

Valutazione dell'apporto idrico alla Sorgente Montellina da parte del Torrente Renanchio (Quincinetto, Torino)

Study on the water supply of the Montellina Spring by the Renanchio Stream (Quincinetto, Turin)

Manuela Lasagna, Domenico Antonio De Luca, Paolo Clemente, Giovanna Antonella Dino, M. Gabriella Forno, Marco Gattiglio, Franco Gianotti

Riassunto: Il lavoro ha lo scopo di approfondire le conoscenze sui rapporti idrogeologici tra la Sorgente acquedottistica Montellina (Quincinetto, Torino), caratterizzata da notevole portata (variabile in un range tra 50 e 180 l/s).

), e il Torrente Renanchio, anche in funzione della valutazione di fattibilità di un progetto di impianto idroelettrico con derivazione dal torrente che potrebbe interferire con il regime della sorgente.

In una prima fase di ricerca è stato effettuato un rilevamento geologico dell'area circostante la sorgente con la finalità di comprendere il contesto geologico e idrogeologico. Il rilevante deflusso sotterraneo nel bacino risulta legato a una notevole permeabilità dell'ammasso roccioso superficiale, fortemente allentato a seguito di fenomeni gravitativi. La concentrazione degli apporti alla sorgente è dovuto a motivi morfologici e allo sviluppo di importanti fratture, che convogliano anche parte delle perdite del torrente.

È stata quindi realizzata la valutazione delle perdite (l/s) del T. Renanchio che alimentano la sorgente, della percentuale di acqua del torrente che raggiunge la stessa e della percentuale di portata della sorgente che deriva dal torrente. Le indagini idrogeologiche condotte sono consistite in misure differenziali di portata del torrente e del troppo pieno della sorgente, mediante prove di tracciamento salino, e tracciamenti delle acque del torrente, mediante tracciante fluorescente. Le indagini sono state eseguite in occasione di tre campagne di misura con diverse portate del torrente.

I risultati indicano che, nonostante l'estrema variabilità della portata del T. Renanchio e delle sue perdite, la portata della sorgente presenta scarse variazioni ed è solo in piccola parte alimentata dalle perdite del torrente. Il caso di studio, oltre che accrescere le conoscenze circa l'assetto di un'area singolare per le condizioni idrogeologiche, fornisce un approccio metodologico alla valutazione dei rapporti tra corsi d'acqua e acque sotterranee.

Parole chiave: sorgente idropotabile, relazioni acque sotterranee/superficiali, test con traccianti, contesto geologico, Italia nord-occidentale.

Keywords: *drinking-water spring, groundwater/surface water relations, tracer tests, geological context, northwestern Italy.*

Abstract: *Tracer tests were utilised in an area of northwestern Italy, in order to evaluate the hydrogeological relationship between the drinking water Montellina Spring and the Renanchio Stream, likely feeding the spring. The project of a derivation from the stream for an hydroelectric plant could affect the water regime of the spring. So an analytical assessment of the connection existing between the stream and the spring was required. Moreover, a geological survey of the spring area was carried out, with the aim to reconstruct the geological and hydrogeological context. The large amount of groundwater in the basin is linked to a high permeability of the shallow rock mass. The concentration of supplies to the spring is due to morphological reasons and the occurrence of major fractures that carry also a part of the losses of the stream.*

The purposes of the study are the evaluation of: the losses (l/s) of stream feeding the spring, the percentage of water of the stream that reaches the spring and the percentage of the spring discharge supplied by the stream. The hydrogeological surveys consisted of sodium-chloride tracer tests for the measurement of the stream discharge and of the overflow of the spring, and tracer tests of the stream with fluorescent tracer. The surveys were conducted in three measurement campaigns for different flows of the stream.

Findings indicate that, despite the large variation of stream discharge and stream losses, the discharge of spring remains fairly steady and scarcely supplied by the stream. The case study, besides increasing the knowledge about this area, unusual for the hydrogeological features, provides a methodological approach to the evaluation of the relationship between rivers and groundwater.

Manuela LASAGNA ✉
Domenico Antonio DE LUCA
Paolo CLEMENTE
Giovanna Antonella DINO,
M. Gabriella FORNO
Marco GATTIGLIO
Franco GIANOTTI

Dipartimento di Scienze della Terra (Università di Torino)
Via Valperga Caluso 35, 10125 Torino
Tel. 0116705171
e-mail: manuela.lasagna@unito

Ricevuto: 30 novembre 2012 / Accettato: 25 febbraio 2013
Pubblicato online: 31 marzo 2013

© Associazione Acque Sotterranee 2013

Introduzione

La Sorgente Montellina (375 m s.l.m.), ubicata sul versante destro della bassa Valle della Dora Baltea (Fig. 1), è la principale fonte di approvvigionamento idropotabile del Comune di Quincinetto (Provincia di Torino). La sua portata è estremamente elevata e, a seconda della stagione, oscilla tra 50 e 150 l/s (Sea Consulting e GDP 2010).

Circa 400 m a S della sorgente scorre il Torrente Renanchio, affluente di destra del Fiume Dora Baltea; il torrente, secondo studi pregressi (Cerino Abdin, 2006; Sea Consulting e GDP, 2010), risulta essere in connessione idrogeologica con la sorgente stessa.

In particolare, i dati raccolti da Cerino Abdin (2006) testimoniano che il T. Renanchio, già in condizioni di normale regime idrologico imperturbato, presenta perdite di portata dell'ordine dell'80% tra quota 970 e quota 375. Inoltre, nell'ambito del medesimo studio è stata eseguita una prova di tracciamento mediante immissione di fluoresceina nel tratto superiore del T. Renanchio; l'arrivo del tracciante registrato alla sorgente tramite il posizionamento di fluorocaptori indica l'esistenza di un collegamento idrogeologico con la sorgente.

Un progetto di derivazione del T. Renanchio a scopo idroelettrico è attualmente in fase di valutazione di fattibilità; il progetto riguarda una centrale idroelettrica di media potenza, definibile come "piccola centrale idroelettrica" secondo la classificazione dell'Organizzazione delle Nazioni Unite per lo Sviluppo Industriale (UNIDO).

Il progetto prevede la realizzazione di un'opera di presa a quota 967,5 e una condotta in acciaio che si sviluppa sul ver-



Fig. 1 - Inquadramento geografico dell'area di studio nella bassa Valle della Dora Baltea (Italia nord-occidentale). Il riquadro indica l'area rappresentata nella carta geologica di Fig. 2.

Fig. 1 - Geographical context of the studied area in the lower Dora Baltea Valley (north-western Italy). The square indicates the area shown in the geological map of Fig. 2

sante sinistro per una lunghezza complessiva di 3360 m con una restituzione in alveo a quota 287,5. Poiché la riduzione della portata del torrente potrebbe influenzare il regime idrico della sorgente, determinando possibili criticità per l'approvvigionamento idropotabile, si è reso necessario uno studio idrogeologico di approfondimento. Il caso studiato rappresenta, pertanto, un esempio di valutazione del collegamento tra una sorgente e un corso d'acqua.

Si è quindi effettuato un rilevamento geologico di dettaglio riguardante sia le rocce metamorfiche del substrato sia i sedimenti quaternari (Fig. 2), seguito da studi idrogeologici sia del torrente che della sorgente.

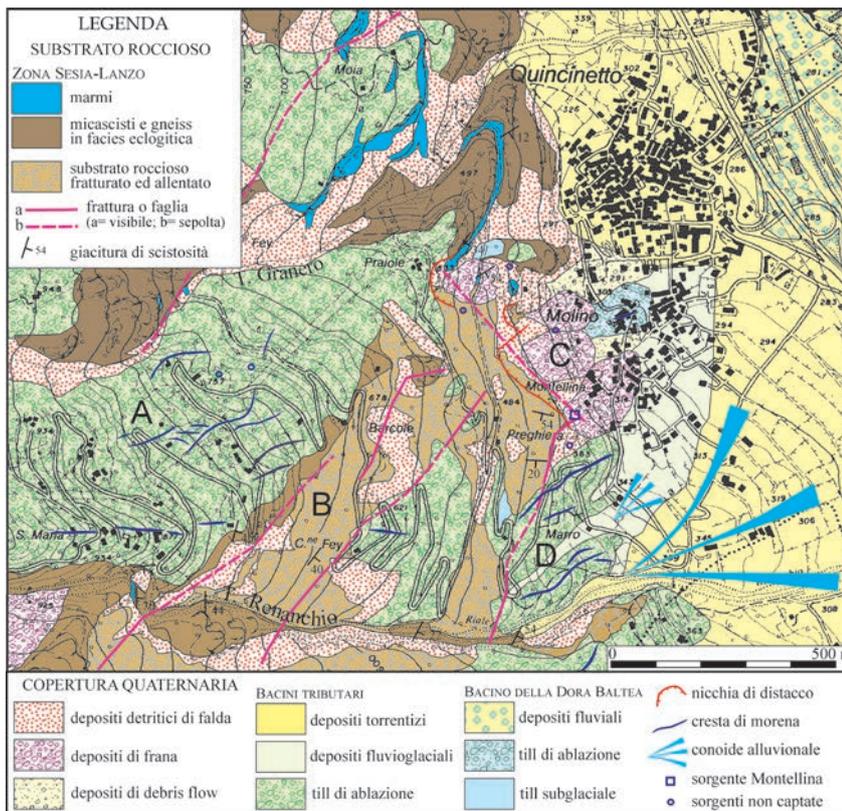


Fig. 2 - Carta geologica dell'area circostante la Sorgente Montellina, realizzata mediante rilevamento geologico di dettaglio alla scala 1:10.000. A, B, C e D indicano i settori con differenti caratteristiche geologiche a cui si fa riferimento nel testo.

Fig. 2 - Geological map of the Montellina Spring area. A, B, C and D indicate the sectors with different geological features reported in the text.

Assetto geologico e idrogeologico dell'area di studio

In un intorno significativo della sorgente (Fig. 2) è stato realizzato un rilevamento geologico di dettaglio alla scala 1:10.000 che, tramite la cartografia delle rocce del substrato metamorfico, dei sedimenti quaternari e delle caratteristiche morfologiche del territorio, ha permesso la ricostruzione dell'assetto geologico dell'area. È stata anche misurata la scistosità regionale, che risulta subparallela al layering litologico e rappresenta una foliazione composita generata dalla trasposizione di una più antica superficie metamorfica. Sono stati inoltre presi in esame i sistemi di fratture e le faglie a scala mesoscopica.

La fotointerpretazione ha integrato le osservazioni di terreno e ha permesso di riconoscere alcuni lineamenti, interpretabili come faglie.

La cartografia geologica prodotta introduce alcune novità. In particolare viene individuata la discontinuità dei livelli di rocce carbonatiche, precedentemente indicati come continui; la successione quaternaria, prima non differenziata, viene distinta per facies e per bacini di provenienza; viene riconosciuto l'allentamento di origine gravitativa delle rocce del substrato in tutto il settore a monte della sorgente; vengono individuate scarpate corrispondenti a importanti lineamenti tettonici, mediamente orientati NE-SW.

Il substrato metamorfico

L'area studiata è compresa nelle Alpi occidentali all'interno del Sistema Austroalpino e in particolare nel Complesso dei Micascisti Eclogitici (Compagnoni et al. 1977), appartenenti alla Zona Sesia-Lanzo.

Questo complesso si suddivide in un basamento polimetamorfico (Venturini 1995) e una successione di copertura monometamorfica, riferibile all'Unità di Scalero, come definita da Venturini (1991). Sia il basamento che le coperture presentano una foliazione principale caratterizzata da paragenesi tipiche della facies eclogitica.

Nell'area oggetto di un rilevamento di dettaglio, il basamento polimetamorfico è costituito prevalentemente da micascisti a grana grossa a granato, onfacite e giadeite, con più o meno glaucofane e Mg-cloritoide, involuppati da quarzo e da grandi porfiroblasti di fengite che definiscono l'orientazione della foliazione principale. Nei micascisti sono intercalati corpi pluridecametrici di ortogneiss fengitici a grana media, i cui limiti con i micascisti sono stati trasposti e parallelizzati alla foliazione principale. I micascisti inoltre contengono lenti metrico-decametriche, con estensione laterale pluridecametrica, di meta-apliti, eclogiti e glaucofaniti a grana fine di aspetto massiccio, con foliazione poco marcata.

Le coperture monometamorfiche sono rappresentate principalmente da rocce carbonatiche e in particolare da marmi dolomitici bianchi, marmi grigi a fengite e subordinati calcescisti. I marmi, con spessore da metrico a decametrico, affiorano localmente, mostrando quindi una distribuzione più limitata e discontinua rispetto a quanto finora noto (Sea Consulting e GDP, 2010).

Lungo il limite tra i marmi e i micascisti riferibili al basamento polimetamorfico sono presenti micascisti a grana fine, micascisti quarziticici e/o carbonatici con *boudins* di metabasiti e livelli decimetrici di quarziti bianche.

La foliazione principale presenta generalmente immersione variabile da S ad E con valori di inclinazione tra 10° e 80°. Tali variazioni giaciture sono da collegare alla presenza di due set di pieghe post-foliazione, con *trend* assiali orientati rispettivamente NW-SE e NE-SW.

Nell'area sono stati riconosciuti diversi sistemi di fratture:

- **sistema a:** con *strike* E-W, con superfici immergenti verso S e verso N, che rappresenta il sistema più sviluppato nell'area indagata: le superfici immergenti verso N mostrano sensi di movimento estensionale con locale sviluppo di *gouge* di potenza decimetrica; sulla verticale della sorgente si osserva una ampia frattura beante, con larghezza di alcuni metri (5-6 m) e lunghezza di alcune decine di metri, riferibile a questo sistema;
- **sistema b:** con *strike* NNE-SSW, immergente verso ESE, che sviluppa superfici di distacco sub-parallele al versante della valle principale e favorisce la formazione di pareti acclivi;
- **sistema c:** con *strike* N-S, con superfici preferenzialmente immergenti verso E; sulle superfici di frattura sono evidenti movimenti trascorrenti sia destri che sinistri;
- **sistema d:** con *strike* NW-SE, con superfici immergenti preferenzialmente verso NE; lungo alcune di queste fratture si innescano fenomeni franosi di crollo, come quelli descritti nel settore C (Fig. 2);
- **sistema e:** con *strike* medio NE-SW che sviluppa superfici preferenzialmente immergenti verso SE; si tratta di un sistema estensionale, le cui evidenze sono costituite da gradini morfologici connessi con i piani di frattura osservati lungo il versante e nell'alveo del T. Renanchio (Fig. 2).

La copertura quaternaria

La Sorgente Montellina è ubicata a quota 375 in corrispondenza al versante destro della Valle della Dora Baltea, nel tratto compreso tra il T. Renanchio (che drena il Vallone di Scalero) e il T. Granero, immediatamente a SW del concentrico di Quincinetto.

Il settore nordoccidentale del versante (A in Figg. 2 e 3), compreso tra Santa Maria e Praiole, è estesamente coperto da depositi glaciali di ablazione, che mostrano spessori fino a oltre 30 m (*till* di ablazione in Fig. 2). Sono costituiti da blocchi eterometrici, prevalentemente sfaccettati con spigoli smussati, mescolati a una matrice siltoso-sabbiosa mediamente addensata, di colore bruno. Questi depositi costituiscono un insieme di rilievi allungati in direzione prevalente WSW-ENE e E-W, corrispondenti a cordoni morenici laterali. L'alimentazione dei depositi dai valloni di Scalero e di Granero è suggerita dalla costituzione locale degli elementi (micascisti eclogitici, eclogiti, prasiniti, marmi e quarziti) e dalla loro disposizione preferenziale, con inclinazione verso il lato esterno dei cordoni. Alla base di questi sedimenti si osservano localmente depositi glaciali di fondo (*till* subglaciale). Tra i diversi cordoni si svi-



Fig. 3 - Vista panoramica del versante destro della Valle della Dora Baltea, con l'indicazione dei settori A, B, C e D citati nel testo. L'asterisco indica la posizione della Sorgente Montellina che alimenta l'acquedotto di Quincinetto.

Fig. 3 - Panoramic view of the western slope of the Dora Baltea Valley, with the indication of the A, B, C and D sectors reported in the text. The asterisk indicates the location of the Montellina Spring feeding the Quincinetto aqueduct.

luppiano depressioni allungate, interpretabili come relitti di scaricatori glaciali, in parte colmati da depositi fluvio-glaciali.

Il settore centrale del versante (B in Figg. 2 e 3), compreso tra C. ne Fey e Quincinetto, risulta modellato nel substrato roccioso. Nella fascia altimetrica superiore (al di sopra di circa 380-400 m) l'ammasso roccioso presenta, nella parte più superficiale, una diffusa fratturazione, risultando disarticolato da sistemi di frattura notevolmente aperti. Viceversa, l'ammasso roccioso risulta notevolmente compatto nella fascia altimetrica inferiore (nell'alveo del T. Renanchio e a NW di Molino), dove presenta alcune fratture riempite da carbonati.

Questo settore è interessato da numerose scarpate in roccia con forma arcuata in pianta, altezza di alcuni metri ed estensione di alcune decine di metri, corrispondenti a piccole nicchie di distacco favorite dal sensibile stato di fratturazione della porzione più superficiale del substrato. A queste nicchie sono associati depositi di frana, costituenti accumuli di dimensioni non cartografabili, o discontinui depositi detritici. Sono inoltre osservabili localmente depositi glaciali di fondo (*till* subglaciale in Fig. 2), corrispondenti a sedimenti prevalentemente siltosi fortemente addensati e/o a depositi sabbioso-ghiaiosi; entrambe le facies, di colore grigio, contengono ciottoli levigati e talvolta striati, con dimensioni prevalentemente centimetriche. I sedimenti appaiono privi di stratificazione o con stratificazione inclinata di circa 20° verso E, parallela all'inclinazione del versante. La costituzione petrografica eterogenea, con clasti locali (micascisti eclogitici, eclogiti, marmi e quarziti) e clasti riferibili alla Zona Piemontese (micascisti non eclogitici, gneiss e serpentiniti) suggerisce l'alimentazione dalla valle principale.

Il settore orientale del versante (C in Figg. 2 e 3), compreso tra Preghiera e Molino, è invece diffusamente coperto da depositi di frana, con spessore visibile di alcuni metri, costituiti da elementi angolosi eterometrici mescolati a una subordinata

matrice fine e formati dai litotipi locali (micascisti eclogitici ed eclogiti con rari marmi e quarziti). Gli elementi distribuiti al margine inferiore degli accumuli, su cui è edificata la porzione occidentale dell'abitato di Quincinetto, e quelli osservabili immediatamente a monte della sorgente mostrano dimensioni particolarmente rilevanti, fino ad alcune migliaia di m³, determinando una possibile confusione con affioramenti del substrato. Questi sedimenti formano tre principali coni di frana sensibilmente convessi, tra loro affiancati, caratterizzati da notevole inclinazione. In corrispondenza alle depressioni comprese tra i diversi accumuli si impostano venute d'acqua di modesta entità.

Immediatamente al di sopra degli accumuli di frana si osservano estese scarpate impostate nei micascisti eclogitici, con altezza di alcune decine di metri, corrispondenti alle nicchie di distacco dei depositi gravitativi. Interessano la porzione più superficiale del substrato, caratterizzata da notevole fratturazione. Tra le nicchie di distacco e i relativi accumuli si osservano depressioni con profondità di alcuni metri.

Il settore sudorientale del versante (D in Figg. 2 e 3), in prossimità dello sbocco del T. Renanchio nella valle principale, è invece diffusamente coperto da depositi glaciali di ablazione, che mostrano caratteristiche e costituzione dei clasti del tutto analoghe rispetto a quelli distribuiti nel settore A. Questi sedimenti, con orientazione preferenziale dei clasti verso N, formano dorsali arcuate con andamento SE-NW, corrispondenti a cordoni morenici laterali legati al Ghiacciaio di Scalero. Localmente si osserva come questi sedimenti coprano più antichi depositi glaciali di fondo legati al ghiacciaio principale, analoghi a quelli rinvenuti nel settore B.

Considerazioni idrogeologiche

La Sorgente Montellina è di particolare interesse per le portate estremamente elevate e relativamente costanti nel tempo, condizione non usuale nel contesto idrogeologico delle vallate delle Alpi occidentali. Delle numerose sorgenti censite nella Provincia di Torino (1571, di cui 1408 in area montana) solo 7 hanno portata massima superiore ai 50 l/s (De Luca et al 2009a; 2009b). Le uniche captazioni con portata superiore a quelle della Sorgente Montellina sono però delle trincee drenanti (Pian della Mussa, con portata max di 720 l/s, è la maggiore), gallerie drenanti (Sangano, Trana e Villabasse) o prese in subalveo (Groscavallo). Limitatamente al bacino montano della Dora Baltea, le 130 sorgenti della provincia censite hanno portata media di 2,5 l/s e solo 13 di queste risultano superiori ai 5 l/s. Come esempio, la Sorgente Bardanzone di Tavagnasco, captata ad uso idropotabile e prossima al sito di indagine, ha una portata misurata di 2,1 l/s e massima di 6 l/s, pur trovandosi anch'essa sul basso versante destro in apparentemente analoghe condizioni geomorfologiche.

La Sorgente Montellina appare particolare anche per i seguenti motivi:

- la posizione altimetrica non è in corrispondenza alla base del versante, bensì sospesa di circa 40 m rispetto al fondovalle principale;
- il bacino idrologico risulta di modeste dimensioni (7 ha),

per giustificare portate così rilevanti;

- la sorgente è costituita da un gruppo di emergenze, concentrate in un'area molto ristretta, e captate mediante due opere di presa contigue.

La presenza di un importante acquifero che alimenta la sorgente appare connessa ai seguenti fattori:

- alla presenza, in superficie, di rocce del substrato caratterizzate da diffuse fratture beanti e, nel sottosuolo (a qualche decina di metri di profondità), di rocce con fratture molto meno diffuse e prevalentemente chiuse o riempite da carbonati e/o da depositi glaciali;
- allo sviluppo di una estesa e potente copertura di depositi glaciali di ablazione in tutta la fascia altimetrica superiore del versante (A in Fig. 2), associata all'acclività relativamente modesta di questo settore che favorisce l'infiltrazione;
- all'esistenza di un ampio settore in destra idrografica del T. Renanchio (prevalentemente fuori carta) caratterizzato da rocce molto allentate, corrispondenti a un'area interessata da una deformazione gravitativa profonda di versante.

Tra le motivazioni che potrebbero spiegare l'afflusso di acqua verso il punto di emergenza, si evidenziano invece, le seguenti:

- la sorgente è ubicata all'intersezione di sistemi di frattura, rispettivamente con andamento NE-SW e NNE-SSW (sistemi e b), che permettono di convogliare verso la sorgente parte delle portate del T. Renanchio, e con andamento NW-SE (sistema d), corrispondente ad una scarpata morfologica su cui si impostano le nicchie di distacco degli accumuli di frana;
- l'area sorgiva si sviluppa in corrispondenza della depressione compresa tra l'accumulo di frana più meridionale e la relativa nicchia di distacco;
- l'emergenza potrebbe essere l'unica evidenza di una depressione sepolta, legata al modellamento glaciale, attualmente coperta dai depositi di frana, suggerita anche da una rottura di pendenza (Fig. 3);
- sul versante, appena a valle della sorgente, si osserva un limite di permeabilità ricollegabile alla presenza di depositi glaciali di fondo che rivestono discontinuamente il substrato, sviluppandosi localmente alla base dei depositi di frana e dei depositi glaciali di ablazione, e costituendo un setto con bassa permeabilità.

Metodi idrogeologici utilizzati

Lo studio idrogeologico è stato finalizzato alla valutazione dell'aliquota di acqua del T. Renanchio che alimenta la Sorgente Montellina di Quincinetto (Fig. 4).

A tal fine le indagini idrogeologiche condotte sono consistite in:

- prove di tracciamento salino e misure differenziali di portata del T. Renanchio per la valutazione delle perdite del torrente;
- tracciamenti delle acque del T. Renanchio mediante tracciante fluorescente e suo monitoraggio in continuo presso la Sorgente Montellina, finalizzati alla valutazione di a)

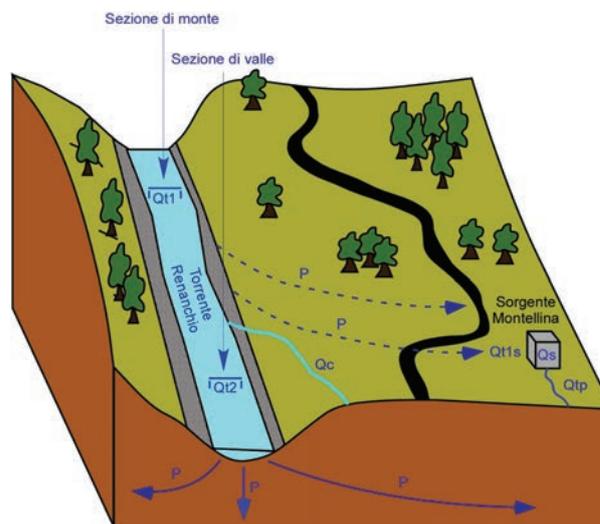


Fig. 4 - Rappresentazione schematica del sito in esame -

$Qt1$ = portata del T. Renanchio nella sezione di monte; $Qt2$ = portata complessiva del T. Renanchio nella sezione di valle; Qc = portata del canale di derivazione irrigua; P = perdite del T. Renanchio valutate tra la sezione di monte e la sezione di valle; Qs = portata della Sorgente Montellina; $Qt1s$ = quantità di acqua del T. Renanchio ($Qt1$) che alimenta la Sorgente Montellina; QtP = portata di troppo pieno della sorgente.

Fig. 4 - Schematic representation of study area. $Qt1$ = Renanchio Stream discharge in the upstream section; $Qt2$ = Renanchio Stream total discharge in the downstream section; Qc = discharge of derivation channel; P = Renanchio Stream losses evaluated between the upstream section and the downstream section; Qs = Montellina Spring discharge; $Qt1s$ = Amount of water of the Renanchio Stream that feeds the Montellina Spring; QtP = Spring overflow.

perdite (l/s) del T. Renanchio che alimentano la Sorgente Montellina, b) percentuale di acqua del T. Renanchio che raggiunge la sorgente e c) percentuale della portata della sorgente che deriva dal torrente.

Tali indagini sono state eseguite in occasione di tre campagne di misura tra luglio e novembre 2011, al fine di verificare i risultati per diverse portate del T. Renanchio. In dettaglio le prove sono state eseguite il 14 luglio 2011 (Prova 1), il 27 settembre 2011 (Prova 2) e il 24 novembre 2011 (Prova 3).

Valutazione delle perdite del torrente mediante misure differenziali di portata con il metodo del tracciamento salino

A causa dell'elevata turbolenza e velocità delle acque del T. Renanchio, non è stato possibile utilizzare un mulinello idrometrico per la misura della velocità e delle portate del torrente. La portata del torrente è, quindi, stata valutata mediante test di tracciamento in due postazioni di misura (denominate sezione di monte 955 m e sezione di valle 475 m) (Fig. 5). La metodica del tracciamento salino ha consentito la valutazione delle perdite del torrente nel tratto indagato.

Il tracciante utilizzato è il cloruro di sodio (NaCl), scelto per le indagini poiché risulta facilmente reperibile, economico ed atossico nei confronti dell'ambiente, nelle concentrazioni utilizzate. In dettaglio, la prova è consistita nell'immissione di NaCl in un punto denominato "punto di immissione" e nella registrazione della variazione di conducibilità elettrolitica (C.E.) nell'acqua del canale in un punto denominato "punto

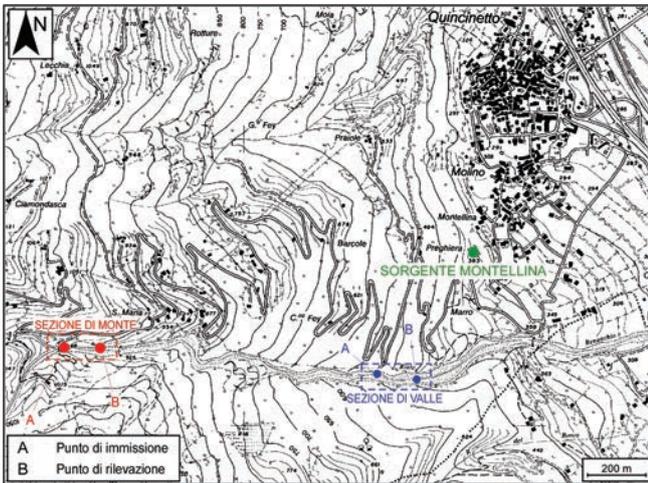


Fig. 5 - Ubicazione della sezione di monte e della sezione di valle per le indagini mediante tracciamento salino.

Fig. 5 - *Upstream and downstream sections for tracing test with NaCl.*

di rilevazione". L'immissione in acqua di una quantità sufficiente di NaCl, infatti, provoca un aumento del contenuto di ioni in soluzione e, di conseguenza, un incremento della C.E. (Radulović et al., 2008; Moore, 2005; Gees, 1990; Rantz, 1982).

L'iniezione del tracciante salino nel torrente è avvenuta mediante immissione istantanea di una soluzione di NaCl disciolto in acqua (Fig. 6), iniziando contemporaneamente la registrazione della conducibilità elettrolitica nei punti di rilevazione tramite un conducimetro portatile, a intervalli di 5 secondi (Fig. 7). I valori di C.E. registrati sono stati poi trasformati in valori di concentrazione attraverso l'utilizzo di una retta di taratura; questa è stata elaborata rilevando la variazione della C.E. di un campione di acqua del torrente per differenti quantità di NaCl introdotto.

La portata del torrente è stata calcolata sulla base del principio di conservazione della massa del tracciante, applicando l'Equazione 1:

$$Q = \frac{M}{dt * \sum C} \quad (1)$$



Fig. 6 - Fase di miscelazione del tracciante salino (NaCl) in acqua e immissione della soluzione nel T. Renanchio (a); misura della C.E. nel T. Renanchio (b).

Fig. 6 - *Dissolution of NaCl in water and slug injection in the Renanchio Stream (a); measurement of EC in the Renanchio Stream (b).*

TRACCIAMENTO SALINO (24/11/2011)

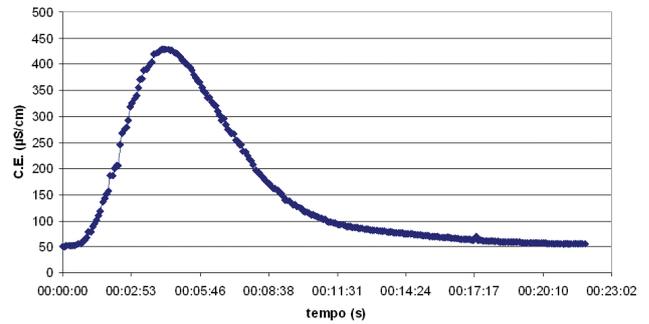


Fig. 7 - Diagramma C.E. vs tempo (esempio relativo alla prova 3, sezione di monte).

Fig. 7 - *EC vs t diagram (test 3, upstream section).*

dove: Q = portata (l/s); M = massa totale del sale immesso (g); dt = intervallo di tempo tra due misure di conducibilità elettrolitica (s); $\sum C$ = sommatoria delle concentrazioni registrate (g/l).

Tale equazione ha consentito di valutare la portata del torrente nelle sezioni di monte (Q_{t1}) e di valle (Q_{t2}); la misura della portata del torrente nella sezione di valle, tuttavia, è stata corretta sommando alla stessa la portata prelevata dal torrente mediante un canale di derivazione irrigua (Q_c) ubicato a monte rispetto alla sezione di valle (Fig. 8). La valutazione della portata del canale di derivazione irrigua è stata misurata mediante l'utilizzo di un mulinello idrometrico (ASTM D4409 – 95 2008; ASTM D3858 – 95 2008; ASTM D5089 – 95 2008; ISO3455 2007; Rantz 1982).

Infine, le perdite del torrente nel tratto indagato (tra la sezione di monte e la sezione di valle) sono state calcolate mediante l'Equazione 2:

$$P = Q_{t1} - Q_{t2} \quad (2)$$

dove: P = perdite del T. Renanchio tra la sezione di monte e la sezione di valle; Q_{t1} = portata del T. Renanchio nella sezione di monte; Q_{t2} = portata complessiva del T. Renanchio nella sezione di valle; sapendo che

$$Q_{t2} = Q_{t2}^* + Q_c \quad (3)$$

dove: Q_{t2}^* = portata del T. Renanchio nella sezione di valle mediante tracciamento salino (esclusa la portata del canale di



Fig. 8 - Cascata lungo l'alveo del T. Renanchio, appena a monte del punto di misura della sezione di valle, connessa con l'importante frattura con andamento NNE-SSW rappresentata in Fig. 2 (a); dettaglio del canale di derivazione irrigua (b).

Fig. 8 - Waterfall along the Renanchio Stream, located just upstream the measuring point of the downstream section, linked to the NNE-SSW trending major fracture, mapped in Fig. 2 (a). Detail of the derivation irrigation channel (b).

derivazione irrigua); Q_c = portata del canale di derivazione irrigua.

Quantizzazione dell'alimentazione della sorgente da parte del T. Renanchio mediante prove di tracciamento del torrente con tracciante fluorescente

Al fine di misurare l'aliquota di acqua del T. Renanchio che alimenta la Sorgente Montellina, sono state realizzate 3 prove di tracciamento delle acque del torrente mediante tracciante fluorescente e suo monitoraggio in continuo presso la sorgente.

Il tracciante utilizzato è la fluoresceina sodica ($C_{20}H_{12}O_5Na_2$), che risulta atossica e classificata ecotossicologicamente innocua per l'uomo e l'ambiente sulla base di test di genotossicità ed ecotossicità (Aldous e Fawell, 1986; Behrens et al., 2001). La dose di fluoresceina è stata preparata in laboratorio, mediante pesatura e diluizione della stessa con acqua, in modo da agevolare le attività sul campo. La fluoresceina, inoltre, è stata mantenuta al riparo dalla luce, onde evitare fenomeni di fotodegradazione.

Le modalità di realizzazione della prova sono consistite nella diluizione della fluoresceina in acqua, nella sua immissione istantanea nella sezione di monte del torrente (Figura 9) e nella registrazione dell'eventuale presenza della stessa nell'acqua

della sorgente.

La massa di fluoresceina immessa è stata valutata sulla base del regime di flusso del T. Renanchio. Nell'ambito della prima prova di tracciamento si è proceduto, quindi, con l'immissione di una elevata quantità di fluoresceina, pari a 3950 g, in relazione all'elevata portata del torrente in piena. Per il secondo test, in cui il torrente si presentava in condizioni di magra, e il terzo test, in cui la portata era intermedia tra la prova 1 e la prova 2, sono invece state utilizzate masse più ridotte, rispettivamente pari a 2000 g e 2950 g.

A partire dal momento dell'immissione della fluoresceina nel torrente è iniziata la rilevazione e registrazione del tracciante nell'acqua della Sorgente Montellina. La strumentazione di misura utilizzata è un fluorimetro *flow-through* da campo GGUN - FL30 prodotto da Albilgia S.r.l., con limite di rilevazione di 0.02 $\mu\text{g/l}$, inserito nella vasca dell'opera di captazione della sorgente, in posizione invariata nell'ambito delle prove condotte. Il fluorimetro è stato calibrato in laboratorio, utilizzando tre soluzioni di fluoresceina a diverse concentrazioni (Schneegg 2002; 2003).

Il fluorimetro ha registrato la concentrazione della fluoresceina nell'acqua della sorgente a intervalli di misura regolari di 1 ora, per la prima prova, e di 15 minuti, per la seconda e



Fig. 9 - Fase di preparazione della fluoresceina mediante diluizione in acqua (a); immissione della soluzione di acqua e fluoresceina nel torrente (b).

Fig. 9 - Dissolution of fluorescein in water (a) and slug injection in Renanchio Stream (b).

la terza prova.

La quantizzazione dell'aliquota di acqua del T. Renanchio che alimenta la Sorgente Montellina è avvenuta mediante la misura della massa di fluoresceina M_r che ha raggiunto la sorgente stessa.

Conoscendo la portata della Sorgente Montellina e attraverso un calcolo di bilancio di massa (Equazione 4) si ottiene che:

$$M_r = Q_s * dt * \sum C \quad (4)$$

dove:

M_r = massa di fluoresceina che ha raggiunto la Sorgente Montellina (g); Q_s = portata della Sorgente Montellina (l/s); dt = intervallo di tempo tra due misure di concentrazione di fluoresceina (s); $\sum C$ = sommatoria delle concentrazioni di fluoresceina registrate in sorgente (g/l).

I parametri che sono stati valutati sono i seguenti:

a) Q_{t1} : quantità di acqua del T. Renanchio (Q_{t1}) che alimenta la Sorgente Montellina (l/s); tale parametro, corrispondente alla quantità di acqua della sorgente proveniente dal T. Renanchio, è valutata mediante l'Equazione 5:

$$Q_{t1}s = \left(\frac{M_r}{M_i} * Q_{t1} \right) \quad (5)$$

dove: M_r = massa di fluoresceina che ha raggiunto la Sorgente Montellina (g); M_i = massa totale di fluoresceina immessa nel T. Renanchio (g); Q_{t1} = portata del T. Renanchio nella sezione di monte (l/s).

b) $Q_{t1}s\%$: percentuale di acqua del T. Renanchio (Q_{t1}) che arriva alla sorgente; tale parametro è valutato mediante l'Equazione 6:

$$Q_{t1}s\% = \frac{Q_{t1}s * 100}{Q_{t1}} \quad (6)$$

dove: $Q_{t1}s$ = quantità di acqua del T. Renanchio Q_{t1} che alimenta la Sorgente Montellina (l/s).

c) $Q_s\%$: percentuale della portata della sorgente che deriva dalla portata del Renanchio (Q_{t1}); tale parametro è valutato mediante l'Equazione 7:

$$Q_s\% = \frac{Q_{t1}s * 100}{Q_s} \quad (7)$$

dove: Q_s = portata della Sorgente Montellina (l/s).

Risultati

Perdite del T. Renanchio

Il metodo del tracciamento salino è stato utilizzato per la valutazione della portata del T. Renanchio nell'ambito di tre prove di campo (Prova 1, Prova 2 e Prova 3). Mediante tali test è stato possibile valutare le portate del T. Renanchio e le sue perdite nel tratto indagato. Nei paragrafi seguenti verranno riportati i dettagli delle tre prove di tracciamento salino.

Prova di tracciamento salino 1

Nel corso della Prova 1, a causa dell'elevata portata del T. Renanchio in piena, nella sezione di monte è stata utilizzata una massa di NaCl per il tracciamento di 39 kg, disciolti con acqua del torrente stesso, mentre sono stati utilizzati 30 kg di NaCl, disciolti anch'essi con acqua del torrente, nella sezione di valle. In Tab. 1 vengono riportati i risultati dei test eseguiti nell'ambito della Prova 1 e il valore delle perdite, calcolato mediante l'Equazione 2, e pari a 389 l/s.

Tab. 1 - Tabella riassuntiva delle portate e valutazione delle perdite del T. Renanchio (Prova 1).

Tab 1 - Summary table of Renanchio Stream discharge and assessment of the losses (Test 1).

Prova 1 (14/07/2011)	Q (l/s)
Q_{t1} = portata del T. Renanchio nella sezione di monte	1493
Q_{t2}^* = portata del T. Renanchio nella sezione di valle (esclusa la Q_c allontanata dal canale derivatore)	1025
Q_c = portata allontanata dal torrente mediante un canale di derivazione irrigua	79
Q_{t2} = portata complessiva del T. Renanchio nella sezione di valle	1104
P = perdite del T. Renanchio tra la sezione di monte e la sezione di valle	389

Prova di tracciamento salino 2

Nel corso della Prova 2, è stata utilizzata una massa di NaCl nella sezione di monte pari a 25 kg, disciolta con acqua del torrente stesso, mentre sono stati utilizzati 30 kg di NaCl nella sezione di valle. Le perdite nella prova 2 sono risultate pari a 31 l/s; nella Tab. 2 vengono riportati i risultati dei test eseguiti.

Tab. 2 - Tabella riassuntiva delle portate e valutazione delle perdite del T. Renanchio (Prova 2).

Tab 2 - Summary table of Renanchio Stream discharge and assessment of the losses (Test 2).

Prova 2 (27/09/2011)	Q (l/s)
Q_{t1} = portata del T. Renanchio nella sezione di monte	133
Q_{t2}^* = portata del T. Renanchio nella sezione di valle (esclusa la Q_c allontanata dal canale derivatore)	61
Q_c = portata allontanata dal torrente mediante un canale di derivazione irrigua	41
Q_{t2} = portata complessiva del T. Renanchio nella sezione di valle	102
P = perdite del T. Renanchio tra la sezione di monte e la sezione di valle	31

Prova di tracciamento salino 3

Per il tracciamento salino della Prova 3 sono stati utilizzati 25 kg di NaCl nella sezione di monte e 20 kg nella sezione di valle. Nella Tab. 3 vengono riportati i risultati dei test eseguiti. Per la prova 3, al fine di valutare la portata complessiva del T. Renanchio nella sezione di valle Q_{t2} , non è stato necessario considerare la portata del canale di derivazione irrigua (Q_c),

essendo completamente riempito di materiale granulare grossolano (ghiaia e sabbia). Il valore di perdita del torrente tra la sezione di monte e di valle, calcolato mediante l'Equazione 2, è pari a 41 l/s (Tab. 3).

Tab. 3 - Tabella riassuntiva delle portate e valutazione delle perdite del T. Renanchio (Prova 3).

Tab 3 - Summary table of Renanchio Stream discharge and assessment of the losses (Test 3).

Prova 3 (24/11/2011)	Q (l/s)
Q_{t1} = portata del T. Renanchio nella sezione di monte	353
Q_{t2} = portata complessiva del T. Renanchio nella sezione di valle	312
P = perdite del T. Renanchio tra la sezione di monte e la sezione di valle	41

Considerazioni sulle perdite del T. Renanchio

La portata del T. Renanchio è variata in modo considerevole tra il luglio e il novembre 2011 (Fig. 10); questa è, infatti, passata da valori compresi tra 133 l/s e 1493 l/s nella sezione di monte e valori compresi tra 102 l/s e 1104 l/s nella sezione di valle. Inoltre le perdite del torrente nel tratto indagato sono risultate molto differenti nelle tre campagne di monitoraggio, variando tra 31 l/s e 389 l/s.

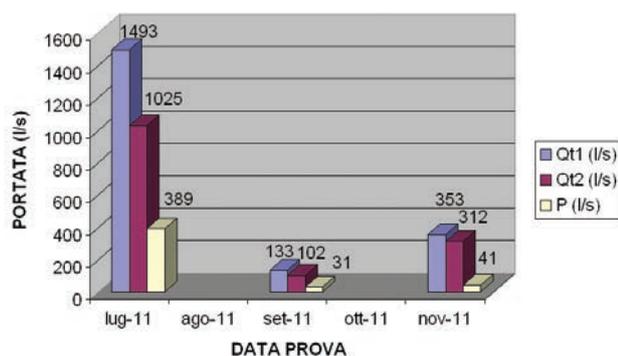


Fig. 10 - Confronto dei valori di portata del T. Renanchio nella sezione di monte (Q_{t1}), di valle (Q_{t2}) e delle perdite (P) nelle tre prove eseguite.

Fig. 10 - Comparison of the Renanchio Stream discharge in the upstream section (Q_{t1}), downstream section (Q_{t2}) and losses (P) in the three tests.

Portata della Sorgente Montellina e del troppo pieno

Al fine di valutare l'alimentazione della Sorgente Montellina da parte delle perdite del T. Renanchio, è stato necessario calcolare la portata totale delle sorgente (Q_s); tale portata è data dalla somma della portata captata (Q_{sc}) e del troppo pieno (Q_{tp}) della sorgente stessa (Tab. 4). In dettaglio, la portata di troppo pieno della Sorgente Montellina è stata valutata mediante tracciamenti salini, utilizzando come tracciante il cloruro di sodio (NaCl). Le prove di portata sulla Sorgente Montellina sono state eseguite nelle stesse date delle prove di tracciamento sul T. Renanchio. Le modalità di esecuzione dei tracciamenti salini e di elaborazione dei dati sono le medesime riportate nei paragrafi precedenti.

L'immissione istantanea del tracciante è avvenuta in un

punto immediatamente a valle della Sorgente Montellina (punto di immissione) (Fig. 11). La misura della C.E. è stata eseguita nel punto di rilevazione, posto ad una quota (da CTR) di 345 m s.l.m. circa. L'intervallo di misura della C.E. è pari a 5 s. Per le due prove di tracciamento salino sono stati immessi nel canale di troppo pieno 5 kg di NaCl, disciolti con acqua del canale stesso. Per la terza prova sono stati immessi 10 kg di NaCl.

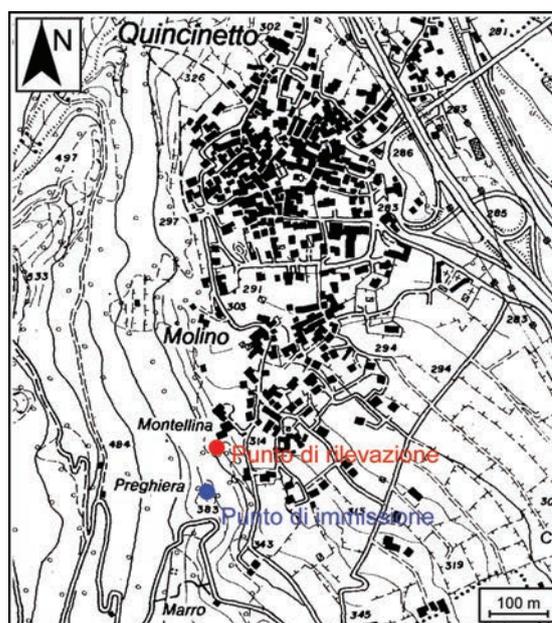


Fig. 11 - Ubicazione del punto di immissione e del punto di rilevazione per la valutazione della portata di troppo pieno della Sorgente Montellina.

Fig. 11 - Location of the injection point and the detection point for evaluating the overflow of the Montellina Spring.

Tab. 4 - Portata captata (Di Gioia 2012), portata di troppo pieno e portata totale della Sorgente Montellina.

Tab 4 - Utilised discharge, overflow and total discharge of Montellina Spring.

Data	Portata captata della Sorgente Montellina (l/s)	Portata di troppo pieno (l/s)	Portata totale della sorgente Montellina (l/s)
14/07/11	95.9	85.1	181
27/09/11	91.7	52.3	144
24/11/11	94.8	76.2	171

Aliquota di acqua del T. Renanchio che alimentante la Sorgente Montellina

Al fine di quantizzare l'aliquota di acqua del torrente che alimenta la sorgente, sono stati realizzati 3 tracciamenti del Renanchio mediante tracciante fluorescente (Fig. 12 e Tab. 5).

Per quanto concerne la prima prova di tracciamento, il primo arrivo del tracciante alla sorgente è stato registrato dopo 16 ore dall'immissione della fluoresceina; il picco di concentrazione, pari a 0.41 $\mu\text{g/l}$, è stato raggiunto dopo 52 ore dall'immissione; infine l'arrivo del tracciante è stato registrato in concentrazioni superiori al limite di detezione (0.02 $\mu\text{g/l}$) per i successivi 22 giorni. Conoscendo la portata della sorgente, che nella data della prova è pari a 181 l/s, e attraverso un

calcolo di bilancio di massa (Equazione 4) si è ottenuta una massa M_r di fluoresceina che ha raggiunto la sorgente pari a 38 g. È stata quindi valutata la quantità Q_{t1s} di acqua del torrente che alimenta la sorgente, pari a 14.4 l/s, corrispondente ad una percentuale $Q_{t1s}\%$ inferiore all'1 %. Di conseguenza solo il 3,7% delle perdite del corso d'acqua alimenta la sorgente e solo il 7,9% della portata della sorgente proviene dal torrente.

Per la seconda prova di tracciamento, il primo arrivo del tracciante si è verificato dopo 29 ore dall'immissione della fluoresceina; il picco massimo di concentrazione, pari a 1.45 $\mu\text{g/l}$, è stato raggiunto dopo 132 ore dall'immissione, mentre una concentrazione superiore al limite strumentale è stata registrata per oltre 40 giorni. La massa M_r di fluoresceina che ha raggiunto la sorgente è stata valutata in 282 g, corrispondente a un Q_{t1s} pari a 18.7 l/s e a un $Q_{t1s}\%$ di 14.1 %. Di conseguenza ben il 60% delle perdite del corso d'acqua alimenta la sorgente e solo il 13% della portata della sorgente proviene dal torrente.

Infine, nell'ambito della terza prova, il primo arrivo del tracciante è stato registrato alla sorgente dopo 23 ore dall'immissione della fluoresceina; il picco di concentrazione è pari a 0.78 $\mu\text{g/l}$ ed è stato raggiunto dopo circa 70 ore dall'immissione; infine l'arrivo del tracciante è stato registrato a concentrazioni via via decrescenti per i successivi 32 giorni. Utilizzando tali valori è stata calcolata una massa M_r di fluoresceina alla sorgente pari a 124 g. La quantità Q_{t1s} di acqua del torrente che alimenta la sorgente è pari a 14.8 l/s, mentre la percentuale di acqua del torrente che arriva alla sorgente è pari a 4.2 %. Ne consegue che il 36% delle perdite del corso d'acqua alimenta la sorgente e solo l'8,7% della portata della sorgente proviene dal torrente.

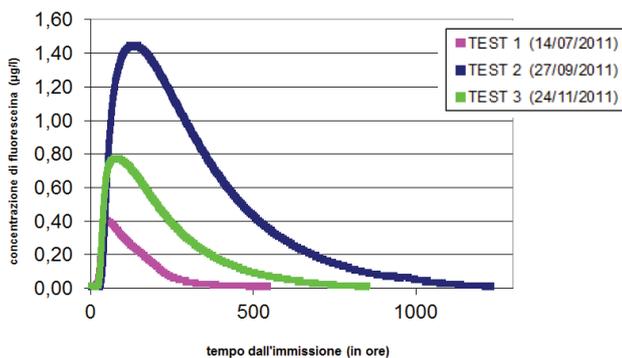


Fig. 12 - Diagramma "concentrazione vs tempo".

Fig. 12 - Diagram "concentration vs time".

Discussione e conclusioni

La sorgente Montellina di Quincinetto mostra caratteristiche peculiari per la grande portata (50÷180 l/s), in rapporto all'esiguo bacino idrologico (7 ha) e per la posizione non alla base del versante. Le motivazioni che possono giustificare la presenza di una grande quantità d'acqua nel settore altimetrico dell'emergenza sono individuabili nell'esistenza di un substrato roccioso in condizioni di marcata fratturazione ed allentamento (con fratture sistematicamente aperte per la profondità di alcune decine di metri) e nella possibile alimenta-

Tab. 5 - Tabella riassuntiva dei risultati delle prove di tracciamento con tracciante fluorescente.

Tab 5 - Summary table of tracer tests results with fluorescent tracer.

EQUAZIONE 4: $M_r = Q_s * dt * \sum C$	PROVA 1	PROVA 2	PROVA 3
Q_s = portata della Sorgente Montellina (l/s)	181.0	144	171.0
dt = intervallo di tempo tra due misure di concentrazione di fluoresceina (s)	3600	900	900
$\sum C$ = sommatoria delle concentrazioni di fluoresceina registrate in sorgente (g/l)	5.845E-05	0.00217	0.000804
M_r = massa di fluoresceina che ha raggiunto la Sorgente Montellina (g)	38	282	124
EQUAZIONE 5: $Q_{t1s} = \left(\frac{M_r}{M_i} * Q_{t1} \right)$	PROVA 1	PROVA 2	PROVA 3
M_i = massa totale di fluoresceina immessa nel T. Renanchio (g)	3950	2000	2950
Q_{t1} = portata del T. Renanchio nella sezione di monte (l/s)	1492.6	133.0	352.9
Q_{t1s} = quantità di acqua del T. Renanchio Q_{t1} che alimenta la Sorgente Montellina (l/s)	14.4	18.7	14.8
EQUAZIONE 6: $Q_{t1s}\% = \frac{Q_{t1s} * 100}{Q_{t1}}$	PROVA 1	PROVA 2	PROVA 3
$Q_{t1s}\%$ = percentuale di acqua del T. Renanchio (Q_{t1}) che arriva alla Sorgente Montellina (%)	0.97	14.1	4.2
EQUAZIONE 7: $Q_s\% = \frac{Q_{t1s} * 100}{Q_s}$	PROVA 1	PROVA 2	PROVA 3
$Q_s\%$ = quantità percentuale della portata della Sorgente Montellina che deriva da Q_{t1} (%)	7.9	13.0	8.7

zione della sorgente da parte dell'alveo del T. Renanchio. Ne consegue che il bacino idrogeologico dell'emergenza risulta di estensione molto maggiore di quello idrologico. Le due situazioni ipotizzate non sono necessariamente alternative, ma possono coesistere, nel senso che un acquifero per fessurazione può venire alimentato anche dalle perdite del reticolato idrografico.

Con la finalità di quantificare le perdite del T. Renanchio e di valutare l'aliquota di acqua del torrente che alimenta la sorgente, sono state eseguite tre misure di portata mediante metodo del tracciamento salino e tre tracciamenti delle acque del torrente mediante tracciante fluorescente, con monitoraggio in continuo presso la sorgente.

Le misure di portata indicano che, sebbene nel periodo di

studio le portate del torrente (portata nella sezione di monte 133÷1493 l/s) e le sue perdite (31÷389 l/s) abbiano avuto grandi variazioni, contemporaneamente la portata totale della sorgente registra al contrario variazioni molto più contenute (144÷181 l/s).

Le prove di tracciamento con tracciante fluorescente evidenziano, inoltre, un'alimentazione della sorgente da parte del T. Renanchio. Tuttavia, indipendentemente dalle portate di quest'ultimo, la quantità di acqua del T. Renanchio che alimenta la sorgente rimane compresa tra i 14.4 e i 18.7 l/s, suggerendo quindi che solamente una piccola percentuale della portata del torrente alimenta la sorgente (1-14 %). Rispetto a una forte variazione di portata del torrente nelle diverse condizioni di precipitazioni, i valori relativamente costanti delle perdite del torrente (ad alimentare la sorgente) suggeriscono che in occasione di importanti eventi meteorici, quando l'ammasso roccioso è fortemente imbibito d'acqua, gli apporti di acqua dal torrente diventano abbastanza esigui rispetto alla portata complessiva dell'emergenza.

Si può quindi supporre che le acque della sorgente, solo in piccola parte connesse alle perdite del torrente, rappresentino un miscelamento tra le acque che fluiscono nella porzione più superficiale del versante, dove le rocce sono intensamente fratturate, e le acque del T. Renanchio. Le acque perse dal torrente, oltre ad alimentare la sorgente, si infiltrano verosimilmente al di sotto dei depositi quaternari del conoide del T. Renanchio e dei depositi alluvionali del fondovalle principale e alimentano la falda di fondovalle.

La massa di fluoresceina che raggiunge la sorgente in tempi brevi (primo arrivo variabile tra 17 e 23 ore dall'immissione del tracciante) potrebbe essere dovuta a un flusso idrico all'interno di un sistema di estese fratture aperte che connette direttamente il corso acqua e la sorgente (verosimilmente il sistema e; cfr. Par. 2.1). La massa di fluoresceina registrata in sorgente in tempi successivi e rilasciata lentamente dall'acquifero per un periodo superiore al mese potrebbe, invece, essere ricollegabile a un flusso idrico nella rete acquifera costituita da un fitto reticolato di fratture interconnesse con ridotta apertura e continuità laterale.

Bibliografia

- Aldous PJ, Fawell JK (1986). The use of Fluorescein Sodium (Uranine) for groundwater tracing investigations in potable water supplies. WRc Environment, Medmenham Lab, Medmenham, Bucks, UK.
- ASTM Standard D3858, 1995 (2008). Standard Test Method for Open-Channel Flow Measurement of Water by Velocity-Area Method. ASTM International, West Conshohocken, PA, 2008.
- ASTM Standard D4409, 1995 (2008). Standard Test Method for Velocity Measurements of Water in Open Channels with Rotating Element Current Meters. ASTM International, West Conshohocken, PA, 2008.
- ASTM Standard D5089, 1995 (2008). Standard Test Method for Velocity Measurements of Water in Open Channels with Electromagnetic Current Meters. ASTM International, West Conshohocken, PA, 2008.
- Behrens H., Beims U., Dieter H., Dietze G., Eikmann T., Grummt T., Hanisch H., Henseling H., Kaess W., Kerndorff H., Libundgut C., Mueller Wegener U., Ronnefahrt I., Scharenberg B., Schleyer R., Scholz W., Tilkes F. (2001). Toxicological and ecotoxicological assessment of water tracers. *Hydrogeology Journal* 9(3): 321-325.
- Cerino Abidin E. (2006). Studio idrogeologico dell'area della sorgente comunale di Quincinetto "Hydrogeological study of Quincinetto Spring area". Tesi di Laurea Università degli Studi di Torino.
- Compagnoni R., Dal Piaz G.V., Hunziker J.C., Lombardo B., Williams P.F. (1977). The Sesia-Lanzo Zone, a slice of continental crust with alpine high pressure-low temperature assemblages in the Western Italian Alps. *Rend. Soc. It. Mineral. Petrog.* 33(1): 281-334.
- De Luca, Masciocco L., Destefanis E., Gianotti F., Forno M.G., Fratianni S., Gattiglio M., Lasagna M. (2009a). Implementazione delle conoscenze del sistema acquifero nel territorio della Provincia di Torino ai fini della prevenzione dell'inquinamento delle falde idriche in materia di acque sorgive. Convenzione tra Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università di Torino e Provincia di Torino - Area risorse idriche e qualità dell'aria. Report finale.
- De Luca D. A., Destefanis E., Forno M. G., Fratianni S., Gattiglio M., Masciocco L., Menegon A. (2009b). Studio interdisciplinare per il monitoraggio e la valorizzazione delle sorgenti della Valle di Susa in previsione di opere a forte impatto ambientale. Convegno Nazionale AIGeo: "Ambiente geomorfologico e attività dell'uomo: risorse, rischi, impatti", Torino 28-30 marzo 2007, Mem. Soc. Geogr. It. 87 (I-II): 189-199.
- Di Gioia M. (2012) Studio idrogeologico circa i rapporti tra il Torrente Renanchio e la sorgente Montellina. Report tecnico pp. 13.
- Gees A. (1990). Flow measurement under difficult measuring conditions: field experience with the salt dilution method. *Hydrology in mountainous regions. Proceedings of two Lausanne Symposia, August 1990. IAHS* 193, 1990.
- ISO3455 (2007). Hydrometry - Calibration of current-meters in straight open tanks. Iso, Geneva, Switzerland.
- Moore R.D. (2005). Slug Injection Using Salt in Solution. *Streamline Watershed Management Bulletin* 8(2): 1-6.
- Radulović M., Radojević D., Dević D., Blečić M. (2008). Discharge calculation of the spring using salt dilution method – Application site Bolje Sestre Spring (Montenegro). http://balwois.com/balwois/administration/full_paper/ffp-1257.pdf. Citato il 20 novembre 2012.
- Rantz S.E. (1982). Measurement and Computation of Streamflow: Volume 1. Measurement of Stage and Discharge, U.S. Geological Survey Water-Supply Paper 2175, U.S. Department of the Interior, U.S. Government Printing Office, Washington, D.C.
- Schnegg, P.-A (2002). An inexpensive field fluorometer for hydrogeological tracer tests with three tracers and turbidity measurement. In: *Groundwater and Human Development*, Bocanegra, E - Martinez, D.- Massone, H. (Eds), 2002, 1484-1488.
- Schnegg P.A. (2003). A new field fluorometer for multi-tracer tests and turbidity measurement applied to hydro-geological problems. *Proceedings of the Eighth International Congress of the Brazilian Geophysical Society, Rio de Janeiro.*
- SEA Consulting srl & GDP Consultants srl (2010). Derivazione a scopi Idroelettrici del Torrente Renanchio. Studio Idrogeologico per la Sorgente Montellina. Perello, Torri, 20/05/2010.
- Venturini G. (1991). I protoliti dei "Micascisti Eclogitici" sul versante destro della Bassa Valle d'Aosta (Zona Sesia-Lanzo, Alpi occidentali) "The Protoliths of the "Eclogitic Micaschists" in the Iwestern sloper of the lower Aosta Valley (Sesia-Lanzo Zone, Western Alps)". Tesi Università degli Studi di Torino.
- Venturini G. (1995). Geology, geochemistry and geochronology of the inner central Sesia Zone (Western Alps). *Mem. Géol. Lausanne* 25.