

**AGGIORNAMENTO E REVISIONE DELLE AREE DI RICARICA
DEGLI ACQUIFERI PROFONDI NEI SETTORI DI PIANURA
DELLA REGIONE PIEMONTE**

PREMESSA

Il presente Allegato illustra l'approccio metodologico adottato per l'aggiornamento e la revisione delle aree di ricarica degli acquiferi profondi nel territorio della Regione Piemonte in attuazione del comma 4 dell'articolo 24 delle Norme del Piano di Tutela delle Acque (di seguito PTA).

La cartografia elaborata a scala 1:250.000 è disponibile e consultabile sul sito internet della Regione Piemonte e presso gli uffici della Direzione regionale Ambiente, Governo e Tutela del territorio, delle Province, della Città Metropolitana di Torino e delle autorità d'ambito competenti per territorio.

1. DESCRIZIONE GENERALE E SCOPO DEL LAVORO

Il decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152 "Norme in materia ambientale" all'articolo 94, commi 7 e 8, stabilisce che *“le zone di protezione devono essere delimitate secondo le indicazioni delle regioni o delle province autonome per assicurare la protezione del patrimonio idrico. In esse si possono adottare misure relative alla destinazione del territorio interessato, limitazioni e prescrizioni per gli insediamenti civili, produttivi, turistici, agro-forestali e zootecnici da inserirsi negli strumenti urbanistici comunali, provinciali, regionali, sia generali sia di settore”* e che *“ai fini della protezione delle acque sotterranee, anche di quelle non ancora utilizzate per l'uso umano, le regioni e le province autonome individuano e disciplinano, all'interno delle zone di protezione, le aree di ricarica della falda, le emergenze naturali ed artificiali della falda e le zone di riserva”*.

La prima individuazione delle aree di ricarica degli acquiferi profondi a scala 1:500.000 è riportata nel PTA, Tavola n. 8 e Allegato n. 9;

Nello stesso PTA, l'articolo 24 delle Norme di Piano al comma 4 stabilisce che *“in attuazione delle disposizioni di cui al presente articolo, la Regione procede sulla base di specifici studi ad ulteriori delimitazioni a scala di maggior dettaglio: a) delle zone di protezione di cui al comma 2, lettere a)(le aree di ricarica degli acquiferi utilizzati per il consumo umano) ...omissis..., sentite le province e le autorità d'ambito”*.

Per attuare quanto previsto dal comma 4, il 23 luglio 2014 è stata stipulata una convenzione tra la Direzione regionale Ambiente, Governo e Tutela del territorio ed il Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università degli Studi di Torino, avente per oggetto la Collaborazione istituzionale in materia di aggiornamento e revisione delle aree di ricarica degli acquiferi profondi nelle aree di pianura della Regione Piemonte.

L'area di studio, è rappresentata dai settori di pianura, relativi alle province di: Alessandria, Asti, Biella, Cuneo, Novara, Vercelli e alla Città Metropolitana di Torino, con particolare riguardo alle fasce di raccordo di tali zone con i settori montani e collinari.

Lo studio è stato articolato nelle seguenti fasi:

- *ricerca bibliografica*, in ambito nazionale e internazionale, delle definizioni di aree di ricarica in generale e aree di ricarica degli acquiferi profondi in particolare, oltre alla ricerca di possibili metodologie applicate e/o applicabili per la loro individuazione e mappatura;
- *ricerca di dati e cartografie pregresse nell'area oggetto di studio*, con particolare attenzione rivolta alla raccolta di pubblicazioni scientifiche, carte idrogeologiche regionali, carte piezometriche e sezioni stratigrafiche, utili all'aggiornamento e revisione delle aree di ricarica alla scala 1:250.000;
- *analisi dei possibili criteri utilizzabili per la delimitazione delle aree di ricarica degli acquiferi profondi e scelta di criteri scientificamente condivisibili per la loro perimetrazione ed elaborazione di una cartografia preliminare*, realizzata sulla base dei dati pregressi disponibili;
- *revisione della cartografia preliminare, in base alle osservazioni degli enti coinvolti nel processo (Regione, Città Metropolitana di Torino e ATO)*;
- *redazione degli elaborati finali*, costituiti da una cartografia definitiva delle aree di ricarica degli acquiferi profondi della pianura piemontese alla scala 1:250.000 e da una relazione tecnica esplicativa finale comprensiva di tutte le fasi che hanno portato alla realizzazione della cartografia definitiva.

A queste fasi previste dalla convenzione ne è stata aggiunta una a seguito dei confronti con le Province, la Città Metropolitana di Torino e le autorità d'ambito ed in particolare dalle osservazioni specifiche pervenute dalla Provincia di Biella riguardante le:

- *indicazioni sui principali problemi di interpretazione riscontrabili e sulle modalità di aggiornamento della perimetrazione.*

2. RICERCA BIBLIOGRAFICA

Nell'ambito di questa fase del progetto è stata eseguita una ricerca bibliografica riguardante le seguenti tematiche:

- l'acquifero profondo;
- la ricarica dell'acquifero;
- le aree di ricarica dell'acquifero.

Inoltre si è proceduto con la ricerca di metodi applicati in contesti nazionali e internazionali per la delimitazione delle aree di ricarica degli acquiferi profondi.

2.1 CONCETTO DI ACQUIFERO PROFONDO E DI FALDA PROFONDA

Definizioni riportate nelle normative regionali piemontesi

L'articolo 2, comma 4 della Legge Regionale 22/1996 - Ricerca, uso e tutela delle acque sotterranee -, così come modificata dalla legge regionale 6/2003, riporta la seguente definizione: *“Per falde profonde si intendono quelle poste al di sotto della falda freatica ove presente e cioè le falde confinate, le falde semiconfinate e le falde ospitate nelle porzioni inferiori dell'acquifero indifferenziato, caratterizzate da una bassa velocità di deflusso, da elevati tempi di ricambio e da una differente qualità idrochimica rispetto a quelle ospitate nelle porzioni più superficiali del medesimo”*. Si è quindi ampliata la definizione di *“falde in pressione”* contenuta nel testo originario della Legge Regionale 22/1996, oggi ridefinite come *“falde profonde”* e costituite dalle acque sotterranee che appartengono a circuiti di flusso più profondi. Le falde profonde possono presentare condizioni di confinamento e di interconnessione variabili in funzione dello spessore e della continuità dei livelli impermeabili (in genere costituiti da limi e argille) che le separano. I circuiti di flusso profondi si possono creare indipendentemente dalla presenza di livelli fini confinanti; nella realtà, a causa del valore più elevato di conducibilità idraulica orizzontale rispetto a quella verticale, anche in presenza di una apparente omogeneità litologico-granulometrica (*“acquifero indifferenziabile”* o *“indifferenziato”*) possono determinarsi condizioni per la separazione della circolazione idrica sotterranea in una circolazione superficiale e una circolazione profonda. Le acque di circolazione profonda hanno bassa velocità di deflusso, sono più antiche e in genere presentano una qualità migliore di quelle di circolazione superficiale. Le acque di circolazione profonda vanno comunque protette specialmente dove mancano livelli impermeabili che li separino dalle falde di circolazione più superficiale”.

All'interno dell'Allegato 1 - Criteri tecnici per l'identificazione della base dell'acquifero superficiale - della Deliberazione della Giunta Regionale del 3 giugno 2009, n. 34-11524, è presente la seguente definizione: *“Ai sensi del Decreto Legislativo 3 aprile 2006, n. 152 si definiscono acque sotterranee quelle che si trovano al di sotto della superficie del terreno, nella zona di saturazione e in diretto contatto con il suolo ed il sottosuolo. Fra esse ricadono le falde freatiche e quelle profonde (in pressione o no) mentre le formazioni rocciose permeabili che le contengono sono detti “acquiferi”. [...].* La stessa Deliberazione della Giunta Regionale indica ulteriormente che *“la base dell'acquifero superficiale definisce in modo univoco il limite al di sotto del quale sono presenti i sistemi acquiferi profondi”*.

La definizione di acquiferi profondi adottata per la delimitazione delle aree di ricarica degli stessi è quella fornita dall'articolo 2, comma 4 della Legge Regionale 22/1996, così come modificata dalla Legge Regionale 6/2003.

Definizioni riportate nelle normative nazionali

Il Decreto Legislativo 16 marzo 2009, n. 30 - Attuazione della direttiva 2006/118/CE, relativa alla protezione delle acque sotterranee dall'inquinamento e dal deterioramento - definisce, riprendendo l'articolo 54 del Decreto Legislativo 152/2006, l'acquifero, senza specificare tra superficiale e profondo, come *“uno o più*

strati sotterranei di roccia o altri strati geologici di permeabilità sufficiente da consentire un flusso significativo di acque sotterranee o l'estrazione di quantità significative di acque sotterranee".

Riferimenti scientifici internazionali

Freeze and Cherry (1979) definiscono gli acquiferi confinati come acquiferi che si sviluppano in profondità, concetto sviluppato in opposizione agli acquiferi superficiali, che si trovano invece al di sotto della superficie topografica.

Fetter (1994) descrive l'acquifero al di sotto di Long Island, New York, come "acquifero profondo", definendolo in funzione dello spessore dei livelli impermeabili sovrastanti e in funzione della modalità di ricarica, basata sullo scambio con l'acquifero superficiale.

In "*Final Report on Development of Deep Aquifer Database and Preliminary Deep Aquifer Map*" (DPHE/DFID/JICA, 2006) viene specificato come la definizione di acquiferi profondi dipenda:

- dalla profondità delle formazioni ospitanti l'acquifero stesso;
- dalle condizioni idrostratigrafiche dell'area, ossia dalla presenza di livelli impermeabili in grado di separare le formazioni acquifere superficiali e le formazioni acquifere sottostanti;
- dalle condizioni idrauliche dell'area, ossia dal riconoscimento di un'importante differenza di carico idraulico tra l'acquifero superficiale e l'acquifero profondo;
- dalle condizioni idrogeochimiche dell'area, ossia dalla possibilità di osservare una differenziazione idrochimica tra l'acquifero superficiale e l'acquifero profondo;
- dall'assetto geologico dell'area.

2.2 CONCETTO DI RICARICA E DI AREA DI RICARICA DI UN ACQUIFERO

Ricarica degli acquiferi superficiali

In ambito internazionale, una prima definizione di ricarica degli acquiferi viene offerta da Freeze and Cherry (1979) i quali la definiscono come la porzione del circuito di flusso in cui le acque sotterranee presentano una componente verticale di flusso rivolta verso il basso, allontanandosi così dalla superficie freatica.

La ricarica degli acquiferi viene definita da Meinzer e Heath (1990) come la quantità di acqua che si trasferisce dalla superficie del suolo, o dalla zona non satura, verso la zona satura.

Per Fetter (1994), la ricarica dell'acquifero superficiale si verifica laddove una frazione delle acque di precipitazione supera la fase di ruscellamento e di evapotraspirazione infiltrandosi nel terreno. L'entità della ricarica è funzione del valore di conducibilità idraulica verticale dei depositi superficiali e della trasmissività dell'acquifero stesso, e indica il volume di acque sotterranee che dalle aree di ricarica possono dirigersi verso le aree di drenaggio.

La normativa svizzera (LPac, 1991; OPac, 1998), secondo quanto riportato dall'UFAFP (UFAFP, 2004), non definisce la ricarica di un acquifero ma descrive l'alimentazione di una falda sotterranea come il "*rinnovo delle acque sotterranee attraverso l'infiltrazione di acque meteoriche o per perdita di acque superficiali in profondità*".

Ricarica degli acquiferi profondi

Fetter (1994) definisce la ricarica degli acquiferi confinati come quel processo che si verifica laddove i livelli confinanti siano localmente o assenti o con spessori e caratteristiche tali da consentire lo scambio tra gli acquiferi. In queste condizioni, se la differenza di carico idraulico è favorevole, lo scambio idrico tra gli acquiferi può verificarsi, sia con movimento verticale discendente dagli acquiferi sovrastanti, sia con movimento verticale ascendente dagli acquiferi molto profondi. L'entità della ricarica dipende dalla differenza di carico idraulico, dalla conducibilità idraulica verticale del livello confinante e dal suo spessore.

In *Critical Aquifer Recharge Area Guidance* del Dipartimento di Ecologia dello Stato di Washington (Morgan, 2005) la ricarica degli acquiferi da cui viene estratta l'acqua destinata al consumo umano viene definita come la quantità d'acqua che, giungendo nel sottosuolo per l'infiltrazione delle acque meteoriche o

di quelle di fusione nivale, per l'infiltrazione delle acque superficiali, presenti in laghi, paludi o corsi d'acqua, o delle acque di irrigazione artificiale, è in grado di ricaricare la falda che alimenta i pozzi.

Aree di ricarica degli acquiferi

Freeze and Cherry (1979) definiscono le aree di ricarica come aree in cui, nella zona satura, prevalgono le componenti verticali discendenti di flusso delle acque sotterranee, che si allontanano così dalla superficie piezometrica.

Secondo Fetter (1994) le aree di ricarica si collocano in corrispondenza agli alti topografici, in aree dove la piezometria tende a convergere.

La definizione riportata da Freeze and Cherry (1979) viene accettata e utilizzata nell'*Executive Report* della *King's County (USA)*, che applica la definizione dei "*Critical Aquifer Recharge Areas*" (CARAs) proposta dal *Revised Code of Washington (RCW)*, nel *Washington State Growth Management Act (GMA)* (Titolo 36, Capitolo 36.70A, Sezione 36.70A.030, Comma 5). Le CARAs vengono definite come le aree geografiche che possono avere effetti critici sulla ricarica degli acquiferi sfruttati per l'estrazione delle acque destinate al consumo umano. Il *Washington State Growth Management Act (RCW 36.70A.0.30(5))* stabilisce l'obbligo per tutte le amministrazioni locali di attuare una politica di tutela per la salvaguardia del valore e delle funzioni di queste aree.

Il *Washington Administrative Code (WAC)*, al Titolo 365 Capitolo 365-190, Sezione 365-190-100, definisce le aree di ricarica degli acquiferi come " le aree con un effetto di ricarica critico sugli acquiferi usati per l'estrazione delle acque potabili, ossia le aree dove un acquifero che costituisce una riserva di acqua potabile è vulnerabile a contaminazioni che potrebbero danneggiarne la potabilità". Tale definizione si ricollega a quella proposta dal GMA in merito alle *Critical Aquifer Recharge Areas*. Il WAC definisce inoltre i provvedimenti da assumere in tali aree, in particolare: "*Nelle zone di ricarica altamente vulnerabili, dovrebbero essere avviati studi per determinare se si sono verificate contaminazioni delle acque sotterranee. La classificazione di queste aree deve tener conto dell'utilizzo degli acquiferi come fonte di acqua potabile, della fattibilità di misure di protezione per impedire un ulteriore degrado, della disponibilità di misure di trattamento per mantenere la potabilità, e della disponibilità di fonti alternative di acqua potabile*".

Come riportato da Charles et alii (1993), il *Senato e l'Assemblea Generale dello Stato del New Jersey* hanno definito, al capitolo 41 dell'assemblea n. 1340 (1988), l'area di ricarica di un acquifero come un'area della superficie terrestre, costituita da sabbia o ghiaia, o localizzata in un punto di importante fratturazione delle formazioni geologiche, attraverso cui viene trasmessa l'acqua ad un acquifero, sotto l'influenza di un gradiente verticale, e in cui la ricarica diretta avviene per infiltrazione delle precipitazioni.

Nella *Conferenza Permanente per i rapporti tra lo Stato e le Regioni e le Province Autonome di Trento e Bolzano* del 12 dicembre 2002, le aree di ricarica vengono definite come " *la superficie dalla quale proviene alimentazione al corpo idrico sotterraneo considerato; è costituita dall'area nella quale avviene l'infiltrazione diretta alle acque sotterranee delle acque meteoriche o dall'area di contatto con i corpi idrici superficiali (laghi, corsi d'acqua naturali o artificiali) dai quali le acque sotterranee traggono alimentazione*".

L'articolo 24 del PTA della Regione Piemonte, comma 2, lettera a) e la Circolare del Presidente della Giunta Regionale della Regione Piemonte 8 giugno 2015, n. 4/AMB, definiscono " *l'area di ricarica di un acquifero come la superficie dalla quale proviene l'alimentazione al corpo idrico sotterraneo considerato, costituita dall'area nella quale avviene l'infiltrazione diretta alle acque sotterranee delle acque meteoriche o dall'area di contatto con i corpi idrici superficiali (laghi, corsi d'acqua naturali o artificiali) dai quali le acque sotterranee traggono alimentazione. Gli acquiferi profondi utilizzati per il consumo umano, spesso in pressione, sono comunemente ricaricati in una fascia stretta e ben delimitata ai margini delle pianure. In prima approssimazione è possibile affermare che i principali livelli impermeabili in grado di separare l'acquifero superficiale dagli acquiferi profondi individuano in superficie le aree di "ricarica diretta"; tale area corrisponde, in genere, alle zone di alta pianura compresa tra i rilievi delimitanti l'area montana e la zona di media e bassa pianura; tali zone sono formate dalle potenti conoidi alluvionali costituiti da materiali prevalentemente grossolani con elevata permeabilità, depositati dai corsi d'acqua all'uscita del bacino montano: la zona di alta pianura è quindi, per tale particolare struttura morfologica, un grande serbatoio d'acqua che alimenta gli acquiferi profondi della pianura sottostante*".

2.3 RICERCA BIBLIOGRAFICA SUI METODI PER LA DELIMITAZIONE DELLE AREE DI RICARICA DEGLI ACQUIFERI PROFONDI

Metodi applicati a livello nazionale

La ricerca bibliografica ha evidenziato come, a livello nazionale, le aree di ricarica degli acquiferi profondi siano state cartografate in pochissime regioni; in altri casi ne sia stata indicata l'area geografica senza redigere una vera e propria cartografia.

Gli unici studi in cui siano stati specificati e definiti nel dettaglio i dati e i metodi seguiti per la delimitazione dell'area di ricarica degli acquiferi profondi sono stati realizzati dalla Regione Emilia-Romagna (Regione Emilia-Romagna & ENI-AGIP, 1998) e dalla Regione Lombardia (Regione Lombardia & ENI-AGIP, 2002).

La Carta delle aree di ricarica degli acquiferi profondi redatta dalla Regione Emilia-Romagna è il frutto della collaborazione tra l'Ufficio Geologico dell'Emilia-Romagna e la Direzione Esplorazione Italia dell'ENI – AGIP S.p.A.

Le cartografie, riportate in “Riserve idriche sotterranee della Regione Emilia-Romagna”, sono state realizzate grazie ad un progetto triennale che ha comportato la raccolta di un'ingente quantità di dati, frutto di:

- 30 000 Km di linee sismiche a riflessione;
- 171 stratigrafie di pozzi AGIP per la ricerca di idrocarburi e 547 stratigrafie di pozzi per la produzione di acqua, forniti dalla Banca Dati Geognostici Regionale;
- 11 000 m di carote descritte sedimentologicamente, prelevate in 50 sondaggi, carotati in continuo e condotti fino alla profondità di 300 m circa;
- numerose analisi di laboratorio condotte sulle carote;
- un rilevamento geologico, alla scala 1:10 000, dell'area pedemontana.

Lo studio ha permesso di eseguire la ricostruzione stratigrafica del sottosuolo della Pianura Emiliana e di individuare le aree in cui si esplica la ricarica diretta, cioè un flusso idrico, a forte componente verticale, proveniente dalla superficie, che alimenta i serbatoi dell'unità idrostratigrafica considerata. Tali aree sono state individuate in corrispondenza agli affioramenti delle formazioni che li ospitano, secondo le ricostruzioni eseguite. Tali aree sono state successivamente distinte in base al grado di potenzialità di ricarica in funzione delle caratteristiche dei suoli.

Il progetto triennale ha permesso di individuare le aree di potenziale ricarica diretta ma non ha condotto al riconoscimento e alla delimitazione delle aree di potenziale ricarica indiretta degli acquiferi profondi (in cui la ricarica è mediata dall'acquifero superficiale).

Lo studio condotto nella Regione Lombardia grazie alla collaborazione tecnica e scientifica tra la Regione Lombardia e l'Esplorazione Italia dell'ENI Divisione AGIP, prosegue e integra lo studio condotto in Emilia-Romagna. Anche in questo caso il progetto è stato realizzato grazie ad un'ingente quantità di dati a disposizione:

- 20 000 Km di linee sismiche a riflessione realizzate da ENI Divisione AGIP;
- 250 stratigrafie di pozzi ENI Divisione AGIP perforati per l'esplorazione di idrocarburi;
- 596 stratigrafie di pozzi per la produzione di acqua selezionate tra le oltre 5000 stratigrafie disponibili;
- 800 m di carote campionate in 4 sondaggi geognostici a carotaggio continuo, appositamente realizzati dalla Regione Lombardia.

Come per la Regione Emilia-Romagna, lo studio condotto dalla Regione Lombardia in collaborazione con ENI-AGIP ha permesso di individuare e cartografare esclusivamente le aree di potenziale ricarica diretta degli acquiferi.

Per le altre regioni italiane non è stato possibile, nella maggior parte dei casi, reperire un progetto cartografico delle aree di ricarica degli acquiferi profondi, se non a scala locale. Spesso le aree di ricarica

vengono descritte solo come plausibile posizione geografica senza realizzare una vera e propria cartografia. La maggior parte delle regioni suggerisce però alcuni metodi da applicare al fine dell'individuazione e della mappatura delle aree di potenziale ricarica degli acquiferi profondi destinati all'estrazione delle acque per il consumo umano riportati nella sottostante Tabella 1.

<i>Tabella1 - Panoramica dei metodi suggeriti da ciascuna regione con i rispettivi riferimenti bibliografici</i>		
REGIONE	METODO SUGGERITO	Riferimenti Bibliografici
Veneto	<u>Metodi chimici</u> (misura della concentrazioni degli anioni e dei cationi) e <u>isotopici</u> (misura del contenuto isotopico, con riguardo per gli isotopi radiogenici) connesse a misure dei parametri fisici (temperatura, pH e conducibilità) al fine di datare le acque e in funzione dell'età e delle caratteristiche chimico-fisiche ricondurle alle potenziali aree di ricarica. Viene inoltre specificata la necessità che le aree di ricarica si trovino a monte della linea dei fontanili al fine di individuare le condizioni idrogeologiche favorevoli alla ricarica degli acquiferi.	Conchetto E., (2011) – link: http://www.consigliodibacinolv.gov.it/consiglio/Risorsa-Acqua/Pubblicazioni/Tendenze-evolutive.html (visualizzato ottobre 2014) Pellizzari P. (2009) – link: http://www.economiaeambiente.it/wp-content/uploads/2010/03/LA-RICARICA-DELLE-FALDE-ACQUIFERE-NELLA-PROVINCIA-DI-VICENZA.pdf (visualizzato ottobre 2014)
Friuli Venezia Giulia	Proposto un metodo di ricostruzione del sottosuolo sul modello della Regione Emilia Romagna e della Regione Lombardia. Il progetto deve ancora essere pubblicato.	Della Vedova B. & Brancolini G. (2002)
Trentino Alto Adige	Misura della temperatura e studio del contenuto isotopico al fine di individuare la quota di infiltrazione; valutazione della concentrazione delle differenti specie chimiche al fine di definire le litologie con cui le acque sotterranee sono entrate in contatto. Ricostruzione del modello idrogeologico della pianura (a scala di bacino) mediante l'utilizzo di dati preesistenti riguardanti le caratteristiche idrogeologiche delle formazioni.	Provincia Autonoma di Trento & RFI (2008) – link: http://www.notavtrentino.it/documenti/ridrgeo01.pdf (visualizzato ottobre 2014) Distretto Idrografico delle Alpi Orientali (2009) – link: http://www.alpiorientali.it/documenti/list_doc/pub/PdP_doc_old/3-documenti_revisonati_al_18_9_2009/PIANO_GESTIONE_COMPLETO_PDF/pg_adige/PG_Adige_1_Corpi_Idrici_r ev01.pdf (visionato ottobre 2014)
Toscana	Metodi chimici e isotopici	Università degli studi di Firenze-Dipartimento di Scienze della Terra (2010) – link : http://docplayer.it/15290707-Indagine-geochimica-ed-isotopica-delle-sorgenti-termo-ed-oligominerali-dell-area-amiatina.html (visualizzato ottobre 2014)
Lazio	Metodi chimici e isotopici	Carucci V. (2010) – link: http://www.idrogeologiaquantitativa.it/wordpress/wp-content/uploads/2010/11/Tesi-Dottorato-XXII-ciclo_Caruccirev.pdf (visionato ottobre 2014)
Abruzzo	Metodo idrogeologico basato sullo studio della topografia, sullo studio dell'utilizzo del suolo e sulla caratterizzazione dell'acquifero. Indicata come utile la modellizzazione mediante FEFLOW e MODFLOW	Leopardi et alii (2008) – link: http://www.regione.abruzzo.it/pianoTutelaacque/docs/elaboratiPiano/R1_4/Appendici/R1_4App01.pdf (visualizzato ottobre 2014) Regione Abruzzo (2010) - Link: http://www.regione.abruzzo.it/pianoTutelaacque/docs/elaboratiPiano/N1_1/N1_1NTA.pdf (visualizzato ottobre 2014)
Liguria	Utilizzo di dati idrogeologici, idrochimici, idrologici, microbiologici e pedologici.	Regione Liguria (2010) – link: http://www.ambienteinliguria.it/eco3/DTS_GENERALE/20110117/07_ALLEGATO_VII_Aree_salvaguardia.pdf (visualizzato ottobre 2014)
Umbria	Individuazione delle idrostrutture, sulla base delle caratteristiche litologiche e geologico-strutturale dell'area, e correlazione tra le idrostrutture individuate, i tassi di infiltrazione e le portate delle emergenze. Le idrostrutture condizionano il flusso, le portate delle emergenze corrispondono all'infiltrazione media nelle aree di ricarica. Metodo applicato ad acquiferi carbonatici.	Boni C. & Petitta M. (2008)
Calabria	Utilizzo di studi pregressi sulla dinamica degli acquiferi profondi della Regione Calabria, misure piezometriche degli acquiferi, dati chimici e l'utilizzo delle cartografie tematiche ufficiali. Le aree di ricarica sono state cartografate.	Regione Calabria (2009) – link: http://www.regione.calabria.it/ambiente/allegati/pianotutelaacque/relazioni/relazione_di_sintesi.pdf (visualizzato ottobre 2014)

Molise	Utilizzo di dati pluviometrici, portate sorgive, analisi chimiche e isotopiche delle acque per identificare le modalità di ricarica. Le aree sono state identificate applicando il criterio idrogeologico e utilizzando dati geologico-strutturali. Si tiene conto del flusso significativo (senza il quale gli ecosistemi sarebbero danneggiati) e della quantità significativa (ossia la possibilità di estrarre almeno 10 m ³ /gg)	Allocca et alii (2006) Distretto Idrografico dell' Appennino Meridionale (2010) – link : http://www.adb.basilicata.it/adb/Pstralcio/pianoacque/Allegato%203%20-%20Caratterizzazione%20geologica%20e%20idrogeologica.pdf (visualizzato ottobre 2014)
Puglia	Utilizzo di dati chimici e isotopici per l'identificazione della quota di infiltrazione delle acque. Indicata la possibilità di identificare le aree di ricarica tramite profili multiparametrici che tengano conto di parametri come temperatura e conducibilità elettrolitica delle acque.	Autorità di Bacino della Puglia & IRSA-CNR (2010) – link : http://www.regione.puglia.it/www/web/files/Risorse%20Naturali/9Report_Fase_4IRSA.pdf (visualizzato ottobre 2014)
Basilicata	Applicato il criterio idrogeologico utilizzando dati geologico-strutturali. Si tiene conto del flusso significativo (senza il quale gli ecosistemi sarebbero danneggiati) e della quantità significativa (ossia la possibilità di estrarre almeno 10 m ³ /gg)	Distretto Idrografico dell' Appennino Meridionale (2010) – link : http://www.adb.basilicata.it/adb/Pstralcio/pianoacque/Allegato%203%20-%20Caratterizzazione%20geologica%20e%20idrogeologica.pdf (visualizzato ottobre 2014)
Sicilia	Le aree di ricarica vengono identificate con le aree di affioramento delle litologie ospitanti l'acquifero profondo. Viene indicata la necessità di integrare lo studio con dati idrogeologici.	Regione Sicilia (2007) – link: http://docplayer.it/13624325-Piano-di-tutela-delle-acque-della-sicilia-di-cui-all-art-121-del-decreto-legislativo-3-aprile-2006-n-152.html (visualizzato ottobre 2014)

Nella relazione scientifica prodotta dal Dipartimento di Scienze della Terra e conservata agli atti, è riportata una disamina dei principali metodi utilizzati a livello internazionale.

3. RICERCA DI DATI E CARTOGRAFIE PREGRESSE NELL'AREA OGGETTO DI STUDIO

Nell'ambito di questa fase del progetto è stata eseguita una raccolta di pubblicazioni scientifiche, carte idrogeologiche regionali, carte piezometriche e sezioni stratigrafiche interessanti l'area oggetto di studio.

Le carte, le pubblicazioni e le sezioni litostratigrafiche raccolte vengono, di seguito, elencate:

- Carta isopiezometrica dell'acquifero C (Isopiezometric map of the C aquifer) (Beretta et alii, 1996a);
- Carta dell'individuazione delle principali aree di ricarica degli acquiferi profondi della pianura piemontese alla scala 1:600.000 (Bove et alii, 2005);
- Carta delle isopiezometriche della falda superficiale (Bove et alii, 2005);
- Carta piezometrica della falda superficiale nella pianura vercellese e biellese (Agosto 2007) (De Luca et alii, 2010);
- Carta piezometrica della falda profonda nella pianura vercellese e biellese (Novembre 2007) (De Luca et alii, 2010);
- Carta delle aree con acquiferi profondi (Regione Piemonte, 2015);
- Carta della base dell'acquifero superficiale nella pianura vercellese e biellese (De Luca et alii, 2010);
- Carta della differenza tra livello piezometrico dell'acquifero superficiale e dell'acquifero profondo nella pianura vercellese e biellese (De Luca et alii, 2010);
- Carta delle aree di ricarica, di transizione e di drenaggio dell'acquifero profondo della pianura vercellese e biellese (De Luca et alii, 2010);
- Carta della base dell'acquifero superficiale, aggiornata al 2012 (approvato con D.D.900 del 3/12/2012);
- Piezometria del sistema acquifero principale delle Unità Idrogeologiche del Villafranchiano B-Sabbie d Asti B e del sistema acquifero dell'unità Idrogeologica delle Argille Azzurre A (Vigna et alii, 2010);

- Piezometria dell'acquifero profondo della Valle Maggiore (Lasagna et alii, 2014);
- Ricostruzione litostratigrafica della pianura vercellese e biellese (De Luca et alii, 2010);
- Differenti pubblicazioni sui fontanili e le risorgive della Regione Piemonte (De Luca et alii, 2006; Convenzione tra il Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università degli Studi di Torino e la Regione Piemonte – Servizio Gestione Risorse Idriche, 2007; Convenzione tra il Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università degli Studi di Torino e l'Ambito Territoriale Ottimale n.5 Astigiano Monferrato, 2008; De Luca et alii, 2009; De Luca et alii, 2014);
- Numerose pubblicazioni in merito all'area artesianiana della Valle Maggiore (Beretta et alii, 1996b; Caviglia et alii, 2009; Lasagna et alii, 2011; Lasagna et alii, 2014).

Ai dati e alle informazioni derivanti dalle pubblicazioni elencate sono stati aggiunti i dati, le informazioni e le sezioni litostratigrafiche estratti dalle numerose tesi di laurea triennale e magistrale, disponibili presso l'archivio del Dipartimento di Scienze della Terra, Università degli Studi di Torino.

4. SCELTA DEI CRITERI E REALIZZAZIONE DI UNA CARTOGRAFIA PRELIMINARE

L'elaborazione di una cartografia preliminare delle aree di ricarica degli acquiferi profondi ha richiesto l'individuazione di uno o più criteri che fossero oggettivi e applicabili in tutta la Regione Piemonte, tenendo conto dell'elevata variabilità del contesto idrogeologico regionale e della disponibilità di dati.

La ricerca bibliografica, condotta nei primi mesi del progetto, ha permesso di raccogliere informazioni sui metodi per l'individuazione delle aree di ricarica degli acquiferi profondi, applicati, soprattutto, in ambito internazionale. La loro applicazione richiede l'utilizzo di un'enorme quantità di dati chimici, fisici e piezometrici, relativi sia alla falda profonda sia alla falda superficiale, che attualmente non sono disponibili per l'intero contesto regionale. Sono stati perciò introdotti e utilizzati criteri che, oltre a rispettare la necessità di scientificità e applicabilità, garantiscono la possibilità di aggiornamento del prodotto cartografico man mano che nuove conoscenze risultassero disponibili.

La Carta delle aree di ricarica degli acquiferi profondi nei settori di pianura della Regione Piemonte è stata quindi realizzata applicando, in successione, differenti criteri, in modo da incrementare il dettaglio e l'affidabilità della ricostruzione ad ogni passaggio.

In particolar modo sono state seguiti, in sequenza, i seguenti criteri:

- **criterio generale** per una prima definizione delle aree di interesse;
- **criterio della porzione del circuito di flusso** per una prima delimitazione dell'estensione della fascia delle aree di ricarica degli acquiferi profondi all'interno o in prossimità delle aree di interesse ;
- **criteri includenti ed escludenti** in modo da dettagliare meglio l'estensione delle aree di ricarica in funzione delle informazioni idrogeologiche e geologiche, ove disponibili. Applicazione dei criteri includenti al fine di ampliare, dove necessario, la fascia delle aree di ricarica degli acquiferi profondi sulla base dei dati a disposizione, applicazione dei criteri escludenti per ridurla, dove necessario, sulla base dei dati a disposizione.

4.1 IL CRITERIO GENERALE

Il criterio generale è stato applicato su tutto il territorio della Regione Piemonte al fine di individuare le aree di interesse cioè le aree all'interno o in prossimità delle quali potrebbero collocarsi le aree di ricarica degli acquiferi profondi.

Tali aree sono state individuate sulla base di quattro condizioni fondamentali:

- aree pedemontane o pedecollinari dove può essere individuato il limite tra i depositi permeabili di pianura e le formazioni impermeabili o scarsamente permeabili del substrato (cristallino o terziario) (Figura 1);
- aree rilevate rispetto ad altre porzioni di pianura tali da garantire una componente verticale di flusso significativa;

- aree da cui si dipartono le linee di flusso dell'acquifero profondo, dove le linee di flusso sono all'incirca perpendicolari a un limite alimentante (Figura 2);
- aree che sono situate idrogeologicamente a monte di un acquifero profondo (Figura 3).

Pertanto, dalle aree di interesse sono state escluse le aree di bassa pianura, le aree indicate dalle linee di flusso come aree di recapito delle acque sotterranee e dunque aree di drenaggio e le aree a monte idrogeologico di zone nelle quali non è stata riconosciuta la presenza di un acquifero profondo.

L'applicazione del criterio generale ha permesso di riconoscere le aree di interesse, cioè di potenziale presenza, delle aree di ricarica degli acquiferi profondi senza, per ora, definirne l'estensione (Figura 4).

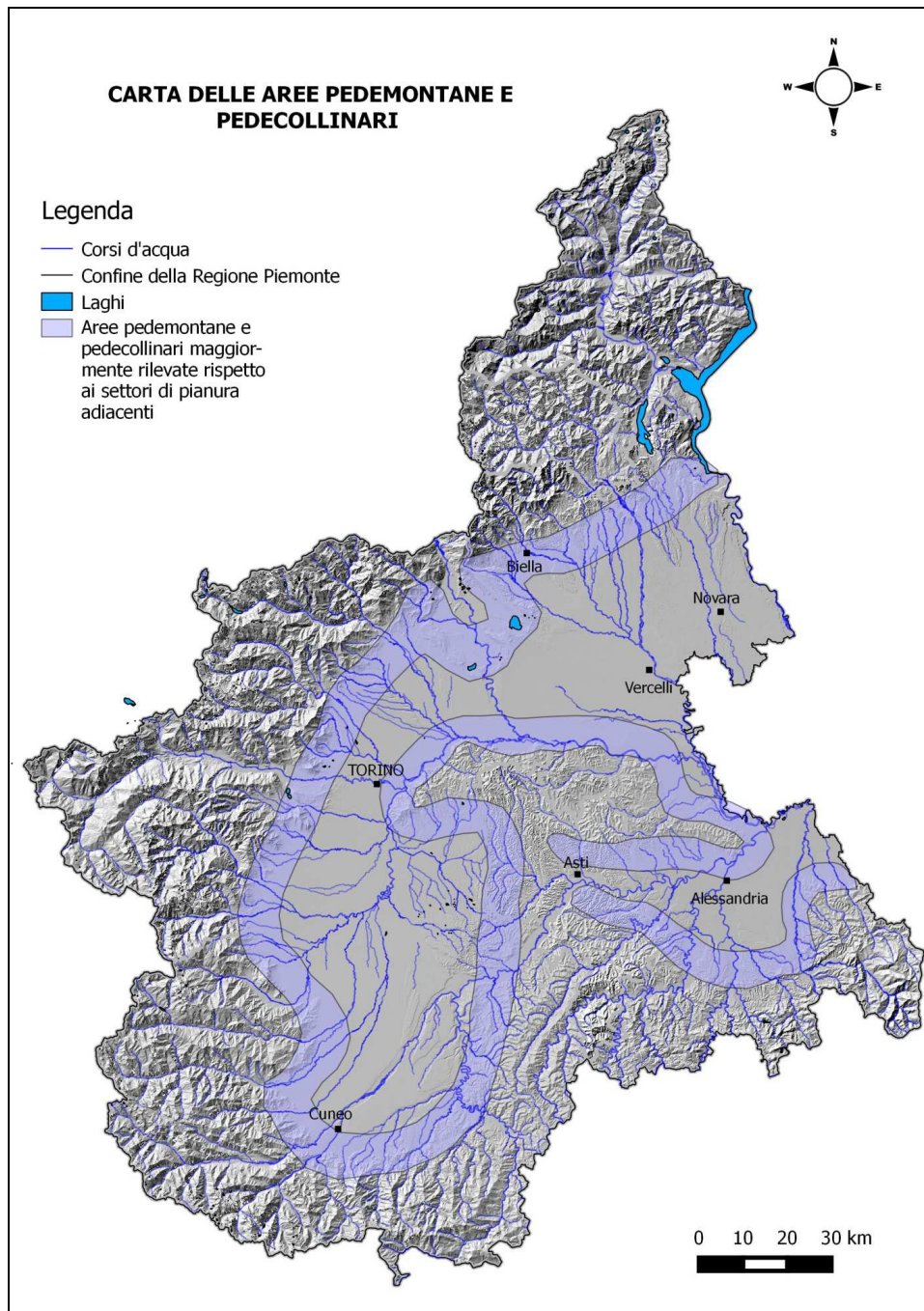


Figura 1 - aree pedemontane e pedecollinari maggiormente rilevate rispetto ai settori di pianura adiacenti.

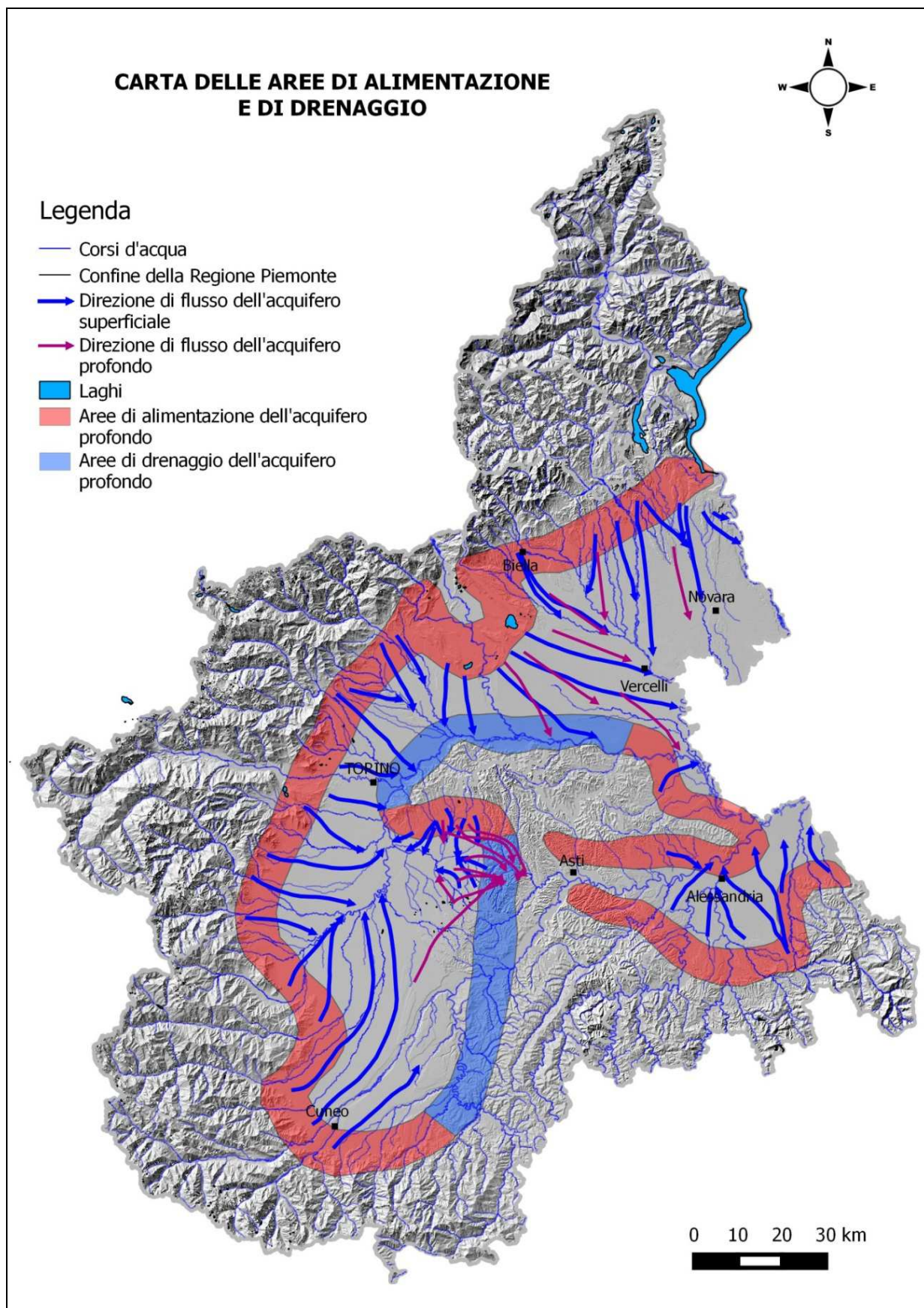


Figura 2 - aree di alimentazione e di drenaggio dell'acquifero profondo nella pianura piemontese, in mancanza di dati sufficienti si sono utilizzati quelli relativi all'acquifero superficiale. Da: Bove et alii, 2005 ; Beretta et alii, 1996a ; De Luca et alii, 2010; Vigna et alii, 2010; Lasagna et alii, 2014; modificati.

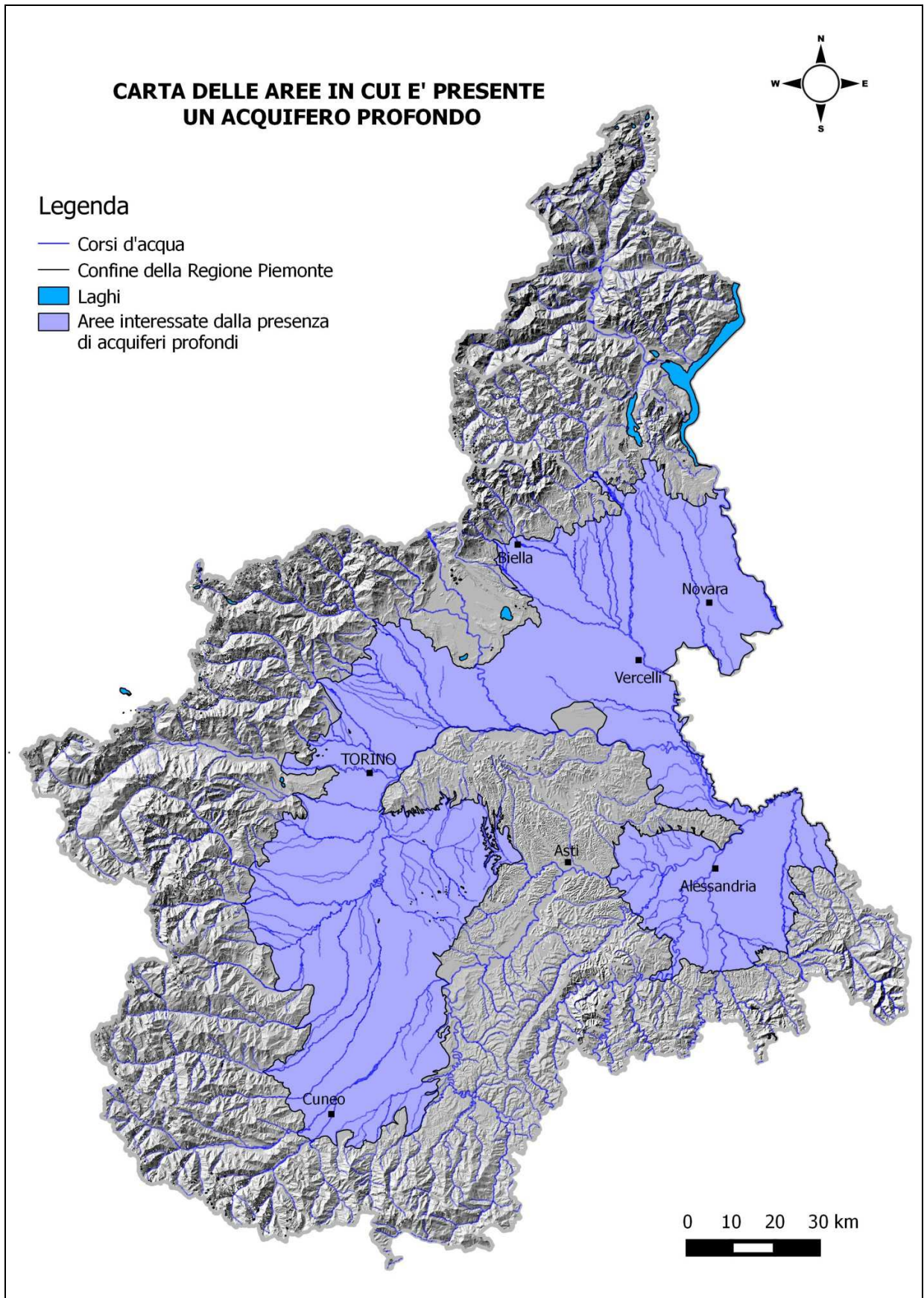


Figura 3 - aree di pianura interessate dalla presenza degli acquiferi profondi (Regione Piemonte, 2015).

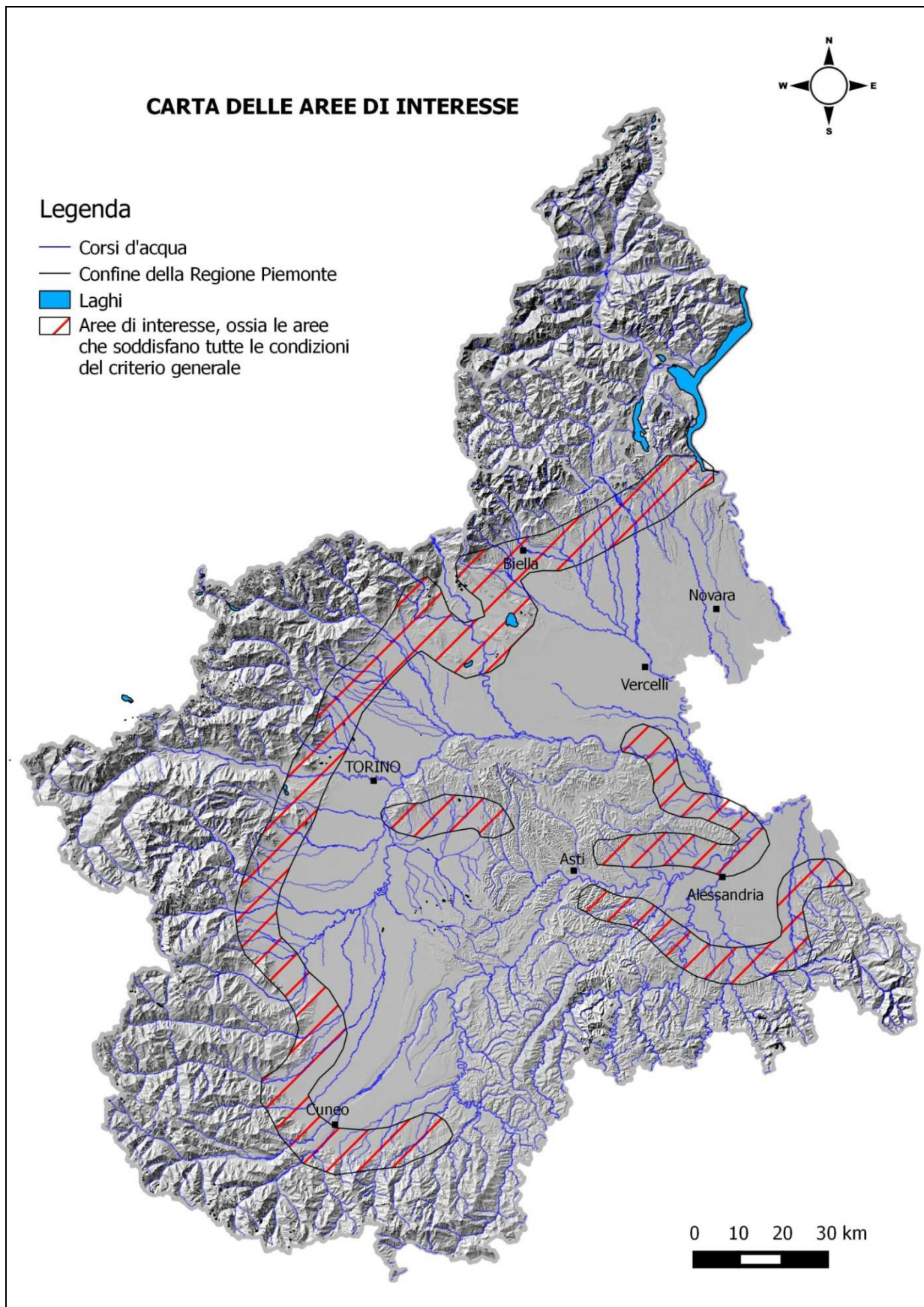


Figura 4 - aree di interesse, ovvero delle aree che soddisfano tutte le condizioni poste dal criterio generale. In tali aree verrà applicato il criterio della porzione del circuito di flusso.

4.2 IL CRITERIO DEL CIRCUITO DI FLUSSO

Per eseguire una prima delimitazione dell'estensione della fascia delle aree di interesse è stato applicato il criterio della porzione di circuito di flusso.

Durante la fase di ricerca bibliografica è emerso che le aree di ricarica degli acquiferi profondi rappresentano generalmente una porzione limitata e ben definita del circuito di flusso; dagli schemi di flusso delle acque sotterranee realizzate da Toth (1963), le aree di ricarica degli acquiferi profondi occupano una porzione del circuito di flusso variabile in funzione delle caratteristiche idrogeologiche dell'area. È dunque possibile stabilire l'estensione di una potenziale fascia di ricarica degli acquiferi profondi definendo tali aree come una porzione limitata del circuito di flusso.

Per poter applicare omogeneamente il criterio della porzione del circuito di flusso in tutta l'area di studio si è proceduto definendo le zone di inizio e di termine del circuito di flusso e l'estensione delle aree di ricarica degli acquiferi profondi come porzione del potenziale circuito di flusso profondo.

Il concetto generale di circuito di flusso

Il circuito di flusso si sviluppa dalle aree di ricarica, dove è riconoscibile un'importante componente di flusso verticale discendente, fino alle aree di drenaggio, dove la componente di flusso prevalente è verticale ascendente (Figura 5). Il collegamento tra l'inizio e la fine del circuito di flusso delle acque sotterranee è rappresentato dalle aree di transizione, dove il movimento delle acque è prevalentemente orizzontale, con componenti verticali da trascurabili a nulle.

Mentre l'acquifero superficiale è interessato dallo sviluppo di numerosi circuiti di flusso a carattere prevalentemente locale, dovuti alla ricarica diretta della falda superficiale, l'acquifero profondo è caratterizzato prevalentemente dallo sviluppo di circuiti di flusso a carattere regionale, scarsamente influenzati da apporti idrici locali. Nei circuiti di flusso regionali, le aree di ricarica possono essere individuate, in prima approssimazione, in corrispondenza al limite tra i depositi di pianura ed il substrato scarsamente permeabile, mentre per le aree di drenaggio, si possono delimitare le zone di risalita artesianiana dell'acquifero profondo e le zone ove i principali corsi d'acqua della regione svolgono un'azione drenante anche nei confronti degli acquiferi più profondi.

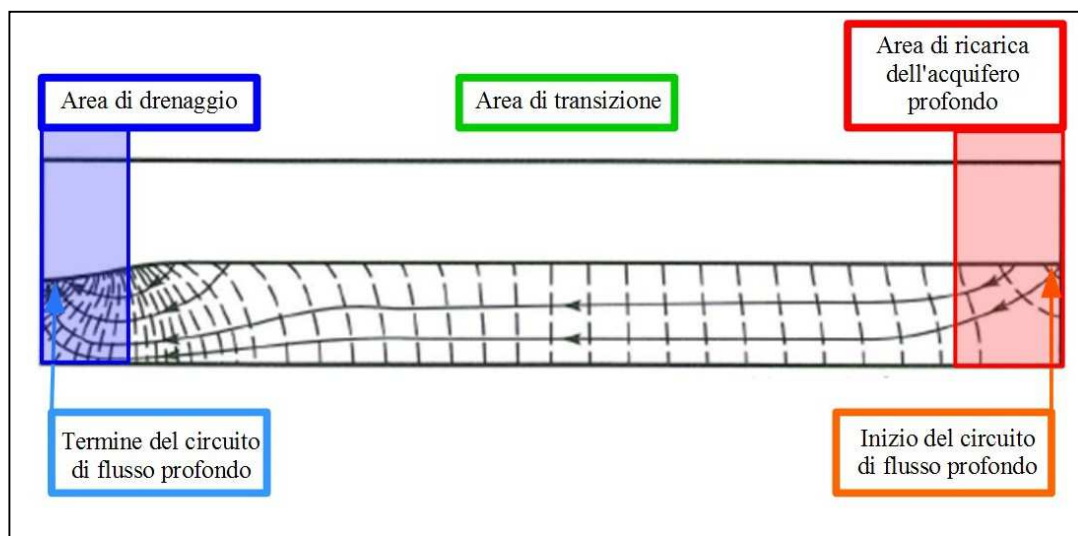


Figura 5 - modello idrogeologico, non in scala, in cui vengono rappresentati i circuiti di flusso superficiali, intermedi e profondi. Le aree in cui prevalgono le componenti verticali di flusso dei circuiti intermedi e profondi corrispondono alle aree di ricarica degli acquiferi profondi. (Freeze & Witherspoon, 1967, modificato).

Definizione delle zone di inizio del circuito di flusso profondo

Come punto di partenza delle linee di flusso (Figura 5) potenzialmente dirette verso l'acquifero profondo è stato identificato il limite tra depositi permeabili di pianura ed il substrato scarsamente permeabile, tenendo

conto degli affioramenti di substrato posti idrogeologicamente più a valle (Figura 6); sono state quindi tracciate le seguenti linee di inviluppo che, a seconda della zona, rappresentano il limite idrogeologico sopra citato:

- la linea di inviluppo tra il substrato cristallino e i depositi permeabili di pianura;
- la linea di inviluppo tra il substrato impermeabile terziario e i depositi permeabili di pianura;
- la linea di inviluppo tra i depositi glaciali scarsamente permeabili degli anfiteatri morenici e i depositi permeabili di pianura a valle;
- la linea di inviluppo tra i depositi glaciali scarsamente permeabili dell'Anfiteatro Morenico di Ivrea e i depositi permeabili della piana interna all'anfiteatro.

Tali linee rappresentano le linee di inizio dei circuiti di flusso regionali potenzialmente diretti verso gli acquiferi profondi della pianura piemontese (Figura 7).

Da questo limite, le linee di flusso si dirigono, perpendicolarmente alle linee isopiezometriche, fino alle aree di drenaggio descritte nel paragrafo seguente. Considerando l'esiguità di dati a disposizione, in assenza della piezometria dell'acquifero profondo, le lunghezze del circuito delle linee di flusso sono state ricavate mantenendosi perpendicolari alle linee piezometriche della falda superficiale.

Nelle aree dell'Astigiano, dell'Alessandrino e in corrispondenza all'Altopiano di Poirino, la linea di inviluppo è stata tracciata seguendo, come nei casi precedentemente descritti, gli affioramenti di substrato impermeabile posti idrogeologicamente più a valle ed escludendo, in assenza di affioramenti, i lembi di terrazzi idraulicamente isolati dalle aree in cui è stato riconosciuto un acquifero profondo. Tali lembi di terrazzo sono rappresentati da spessori modesti di Sabbie di Asti e della Successione Villafranchiana, poggianti al di sopra dei depositi impermeabili terziari e separati dagli altri affioramenti dalle incisioni fluviali. In corrispondenza di tali terrazzi, dunque, l'acqua di infiltrazione non è in grado di raggiungere gli acquiferi profondi a valle per ricaricarli, venendo drenata dall'acquifero superficiale e dai corsi d'acqua presenti nell'area.

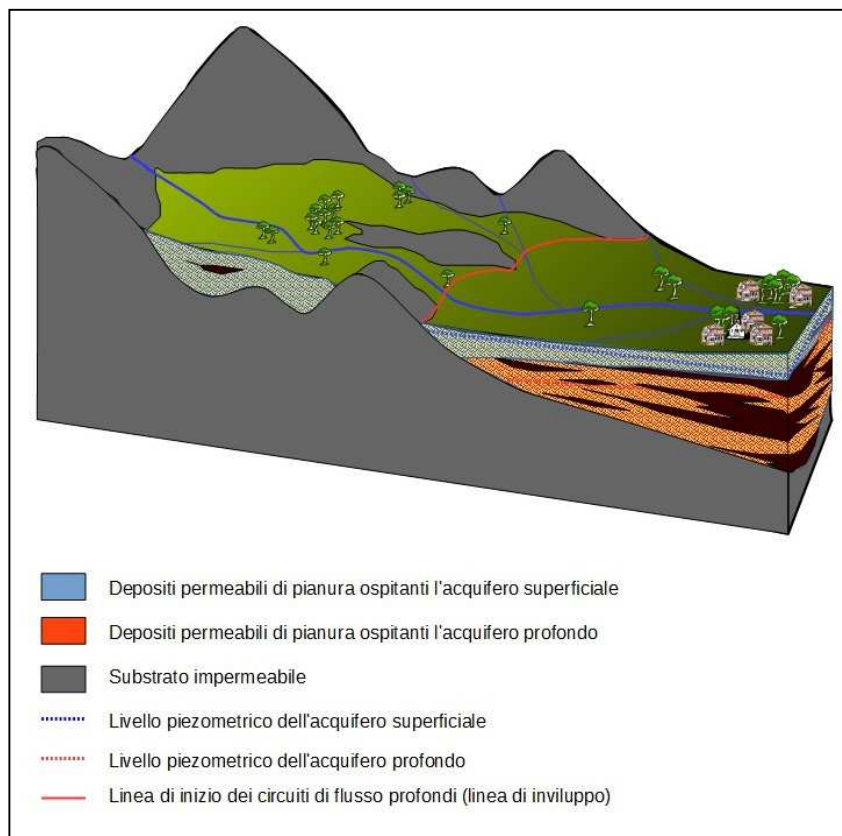


Figura 6 - schema idrogeologico semplificato, non in scala, in cui viene rappresentata la linea di inizio dei circuiti di flusso profondi (linea di inviluppo). Tale linea interpola gli affioramenti delle formazioni impermeabili (riportate in marrone nell'immagine) posti idrogeologicamente più a valle. Si può supporre che a valle di tale linea lo spessore dei depositi permeabili sia tale da garantire l'instaurarsi di circuiti di flusso intermedi e profondi in grado di alimentare gli acquiferi profondi della pianura. La presenza di affioramenti del substrato impermeabile può essere infatti considerata un'indicazione del ridotto spessore dei depositi permeabili a monte della linea tracciata.

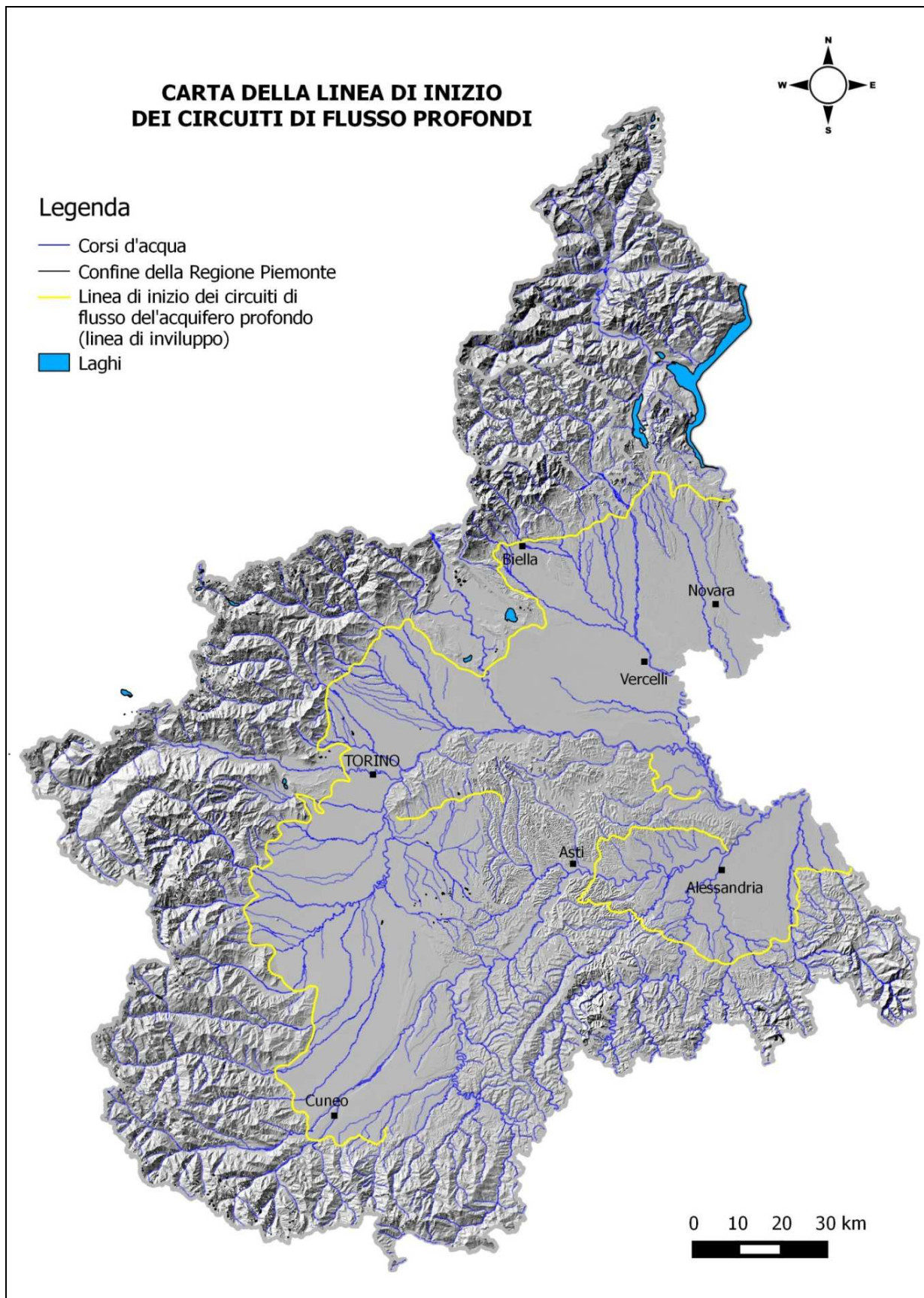


Figura 7 - linea di inizio dei circuiti profondi, definita interpolando gli affioramenti di formazioni impermeabili o scarsamente permeabili poste idrogeologicamente più a valle. La linea è stata tracciata solo nelle aree di interesse, definite applicando il criterio generale (Figura 4).

Identificazione delle zone di termine del circuito di flusso profondo

Come zone terminali del circuito di flusso sono stati considerati i tre principali corsi d'acqua drenanti, in grado di richiamare le acque sotterranee dall'acquifero profondo: il fiume Po, nella pianura Cuneese, Torinese, Vercellese e Novarese; il fiume Tanaro, nella pianura Alessandrina e Astigiana, e il fiume Dora Baltea nella pianura interna all'Anfiteatro Morenico di Ivrea; sono state inoltre considerate le aree caratterizzate da fenomeni di artesianesimo nell'area di Cantarana e Villafranca d'Asti: la Valle Maggiore, la Valle Stanavasso, la Valle Traversola e la Valle Triversa (Figura 8).

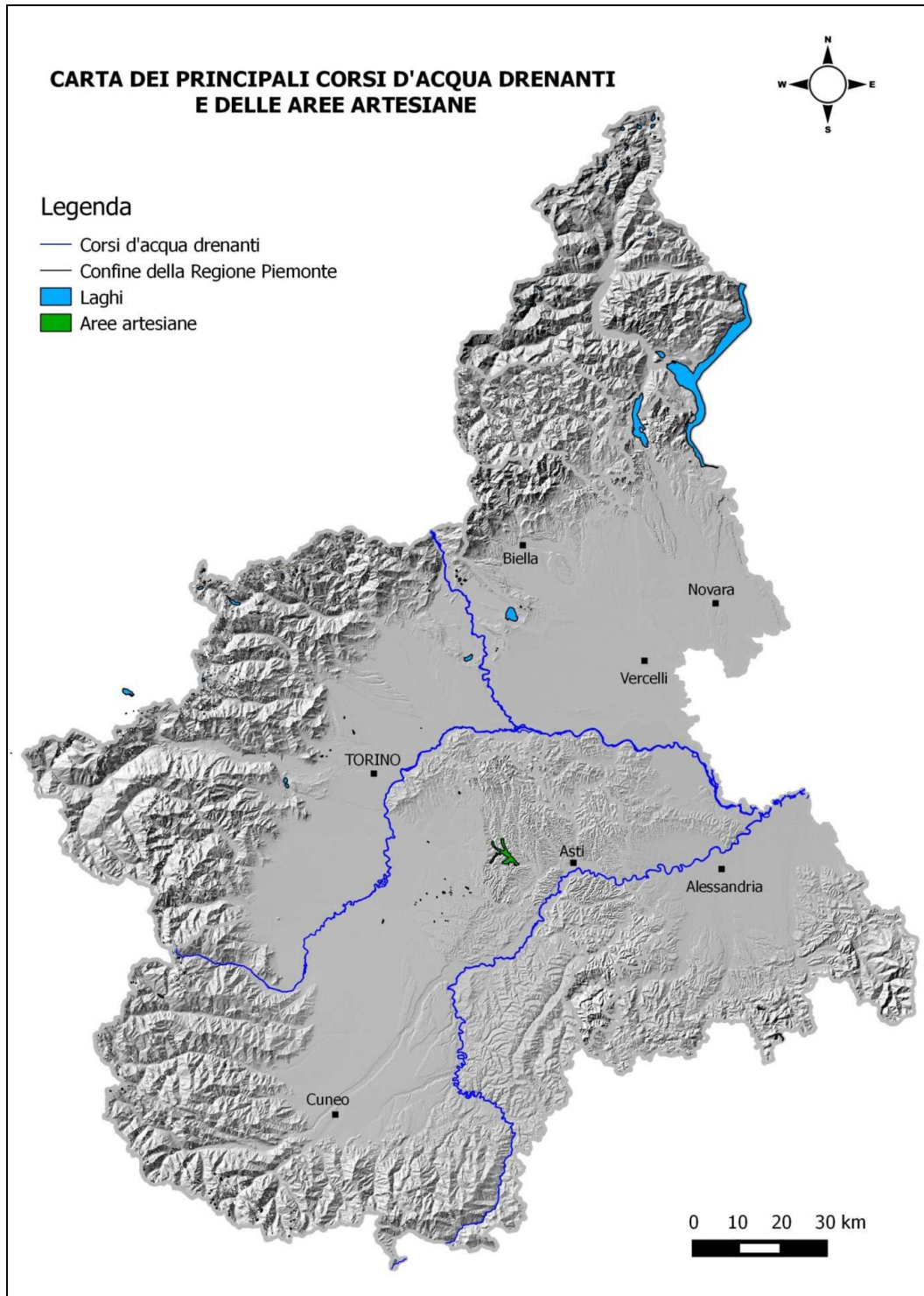


Figura 8 - aree artesiane e i principali corsi d'acqua drenanti gli acquiferi superficiali profondi. Tali corsi d'acqua e le aree artesiane rappresentano la fine dei circuiti di flusso intermedi e profondi, considerati per applicare il criterio della porzione del circuito di flusso.

Definizione dell'estensione delle aree di ricarica

L'estensione dell'area di ricarica è stata misurata a partire dalla linea di inviluppo, mantenendosi perpendicolare a questa in ogni punto.

Per definire l'estensione delle aree di ricarica sono state misurate e successivamente suddivise in nove classi di lunghezza, le linee di flusso potenzialmente dirette verso gli acquiferi profondi (Tabella 2).

I modelli idrogeologici proposti da Toth (1963), Fetter (1994) e Freeze & Cherry (1979) suggeriscono che le aree di ricarica degli acquiferi profondi rappresentano tra l'8% ed il 20% circa della lunghezza dei circuiti di flusso regionali, misurati linearmente dalle aree di inizio di tali circuiti alle aree di drenaggio. Tale percentuale varia in funzione dell'assetto geologico e idrogeologico dell'area.

Sulla base di tale osservazione, ad ogni classe di lunghezza delle linee di flusso è stato attribuito un valore di estensione dell'area di ricarica degli acquiferi profondi, in modo che questa rappresenti tra il 10% ed il 15% del valor medio della classe (Tabella 2).

<i>Tabella 2 - classi di lunghezza delle linee di flusso dei circuiti di flusso regionali e relativa estensione delle aree di ricarica degli acquiferi profondi, secondo il criterio della porzione del circuito di flusso.</i>			
INTERVALLO di estensione del circuito di flusso		<u>Estensione (in Km) dell'area di ricarica e relativa percentuale rappresentata dal valore applicato</u>	
Valore minimo (Km)	Valore massimo (Km)	<u>Estensione dell'area di ricarica (Km)</u>	% del valore medio
3	5	0,5	12,50
5	10	1	13,33
10	20	2	13,33
20	35	3,5	12,73
35	50	5	11,76
50	65	6,5	11,30
65	80	8	11,03
80	95	9,5	10,86
95	110	11	10,73

I circuiti di flusso di estensione inferiore ai 3 Km non sono stati riportati in quanto la fascia delle aree di ricarica degli acquiferi profondi non sarebbe stata rappresentabile alla scala di realizzazione della carta.

La fascia delle aree di ricarica, definita mediante l'applicazione del criterio della porzione di circuito di flusso, viene riportata in Figura 9. Tale fascia può essere modificata mediante l'applicazione di criteri includenti o escludenti, descritti nel prosieguo. In particolar modo, l'applicazione dei criteri includenti può aumentare l'estensione della fascia delle aree di ricarica mentre quella dei criteri escludenti può ridurla.

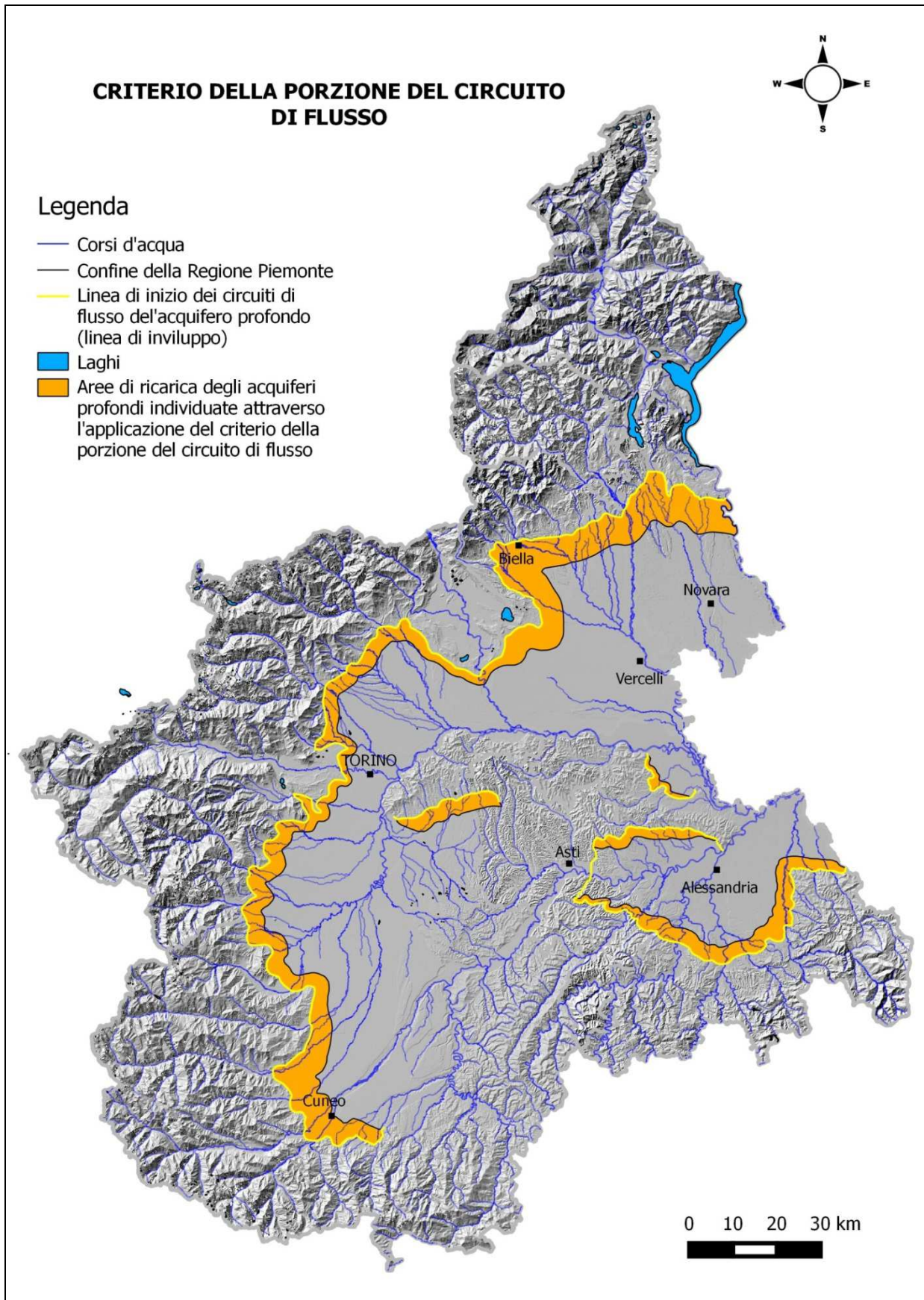


Figura 9 - aree di ricarica degli acquiferi profondi, definite applicando il criterio della porzione del circuito di flusso.

4.3 I CRITERI INCLUDENTI ED ESCLUDENTI

I criteri includenti

La fascia delle aree di ricarica degli acquiferi profondi, definita mediante l'applicazione del criterio del circuito di flusso, può essere integrata ricorrendo a ulteriori informazioni geologiche e idrogeologiche, attraverso l'applicazione dei criteri includenti.

In particolar modo, sono stati individuati due criteri includenti che permettono di migliorare la delimitazione delle aree di ricarica degli acquiferi profondi, ampliandone la dimensione:

- il criterio del Δh significativamente positivo;
- il criterio dell'affioramento delle formazioni ospitanti l'acquifero profondo.

Il criterio del Δh significativamente positivo

La differenza di carico idraulico tra l'acquifero superficiale (hFS) e l'acquifero profondo (hFP), indicata come Δh nel testo, viene calcolato secondo la seguente equazione (eq.1):

$$\Delta h = hFS - hFP$$

Valori positivi di Δh indicano che il livello piezometrico della falda superficiale è maggiore del livello piezometrico della falda profonda. Questa condizione può favorire l'instaurarsi di importanti componenti verticali discendenti di flusso delle acque sotterranee dall'acquifero superficiale verso l'acquifero profondo, con conseguente ricarica di quest'ultimo (Figura 10).

Considerando le possibili oscillazioni stagionali ed annuali delle superfici piezometriche della falda superficiale e profonda, il valore di differenza di carico idraulico non si mantiene costante nel tempo ma subisce anch'esso delle variazioni stagionali ed annuali. Al fine di svincolare la definizione delle aree di ricarica dal valore temporaneo del Δh , sono state identificate come aree di ricarica solo quelle aree che presentino un valore di Δh significativamente positivo, utilizzando un valore medio dell'entità delle oscillazioni stagionali dei livelli piezometrici nella pianura piemontese. In particolar modo, è stato stabilito di considerare come aree di ricarica degli acquiferi profondi tutte quelle aree caratterizzate da valori di $\Delta h > 5$ m. Tale valore di Δh permette infatti di integrare nella fascia delle aree di ricarica quelle aree in cui l'entità della ricarica può essere considerata significativa e in cui il Δh può essere considerato positivo durante tutto l'anno.

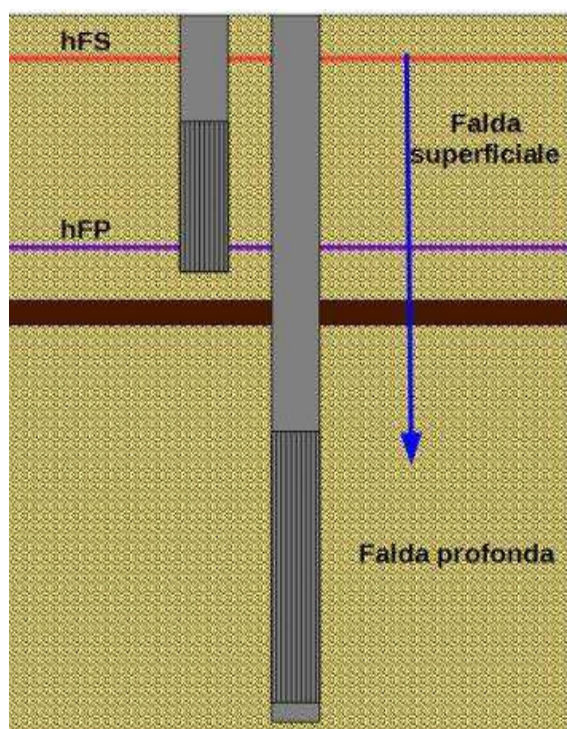


Figura 10 - quando il livello piezometrico della falda superficiale è maggiore di quello della falda profonda si sviluppano delle componenti di flusso verticali discendenti. Tali componenti di flusso fanno sì che l'acquifero superficiale ricarichi l'acquifero profondo. L'importanza di tali componenti dipende dalla differenza tra i due livelli piezometrici, quello della falda superficiale e quello della falda profonda: maggiore è la loro differenza, maggiore è la significatività delle componenti verticali. hFS: livello piezometrico della falda superficiale; hFP: livello piezometrico della falda profonda.

Il criterio dell'affioramento delle formazioni ospitanti l'acquifero profondo

Possibili ulteriori aree di ricarica degli acquiferi profondi, che integrano la fascia delle aree di ricarica definita applicando il criterio della porzione del circuito di flusso, sono rappresentate dalle aree di affioramento delle formazioni che ospitano l'acquifero profondo stesso (Figure 11 e 12). In tali aree è infatti possibile supporre che le acque di infiltrazione vadano a ricaricare direttamente l'acquifero profondo, attraversando la sua porzione superficiale in affioramento. Tali aree rappresentano dunque delle potenziali aree di ricarica diretta degli acquiferi profondi.

Per l'identificazione di tali aree si è fatto riferimento alle formazioni affioranti mappate nei fogli della Carta Geologica di Italia alla scala 1:100 000.

Affinché una zona di affioramento delle formazioni ospitanti l'acquifero profondo venga considerata come area di ricarica, è necessario che rispetti le condizioni imposte dal criterio generale (paragrafo 4.1), ossia: l'area di affioramento deve trovarsi in una zona pedemontana o pedecollinare rilevata, a monte idrogeologico di un acquifero profondo e deve costituire un'area da cui si dipartono le linee di flusso dell'acquifero profondo (Figura 13).

Nell'ambito della pianura piemontese, le formazioni geologiche ospitanti gli acquiferi profondi sono le Sabbie di Asti e la Successione Villafranchiana. Le aree di affioramento di queste formazioni che rispettano tutte le caratteristiche imposte dal criterio generale sono state indicate nella carta riportata in Figura 13.

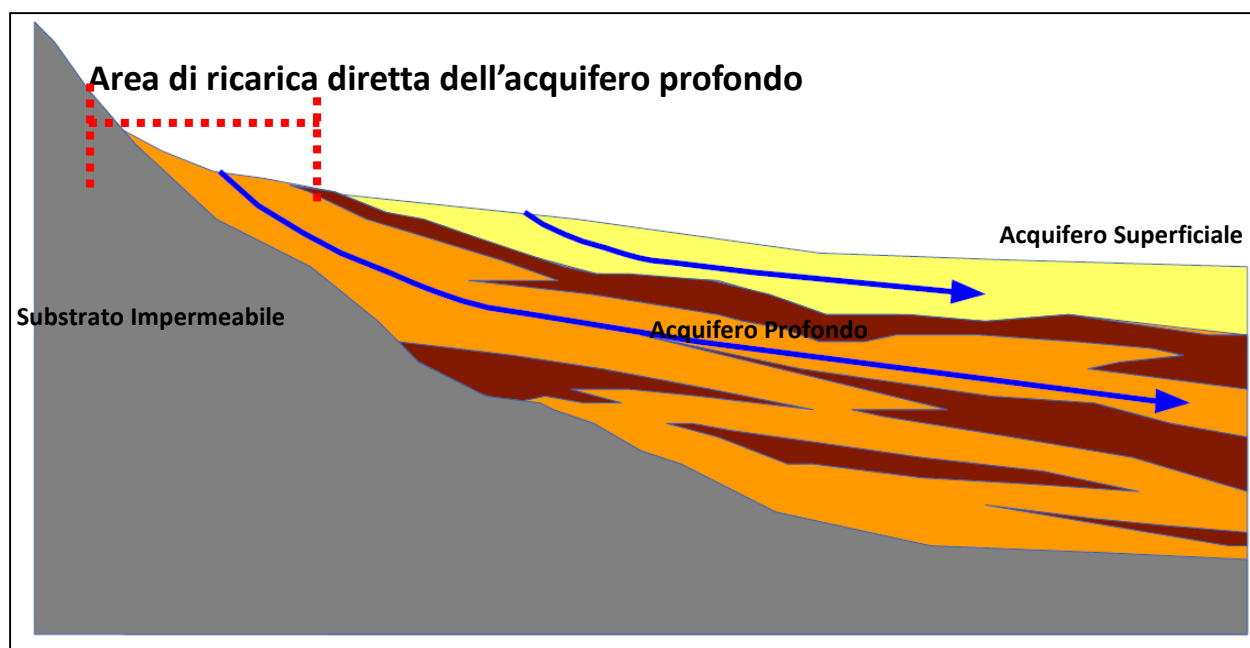


Figura 11 - schema idrogeologico semplificato in cui si osserva come la ricarica degli acquiferi profondi avvenga direttamente nelle aree in cui affiorano le formazioni geologiche ospitanti gli acquiferi profondi stessi.

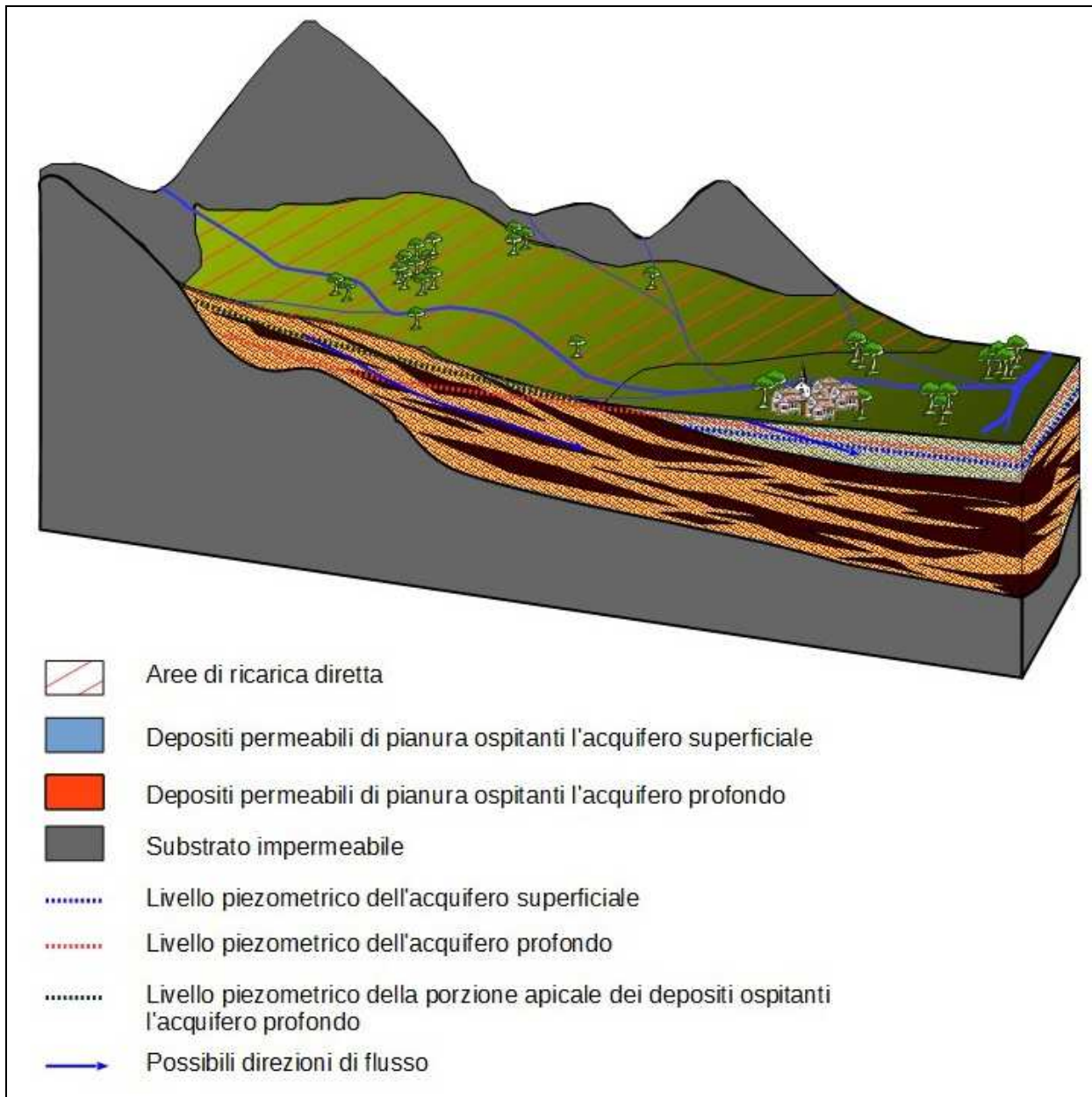


Figura 12 - le aree di ricarica degli acquiferi profondi possono corrispondere alle aree in cui affiorano le formazioni geologiche che li ospitano. In tali aree la ricarica degli acquiferi profondi viene mediata esclusivamente dalla porzione apicale della formazione geologica che li ospita e per questa ragione può essere considerata come ricarica diretta. Come si osserva infatti dall'immagine, le acque che si infiltrano in pianura e quelle che si infiltrano in corrispondenza agli affioramenti che ospitano gli acquiferi profondi seguono percorsi differenti e partecipano a circuiti di flusso diversi.

CARTA DELLE AREE DI AFFIORAMENTO DELLE SABBIE DI ASTI E DELLA SUCCESIONE VILLAFRANCHIANA



Legenda

- Corsi d'acqua
- Confine della Regione Piemonte
- Laghi
- Aree di affioramento delle Sabbie di Asti e della Successione Villafranchiana in cui può verificarsi la ricarica degli acquiferi profondi

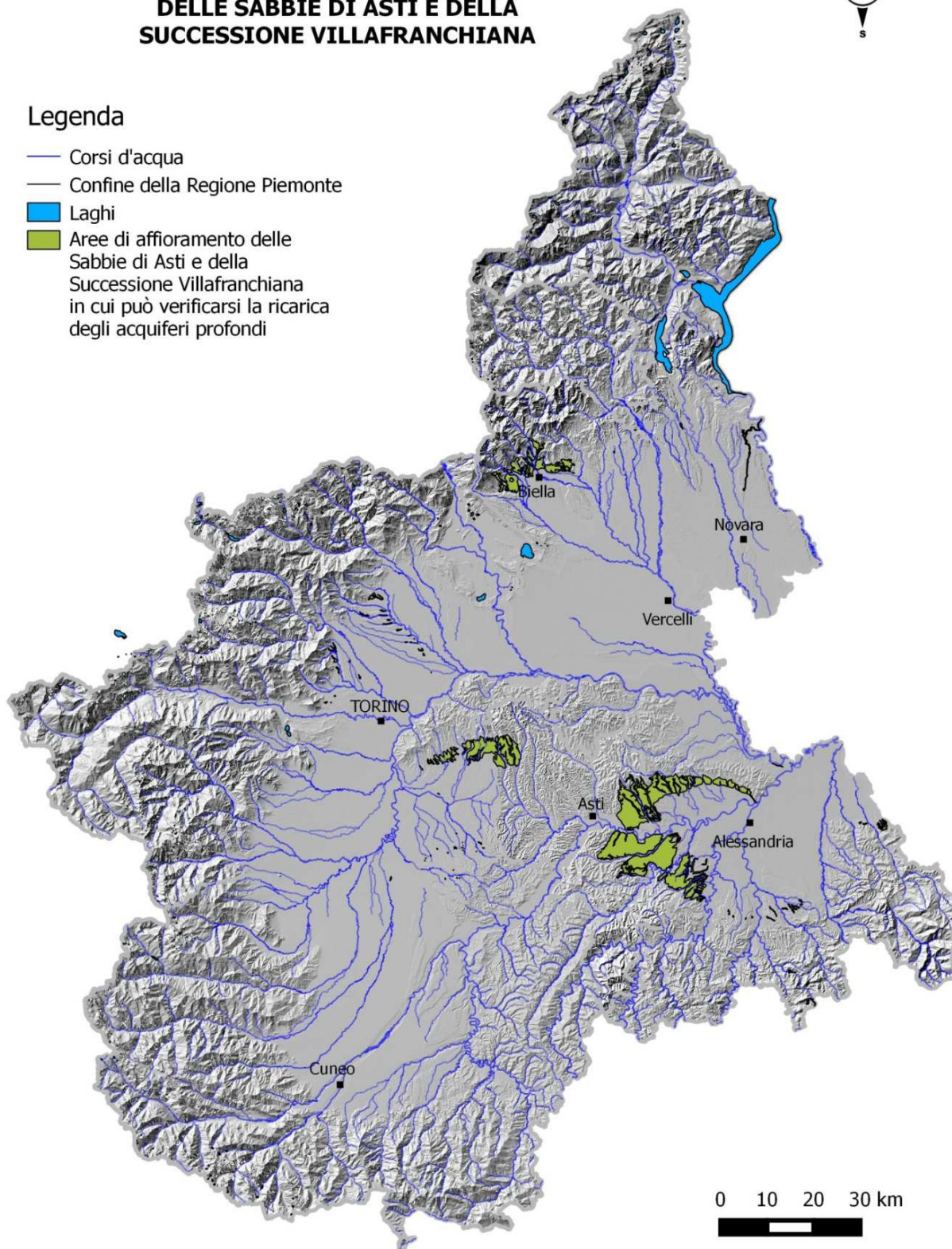


Figura 13 - aree di affioramento delle Sabbie di Asti e della Successione Villafranchiana che rispettano le condizioni imposte dal criterio generale. Tali aree possono essere inserite nella fascia delle aree di ricarica applicando il criterio includente dell'affioramento.

I criteri escludenti

L'estensione della fascia delle aree di ricarica degli acquiferi profondi può essere ridotta tramite l'applicazione dei seguenti criteri escludenti:

- il criterio del Δh nullo o negativo;
- il criterio della presenza di risorgive o di fenomeni di artesianesimo;
- il criterio della presenza di livelli fini, continui e potenti, nel sottosuolo.

L'applicazione dei criteri escludenti permette di ridurre l'estensione della fascia delle aree di ricarica degli acquiferi profondi o di eliminare completamente alcune aree precedentemente indicate di ricarica.

Il criterio del Δh negativo

Il calcolo della differenza di carico idraulico, così come proposto dall'eq. 1, permette di applicare anche il criterio escludente del Δh nullo o negativo (Figura 14). Le aree caratterizzate da Δh nullo o negativo presentano livelli piezometrici dell'acquifero superficiale pari o inferiori a quelli dell'acquifero profondo con conseguente possibile sviluppo di componenti di flusso orizzontali o verticali ascendenti, queste ultime responsabili del drenaggio dell'acquifero profondo.

Il livello piezometrico dell'acquifero superficiale e profondo sono simili (condizione di Δh nullo) nelle aree di flusso laterale, ossia dove sono quasi assenti le componenti verticali di flusso in falda e i possibili scambi idrici tra gli acquiferi sono trascurabili.

Le aree caratterizzate da Δh nullo o negativo possono quindi essere escluse dalla fascia delle aree di ricarica degli acquiferi profondi definita applicando il criterio della porzione del circuito di flusso.

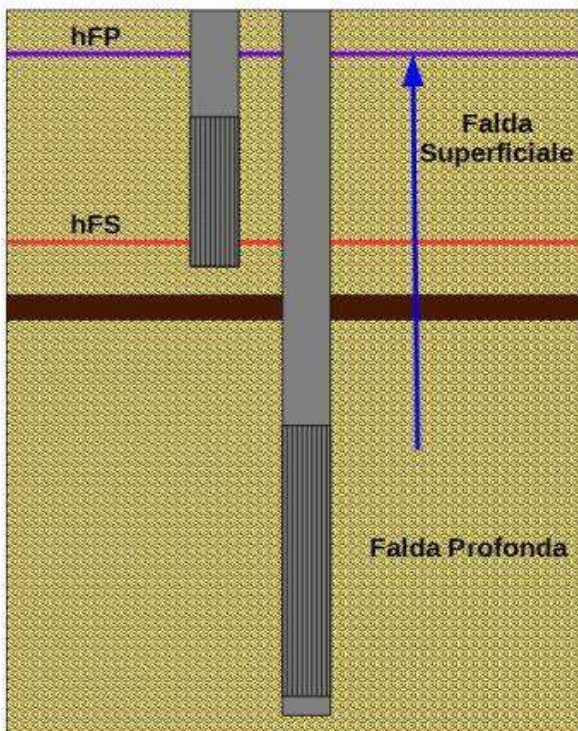


Figura 14 - quando il livello piezometrico della falda profonda (h_{FP}) è maggiore del livello piezometrico della falda superficiale (h_{FS}), si instaurano delle importanti componenti di flusso verticali ascendenti. In queste condizioni l'acquifero profondo ricarica l'acquifero superficiale e non si verifica quindi la ricarica degli acquiferi profondi. L'entità delle componenti verticali ascendenti dipende dalla differenza tra i livelli piezometrici.

Il criterio della presenza di risorgive e di fenomeni di artesianesimo

Le risorgive rappresentano naturali affioramenti della falda in pianura, ossia aree in cui naturalmente, a seguito dello sviluppo dei circuiti di flusso e delle condizioni lito-strutturali del bacino idrogeologico, le acque sotterranee risalgono verso la superficie topografica. In corrispondenza delle risorgive le componenti verticali di flusso sono ascendenti, per cui non è possibile che si verifichi la ricarica degli acquiferi profondi, che richiederebbe viceversa una componente di flusso verticale discendente.

Considerando dunque i tratti di pianura indagati, tutte le aree interessate dalla presenza di risorgive o poste a valle idrogeologica della fascia delle risorgive (Figura 15) vengono considerate come aree di drenaggio ed escluse dalla delimitazione delle aree di ricarica degli acquiferi profondi.

Allo stesso modo sono state escluse dalla fascia delle aree di ricarica degli acquiferi profondi tutte le aree in cui l'evidenza di drenaggio della falda profonda è costituita dalla presenza di fenomeni di artesianesimo (Figura 15). I fenomeni di artesianesimo si verificano infatti laddove il livello piezometrico della falda profonda, oltre ad essere notevolmente maggiore di quello della falda superficiale, supera anche la superficie topografica. In tali aree il Δh è notevolmente negativo e la componente di flusso predominante è verticale ascendente.

Criterio della presenza di livelli fini continui e potenti

Come precedentemente affermato, una delle condizioni indispensabili affinché avvenga la ricarica degli acquiferi profondi è la presenza di una differenza di carico idraulico tra l'acquifero superficiale e quello profondo in grado di determinare la comparsa di una significativa componente verticale discendente di flusso delle acque sotterranee. Tuttavia, anche in caso di differenza di carico idraulico favorevole, la ricarica degli acquiferi profondi può essere limitata o impedita dalla presenza di livelli fini, a permeabilità bassa o molto bassa, sufficientemente potenti e lateralmente continui. Tali livelli possono infatti confinare gli acquiferi profondi, isolandoli idraulicamente dagli acquiferi superficiali e riducendo o impedendo eventuali scambi idrici tra le falde.

Le zone in cui le ricostruzioni litostratigrafiche del sottosuolo evidenzino tale situazione dovrebbero quindi essere escluse dalle aree di ricarica degli acquiferi profondi, precedentemente definite applicando il criterio della porzione del circuito di flusso e i criteri includenti.

Il criterio escludente per presenza di livelli fini di separazione continui e potenti non è stato per il momento applicato perchè necessita di una ricostruzione litostratigrafica di dettaglio del sottosuolo delle aree indagate, attualmente non disponibile.

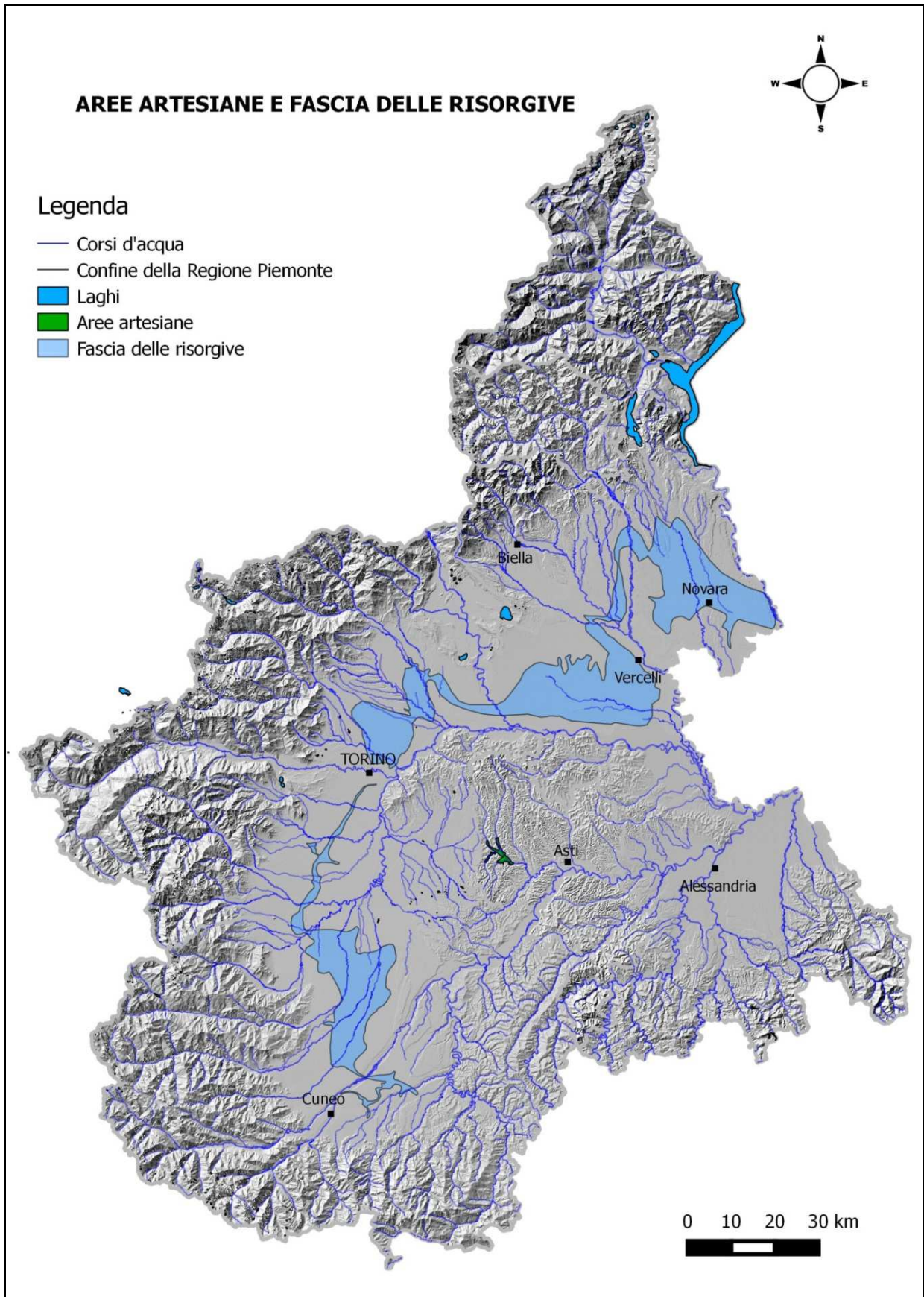


Figura 15 - aree artesiane e aree interessate dalla fascia dei fontanili nella pianura Piemontese. Tali aree rappresentano aree di drenaggio degli acquiferi profondi e quindi vengono sottratte alla fascia delle aree di ricarica identificate secondo il criterio della porzione del circuito di flusso, nel caso in cui si sovrappongano (criterio escludente).

4.4 I METODI ACCESSORI

La delimitazione delle aree di ricarica degli acquiferi profondi potrebbe essere ulteriormente dettagliata ricorrendo ad analisi aggiuntive che, affiancate ai criteri precedentemente descritti, fornirebbero maggiori informazioni sul grado di separazione o comunicazione tra gli acquiferi. Tali metodi accessori non consentono, da soli, di identificare le aree di ricarica degli acquiferi profondi, ma svolgono un ruolo di supporto agli altri criteri.

Tra le indagini accessorie si possono elencare:

- lo studio idrochimico;
- lo studio isotopico;
- l'analisi delle temperature delle acque sotterranee;
- il confronto tra le oscillazioni del livello piezometrico dell'acquifero superficiale e dell'acquifero profondo;
- la valutazione del grado di confinamento degli acquiferi profondi mediante le prove di pompaggio.

Tali metodologia non sono state applicate nel presente studio poiché richiedono dati attualmente non disponibili su tutto il territorio indagato.

Lo studio idrochimico

Lo studio della composizione chimica delle acque sotterranee può essere d'aiuto per riconoscere i fenomeni di ricarica degli acquiferi profondi.

Ricorrendo infatti all'analisi dei principali parametri chimico-fisici (pH, conducibilità elettrolitica, Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^-), sia delle falde superficiali sia delle falde profonde, è possibile ottenere informazioni sul grado di separazione o comunicazione tra gli acquiferi in un'area.

I valori registrati nell'acquifero superficiale e nell'acquifero profondo sono, infatti, differenti qualora gli acquiferi dell'area siano idraulicamente separati tra loro. L'assenza di componenti verticali discendenti di flusso impedisce, infatti, l'omogeneizzazione delle acque sotterranee, con conseguente sviluppo di una differenziazione chimica tra le falde legata alla differente diluizione e ai differenti processi chimico-fisici:

- nell'acquifero superficiale l'infiltrazione diretta delle acque meteoriche causa, nella maggior parte dei casi, concentrazioni più elevate di analiti, quali cloruri e nitrati, derivanti dall'attività antropica;
- nell'acquifero profondo, invece, i ridotti apporti dalla superficie determinano, in genere, concentrazioni minori degli analiti.

Nelle aree dove si verifica invece la ricarica degli acquiferi profondi, la presenza di componenti verticali discendenti di flusso determina una maggiore omogeneizzazione della composizione chimica delle acque sotterranee, determinando un minor grado di differenziazione tra l'acquifero superficiale e profondo.

Si può dunque concludere che:

- se la composizione chimica della falda superficiale e della falda profonda sono simili, potrebbero esistere componenti verticali di flusso favorevoli alla ricarica degli acquiferi profondi e all'omogeneizzazione delle acque sotterranee;
- se la composizione chimica della falda superficiale e della falda profonda sono significativamente differenti, l'acquifero superficiale e profondo potrebbero essere idraulicamente separati e sviluppare differenti circuiti di flusso.

Il confronto tra la composizione chimica degli acquiferi superficiali e profondi tuttavia non ha un significato univoco. Infatti, la composizione chimica delle acque sotterranee può essere fortemente influenzata anche da altri fattori idrogeologici.

Lo studio del contenuto isotopico delle acque sotterranee

Lo studio degli isotopi viene indicato da numerosi autori come un possibile metodo per l'identificazione delle aree di ricarica degli acquiferi profondi. Tra gli isotopi più studiati vi sono quelli dell'idrogeno, dell'ossigeno e del carbonio.

Gli isotopi dell'idrogeno e dell'ossigeno rappresentano i traccianti ideali del mezzo idrico, facendo parte della molecola stessa dell'acqua. Inoltre, la concentrazione relativa delle specie isotopiche stabili ^2H e ^{18}O è conservativa, qualunque siano le interazioni tra acqua e minerali del serbatoio acquifero, mentre invece queste interazioni modificano le caratteristiche chimiche dell'acqua.

Gli isotopi considerati subiscono un fenomeno di frazionamento: nell'evaporazione il vapore risulta sempre arricchito in isotopi leggeri rispetto al liquido di partenza, mentre nella condensazione, il condensato risulta sempre arricchito in isotopi pesanti rispetto alla massa di vapore da cui è derivato.

Inoltre, nel caso delle masse di vapore derivate dagli oceani, la composizione isotopica del vapore restante dopo ogni episodio di precipitazione dipende soltanto dal grado di condensazione, e quindi, dalla temperatura. Le precipitazioni risultano perciò isotopicamente marcate dalla loro storia termica.

Questa proprietà è importante, perché lega la composizione isotopica delle acque meteoriche (e delle acque sotterranee da cui derivano) a dei parametri geografici ben precisi delle precipitazioni:

- la latitudine;
- l'altitudine;
- la stagione.

In aree di studio come il Piemonte, si potrebbe forse minimizzare l'effetto latitudine e si può supporre che nei singoli serbatoi acquiferi l'effetto stagione venga mediato dai tempi di residenza delle acque sotterranee. A questo punto, le analisi isotopiche delle acque sotterranee potrebbero dare indicazioni sulle altitudini delle aree di ricarica.

L'applicazione di tale metodo per la delimitazione delle aree di ricarica degli acquiferi profondi richiederebbe tuttavia un'intensa campagna di campionamenti e numerose analisi isotopiche, non solo delle acque sotterranee ma anche di quelle meteoriche, per poter operare le opportune correlazioni.

Anche lo studio del contenuto in radiocarbonio (^{14}C) delle acque sotterranee può essere d'aiuto per riconoscere le aree di ricarica degli acquiferi profondi, come specificato da alcuni autori. Il radiocarbonio permette infatti di datare le acque sotterranee, riconducendo le aree di ricarica a quei settori in cui le acque sotterranee mostrano un minor tempo di permanenza nell'acquifero. Anche tale metodo richiede numerose analisi isotopiche, riferite ad altrettanti campioni, e può essere dunque applicato esclusivamente a scala locale.

L'analisi delle temperature delle acque sotterranee

Lo studio della distribuzione delle temperature delle acque sotterranee con la profondità può dare delle informazioni utili per l'identificazione delle aree di ricarica degli acquiferi profondi.

La temperatura delle acque sotterranee è condizionata, principalmente, dal gradiente geotermico dell'area e dalla temperatura delle acque di infiltrazione, da cui dipende l'effetto di stagionalità. La temperatura delle acque di precipitazione influenza la temperatura delle acque sotterranee nei primi metri di profondità al di sotto della superficie terrestre (zona di eterotermia). A maggiori profondità, le acque sotterranee si pongono in equilibrio termico con lo scheletro solido dell'acquifero e la loro temperatura viene condizionata, principalmente, dal gradiente geotermico dell'area (zona di omotermia).

La profondità a cui scompare l'effetto della stagionalità cambia a seconda della componente di flusso predominante degli acquiferi profondi. Nelle aree di ricarica, la presenza di importanti componenti di flusso verticali discendenti, che convogliano le acque di infiltrazione verso profondità maggiori, determina un incremento dello spessore della zona di eterotermia, con conseguente approfondimento della zona di omotermia. Nelle aree di drenaggio, invece, la risalita di acque profonde a temperatura all'incirca costante, provenienti dalla zona di omotermia, determina una riduzione dello spessore della zona di eterotermia e una risalita della zona di omotermia.

Inoltre, nelle aree di ricarica, l'infiltrazione in profondità di acque più fredde determina un abbassamento delle temperature delle acque sotterranee, rispetto alla temperatura supposta in base al gradiente geotermico locale, mentre nelle aree di drenaggio, la risalita di acque più calde da profondità maggiori determina un innalzamento delle temperature, supposte sempre rispetto al gradiente geotermico locale. Ne consegue che le aree di ricarica corrispondano ad anomalie negative della temperatura delle acque sotterranee mentre le aree di drenaggio ad anomalie positive.

Le aree di ricarica possono dunque essere studiate valutando la distribuzione delle temperature nelle acque sotterranee all'interno dell'area di indagine. Tuttavia, questa analisi non è stata applicata per la delimitazione delle aree di ricarica degli acquiferi profondi della pianura piemontese in quanto i dati termici a disposizione non erano sufficienti, in particolar modo quelli riguardanti la falda profonda.

Il confronto tra le oscillazioni del livello piezometrico dell'acquifero superficiale e dell'acquifero profondo

Il livello piezometrico degli acquiferi oscilla in funzione dell'entità dei nuovi apporti presso le aree di ricarica: durante i periodi caratterizzati da intense e frequenti precipitazioni, il livello piezometrico degli acquiferi ricaricati subisce un importante innalzamento; nei periodi interessati da scarse precipitazioni, invece, il livello piezometrico degli acquiferi si abbassa, a seguito dell'assenza di ricarica e del continuo richiamo d'acqua presso le aree di drenaggio.

La falda superficiale viene ricaricata dall'infiltrazione delle acque meteoriche o di irrigazione per quasi tutta la sua estensione e questo fa sì che il suo livello piezometrico oscilli ovunque.

La ricarica della falda profonda si esplica, invece, solo in settori limitati, dove è presente un gradiente idraulico in grado di favorire una componente di flusso verticale discendente e dove l'assenza di livelli fini continui e potenti non ostacola il flusso discendente delle acque. Il suo livello piezometrico dunque oscilla maggiormente solo nelle aree di ricarica.

Tenendo conto di quanto affermato, le aree di ricarica degli acquiferi profondi possono essere dunque individuate confrontando l'entità di oscillazione della falda superficiale e della falda profonda.

Nell'applicazione di tale confronto è necessario tener conto di possibili sfasamenti temporali tra le oscillazioni del livello piezometrico della falda superficiale e quelle della falda profonda. La falda profonda può infatti registrare con un po' di ritardo il medesimo innalzamento del livello piezometrico registrato dalla falda superficiale, a seguito dei tempi di migrazione delle acque sotterranee dall'acquifero superficiale all'acquifero profondo.

La valutazione del grado di confinamento degli acquiferi profondi mediante le prove di pompaggio

Attraverso lo studio delle prove di pompaggio è possibile riconoscere e definire il grado di confinamento degli acquiferi profondi e, di conseguenza, la possibilità che si verifichino o meno fenomeni di ricarica dell'acquifero indagato. Infatti, laddove le prove di pompaggio evidenziano la presenza di un acquifero profondo confinato, è possibile escludere che si verifichi la ricarica della falda profonda, essendo questa idraulicamente separata dagli acquiferi sovrastanti. Laddove, invece, le prove di pompaggio indicano la presenza di acquiferi profondi semiconfinati, è possibile supporre fenomeni di ricarica, qualora la differenza di gradiente idraulico (calcolata secondo l'eq. 1) sia favorevole ad un flusso verticale discendente.

Lo studio del grado di confinamento degli acquiferi profondi può essere utile per migliorare la delimitazione delle aree di ricarica al confine con le aree di transizione ma è difficilmente applicabile per la completa identificazione di tali aree a scala regionale. L'identificazione delle aree di ricarica attraverso l'analisi delle prove di pompaggio richiede infatti un elevato numero di dati e questo fattore rende questo metodo difficilmente applicabile a scala regionale.

L'analisi delle prove di pompaggio per la determinazione del grado di confinamento degli acquiferi non è stato applicato per la delimitazione delle aree di ricarica degli acquiferi profondi per assenza di sufficienti dati a disposizione.

4.5 CARTOGRAFIA DELLE AREE DI RICARICA DEGLI ACQUIFERI PROFONDI DELLA PIANURA PIEMONTESE

La “Carta delle aree di ricarica degli acquiferi profondi nei settori di pianura della Regione Piemonte” (Figura 17) è stata realizzata utilizzando i criteri includenti ed escludenti, ove disponibili, con i risultati ottenuti applicando il criterio del circuito di flusso.

La carta è stata integrata con due ulteriori zone che potrebbero concorrere alla ricarica degli acquiferi profondi di pianura:

- la fascia tampone;
- gli anfiteatri morenici.

La fascia tampone

I depositi dei fondovalle alluvionali e i depositi grossolani lungo i versanti possono ospitare importanti acquiferi superficiali non confinati, alimentati direttamente dall’infiltrazione delle acque meteoriche. Come si osserva nella Figura 16, i circuiti di flusso locali sviluppati in tali acquiferi convogliano le acque sotterranee in direzione della pianura. In corrispondenza degli sbocchi vallivi, la maggior parte delle componenti di flusso di questi acquiferi trasporta le acque sotterranee in direzione degli acquiferi superficiali della pianura, ricaricandoli. Non si può tuttavia escludere che alcune componenti di flusso, si approfondiscano, ricaricando lateralmente gli acquiferi profondi di pianura.

Valutando la possibilità che gli acquiferi profondi di pianura vengano ricaricati lateralmente dagli acquiferi superficiali di versante e di fondovalle, si è ritenuto necessario introdurre una fascia tampone a monte della fascia delle aree di ricarica. La fascia tampone rappresenta i territori, a monte del limite tra depositi permeabili di pianura e substrato impermeabile, in cui l’infiltrazione di un possibile inquinante potrebbe determinare una contaminazione della falda profonda.

La fascia tampone, ove adottata si estende per 2 Km a monte della linea di involuppo del limite permeabile/impermeabile, misurata perpendicolarmente a tale limite. Si ritiene infatti che un inquinante riversato in falda a distanze superiori a 2 Km da tale limite subirebbe processi di degradazione e diluizione tali da considerare notevolmente ridotto il rischio di inquinamento degli acquiferi profondi di pianura.

L’assenza di ricostruzioni di dettaglio e di maggiori dati litostratigrafici e idrogeologici non permette di escludere che gli acquiferi profondi risalgano anche all’interno delle aste vallive maggiormente estese. L’adozione della fascia tampone permette di ridurre il rischio di inquinamento dell’acquifero profondo anche in queste situazioni.

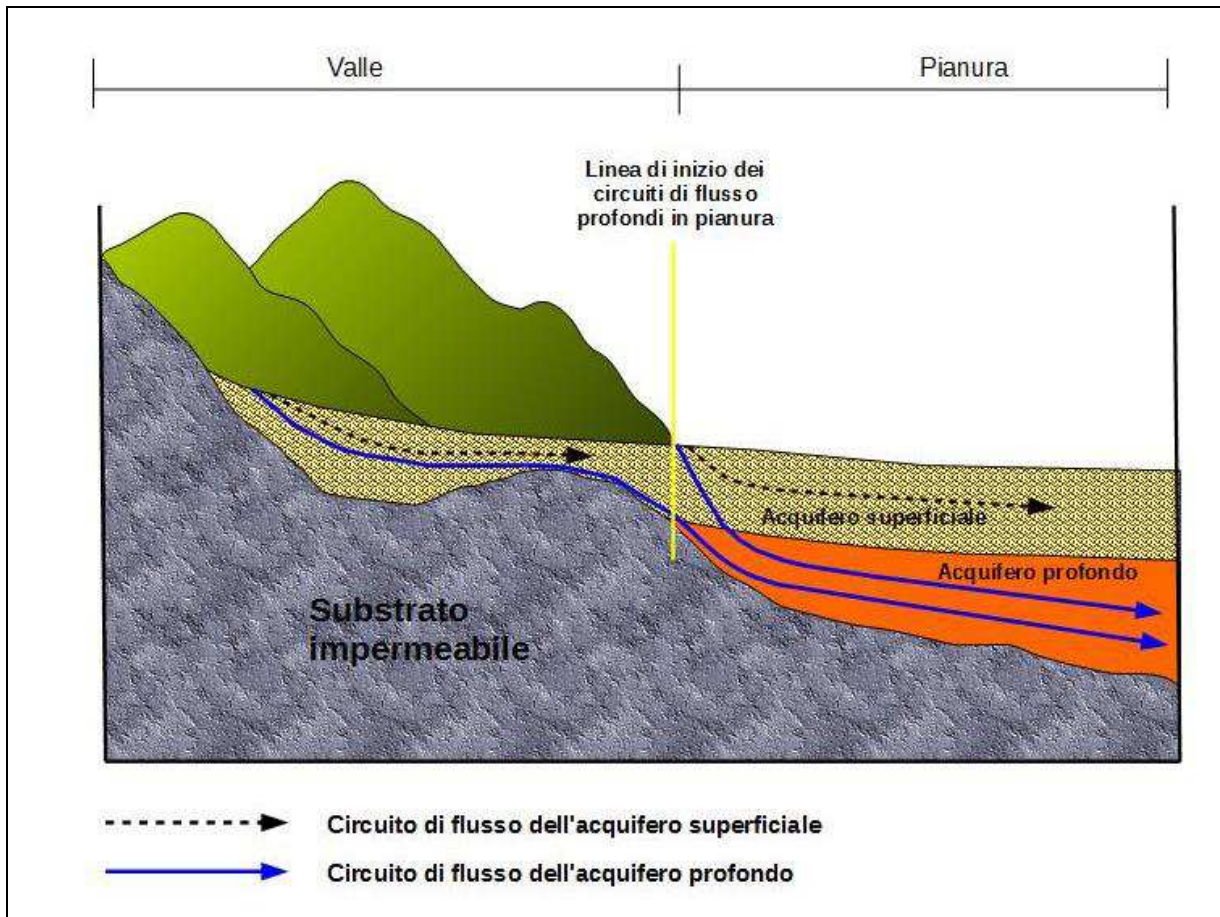


Figura 16 - schema idrogeologico semplificato, non in scala, della fascia tampone. Le acque che si infiltrano nei depositi permeabili di fondovalle o di versante, a monte della linea di inizio dei circuiti di flusso profondi, possono andare a ricaricare gli acquiferi profondi di pianura in corrispondenza degli sbocchi vallivi, come mostrato nell'immagine. Considerando i fenomeni di diluizione e di degradazione degli inquinanti che intervengono in falda, si è ritenuto cautelativo inserire una fascia tampone a monte della linea di inizio dei circuiti di flusso profondi, al fine di limitare il rischio di inquinamento degli acquiferi profondi di pianura a seguito dello sversamento di inquinanti nelle falde superficiali impostate entro i depositi di fondovalle e di versante.

I depositi glaciali degli anfiteatri morenici

La linea di inizio dei circuiti profondi interpola gli affioramenti di depositi glaciali, in base a quanto descritto nel paragrafo relativo alla definizione delle zone di inizio del circuito di flusso profondo. Gli anfiteatri morenici sono stati, nelle fasi iniziali, esclusi dall'applicazione dei criteri precedentemente descritti per la delimitazione delle aree di ricarica degli acquiferi profondi.

Tuttavia i depositi glaciali che li costituiscono non possono essere considerati come completamente impermeabili.

I dati idrogeologici a disposizione non permettono di comprendere se le acque meteoriche che si infiltrano in corrispondenza degli anfiteatri morenici partecipino o meno alla ricarica degli acquiferi profondi.

In via cautelativa, si è pertanto deciso di indicare gli affioramenti più significativi di depositi glaciali come possibili aree di ricarica degli acquiferi profondi in corrispondenza dei tre principali anfiteatri morenici che caratterizzano il territorio regionale: quello del Lago Maggiore, di Ivrea e di Rivoli.

L'andamento dei depositi glaciali ritenuti in grado di alimentare gli acquiferi profondi è stato interpolato, escludendo gli affioramenti isolati e gli affioramenti a monte della fascia tampone. Tali esclusioni sono state operate tenendo in considerazione i fenomeni di degradazione e diluizione degli inquinanti che avvengono in falda.

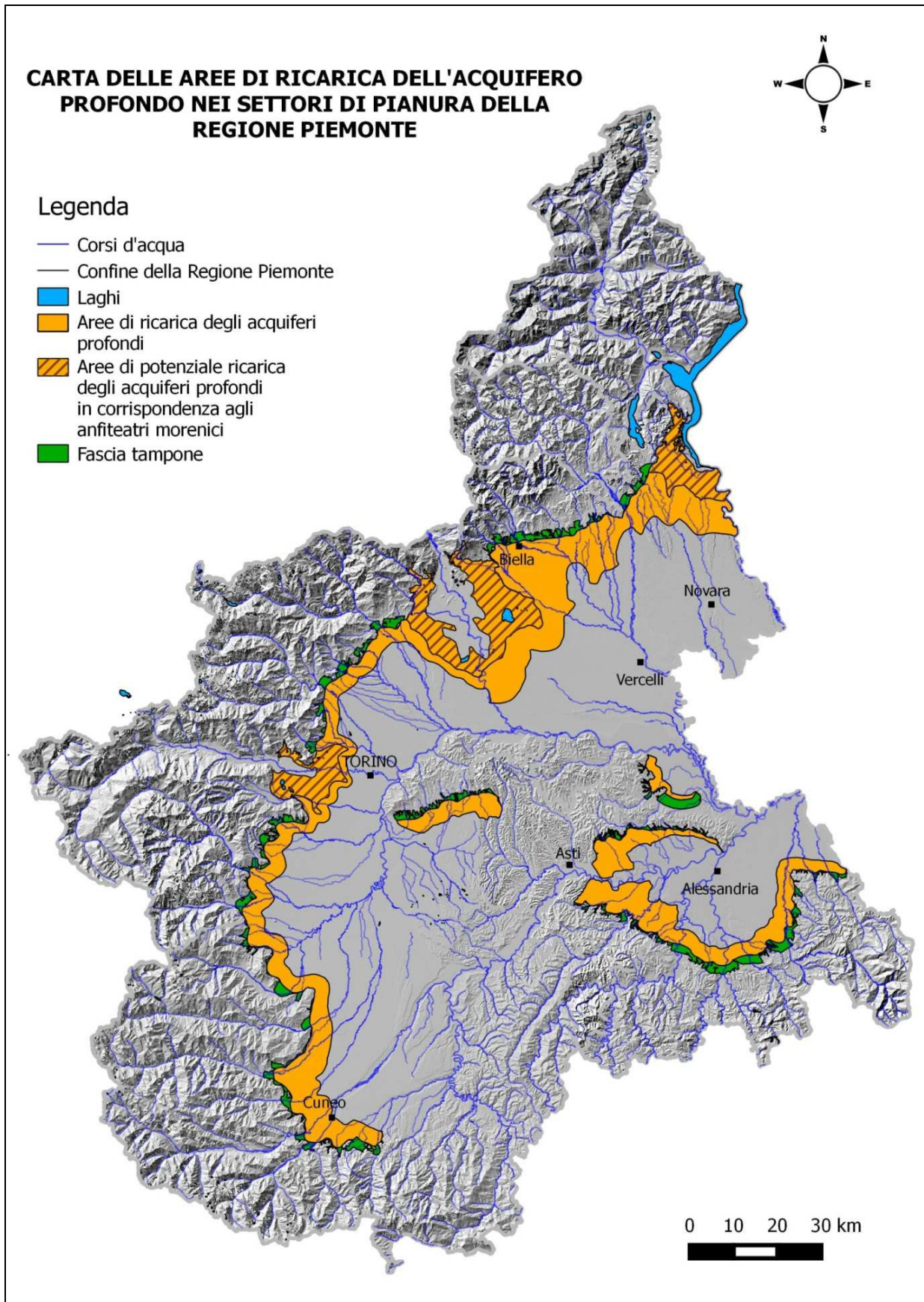


Figura 17 - aree di ricarica degli acquiferi profondi nei settori di pianura della Regione Piemonte con indicate la fascia tampone e le aree di possibile ricarica degli acquiferi profondi in corrispondenza degli anfiteatri morenici.

I diversi settori di indagine vengono di seguito brevemente descritti, sottolineando quali criteri è stato possibile applicare, sulla base dei dati a disposizione.

La pianura novarese, da Romagnano Sesia a Pombia

Dopo aver individuato le zone che rispettano il criterio generale (aree di interesse), l'individuazione delle aree di ricarica degli acquiferi profondi ha avuto inizio tracciando la linea di inizio dei circuiti profondi, ossia la linea che rappresenta il limite tra i depositi permeabili della pianura e le formazioni impermeabili. Tale linea interpola l'andamento del substrato cristallino fino al comune di Borgomanero, da dove invece interpola l'andamento dei depositi glaciali che costituiscono l'Anfiteatro Morenico del Lago Maggiore. La lunghezza del circuito di flusso regionale è stata calcolata misurando la distanza tra la linea di inviluppo e il Fiume Po. I circuiti di flusso individuati ricadono nelle classi 50-65 e 65-80 Km di lunghezza e hanno permesso di tracciare una fascia delle aree di ricarica degli acquiferi profondi ampia rispettivamente 6,5 e 8 Km. L'ampiezza di tale fascia è stata misurata mantenendosi perpendicolari alla linea di inviluppo.

La fascia delle aree di ricarica, definita applicando il criterio della porzione del circuito di flusso, è stata ridotta in corrispondenza dei comuni di Ghemme, Cavaglio d'Agogna, Vaprio d'Agogna e Suno applicando i criteri escludenti. Entro il territorio di tali comuni, infatti, i dati a disposizione indicavano la presenza di risorgive che, una volta interpolate, hanno costituito la fascia delle risorgive nel Novarese.

Le zone di intersezione tra la fascia delle aree di ricarica, definita secondo il criterio della porzione del circuito di flusso, e la fascia delle risorgive sono state rimosse, riducendo così l'estensione delle aree di ricarica.

I dati idrogeologici, riguardanti una ricostruzione della piezometria dell'acquifero profondo della pianura novarese realizzata da Beretta et alii (1996a) si concentrano più a valle della fascia delle aree di ricarica degli acquiferi profondi individuata, fornendo comunque indizi di aree di transizione e di drenaggio, ma non di ricarica.

Alcuni piccoli affioramenti della successione Villafranchiana in corrispondenza della scarpata del terrazzo su cui sorgono gli abitati di Oleggio e Bellinzago Novarese non sono stati inclusi nelle aree di ricarica degli acquiferi profondi, secondo il criterio includente dell'affioramento. Essi si sviluppano infatti su una superficie ad elevata inclinazione (scarpata di terrazzo), mostrano dimensioni ridotte e sono protetti a tetto dai depositi fluvio-glaciali Mindel intensamente pedogenizzati.

A monte della linea di inizio dei circuiti di flusso profondi è stata tracciata una fascia tampone di estensione massima di 2 Km, che interessa esclusivamente i depositi permeabili di versante e di fondovalle. La fascia tampone si estende da Romagnano Sesia fino a Briga Novarese. Da Briga Novarese fino al confine con la Lombardia è stata invece individuata una possibile area di ricarica, tracciata in corrispondenza degli affioramenti significativi dei depositi glaciali dell'Anfiteatro Morenico del Lago Maggiore. I depositi glaciali ritenuti in grado di alimentare potenzialmente l'acquifero profondo di pianura sono stati interpolati, escludendo gli affioramenti isolati e quelli a monte della fascia tampone (Figura 18).

La pianura vercellese e biellese, da Gattinara a Cigliano

Come per il Novarese, l'applicazione del criterio della porzione del circuito di flusso ha richiesto anche nella pianura vercellese l'individuazione del limite tra depositi permeabili e formazioni impermeabili. Tale limite è stato tracciato interpolando gli affioramenti di substrato cristallino tra i comuni di Gattinara e Occhieppo Inferiore. Tra Mongrando e Cigliano, invece, la base impermeabile è stata riconosciuta in corrispondenza dei depositi glaciali dell'Anfiteatro Morenico di Ivrea, che sono stati interpolati per tracciare anche in questo settore la linea di inizio dei circuiti di flusso profondi. Il criterio della porzione del circuito di flusso è stato applicato misurando la lunghezza del circuito di flusso tra la linea di inviluppo tracciata e il Fiume Po. La lunghezza del circuito di flusso è stata misurata utilizzando la piezometria dell'acquifero profondo, disponibile nella pianura vercellese grazie al lavoro di De Luca et alii (2010).

La lunghezza dei circuiti di flusso profondi nella pianura vercellese e biellese varia notevolmente, interessando differenti classi di lunghezza, comprese tra la classe 10-20 Km e la classe 65-80 Km. Di conseguenza, la fascia delle aree di ricarica degli acquiferi profondi mostra estensioni comprese tra 2 Km e 8 Km.

La fascia delle aree di ricarica degli acquiferi profondi appare più ampia nella pianura biellese rispetto agli altri settori della pianura. Tale estensione è dovuta all'andamento della linea di inizio dei circuiti di flusso profondi. Nel settore settentrionale della pianura vercellese e biellese, tale linea interpola gli affioramenti del substrato cristallino, mentre nel settore occidentale essa interpola i depositi glaciali dell'Anfiteatro Morenico di Ivrea. I cordoni morenici interpolati si allungano verso l'interno della pianura, obbligando la linea di inviluppo a seguire il loro andamento. La pianura biellese rimane dunque compresa tra due tratti della linea di inviluppo, quello settentrionale che interpola il substrato cristallino, e quello occidentale che interpola i depositi glaciali. La lunghezza dei circuiti di flusso è stata calcolata a partire da entrambe le linee e per entrambe è stata rappresentata l'area di ricarica. Le due fasce così ottenute si sono sovrapposte in corrispondenza della pianura biellese creando un'unica fascia di estensione apparentemente maggiore.

L'estensione della fascia delle aree di ricarica ottenuta applicando il criterio della porzione del circuito di flusso, sia nella pianura biellese sia nella pianura vercellese, è stata confermata dai dati idrogeologici a disposizione (De Luca, 2010). Localmente tali dati hanno determinato un ampliamento della fascia delle aree di ricarica secondo il criterio includente del $\Delta h > 5m$:

- in corrispondenza dei comuni di Rovasenda, Masserano, Buronzo e Castelletto Cervo;
- in corrispondenza dei comuni di Massazza, Mottalciata, Benna, Villanova Biellese e Carisio;
- in corrispondenza dei comuni di Cigliano, Saluggia, Livorno Ferraris, Bianzè e Villareggia.









Il criterio includente dell'affioramento non è stato applicato nella pianura vercellese e biellese poiché gli affioramenti della Successione Villafranchiana presenti ricadono già all'interno della fascia delle aree di ricarica degli acquiferi profondi definite applicando i precedenti criteri.

In corrispondenza del comune di Gattinara, al limite con l'adiacente pianura novarese, la fascia delle aree di ricarica degli acquiferi profondi è stata ridotta applicando il criterio escludente della presenza della fascia delle risorgive. Le aree in cui la fascia delle risorgive si sovrappone alla fascia delle aree di ricarica precedentemente definita sono state rimosse da quest'ultima.

A monte del tratto settentrionale della linea di inviluppo, laddove essa interpola il substrato cristallino, è stata tracciata una fascia tampone dell'estensione massima di 2 Km che interessa i depositi di versante e di fondovalle. Invece a monte del tratto occidentale di tale linea, dove essa interpola l'andamento delle morene dell'Anfiteatro Morenico di Ivrea, è stata tracciata una possibile area di ricarica degli acquiferi profondi interpolando i depositi glaciali ritenuti in grado di alimentare significativamente l'acquifero profondo (Figura 19).

Il Vercellese e il Biellese

Legenda

-  Corsi d'acqua
-  Confine della Regione Piemonte
-  Confini comunali
-  Laghi
-  Centri abitati
-  Area di ricarica dell'acquifero profondo
-  Aree di potenziale ricarica degli acquiferi profondi in corrispondenza agli anfiteatri morenici
-  Fascia tampone

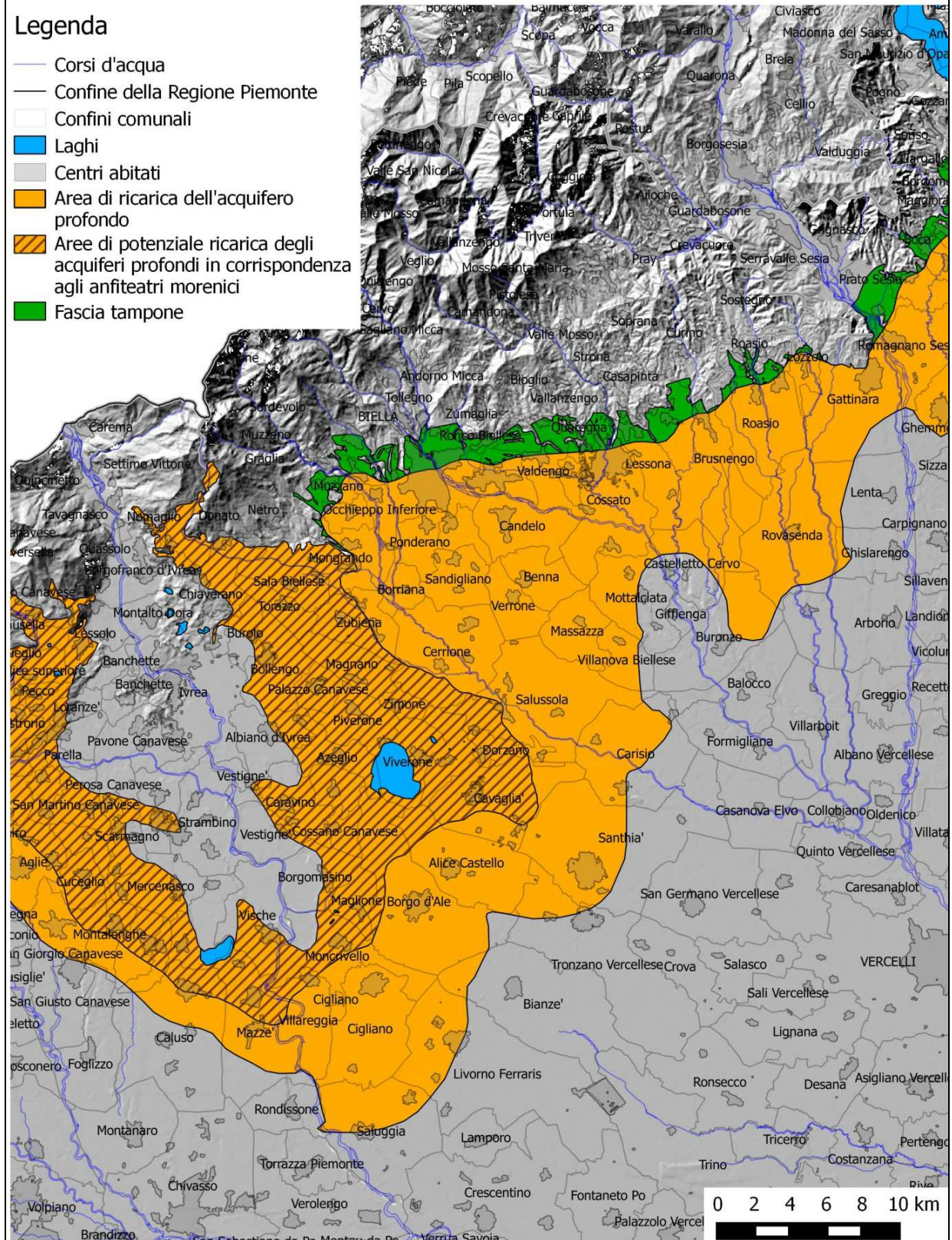


Figura 19 - stralcio della Carta delle aree di ricarica degli acquiferi profondi nei settori di pianura vercellese e biellese.

La pianura torinese, tra Mazzè e Bibiana

La linea di inviluppo tracciata nella pianura torinese al fine di poter applicare il criterio della porzione del circuito di flusso rappresenta il limite tra:

- i depositi permeabili della pianura e i depositi glaciali scarsamente permeabili dell’Anfiteatro Morenico di Ivrea tra Mazzè e Baldissero Canavese;
- i depositi permeabili della pianura e il substrato cristallino impermeabile tra Castellamonte e Val della Torre;
- i depositi permeabili della pianura e i depositi glaciali scarsamente permeabili dell’Anfiteatro Morenico di Rivoli, tra Val della Torre e Trana;
- i depositi permeabili della pianura e il substrato cristallino impermeabile tra Trana e Bibiana.

Tali limiti sono stati tracciati interpolando gli affioramenti, sia dei depositi glaciali sia del substrato cristallino, posti idrogeologicamente più a valle.

A partire da tali limiti, è stata calcolata al lunghezza dei circuiti di flusso della pianura torinese, mantenendosi perpendicolari alle isopieze dell’acquifero superficiale punto per punto e considerando come corso d’acqua drenante il Fiume Po. I circuiti di flusso identificati occupano le classi di lunghezza 5-10 Km, 10-20 Km e 20-35 Km; per questa ragione la fascia delle aree di ricarica identificata applicando il criterio del circuito di flusso mostra un’estensione variabile da un minimo di 1 Km ad un massimo di 3,5 Km.

Per la delimitazione delle aree di ricarica degli acquiferi profondi nella pianura torinese non è stato applicato nessun criterio includente o escludente. La pianura torinese è interessata da alcuni piccoli affioramenti della Successione Villafranchiana in corrispondenza delle scarpate del terrazzo della Mandria. Tali affioramenti, proprio come quelli riconosciuti nella pianura novarese, sono di piccole dimensioni e si sviluppano su superfici ad elevata inclinazione (le scarpate dei terrazzi); inoltre mostrano a tetto la presenza di depositi mindeliani fortemente pedogenizzati a bassa permeabilità. Tali affioramenti non sono stati considerati significativi al fine della ricarica degli acquiferi profondi e, in accordo con la Regione Piemonte, non sono stati inseriti all’interno della fascia delle aree di ricarica degli acquiferi profondi.









L’assenza di dati idrogeologici nella pianura torinese non ha permesso di applicare i criteri includenti ed escludenti basati sul Δh . Inoltre, nessuna area è stata rimossa dalla fascia delle aree di ricarica valutando la posizione delle risorgive, in quanto in questo settore la fascia delle aree di ricarica degli acquiferi profondi e la fascia delle risorgive non presentano sovrapposizioni.

A monte della linea di inizio dei circuiti profondi è stata tracciata una fascia tampone di estensione massima pari a 2 Km che coinvolge i depositi di versante e di fondovalle. Tale fascia si estende tra Baldissero Canavese e Val della Torre e tra Trana e Bibiana.

In corrispondenza degli Anfiteatri Morenici di Ivrea e di Rivoli, invece, non è stata tracciata la fascia tampone ma sono state indicate delle possibili aree di ricarica degli acquiferi profondi, interpolando gli affioramenti significativi di depositi glaciali in grado di alimentare potenzialmente l’acquifero profondo (Figura 20).

Il Torinese

Legenda

-  Corsi d'acqua
-  Confine della Regione Piemonte
-  Confini comunali
-  Laghi
-  Centri abitati
-  Area di ricarica dell'acquifero profondo
-  Aree di potenziale ricarica degli acquiferi profondi in corrispondenza agli anfiteatri morenici
-  Fascia tampone

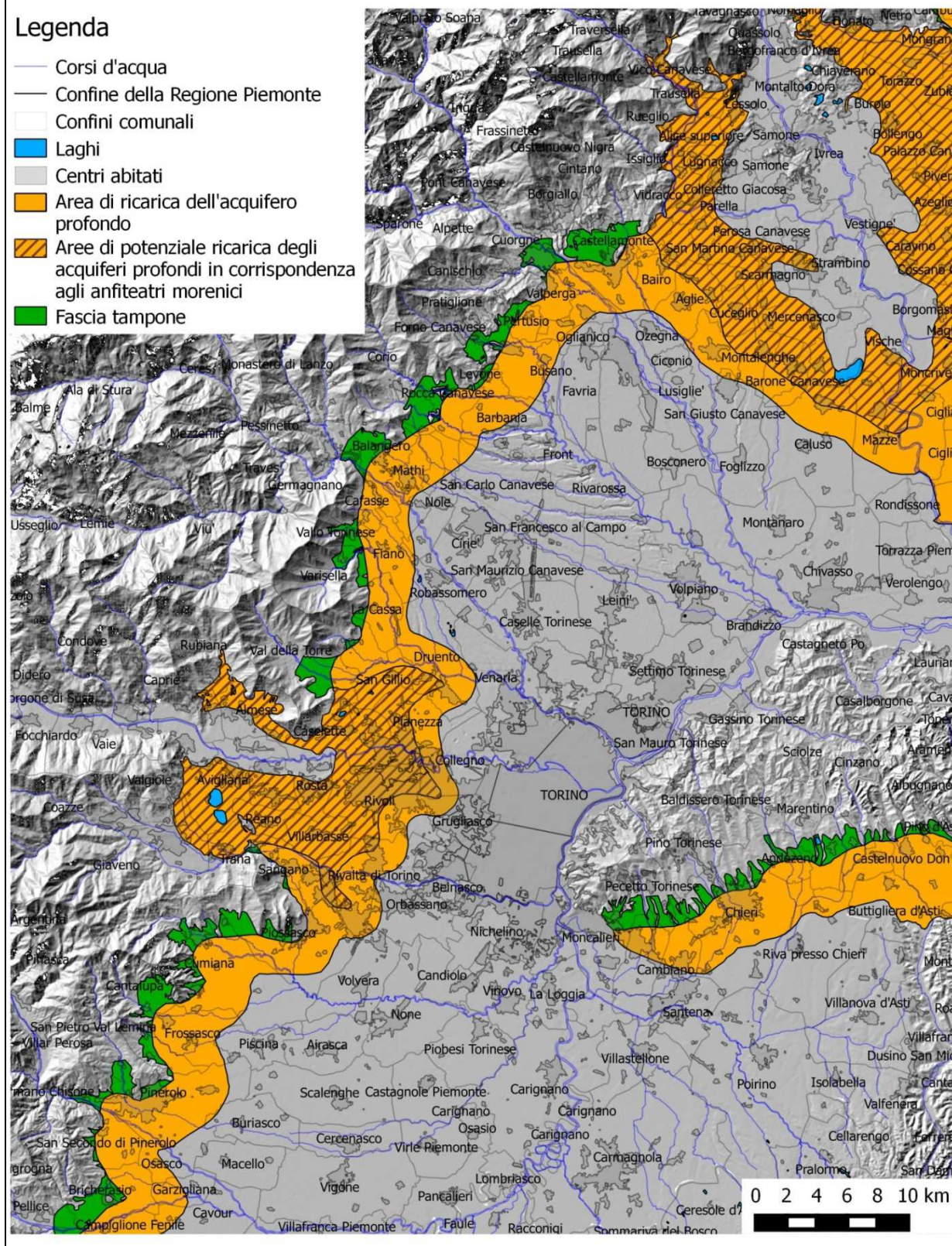


Figura 20 - stralcio della Carta delle aree di ricarica degli acquiferi profondi nel settore di pianura torinese.

La pianura cuneese, tra Bagnolo Piemonte e Chiusa di Pesio

La linea di involuppo nella pianura cuneese rappresenta il limite tra i depositi permeabili della pianura e il substrato cristallino impermeabile ed è stato tracciato interpolando gli affioramenti di substrato cristallino posti idrogeologicamente più a valle. Per calcolare la lunghezza dei circuiti di flusso è stata utilizzata la piezometria dell'acquifero superficiale, non avendo a disposizione la piezometria dell'acquifero profondo. Lo studio della piezometria ha permesso di osservare che:

- tra Bagnolo Piemonte e Cervasca, la direzione principale di flusso è diretta verso il Fiume Po, che viene dunque considerato come corso d'acqua drenante di questa zona della pianura cuneese;
- tra Vignolo e Chiusa di Pesio, la direzione principale del deflusso è diretta verso il Fiume Tanaro, che viene quindi considerato come corso d'acqua drenante di questa zona della pianura cuneese.

La lunghezza dei circuiti di flusso, misurati considerando il Fiume Po o il Fiume Tanaro come corso d'acqua drenante, ricade nelle classi di lunghezza comprese tra 10-20 Km e 50-65 Km, permettendo di rappresentare una fascia delle aree di ricarica di estensione compresa tra 2 Km e 6,5 Km.

Per la delimitazione delle aree di ricarica degli acquiferi profondi della pianura cuneese non sono stati applicati né i criteri includenti né i criteri escludenti, non avendo a disposizione alcun dato idrogeologico relativo al livello piezometrico della falda profonda, non essendo presenti nella pianura cuneese affioramenti della Successione Villafranchiana e non essendoci alcuna sovrapposizione tra la fascia delle aree di ricarica, definita applicando il criterio della porzione del circuito di flusso, e la fascia delle risorgive.

A monte della linea di involuppo è stata tracciata una fascia tampone di estensione massima pari a 2 Km che interessa i depositi permeabili di versante e di fondovalle (Figura 21).

Il Cuneese

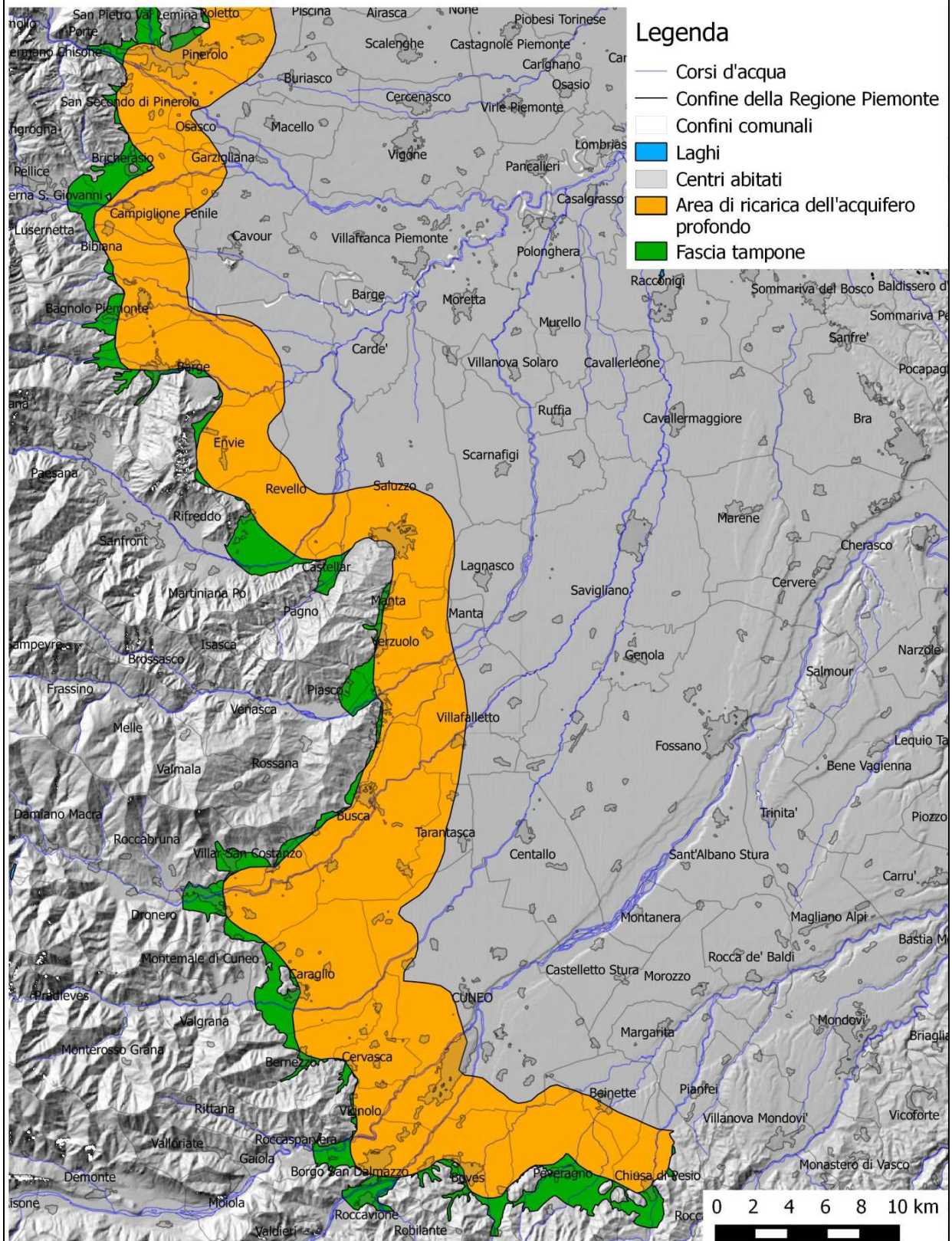


Figura 21 - stralcio della Carta delle aree di ricarica degli acquiferi profondi nel settore di pianura cuneese.

La pianura a nord dell'Altopiano di Poirino, tra Moncalieri e Capriglio

Al fine di individuare la fascia delle aree di ricarica degli acquiferi profondi nei settori di pianura a nord dell'altopiano di Poirino, è stato necessario tracciare il limite tra i depositi permeabili di pianura e i depositi impermeabili della Collina di Torino (Argille di Lugagnano e formazioni del Bacino Terziario Piemontese). Tale limite, come negli altri casi, è stato tracciato interpolando gli affioramenti delle formazioni impermeabili posti idrogeologicamente più a valle, tenendo in considerazione anche la morfologia dell'area. Infatti, i lembi di terrazzo separati dagli affioramenti circostanti da profonde incisioni sono stati considerati idraulicamente isolati e dunque non in grado di alimentare gli acquiferi profondi della pianura.

La lunghezza dei circuiti di flusso è stata calcolata a partire dalla linea di inviluppo fino al Fiume Po, il corso drenante dell'area, mantenendosi perpendicolari punto per punto alle isopieze della falda superficiale. I circuiti di flusso profondi dell'area interessano le classi di lunghezza comprese tra 5-8 Km e 20-35 Km e, conseguentemente, applicando il criterio della porzione del circuito di flusso è stato possibile rappresentare una fascia delle aree di ricarica compresa tra 1 e 3,5 Km.

Poiché nell'area di indagine non vi erano a disposizione dati piezometrici riferiti alla falda profonda e non veniva segnalata la presenza di alcuna risorgiva, non è stato applicato nessun criterio escludente.

La zona artesianiana di Cantarana non viene raggiunta dalla fascia delle aree di ricarica ottenuta.

Nell'area a nord dell'Altopiano di Poirino è stato applicato il criterio includente dell'affioramento, includendo nella fascia delle aree di ricarica gli affioramenti della Successione Villafranchiana e delle Sabbie di Asti. Tali affioramenti sono stati considerati significativi ai fini della ricarica degli acquiferi profondi, valutando la loro estensione e la loro ubicazione geografica. L'applicazione del criterio includente ha comportato un aumento dell'estensione della fascia delle aree di ricarica nelle zone di:

- Buttigliera d'Asti;
- Capriglio;
- Castelnuovo Don Bosco.

A nord della linea di inviluppo è stata tracciata una fascia tampone dell'estensione massima di 2 Km, interessando esclusivamente i depositi permeabili di versante e dei fondovalle (Figura 22).

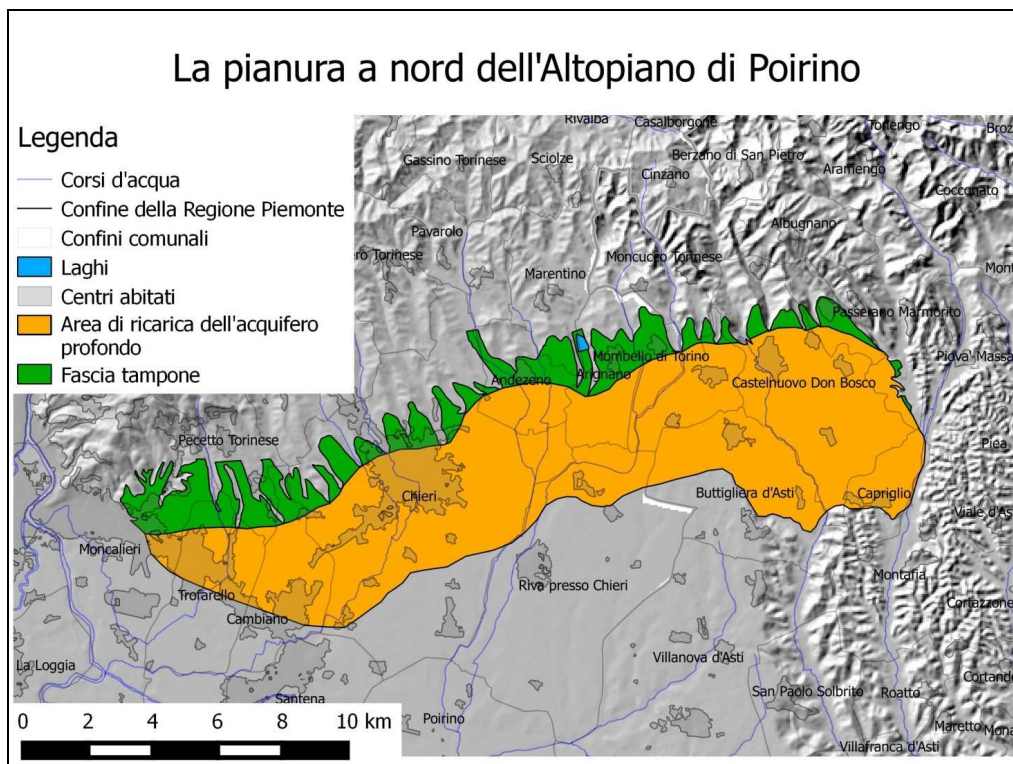


Figura 22 - stralcio della Carta delle aree di ricarica degli acquiferi profondi nel settore di pianura a nord dell'Altopiano di Poirino.

La pianura alessandrina, tra Pietra Marazzi e Casalnoceto

La pianura alessandrina è solcata trasversalmente dal Fiume Tanaro, che rappresenta il corso d'acqua drenante principale dell'area. La presenza del Tanaro e la sua ubicazione geografica hanno richiesto di separare la linea rappresentante il limite tra i depositi permeabili di pianura e i depositi impermeabili (depositi Pliocenici e del Bacino Terziario Piemontese) in due parti: l'una interpola gli affioramenti di depositi impermeabili a nord del Fiume Tanaro, un tratto interpola gli affioramenti di depositi impermeabili a sud di esso. Entrambe le linee, separate in corrispondenza dell'incisione del corso d'acqua, sono state tracciate interpolando gli affioramenti di depositi impermeabili posti idrogeologicamente più a valle ed escludendo i lembi di terrazzo idraulicamente isolati, non in grado di alimentare un acquifero profondo.

I circuiti di flusso profondi individuati nella pianura alessandrina ricadono all'interno delle classi di lunghezza 10-20 Km e 20-35 Km e di conseguenza, applicando il criterio della porzione del circuito di flusso, è stato possibile rappresentare una fascia delle aree di ricarica di estensione compresa tra 2 e 3,5 Km.

Nella pianura alessandrina non erano disponibili studi idrogeologici a scala provinciale o regionale che permettessero di calcolare la differenza di carico idraulico tra l'acquifero superficiale e quello profondo. Di conseguenza, non è stato possibile applicare i criteri includenti ed escludenti basati sul valore del Δh .

Poiché i livelli piezometrici della falda profonda non erano disponibili e poiché nessuna risorgiva e nessun fenomeno di artesianesimo veniva descritto nell'area, nella pianura alessandrina non sono stati applicati criteri escludenti.

La Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000, nei Fogli 58 "Mortara" e 70 "Alessandria", riporta in corrispondenza alle zone pedemontane della pianura alessandrina numerosi affioramenti delle Sabbie di Asti e della Successione Villafranchiana, particolarmente estesi e sviluppati nelle aree da cui potrebbero partire le linee di flusso degli acquiferi profondi. In accordo con la Regione Piemonte, tutti gli affioramenti delle Sabbie di Asti e della Successione Villafranchiana ivi mappati e che rispettano il criterio generale sono stati inseriti nella fascia delle aree di ricarica degli acquiferi profondi, secondo il criterio includente dell'affioramento. Le principali modifiche sono state apportate nel settore occidentale della pianura alessandrina, in corrispondenza dei comuni di:

- Alessandria, Asti, Castagnole Monferrato, Castello di Annone, Felizzano, Fubine, Pietra Marazzi, Quargnento, Quattordio, Refrancore e Viarigi a nord del Fiume Tanaro;
- Belveglio, Bergamasco, Bruno, Carentino, Cassine, Castelnuovo Belbo, Cortiglione, Frascaro, Gamalero, Incisa Scapaccino, Masio, Mombercelli, Montaldo Scarampi, Montegrosso d'Asti, Oviglio, Rocca d'Arazzo e Rocchetta Tanaro a sud del Fiume Tanaro.

A monte delle linee di inizio dei circuiti di flusso profondi della pianura alessandrina è stata tracciata la fascia tampone, di estensione massima 2 Km. Tale fascia interessa solo i depositi permeabili di versante e di fondovalle (Figura 23).

L'Alessandrino

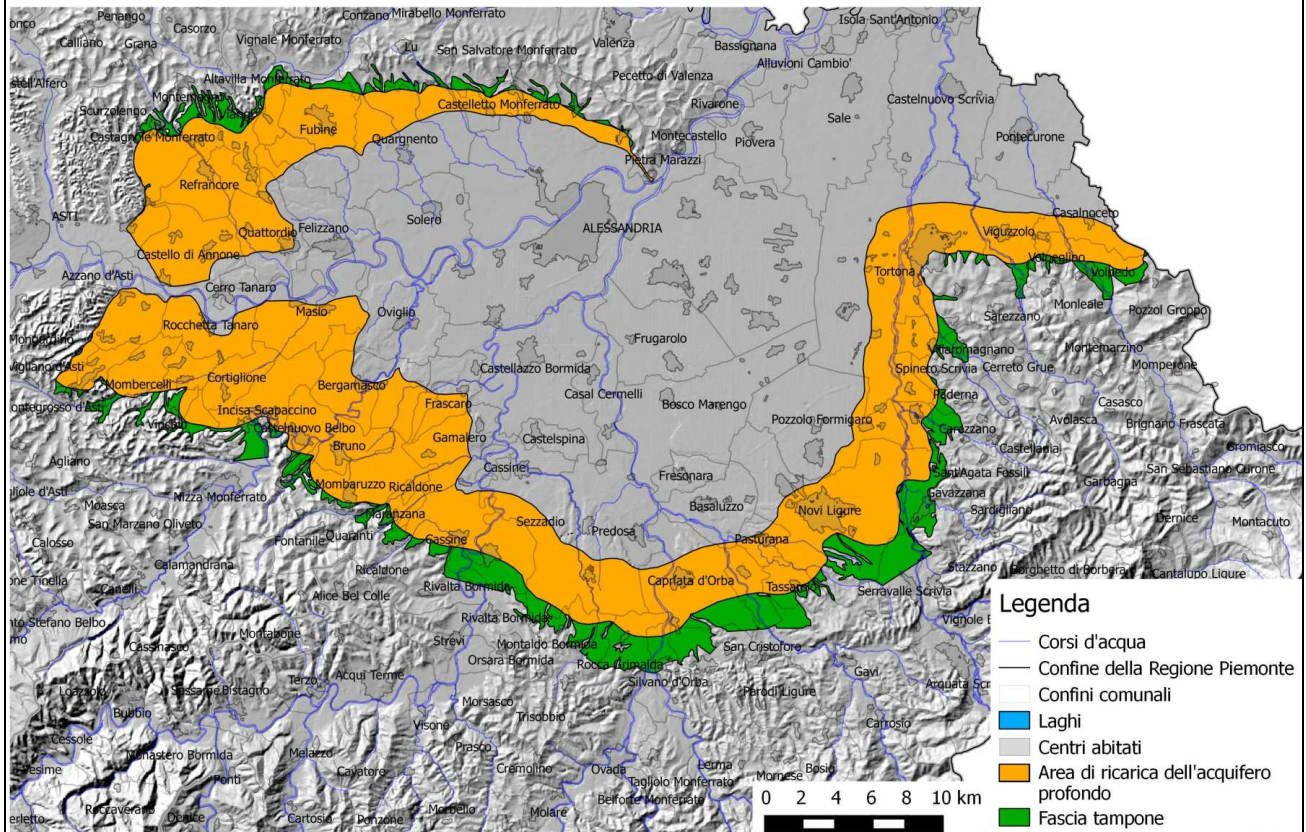


Figura 23 - stralcio della Carta delle aree di ricarica degli acquiferi profondi nel settore di pianura alessandrina.

La pianura del Monferrato, tra Casale Monferrato e Pomaro Monferrato

La delimitazione delle aree di ricarica degli acquiferi profondi della pianura del Monferrato ha richiesto, come nelle altre aree di studio, di tracciare il limite tra depositi permeabili della pianura e i depositi impermeabili delle Colline del Monferrato. Tale limite ha comportato lo studio degli affioramenti riportati nei fogli 57 “Vercelli” e 58 “Mortara” della Carta Geologica d’Italia alla scala 1:100.000. Il limite, rappresentato dalla linea di involuppo, è stato tracciato interpolando gli affioramenti posti idrogeologicamente più a valle delle Argille di Lugagnano, come mappate nel Foglio 57, e del Pliocene Indifferenziato, come mappato nel Foglio 58. Da un’attenta analisi dei due fogli è infatti apparso come le due formazioni (Argille di Lugagnano e Pliocene Indifferenziato) presentassero una perfetta continuità laterale dei limiti geologici e simili caratteristiche granulometriche, ragioni che hanno permesso di supporre che si tratti della stessa formazione interpretata e nominata diversamente dagli autori dei due Fogli.

I circuiti di flusso dell’acquifero profondo, misurati a partire dalla linea di involuppo fino al Fiume Po, mantenendosi perpendicolari alle isopieze della falda superficiale punto per punto, mostrano lunghezze che ricadono entro la classe di lunghezza 5-10 Km. Applicando il criterio della porzione del circuito di flusso è stato possibile, dunque, rappresentare una fascia delle aree di ricarica degli acquiferi profondi di 1 Km di estensione.

Nell’area del Monferrato non sono stati applicati né i criteri includenti né i criteri escludenti in quanto non vi erano a disposizione ricostruzioni idrogeologiche condotte a scala provinciale o regionale, dati che indicassero la presenza di risorgive o aree di artesianesimo e indicazioni relative ad affioramenti estesi e significativi delle Sabbie di Asti o della Successione Villafranchiana.

A monte della linea di inizio dei circuiti di flusso profondi è stata tracciata una fascia tampone di estensione massima di 2 Km che interessa esclusivamente i depositi permeabili di versante e di fondovalle (Figura24).

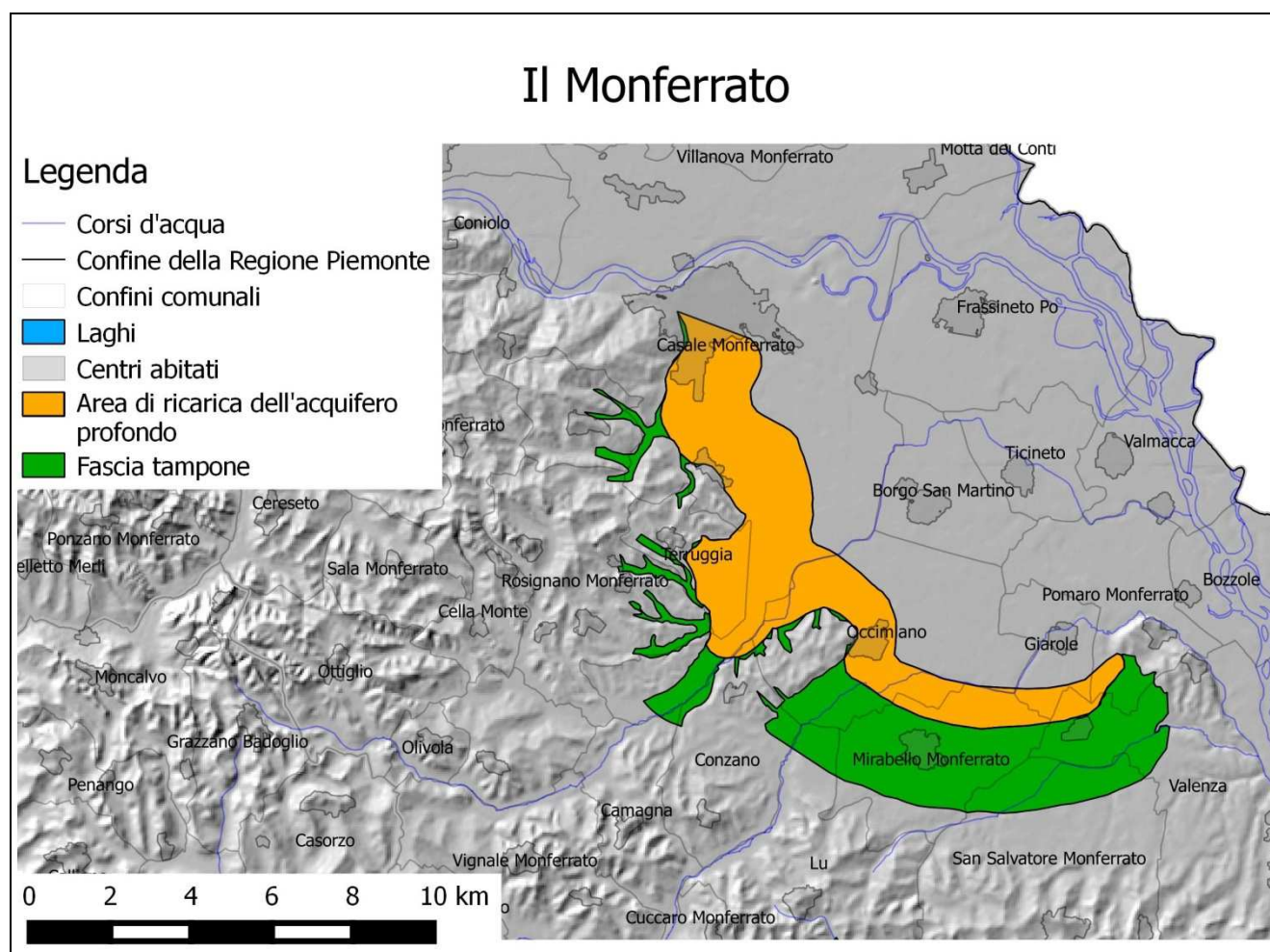


Figura 24 - stralcio della Carta delle aree di ricarica degli acquiferi profondi nel settore di pianura del Monferrato.

5. PRINCIPALI PROBLEMI DI INTERPRETAZIONE RISONTRABILI E MODALITA' DI AGGIORNAMENTO DELLA PERIMETRAZIONE DELLE AREE DI RICARICA

In questo capitolo si illustrano le chiavi interpretative dei limiti cartografati, utili nel caso ci si trovi di fronte a casi particolari che potrebbero presentarsi e le modalità di aggiornamento della cartografia.

La principale criticità nell'applicare le perimetrazioni cartografate ai casi reali risiede nel rendere un limite idrogeologico, costruito alla scala 1:250.000, utilizzabile a scala di singolo elemento cartografabile, ad esempio, a scala di PRGC.

La chiave di interpretazione adottata si basa sul criterio di prevalenza territoriale delle particelle catastali, per cui ogni particella è territorialmente considerata area di ricarica se la sua percentuale di inclusione nelle aree di ricarica risulta superiore al 50%; viceversa, se la percentuale di inclusione della particella nelle aree di ricarica risulta inferiore al 50% la particella catastale stessa non è considerata in area di ricarica (Figura 25).

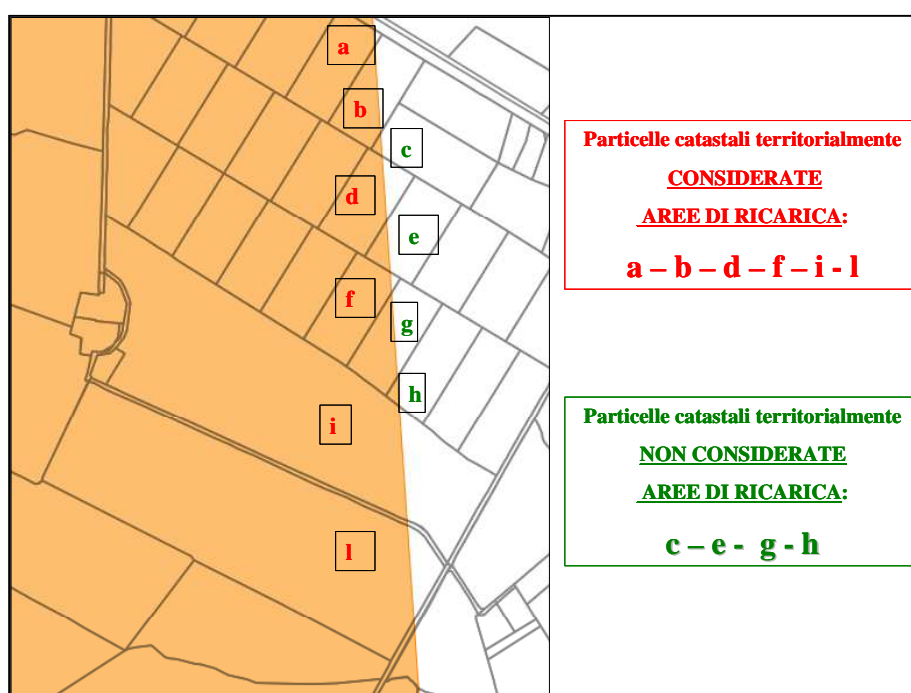


Figura 25 - esempio dell'applicazione del criterio di prevalenza territoriale delle particelle catastali

Il criterio della prevalenza territoriale delle particelle catastali è valido ovviamente per tutte le delimitazioni riportate nella Carta delle aree di ricarica degli acquiferi profondi (fasce tampone, aree di ricarica in senso stretto ed anfiteatri morenici).

La delimitazione delle aree di ricarica in senso stretto è stata eseguita privilegiando un concetto di continuità, infatti non vi sono elementi disomogenei all'interno delle aree stesse, mentre la perimetrazione delle fasce tampone è stata eseguita secondo la massima aderenza ai criteri di definizione: le fasce tampone sono discontinue e frammentate così come dall'esempio di Figura 26 e questo rende ancora più problematica l'applicazione territoriale di tale limite; per superare questa criticità si sono valutate le opzioni disponibili. Uniformare ed omogeneizzare le fasce tampone non è una soluzione scientificamente accettabile; semplificare definendo una fascia tampone uniforme di 2 km su tutta la pianura interessata aumenterebbe a dismisura, in alcune porzioni di territorio, la superficie interessata. Si è optato, pertanto, per lasciare la perimetrazione delle fasce tampone così come individuate valutando che il criterio della prevalenza territoriale delle particelle catastali anche in questo caso dovrebbe superare la criticità di applicazione territoriale del limite.

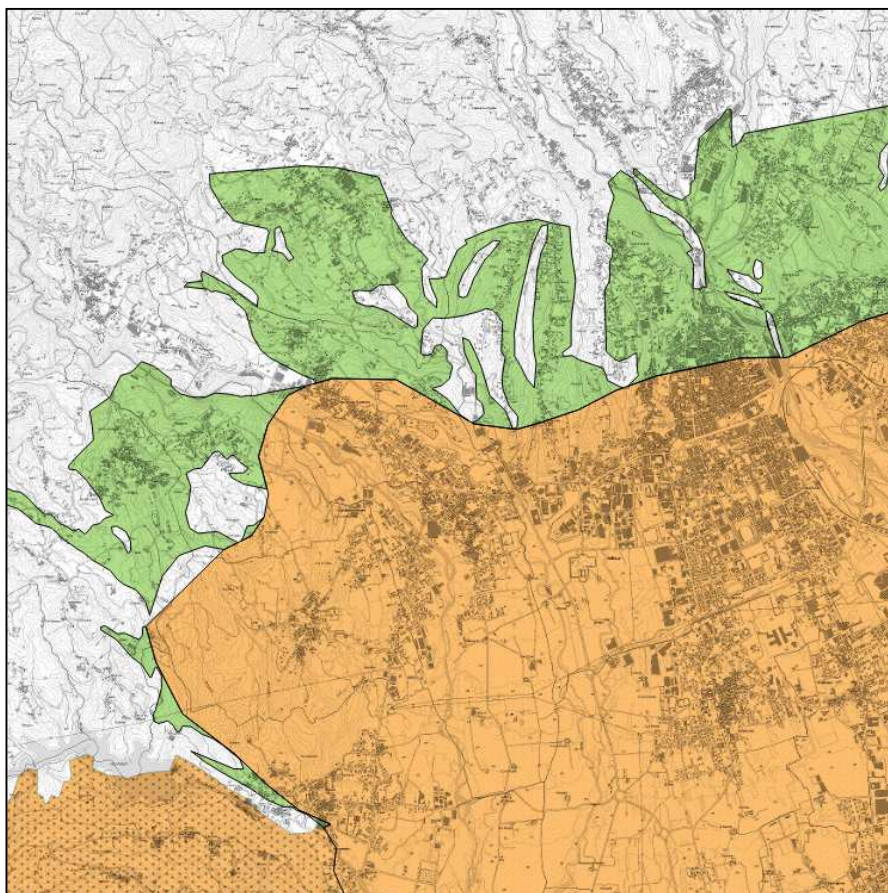
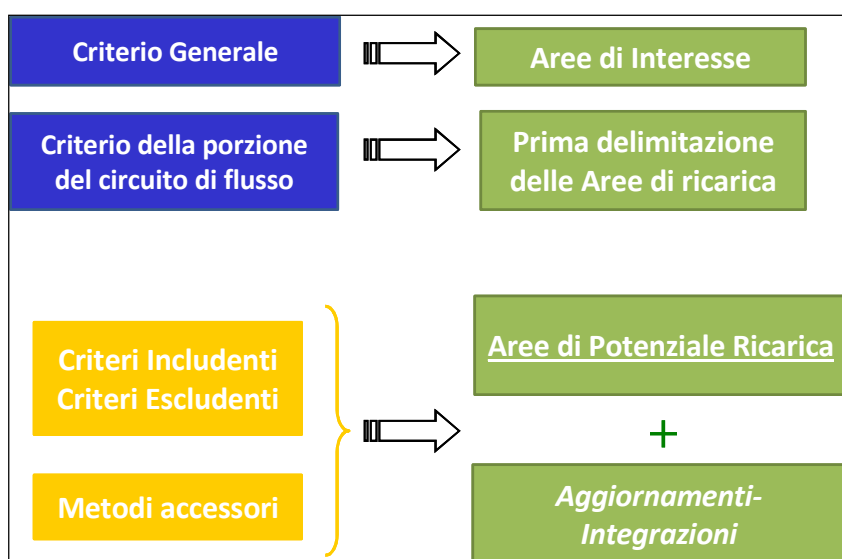


Figura 26 - stralcio della carta delle aree di ricarica degli acquiferi profondi, in verde la fascia tampone, in arancione l'area di ricarica in senso stretto e in arancione retinato l'anfiteatro morenico di Ivrea.

Si specifica inoltre che i limiti delle aree di ricarica individuate nel presente lavoro si sovrappongono alle unità sistemiche definite nel PTA (aree idrogeologicamente separate, macroaree superficiali, macroaree profonde) senza necessariamente coincidere.



In merito all'aggiornamento della perimetrazione delle aree di ricarica degli acquiferi profondi definita mediante l'applicazione del criterio generale e del criterio del circuito di flusso, questa può essere integrata ed aggiornata ricorrendo ad ulteriori informazioni geologiche e idrogeologiche, applicando i criteri includenti o escludenti eventualmente corredati dai metodi accessori che svolgono un ruolo di supporto agli altri criteri, qualora si rendessero disponibili dati di maggior dettaglio, così come indicato in Figura 27.

Figura 27 - sequenza di applicazione dei criteri per la delimitazione delle aree di ricarica degli acquiferi profondi

Si richiama che sono stati individuati due criteri includenti che, una volta applicati, permettono di migliorare la delimitazione delle aree di ricarica degli acquiferi profondi, ampliandone, dove necessario, la dimensione:

- Δh significativamente positivo dove Δh è la differenza di carico idraulico tra l'acquifero superficiale e l'acquifero profondo;
- affioramento delle formazioni ospitanti l'acquifero profondo.

Al contrario, l'estensione della fascia delle aree di ricarica degli acquiferi profondi può essere ridotta tramite l'applicazione dei seguenti criteri escludenti:

- Δh nullo o negativo;
- presenza di risorgive o di fenomeni di artesianesimo;
- presenza di livelli fini continui e potenti nel sottosuolo.

La metodologia dell'utilizzo tali criteri è illustrata al precedente paragrafo 4.3.

Le Province, la Città Metropolitana di Torino e gli ATO, qualora in possesso di nuovi dati utili all'applicazione dei criteri per l'aggiornamento della delimitazione possono proporre alla Regione modifiche alla perimetrazione, purché l'areale interessato da tali nuovi dati sia a scala almeno provinciale.

Tali proposte saranno valutate, caso per caso, di concerto tra Regione ed Enti territorialmente interessati (Province, Città Metropolitana di Torino e ATO).

Gli eventuali aggiornamenti saranno approvati con Determinazione Dirigenziale e resi disponibili sul sito internet della Regione e consultabili presso i competenti uffici della Regione, delle Province, della Città Metropolitana di Torino e degli ATO.

6. RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- Alfoldi, L., J. Galfi, and P. Liebe. (1985): *Heat flow anomalies caused by water circulation*. Journal of Geodynamics 4, no. 1-4: 199-217.
- Allocca V., Celico F., De Vita P., Fabbrocino S. (2006): *Idrodinamica sotterranea in successioni carbonatiche in facies di bacino: l'area campione di Monte Campo (Molise, Italia Meridionale)*. Italian Journal of Engineering Geology and Environment, 2, 5-22. Doi: 10.4408/IJEGE.2006-02.O-01.
- Anderson, M. P. (2005): *Heat as a ground water tracer*, Ground Water, 43, 951-961.
- Anderson, P. B., D. D. Susong, S. R. Wold, V. M. Heilweil, and R. L. Baskin (1994): *Hydrogeology of recharge areas and water quality of the principal aquifers along the Wasatch Front and adjacent areas*, Utah, U.S. Geol. Surv. Water Resour. Invest. Rep., 93-4221.
- Autorità di Bacino della Puglia & IRSA-CNR (2010): *Aggiornamento del Bilancio Idrogeologico dei Corpi Idrici Sotterranei della Regione Puglia, Allegato 4.5 alla Relazione Finale, Caratteristiche della circolazione idrica negli acquiferi carbonatici pugliesi: deflussi a mare e scambi idrici tra idrostrutture confinanti*. Convenzione tra l'Autorità di Bacino della Puglia e l'IRSA-CNR.
- Beretta G.P., De Luca D.A., Ferrari A., Filippini G., Masciocco L., Masseroni P. (1996a): *Design and management of a first groundwater monitoring network in the multi-layered aquifers of Novara Plain (Italy)*. Proceedings of the International Conference "The impact of Industry on Groundwater resources", Como, Italy, 22-24 May 1996, 613-620.
- Beretta G.P., Bortolami G., De Luca D.A., Masciocco L., Violanti D. (1996b): *Indagine sulla razionalizzazione dei prelievi di acque sotterranee nel settore occidentale della Provincia di Asti (località Valle Maggiore)*. Convenzione tra la Provincia di Asti e l'Università degli Studi di Torino-Dipartimento di Scienze della Terra.
- Blash, K.W., Bryson, J.R. (2007): *Distinguishing Sources of Ground Water Recharge by Using δ^2H and $\delta^{18}O$* , Ground Water 45, 294-308.
- Boni, C., Petitta, M., (2008): *Redazione informatizzata della cartografia idrogeologica tematica del territorio della Regione Umbria*. Relazione finale del "Contratto di ricerca Regione Umbria - Giunta Regionale Direzione Regionale Ambiente, Territorio e Infrastrutture Servizi tecnici Regionali-Dipartimento di Scienze della Terra Università di Roma, La Sapienza", p. 128.
- Boniol, D., D. Munch, and M. Williams (1993): *Mapping recharge to the Floridan aquifer using a geographic information system*. p. 115-126. In Proc. of the 13th Annual Environmental Systems Research Inst. User Conf., Palm Springs, CA. 24-28 May 1993. Environ. Syst. Res. Inst., Redlands, CA.
- Bove A., Casaccio D., Destefanis E., De Luca D.A., Lasagna M., Masciocco L., Ossella L., Tonussi M. (2005): *Idrogeologia della pianura piemontese*. Regione Piemonte Direzione Pianificazione delle Risorse Idriche, Mariogros Industrie Grafiche S.p.A., Torino
- Carucci V. (2010): *Interazione tra acquifero superficiale e profondo nella Piana di Tivoli (Roma): Approccio multi-isotopico e modello numerico geochimico*, Tesi di ricerca di Dottorato, Università "La Sapienza" di Roma, 159 pp.
- Caviglia C., De Luca D.A., Lasagna M. (2009): *Safe yield, climatic change and groundwater, overexploitation: the study case of Val Maggiore Cantarana, well field in the central Piedmont (Italy). Managing water in a changing world" - Torino (Italy), July 27-31, 2009. Abstracts of the Section: Water resources and environmental and climatic change Commission on Water Sustainability - IGU.*
- Charles, E. G., C. Behroozi, J. Schooley, J. L. Hoffman. (1993): *A Method of Evaluating Ground-water-Recharge Areas in New Jersey*, NJ Geological Survey Report GSR-32. Trenton, New Jersey
- Chenini, I., Mammou, A.B. and May, M.E. (2009): *Groundwater recharge zone mapping using GIS-based multi-criteria analysis: a case study in Central Tunisia (Maknassy Basin)*. Water Resources Management, doi:10.1007/s11269-009-9479-1.

Circolare del Presidente della Giunta regionale 8 giugno 2015, n.4/AMB “*Articolo 24 delle Norme del Piano di Tutela delle Acque (PTA) approvato con DCR n. 117-10731 del 13 marzo 2007 in merito alle Zone di protezione delle acque destinate al consumo umano*”.

Conchetto E. (2011): *Tendenze evolutive nella ricarica degli acquiferi sotterranei nell'area di Scorzè*. Atlante geologico della Provincia di Venezia (Provincia di Venezia), 39-44.

Conferenza permanente per i rapporti tra lo Stato e le Regioni e le Province Autonome – Accordo 12 dicembre 2002 – “*Linee guida per la tutela della qualità delle acque destinate al consumo umano e criteri generali per l'individuazione delle aree di salvaguardia delle risorse idriche di cui all'art. 21 del decreto legislativo 11 maggio 1999, n. 152*”.

Convenzione tra il Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università degli Studi di Torino e la Regione Piemonte – Servizio Gestione Risorse Idriche (2007) per l'esecuzione di un programma di ricerca dal titolo “*Implementazione delle conoscenze del sistema acquifero nel territorio della Provincia di Torino ai fini della prevenzione dell'inquinamento delle falde idriche in materia di fontanili*” (QUINQUIES). Inizio: 23 gennaio 2007; durata: 15 mesi.

Convenzione tra il Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università degli Studi di Torino e l'Ambito Territoriale Ottimale n.5 Astigiano Monferrato (2008) per l'esecuzione di un programma di ricerca dal titolo: “*Aggiornamento e approfondimento dello studio delle falde idriche sotterranee di Valle Maggiore (di Cantarana) e di Valle Traversola (San Paolo Solbrito) per la razionalizzazione e per la definizione delle aree di salvaguardia*”. Inizio: 15 febbraio 2008; durata: 24 mesi.

De Luca D.A., Ghione R., Lasagna M. (2006). *Studio idrogeologico dei Fontanili della Pianura Piemontese*. Giornale di geologia applicata 2 (2005), pp. 377-382.

De Luca D. A., Dell'Orto V., Destefanis E., Forno M. G., Lasagna M., Masciocco L. (2009) - *Assetto idrogeologico dei fontanili della pianura torinese (Hydrogeological structure of the "fontanili" in Turin plain)*. Rendiconti Online Società Geologica Italiana, 6, pp. 199-200.

De Luca D.A., Destefanis E., Forno M.G., Lasagna M., Masciocco L. (2014). *The genesis and the hydrogeological features of the Turin Po Plain fontanili, typical lowland springs in Northern Italy*. Bull Eng Geol Environ (2014) 73:409–427. DOI 10.1007/s10064-013-0527-y.

Decreto Legislativo 3 aprile 2006, n. 152 “*Norme in materia ambientale*”.

Decreto Legislativo 16 marzo 2009, n.30 “*Attuazione della direttiva 2006/118/CE, relativa alla protezione delle acque sotterranee dall'inquinamento e dal deterioramento*”.

Delibera della Giunta Regionale 3 giugno 2009, n.34-11524 “*Legge regionale 30 aprile 1996, n.22, comma 7. Criteri tecnici per l'identificazione della base dell'acquifero superficiale e aggiornamento della carta contenuta nelle “Monografie delle macroaree idrogeologiche di riferimento dell'acquifero superficiale” del Piano di Tutela delle Acque, approvato con D.C.R.117-10731 del 13/03/2007*”, Allegato 1 “*Criteri Tecnici per l'identificazione della base dell'acquifero superficiale*”.

Della Vedova B. & Brancolini G. (2002): *Studio preliminare degli acquiferi profondi della Bassa Pianura friulana*. Rapporto Tecnico-Scientifico, Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia, Direzione Regionale dell'Ambiente, Servizio Geologico, 51 p.

Direttiva 80/68/CEE del Consiglio del 17 dicembre 1979 concernente la protezione delle acque sotterranee dall'inquinamento provocato da certe sostanze pericolose.

Direttiva 2006/118/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 12 dicembre 2006 sulla protezione delle acque sotterranee dall'inquinamento e dal deterioramento.

Direttiva Quadro sulle Acque 2000/60/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 23 ottobre 2000 che istituisce un quadro per l'azione comunitaria in materia di acque.

Distretto Idrografico delle Alpi Orientali (2009): *Piano di gestione dei bacini idrografici delle Alpi Orientali, Bacino del fiume Adige*. Capitolo 1: Descrizione generale delle caratteristiche del bacino idrografico dell'Adige. Revisione settembre 2009.

- Distretto Idrografico dell'Appennino Meridionale (2010): *Piano di Gestione delle Acque*, Allegato 3. *Caratterizzazione Geologica e Idrogeologica – Identificazione degli Acquiferi*, Distretto Idrografico dell'Appennino Meridionale, Autorità di Bacino Nazionale dei Fiumi Liri-Garigliano e Volturno, Regione Abruzzo, Regione Basilicata, Regione Calabria, Regione Campania, Regione Lazio, Regione Molise, Regione Puglia, 64 pp.
- Dogramaci S.S., Herczeg A.L., Schiff S.L., Bone Y. (2001): *Controls on $\delta^{34}\text{S}$ and $\delta^{18}\text{O}$ of dissolved sulfate in aquifers of the Murray Basin, Australia and their use as indicators of flow processes*, Appl. Geochem., 16 (2001), pp. 475–488.
- Domenico P.A., Palciauskas V.V. (1973): *Theoretical analysis of forced convective heat transfer in regional ground-water flow*. Geological Society of America Bulletin 84, 3803–3814.
- DPHE/DFID/JICA, (2006): *Development of Deep Aquifer Database and Preliminary Deep Aquifer Map*. Department of Public Health Engineering (DPHE), Government of Bangladesh, and Arsenic Policy Support Unit (APSU), Japan International Cooperation Agency (JICA), Bangladesh, Dhaka.
- Fetter, C.W., (1994): *Applied Hydrogeology*. Third Edition. Englewood Cliffs, NJ, Prentice-Hall, 691 p.
- Freeze, R.A., and Cherry, J.A., (1979): *Groundwater*. Englewood Cliffs, NJ, Prentice-Hall, 604 p.
- Ingram R.G.S., Hiscock K.M., Dennis P.F. (2007): *Noble gas excess air applied to distinguish groundwater recharge conditions*, Environ. Sci. Technol., 41 (6) (2007), pp. 1949–1955.
- King's County, (2004): *Critical Aquifer Recharge Area- Executive Report, Best Available Science*, Volume 1, 29 p.
- Lasagna M., Caviglia C., De Luca D. A., Destefanis E., Forno M. G., Giuliano G., Masciocco L. (2011): *Hydrogeological setting and groundwater safety in an overexploitation situation: the Valle Maggiore context (Piedmont, Italy)*. Atti del VIII Forum Italiano di Scienze della Terra - GEOITALIA 2011, Torino 21-23 Settembre 2011 - Epitome Volume 4, 2011, p.16, ISSN 1972-1552.
- Lasagna M., Caviglia C., De Luca D. A. (2014): *Simulation modelling for groundwater safety in an overexploitation situation: the Maggiore Valley context (Piedmont, Italy)*. Bull Eng Geol Environ (2014) 73:341–355. DOI 10.1007/s10064-013-0500-9.
- Legge Federale sulla Protezione delle Acque (LPac) del 24 gennaio 1991; Consiglio federale Svizzero.
- Legge regionale 30 aprile 1996, n.22 “*Ricerca, uso e tutela delle acque sotterranee*”.
- Legge regionale 7 aprile 2003, n.6, “*Disposizioni in materia di autorizzazione agli scarichi delle acque reflue domestiche e modifiche alla legge regionale 30 aprile 1996, n.22 (Ricerca, uso e tutela delle acque sotterranee)*”.
- Leopardi M., Tallini M., Marra A.M., Marsili S., Caputi P., Fabiocchi B., Salvi S., Di Giuseppe S., Abruzzo Engineering (2008): *Tecniche operative per la perimetrazione delle aree di salvaguardia delle acque superficiali e sotterranee destinate al consumo umano*. 86 p.
- Manning A.H., Solomon D.K., Sheldon A.L. (2003): *Applications of a total dissolved gas pressure probe in ground water studies*. Ground Water 41(4):440–448.
- Meinzer O.E. & Heath R.C. (1990): *Outline of groundwater hydrology*. U.S. Geol. Survey Water Supply Paper, 890 pp.
- Morgan L., (2005): *Critical Aquifer Recharge Area Guidance*, Washington Department of Ecology, USA.
- New Jersey Revised Statutes, Title 58 – Water and Water Supply, Section 58:11A-12 – Aquifer recharge area definition.
- Ordinanza sulla Protezione delle Acque (OPac) del 28 ottobre 1998; Consiglio federale svizzero.
- Piano di Tutela delle Acque – Regione Emilia Romagna.
- Piano di Tutela delle Acque – Regione Piemonte.
- Pellizzari P. (2009): *La ricarica delle falde acquifere nella Provincia di Vicenza*, Economia e Ambiente, Anno XXVIII, N. 1-2 Gennaio-Aprile 2009, 17-23.

- Provincia Autonoma di Trento & RFI (2008): *Potenziamento asse ferroviario Monaco-Verona, Linea di accesso Sud Fortezza-Verona, Lotto 3 – Circonvallazione di Trento e Rovereto, Progetto Preliminare, Relazione Idrogeologica*. Relazione tecnica, 102 p.
- Regione Abruzzo (2010): *Piano di Tutela delle Acque, Relazione Generale - Sezione II, Metodologia*. Direzione Lavori Pubblici, Servizio Idrico Integrato, Gestione Integrata dei bacini idrografici, Difesa del suolo e della costa.
- Regione Calabria (2009): *Piano di Tutela delle Acque, Relazione di Sintesi*, 587 p.
- Regione Emilia-Romagna, ENI-AGIP (1998): *Riserve idriche sotterranee della Regione Emilia-Romagna*. A cura di G. Di Dio, S.EL.CA. (Firenze), p. 120.
- Regione Liguria (2010): *Piano di tutela delle acque, Allegato VII – Linee guida per la delimitazione delle Aree di Salvaguardia*, Regione Liguria.
- Regione Lombardia, ENI-AGIP (2002): *Geologia degli Acquiferi Padani della Regione Lombardia*. A cura di C. Carcano & A. Piccin, S.EL.CA. (Firenze).
- Regione Piemonte (2015): *Piano di Gestione del Distretto Idrografico del P*. Regione Piemonte.
- Regione Sicilia (2007): *Piano di Tutela delle Acque della Sicilia – Caratterizzazione e Monitoraggio Acque Sotterranee in Sicilia*, Regione Sicilia.
- Regolamento Regionale 11 dicembre 2006 n.15/R recante: “*Disciplina delle aree di salvaguardia delle acque destinate al consumo umano*” (Legge Regionale 29 dicembre 2000, n.61).
- Salama RB, Tapley I, Ishii T, Hawkes G (1994b): *Identification of areas of recharge and discharge using Landsat-TM satellite imagery and aerial photography mapping techniques*. J Hydrol 162:119–141.
- Sukhija S., Reddy D.V., Nagabhushanam P., Syed Hussain, Giri V.Y., Patil D.J., (1996): *Environmental and injected tracers methodology to estimate direct precipitation recharge to a confined aquifer*, Journal of Hydrology, 177, pp. 77–97.
- Toth, J.A. (1963): *A theoretical analysis of ground-water flow in small drainage basins*. Journal of Geophysical Research, p. 4795-4811. Washington, DC: American Geophysical Union. Copyright 1963 by the American Geophysical Union.
- Tweed, S.O., Leblanc M., Webb J.A., Lubczynski M.W., (2007): *Remote sensing and GIS for mapping groundwater recharge and discharge areas in salinity prone catchments, southeastern Australia*. Hydrogeology Journal, 15(1): 75–96.
- UFAFP, (2004): *Istruzioni pratiche per la protezione delle acque sotterranee*. Ambiente – Esecuzione. Ufficio federale dell’ambiente, delle foreste e del paesaggio (UFAFP), Berna. 141 pp.
- Università degli studi di Firenze – Dipartimento di Scienze della Terra (2010): *Indagine geochimica ed isotopica delle sorgenti termo- e oligominerali dell’area amiatina*. Relazione conclusiva progetto MAC-GEO, Regione Toscana, Accordo di Programma Quadro Ricerca e trasferimento tecnologico per il sistema produttivo- III Accordo integrativo, 45 p.
- Vigna B., Fiorucci A., Ghielmi M. (2010): *Relations between stratigraphy, groundwater flow and hydrogeochemistry in Poirino Plateau and Roero areas of the Tertiary Piedmont Basin, Italy (rapporti tra l’assetto stratigrafico, idrogeologia e idrogeochimica nel settore compreso tra l’Altopiano di Poirino e il Roero (Bacino Terziario Piemontese, Italia)*. Memorie descrittive della Carta Geologica d’Italia, Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale, XC (2010), pp. 267–292.
- Washington Administrative Code (WAC), Title 365, Chapter 365-190, Sections 365-190-100.
- Washington State Legislature – Revised Code of Washington - Growth Management Act, Chapter 36.070A, Section 36.070A.030.
- Yeh, H-F. (2009): *GIS for the assessment of the groundwater recharge potential zone*. Environmental Geology, 58(1): 185–195.