsico;
- h) **sistema carsico**: complesso di forme carsiche ipogee ed epigee organicamente e funzionalmente collegate tra loro e parzialmente o totalmente occupate dall'acqua;
- i) **grotta**: cavità carsica sotterranea di origine naturale, chiusa parzialmente o totalmente, di dimensioni accessibili all'uomo con sviluppo lineare superiore a 5 metri;
- j) **acquifero carsico**: serbatoio idrico sotterraneo sviluppato in ammassi rocciosi dotati di permeabilità per fessurazione, fratturazione e carsismo caratterizzato da una zona di trasferimento verticale, non satura, e da una zona di trasferimento orizzontale satura o parzialmente satura;

## 2. **Criteri di individuazione delle aree carsiche**

Ai fini della delimitazione e caratterizzazione delle aree ed acquiferi carsici regionali sono stati individuati 4 criteri, inevitabilmente correlati e condizionanti gli uni con gli altri:

1. **Criterio litologico:** un'area carsica è una porzione di territorio contraddistinta dalla **presenza di rocce solubili o carsificabili** (calcari, dolomie, brecce/conglomerati carbonatici, evaporiti) caratterizzate da una porosità secondaria per fessurazione e/o carsismo. Questa condizione determina dei processi di dissoluzione, riconducibili per l'appunto al concetto di carsismo: nei carbonati l'acqua piovana, che assorbe anidride carbonica dall'atmosfera e forma acido carbonico debole, penetra nel terreno e dissolve le rocce, creando le tipiche strutture carsiche esterne ed interne; nelle evaporiti il processo è legato alla solubilizzazione semplice (per dissociazione e senza l'intervento di acidi) della roccia. Tali condizioni geologiche conferiscono alle aree carsiche degli aspetti geomorfologici ed idrogeologici peculiari, di cui ai criteri successivi;
2. **Criterio geomorfologico superficiale:** le aree carsiche sono caratterizzate da una **limitata idrografia superficiale** e dalla presenza di peculiari **morfortipi epigei** (valli cieche, doline, campi solcati, inghiottitoi etc.), condizionati nella genesi e nell'evoluzione dall'assetto strutturale dell'ammasso roccioso (stratificazione, faglie e sistema fessurativo).  
Le aree carsiche possono inoltre essere soggette a fenomeni di collasso e sprofondamenti dovuti alla creazione di vuoti sotterranei per dissoluzione della roccia e all'eventuale collasso degli strati sovrastanti.
3. **Criterio geomorfologico sotterraneo:** i processi dissolutivi/erosivi dell'acqua all'interno dell'ammasso roccioso di un'area carsica determinano spesso la formazione di grotte, costituite da **morfortipi ipogei** quali gallerie, pozzi, caverne, meandri, abissi etc., la cui genesi ed evoluzione sono condizionate dal sistema di discontinuità dell'ammasso roccioso.  
Alcune di queste grotte consentono di raggiungere la zona satura degli acquiferi, costituendo delle vere e proprie finestre idrogeologiche sulla risorsa idrica. Diverse cavità sono talvolta interconnesse tra di loro e danno origine a complessi carsici dagli sviluppi chilometrici.  
Le grotte sono censite nell'ambito delle attività del Catasto speleologico regionale, che si configura quale centro di raccolta dati e di studi del patrimonio speleologico, delle aree carsiche e degli acquiferi carsici.
4. **Criterio idrogeologico:** nella mappatura delle aree carsiche, ovvero nella perimetrazione e caratterizzazione delle stesse, non si può prescindere dall'inquadrare tali aree come dei **volumi rocciosi nei quali l'acqua circola attraverso le discontinuità allargate dalla dissoluzione**. In quest'ottica vanno redatte delle carte idrogeologiche, dove le litologie di cui al criterio 1 vanno raggruppate e tradotte in **classi di permeabilità**. È fondamentale definire le **direzioni di deflusso sotterraneo**, ricostruendo il percorso dell'acqua dall'area di infiltrazione (concentrata e diffusa) fino alle sorgenti. Queste ultime, a loro volta, vanno contestualizzate nell'ambito dell'assetto idrogeologico del massiccio, in particolare se lo stesso presenta o meno dei litotipi meno permeabili (**acquitardo**) o impermeabili (**acquiclude**) che possono agire in termini di soglia di permeabilità e/o con effetti tampone.

Dall'approfondimento dei criteri sopracitati risulta chiaro quanto essi siano correlati l'uno con l'altro e caratterizzati da un processo circolare di causa/effetto. Quindi, per ottemperare all'obiettivo posto dal legislatore regionale (approvazione dei criteri ed individuazione delle aree carsiche, dei relativi acquiferi carsici, delle zone sorgentifere, delle aree di ricarica dell'acquifero carsico), è necessario associare le aree carsiche ad un concetto volumetrico, individuando poi su carta la 'morfo-idrostruttura carsica'.

### **3. Criteri di classificazione**

Per le diverse peculiarità geologiche e geomorfologiche (epigee ed ipogee), le aree carsiche possono essere suddivise in 5 classi, così identificabili:

**Area carsica di tipo A:** area in cui affiorano rocce calcaree o dolomitiche in cui la carsificazione è accertata dalla presenza di forme carsiche superficiali e/o ipogee significative ed eclatanti (doline, campi solcati, ingressi di cavità, sistemi carsici, grotte sorgenti etc.).

**Area carsica di tipo B:** area in cui affiorano rocce calcaree o dolomitiche carsificabili, in cui però la carsificazione non è certa o, meglio, il cui grado di carsificazione non è desumibile dagli "indizi"; tali aree sono caratterizzate da forme carsiche superficiali e/o ipogee poco significative, seppur presenti.

**Area carsica di tipo C:** area in facies di flysch (ovvero la cui litologia è riconducibile al flysch della successione cenozoica regionale affiorante nelle Prealpi Giulie) in cui si sono individuate cavità, sorgenti ed indizi di sprofondamenti legati alla carsificazione degli strati e delle bancate prettamente calcaree (i cosiddetti "megabanchi o megastrati carbonatici") intercalati nelle assise marnoso-arenacee del flysch: tali litologie sono molto carsificate e presentano numerose cavità con estensioni chilometriche.

**Area carsica di tipo D:** area in cui affiorano o sono subaffioranti rocce conglomeratiche a clasti prevalentemente carbonatici con evidente presenza di forme carsiche superficiali e/o ipogee.

**Area carsica di tipo E:** area in cui affiorano o sono subaffioranti rocce evaporitiche con evidenti forme superficiali; sono aree in cui gli affioramenti evaporitici sono limitati, ma possono essere significative di rocce evaporitiche sepolte e interessate da fenomeni carsici dissolutivi ipogei, possibili cause di dissesti superficiali oltre che di flussi sotterranei.

### **4. Criteri per l'individuazione degli acquiferi carsici e relative aree di ricarica**

La definizione della L.R. 15/2016 riassume la definizione di acquifero carsico, inteso come serbatoio idrico sotterraneo sviluppato in ammassi rocciosi dotati di permeabilità per fessurazione, fratturazione e carsismo, caratterizzato da una zona di trasferimento verticale, non satura, e da una zona di trasferimento orizzontale satura o parzialmente satura;

In applicazione di tale definizione e del criterio idrogeologico di cui al par. 2.4, l'acquifero carsico è da considerarsi coincidente con l'area carsica e va inteso appunto come il volume di un massiccio in cui l'acqua si muove e viene immagazzinata attraverso fratture e cavità carsiche. Tale dinamica è quindi determinata dalle condizioni geologiche, dove la litologia e le discontinuità dell'ammasso roccioso ricoprono un ruolo fondamentale, determinando per l'appunto la permeabilità dell'acquifero per fratturazione e carsismo.

In funzione delle caratteristiche geologiche del territorio, le aree di ricarica dell'acquifero possono essere anche esterne all'area carsica.

Le **aree di ricarica autogeniche** sono zone di ricarica interna al bacino carsico, in cui l'acqua piovana cade direttamente sull'area dell'acquifero e si infiltra immediatamente nel sistema carsico attraverso le sue fessure e fratture. In altre parole, l'acqua ha origine e si infiltra direttamente nello stesso bacino o area carsica, sfruttando l'alta permeabilità degli orizzonti più superficiali della massa rocciosa incarsita (epicarso). In tali contesti, quindi, l'acqua di ricarica deriva principalmente dalle precipitazioni locali. Le aree di ricarica autogeniche sono da considerarsi coincidenti alla perimetrazione delle aree carsiche, in quanto perimetrate anche mediante criterio idrogeologico. Le aree di ricarica autogeniche possono essere suddivise, a loro volta, in aree ad infiltrazione concentrata ed aree ad infiltrazione diffusa.

Le **aree di ricarica allogeniche**, invece, sono zone in cui l'acqua di ricarica proviene da un bacino esterno, non carsico, e fluisce verso il sistema carsico. In queste aree, i corsi d'acqua che attraversano terreni non carsici portano l'acqua verso il bacino carsico, dove l'acqua si infiltra e contribuisce alla ricarica dell'acquifero. Le aree di ricarica allogeniche sono quindi esterne alle aree carsiche ed i punti di ingresso di tali apporti nell'acquifero sono spesso caratterizzati da inghiottitoi carsici.

All'interno di un acquifero è inoltre opportuno individuare eventuali **spartiacque sotterranei** e i relativi **sottobacini sotterranei**. Nei massici carbonatici gli spartiacque sotterranei spesso non coincidono con quelli superficiali, in quanto sono legati a fattori (litologici e tettonici) indipendenti dalla morfologia esterna. Gli spartiacque sotterranei identificano differenti aree di ricarica e volumi del massiccio (bacini sotterranei) che alimentano diverse sorgenti.

A seconda del contesto geologico, i limiti dei sottobacini possono permettere o meno dei travasi sotterranei tra un bacino ed un altro. Tale dinamica può variare nelle diverse condizioni idrogeologiche: tipicamente, in situazione di piena ed innalzamento della superficie piezometrica, si verificano dei travasi sotterranei da un sottobacino ad un altro.

Per determinare correttamente le aree di ricarica, i bacini sotterranei e i loro deflussi, e soprattutto le relative sorgenti di riferimento, sono di estrema importanza i risultati dei tracciamenti, test che utilizzano traccianti naturali o artificiali. Questi ultimi (test con utilizzo di traccianti artificiali) sono disciplinati dalla L.R. 15/2016 e sono fondamentali per approfondire le conoscenze idrogeologiche.

#### **5. Criteri per l'individuazione delle aree soggette ad infiltrazione concentrata e delle aree soggette ad infiltrazione diffusa.**

Le aree soggette a infiltrazione concentrata sono porzioni di territorio caratterizzate dall'affioramento di rocce carsificabili denudate e/o dalla presenza di morfologie carsiche superficiali che condizionano le modalità di infiltrazione delle acque nel sottosuolo, ovvero depressioni naturali quali doline, inghiottitoi, polje, valli cieche o asciutte (definizione riportata dalla L.R. 15/2016 ed in premessa del presente documento). Dalla definizione risulta chiaro come l'intento del legislatore sia quello di individuare delle aree sensibili, ad elevata vulnerabilità.

A scala regionale le aree a infiltrazione concentrata nelle aree carsiche sono state perimetrate anche tramite l'analisi di dati telerilevati, individuando:

- **Depressioni naturali**, previste dalla norma la cui morfologia determina dei flussi di assorbimento centripeti.
- **Aree denudate**, la cui mancanza di suolo/vegetazione determina non solo una maggior infiltrazione efficace (la mancanza di vegetazione riduce l'evapotraspirazione), ma determina l'assenza di una protezione fondamentale dell'acquifero in quanto, a fronte di possibili inquinanti, il suolo agisce in termini meccanici (ritenzione e filtro) ed in termini chimico-fisici (adsorbimento).

**Le aree ad infiltrazione concentrata** sono quindi il risultato della somma delle aree denudate e delle depressioni naturali. Le porzioni di area carsica non ricadenti nelle aree ad infiltrazione concentrata sono da considerarsi **aree soggette ad infiltrazione diffusa**.

Per studi di dettaglio che necessitano una scala locale (inferiore a 1:25000) sono fortemente consigliati indagini e rilievi specifici sul territorio, con la finalità di aumentare il dettaglio e la precisione della perimetrazione.

## **6. Criteri per l'individuazione delle aree sorgentifere**

Un'area sorgentifera, così come è definita dalla L.R. 15/2016, è una zona in cui sono ubicate le sorgenti di un sistema carsico, nelle quali emerge una parte della risorsa idrica.

La norma parla di aree sorgentifere e non di punti sorgente perché le emergenze di un acquifero carsico quasi mai sono solo puntuali. Alcune possono esserlo perché costituite da ingressi di grotte sorgenti e/o determinate da condizioni geologiche analoghe (discontinuità incarsita), ma spesso l'emergenza di un acquifero è costituita da un'area vera e propria con la presenza di più punti sorgente. Tipicamente si possono individuare una o più sorgenti perenni (*di base*), generalmente nel fondovalle, a cui sono associate alcune sorgenti temporanee a quote più elevate (*troppo pieni*) condizionate dagli apporti infiltrativi, con portate variabili o nulle, ma che si attivano rapidamente in condizioni di piena. Le sorgenti carsiche possono essere costituite anche da ingressi di grotte totalmente sature d'acqua o parzialmente sature, presentando quindi tratti aerei che si alternano a tratti sifonanti. Queste ultime idro-morfologie sono tipicamente osservabili nelle sorgenti di troppo pieno, altimetricamente più elevate rispetto alle sorgenti di base.

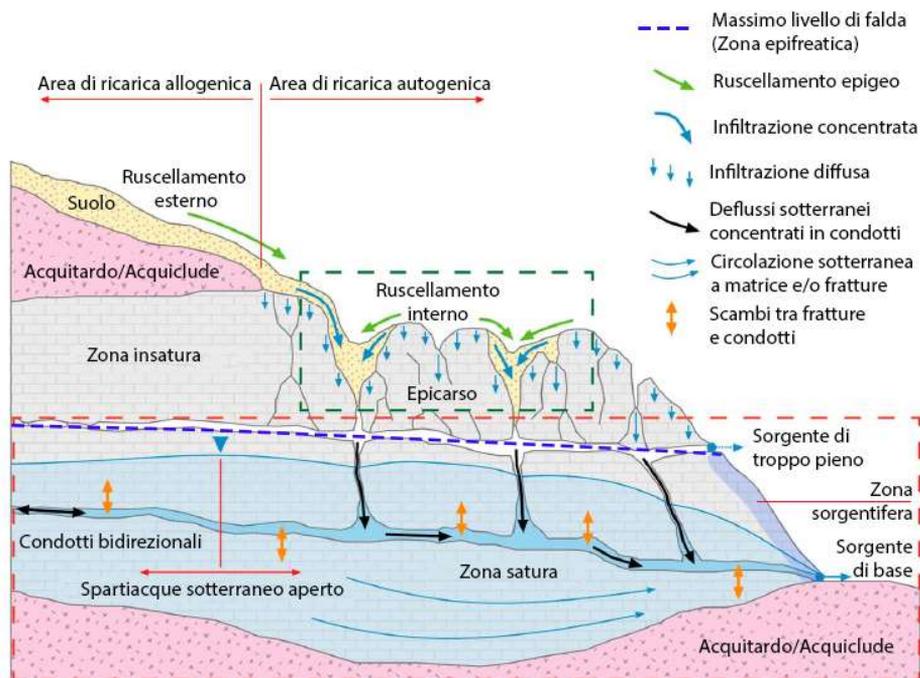
Alcune sorgenti di fondovalle possono anche essere sepolte, ovvero ricoperte da una coltre più o meno potente di depositi quaternari, alimentando direttamente corsi d'acqua o falde di acquiferi limitrofi porosi.

Per la corretta individuazione delle aree sorgentifere è fondamentale inquadrare le emergenze nel più ampio contesto geologico dell'acquifero. Si devono individuare e rilevare nel dettaglio gli elementi geologici che condizionano la venuta a giorno delle acque sotterranee, cercando di comprendere quali siano i rapporti geometrici tra le unità permeabili (nel nostro caso calcari, dolomie ed evaporiti) rispetto alle unità a minore permeabilità (acquitardi e acquicludi). Sarà pertanto indispensabile individuare se le sorgenti si siano generate in corrispondenza di un limite di permeabilità (contatto tra due complessi idrogeologici dei quali quello più permeabile giace su quello meno permeabile e con geometria del limite congruente alla prevalente direzione di deflusso delle acque sotterranee) o di una soglia di permeabilità (contatto tra due complessi idrogeologici a diversa permeabilità con geometria tale che l'acquitarzo/acquiclude si oppone alla prevalente direzione di flusso delle acque sotterranee), piuttosto che per la presenza di un'incisione/depressione topografica (solco vallivo, esarazione glaciale, conca lacustre etc.) che permette l'affioramento della piezometrica. In tal senso sono di aiuto le classificazioni proposte da diversi autori che si basano sulle caratteristiche idrogeologiche ed idrodinamiche dell'acquifero.

In definitiva, il criterio da adottare per l'individuazione dell'area sorgentifera è quello di effettuare un rilevamento idrogeologico in campagna, sito per sito. Al rilievo geologico classico vanno associate delle osservazioni di carattere idrogeologico, verificando puntualmente l'ubicazione di tutte le 'venute d'acqua'. Questo rilievo va effettuato in magra e durante le fasi di piena, così da individuare correttamente tutte le emergenze dell'acquifero e perimetrare le aree sorgentifere nel dettaglio.

## **7. Modello concettuale**

Il modello sottostante, tratto dalla più recente bibliografia di settore (Hartmann, Andreas; Goldscheider, Nico; Wagener, Thorsten; Lange, Jens & Weiler, Markus. 2014 - *Karst water resources in a changing world: Review of hydrological modeling approaches*. Reviews of Geophysics. 10.1002/2013RG000443) e modificato nell'ambito del presente lavoro, illustra in modo schematico le diverse parti che compongono una 'morfo-idrostruttura' carsica.



La linea tratteggiata in verde mette in evidenza un settore dell'area di ricarica autogenica in cui sono presenti aree ad infiltrazione concentrata e aree ad infiltrazione diffusa così come definite nei paragrafi precedenti. La linea tratteggiata in rosso evidenzia il settore interessato dalla falda, che può essere a sua volta suddiviso in zona saturata e zona epifreatica (zona di oscillazione della falda compresa tra il livello minimo e quello massimo, rappresentato appunto con la linea tratteggiata in blu). La sorgente di base è posizionata nel punto di contatto tra l'unità carsificata e l'acquitrardo (nel caso specifico si tratta di una sorgente per soglia), mentre la soprastante sorgente di troppo pieno si posiziona nella zona epifreatica e si attiva solo quando il livello della falda supera la quota minima della sorgente stessa.

Il modello schematizza anche il ruolo di eventuali formazioni geologiche impermeabili e/o a minor permeabilità (in rosa), sia nei processi di ricarica esterna dell'acquifero (ricariche allogeniche), che di immagazzinamento delle riserve idriche, che di vincolo per la sorgente. In grigio sono rappresentate le rocce carsificate caratterizzate da elevata permeabilità per fessurazione e carsismo (epigeo ed ipogeo).

Si tratta chiaramente di uno schema esplicativo e non esaustivo di tutte le casistiche presenti in regione, che tuttavia in questa sede si ritiene opportuno richiamare in quanto sintetizza, illustrandoli graficamente, i concetti precedentemente descritti.

#### 8. Individuazione delle aree carsiche, dei relativi acquiferi carsici, delle sorgenti e delle aree di ricarica, in applicazione all'art.7 della L.R. 15/2016

Al fine di raggiungere gli obiettivi posti dalla L.R. 15/2016 oggetto del presente documento, il **Servizio geologico ed il Dipartimento di Matematica, Informatica e Geoscienze dell'Università degli Studi di Trieste** hanno avviato un progetto pluriennale di collaborazione, coinvolgendo gli *stakeholder* che a vario titolo hanno avuto interesse nel progetto. È stato infatti istituito un tavolo di lavoro partecipato con il Servizio gestione risorse idriche, gli Enti gestori degli acquedotti e i Gruppi speleologici. Questi ultimi,

oltre ad alimentare il Catasto speleologico regionale, che rappresenta una fonte di primaria importanza per la definizione delle aree carsiche, hanno avuto un ruolo attivo anche durante i test di tracciamento idrogeologico (sia per l'immissione dei traccianti che per il relativo campionamento alle sorgenti). Gli *stakeholder* sono stati coinvolti sia in fase di analisi dei bisogni che nella definizione degli obiettivi progettuali intermedi.

Nell'ambito del citato progetto sono stati elaborati e più volte tarati i criteri precedentemente descritti. **La metodologia è stata applicata infatti su tutto il territorio regionale**, quindi in diversi contesti geologici, con successivi aggiornamenti ed approfondimenti, così da essere correttamente calibrata nei diversi scenari.

Le considerazioni effettuate sono di carattere tecnico-scientifico, pertanto **non si è tenuto conto dei limiti amministrativi ma si è lavorato con approccio transfrontaliero** (come previsto appunto dalla L.R. 15/2016), attingendo ad informazioni e dati della Regione Veneto e di Austria e Slovenia.

### 8.1 Perimetrazione delle aree carsiche e dei relativi acquiferi

Nello specifico, in attuazione del **criterio litologico** sono state dapprima mappate tutte le aree di affioramento di rocce carbonatiche ed evaporitiche (calcari, dolomie, evaporiti etc.) in base alla cartografia geologica più aggiornata e di maggior dettaglio disponibile. Questo ha comportato un'attività che ha riguardato l'acquisizione di carte geologiche datate e storiche del territorio regionale, già disponibili in formato cartaceo alla scala 1:25.000, qualora disponibile (ove non disponibili si sono utilizzate cartografie a più piccola scala), e la loro digitalizzazione e georeferenziazione in ambiente GIS.

In applicazione del criterio **geomorfologico superficiale** è stato analizzato il DTM regionale a 1 metro, ottenuto da dati LIDAR, ricampionato a 5 metri, per individuare le morfologie carsiche quali doline, depressioni, valli cieche, inghiottitoi ed ogni altra macro-forma collegabile a fenomeni di carsismo. Ad ausilio si sono consultate anche le Ortofoto regionali, nonché le immagini aeree e satellitari messe a disposizione da Google e Bing Maps, utilissime per riconoscere gli affioramenti calcarei carsificati e le depressioni riempite da vegetazione.

In applicazione del criterio **geomorfologico sotterraneo** sono stati elaborati i dati del Catasto speleologico regionale, considerando sia la distribuzione degli ingressi delle cavità (8549 grotte per 9396 ingressi), sia l'estensione di quelle di maggior sviluppo e/o profondità. In tal modo si sono potuti riconoscere gli indizi accertati dei reticoli carsici ipogei.

In applicazione del **criterio idrogeologico** è stata fatta un'analisi delle grotte ricercando tutte quelle che raggiungessero la zona satura. A tal fine si sono criticamente analizzati i dati relativi ai rilievi delle cavità e alle relative descrizioni al fine di individuare la presenza di sifoni, condotti attivi e vani allagati (sia temporaneamente che permanentemente) identificando 651 cavità. Si è consci che le informazioni desunte dal CSR sono influenzate dal momento nel quale i dati sono stati acquisiti e cioè dal regime idrogeologico (piena, magra, morbida) al momento del rilievo; cionondimeno esse rappresentano un quadro significativo, per numero e qualità di informazione, anche se non esaustivo. Tali analisi hanno consentito un approccio volumetrico utile alla comprensione del reticolo di drenaggio ipogeo e alla taratura delle sezioni idrogeologiche. Sono state quindi esaminate tutte le sorgenti note e facenti capo ad aree in cui era ipotizzabile la presenza di rocce carsificabili (nel caso specifico carbonati ed evaporiti) affioranti o coperte da depositi sciolti (alluvioni, detriti di falda, morene etc.). I punti di emergenza dell'acquifero (le sorgenti e il reticolo idrografico che talvolta rappresentano il livello di base locale) sono informazioni indispensabili per l'individuazione e la perimetrazione 'a valle' delle aree carsiche. Il processo

applicato nell'analisi delle sorgenti e relative fonti dati è descritto nel paragrafo relativo all'individuazione delle aree sorgentifere.

Utilizzando tutti i criteri precedentemente descritti, sono state individuate e caratterizzate tutte le aree carsiche della Regione Friuli Venezia Giulia. Nel complesso si sono perimetrare **87 aree carsiche/idrostrutture regionali e transfrontaliere**, con superfici ricadenti nel territorio regionale corrispondenti al **28% dell'area totale del Friuli Venezia Giulia ed al 69% dell'area del territorio montano-collinare regionale**.

Le aree carsiche individuate sono così suddivise per tipologia:

- **53 Aree carsiche di tipo A**
- **21 Aree carsiche di tipo B**
- **9 Aree carsiche di tipo C**
- **2 Aree carsiche di tipo D**
- **2 Aree carsiche di tipo E**

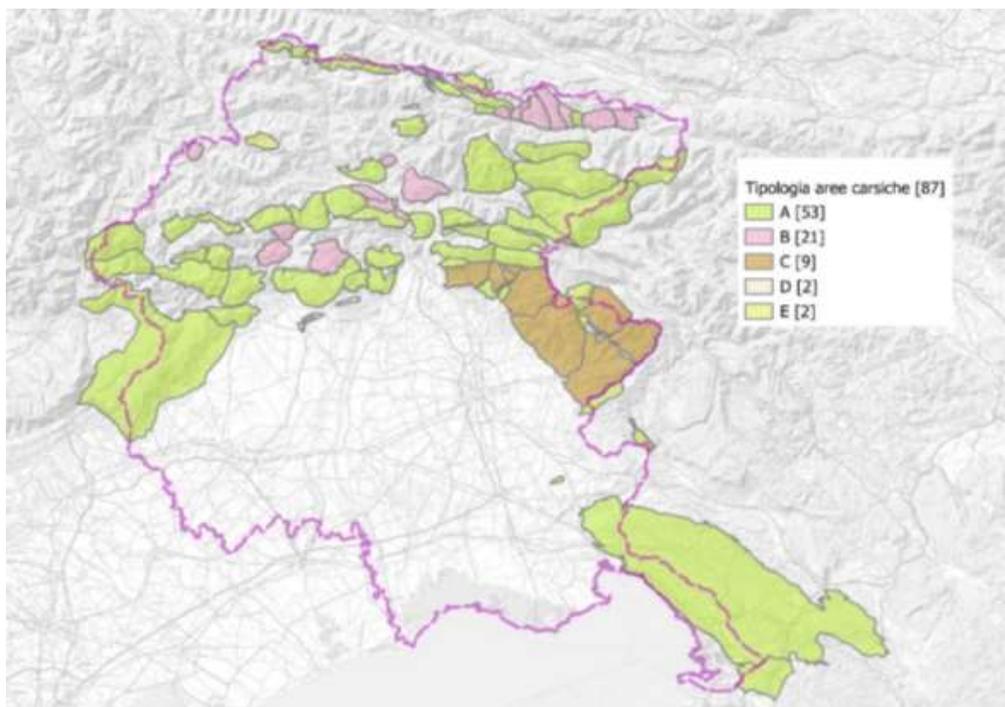


Fig. 2 – Distribuzione delle aree carsiche nel Friuli Venezia Giulia

## 8.2 Individuazione delle aree soggette ad infiltrazione concentrata e delle aree soggette ad infiltrazione diffusa

In applicazione dei criteri descritti nei paragrafi precedenti, le **aree soggette ad infiltrazione concentrata** sono state individuate sulla base delle depressioni carsiche e delle aree denudate.

Le **depressioni carsiche** sono state determinate in ambiente GIS con l'ausilio di uno specifico strumento di "riempimento" (*tool Fill*) sul modello digitale del terreno (DTM) con risoluzione spaziale di 5 m dell'intero territorio regionale generato da dati LIDAR (rilievo 2017–2020). L'algoritmo permette di riempire tutte le depressioni presenti sul DTM, indipendentemente dalla loro dimensione e natura, per cui è stato necessario un processo di validazione e verifica, nonché una pulizia manuale degli areali individuati come, ad esempio, i rilevati per la costruzione stradale, le cave, i rii, i tratti di strada in trincea, le depressioni artificiali etc. Sono stati eliminati anche gli areali poco profondi e di ampie dimensioni al cui interno risultavano presenti delle depressioni ben definite, che invece sono state mantenute.

L'individuazione delle **aree denudate** a livello regionale è stata realizzata attraverso l'analisi delle immagini multispettrali SENTINEL 2A. Queste immagini satellitari nelle lunghezze d'onda del visibile e dell'infrarosso hanno una risoluzione spaziale da 10 a 30 m. Per coprire tutto il territorio del Friuli Venezia Giulia, sono state scaricate 4 immagini relative a due periodi distinti: due per la parte Sud della regione e due per la parte Nord. In particolare, per la parte S le immagini sono relative al 1 gennaio 2017, per quella N la data di acquisizione è il 26 settembre 2018. Data la complessità morfologica del territorio regionale e quella degli ambienti da caratterizzare, è stato necessario analizzare immagini acquisite in stagioni diverse. Sono state inoltre scelte coppie di immagini con copertura nuvolosa pressoché assente, ovvero inferiore al 2%. Per differenziare le aree vegetate dalle aree in roccia denudata è stato utilizzato l'indice NDVI, acronimo di *Normalized Difference Vegetation Index* (NIR-R/NIR+R), un indicatore grafico generalmente utilizzato per valutare la presenza di vegetazione sulla superficie terrestre ed il suo evolversi nel tempo.

Sono stati estratti e successivamente integrati alla classificazione eseguita sulle immagini SENTINEL2A alcuni tematismi (*layer*) della carta tecnica regionale numerica (CTRN) alla scala 1:25.000, rilevatisi particolarmente utili nella zona d'ombra dei dati satellitari. In particolare, i layer presi in considerazione sono: aree in roccia affiorante (1ARO), ghiaioni (1AGH), dune ed elementi tipici della morfologia fluviale (1AIS).

I falsi positivi come infrastrutture antropiche, reti viarie (strade e ferrovie) e vaste aree antropizzate sono stati rimossi mediante il confronto con la carta dell'Uso del Suolo MOLAND2000, eliminando le aree urbanizzate, intendendo con questo termine sia i centri abitati che le case sparse, comprese le industrie e le attività commerciali, nonché le aree di pertinenza della rete viaria (strade, autostrade e ferrovie).

Un'ulteriore scrematura della rete viaria è stata fatta grazie alla banca dati *open source* denominata OpenStreetMap (OSM), che viene costantemente aggiornata (quindi più recente della CTRN) e da cui sono stati estratti il grafo stradale e ferroviario. A questi è stato necessario applicare dei buffer personalizzati per livello, individuati a seguito della disamina delle "norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade" redatte dal Ministero delle infrastrutture e dei trasporti.

Tali buffer hanno consentito di escludere dalle aree denudate i rilevati stradali, le opere antropiche laterali alla rete viaria e ferroviaria ed ogni altra forma antropica ad esse associata. Nella seguente tabella si riportano i layer (elementi) utilizzati dalla banca dati OSM e i relativi buffer applicati per determinare gli areali da sottrarre alle aree denudate precedentemente calcolate.

ENG	ITA	LAYER UTILIZZATO	BUFFER APPLICATO
railway	Rete ferroviaria	si	30m
bridleway	Strada percorribile a cavallo	si	10m
cycleway	Pista ciclabile	si	10m
footway	Strada pedonale	no	
living_street		si	10m
motorway	Autostrada	si	30m
pmotorway_link	Collegamento autostradale	si	30m
path	Sentiero	no	
pedestrian	Strada pedonale	si	10m
primary	Strade statali	si	20m
Primary_link	Collegamento strada statale	si	20m
residential	Strada residenziale	si	20m
secondary	Strada provinciale	si	20m
Secondary_link	Collegamento strada provinciale	si	20m
service	Strada di servizio	si	20m
steps	Scalinata	si	10m
tertiary	Strada comunale	si	20m
Tertiary_link	Collegamento strada comunale	Si	20m
track	Strada	Si	10m
Track_grade_1	Strada	Si	10m
Track_grade_2	Strada	Si	10m
Track_grade_3	Strada	Si	10m
Track_grade_4	Strada	Si	10m
Track_grade_5	Strada	Si	10m
Trunk_link	Strada	Si	10m
unclassified	Non classificato	si	20m
unknown	Sconosciuto	no	

Le aree ad infiltrazione concentrata sono perciò il risultato della somma dei poligoni relativi alle aree denudate e alle depressioni carsiche. Tutto il resto dell'area carsica non ricadente nelle aree ad infiltrazione concentrata è da classificarsi come **aree soggette ad infiltrazione diffusa**. La carta finale ha una risoluzione spaziale di 10 m con scala nominale 1: 50.000.

### 8.3 Aree sorgentifere

In merito alla perimetrazione delle aree sorgentifere, in assenza di studi e rilievi di dettaglio, come specificato nei criteri, è stato realizzato un censimento delle sorgenti ricadenti nelle aree carsiche o entro una distanza di 200 metri da esse, a cui è stata associata una fascia di attenzione. Non essendo disponibile un database delle sorgenti regionali, sono state raccolte informazioni da diverse banche dati esistenti, alcune a copertura regionale, altre presenti solo in alcune aree. Tali dati risultavano inevitabilmente disomogenei, non allineati ed elaborati a scale differenti. In particolare sono state prese in esame: le grotte sorgenti estratte dal Catasto Speleologico Regionale, i punti sorgenti della Carta geologica tecnica ove presente, le sorgenti segnalate nella CTRN 1:5000, le sorgenti segnalate nella carta Tabacco 1:25000, le sorgenti della banca dati *open source* OSM, il database sorgenti elaborato da UNITS

(contenente le informazioni di una trentina d'anni di ricerche e progetti) ed il database delle captazioni curato dal Servizio Gestione Risorse Idriche, la cui georeferenziazione però non identifica sempre la sorgente da un punto di vista idrogeologico bensì la derivazione, ovvero un'infrastruttura associata all'acquedotto. Quest'ultimo dato è stato estremamente utile per identificare con certezza le sorgenti captate ad uso idropotabile, correggendone, laddove possibile, la posizione geografica attraverso il confronto dei database sopra citati, nonché grazie a verifiche mirate sul terreno e, non ultimo, con il confronto diretto con gli Enti gestori. Da una prima estrazione di tutte queste banche dati sono stati individuati oltre 2.500 punti sorgenti all'interno o in prossimità delle aree carsiche. Queste sono state poi valutate singolarmente, e molte verificate direttamente sul territorio, fino ad arrivare ad un censimento di oltre 1250 sorgenti

Da questi punti sorgenti è stato elaborato un buffer di 200 m per identificare all'interno delle aree carsiche delle zone di attenzione nelle quali si dovrà prioritariamente investigare al fine di dettagliare le aree sorgentifere vere e proprie. Le stesse saranno demandate a futuri prosiegui progettuali in applicazione dei criteri definiti nel par. 6.

#### **8.4 Carta idrogeologica**

Per ognuna delle aree carsiche è stata realizzata una **carta idrogeologica** di dettaglio contenente le indicazioni relative alle aree di ricarica autogeniche, relativi bacini ed eventuali sottobacini idrogeologici, alle permeabilità, alle direzioni dei deflussi sotterranei presunte ed accertate con i **tracciamenti** e alle sorgenti, classificate per uso potabile o meno. In merito ai tracciamenti è stato effettuato un ingente lavoro di ricostruzione bibliografica, attingendo sia ai lavori scientifici che alla lettura speleologica, anche di carattere storico. Per colmare alcune lacune conoscitive sono stati effettuati ulteriori test, organizzati ad hoc durante il progetto, anche con misurazioni in continuo a carattere quantitativo.

La carta idrogeologica traduce le informazioni geologico-formazionali in termini di permeabilità – intesa come l'attitudine del terreno a lasciarsi attraversare dall'acqua che si muove per gravità – ed è stata realizzata sulla base della cartografia geologica al fine di consentire una lettura dell'area di ricarica in chiave idrogeologica. La cartografia geologica di base utilizzata per la realizzazione della carta idrogeologica è composta dalla mosaicatura di carte geologiche di differenti scale (da 1:10.000 a 1:150.000), pubblicate o inedite, prodotte da vari Autori nel corso degli ultimi decenni, che sono state assemblate e omogeneizzate dal punto di vista litostratigrafico e, in ultima istanza, da quello della permeabilità.