



Hattusas s.r.l.

Via Roma, 37 – 24060 Tagliuno (Castelli Calepio, BG)

Tel e fax 035 4425112 e-mail info@hattusas.it

COMUNE DI BIANZANO

COMUNE DI LEFFE

(Provincia di Bergamo)

Committente

Uniacque S.p.A.

**STUDIO GEOLOGICO-IDROGEOLOGICO
PER LA RIDELIMITAZIONE CON CRITERIO
IDROGEOLOGICO DELLE AREE DI
RISPETTO DELLA SORGENTE
“MADDALENA”**

Tagliuno (Castelli Calepio, BG), Gennaio 2011

Dott. Geol. Andrea Gritti

Iscriz. Ordine dei Geologi della Lombardia n. 1461



INDICE

PREMESSA	3
METODOLOGIA D'INDAGINE	4
CRITERI PER LA DEFINIZIONE DELLE ZONE DI RISPETTO, TUTELA ASSOLUTA E PROTEZIONE	5
<i>Zona di tutela assoluta</i>	5
<i>Zona di rispetto</i>	5
<i>Zona di protezione</i>	6
<i>Caratteristiche qualitative delle acque</i>	7
LINEAMENTI GENERALI DELL'AREA	7
<i>Caratteristiche del territorio comunale</i>	7
<i>Inquadramento geografico e geomorfologico</i>	8
<i>I sistemi carsici</i>	11
<i>Inquadramento geologico strutturale</i>	13
<i>Acquiferi presenti nel substrato roccioso</i>	17
INDAGINE IDROGEOLOGICA	19
<i>Le attività di campo</i>	19
TRACCIANTI CHIMICI	19
<i>Calcolo delle concentrazioni</i>	21
<i>Modalità operative di cantiere</i>	22
<i>Rilievo geologico-strutturale e geomeccanico</i>	23
<i>Prima prova di immissione</i>	24
<i>Seconda prova di immissione</i>	27
CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE	31



PREMESSA

Su incarico della Società Uniacque S.p.A. è stato effettuato uno studio geologico ed idrogeologico di dettaglio della sorgente denominata “Maddalena”, ubicata in comune di Bianzano, Provincia di Bergamo.

L’indagine si è resa necessaria a seguito dei fenomeni di inquinamento che hanno interessato il sistema sorgentizio.

Attualmente nel Comune di Bianzano (BG), le aree di rispetto della sorgente Maddalena - che concorre a rifornire l’acquedotto del paese - non è delimitata.

La Società Committente, esprimendo la volontà di determinare la perimetrazione delle aree di salvaguardia basandola su criteri scientifici che tengano conto della situazione idrogeologica reale, ha affidato agli scriventi l’incarico di produrre lo studio geologico ed idrogeologico di dettaglio delle aree interessate, al fine di poter procedere alla proposta di ridelimitazione della fasce di rispetto, applicando il criterio idrogeologico ed utilizzando sia i dati geologici ed idrogeologici in possesso degli scriventi che quelli messi a disposizione dal Comune.

I riferimenti normativi cui si è fatto riferimento nella predisposizione della campagna di studio e analisi sono prioritariamente:

- D.p.r. 236 del 24 maggio 1988;
- D.g.r. 22502 del 13.05.1992;
- D.g.r. 6/15137 del 27.06.1996;
- D.g.r. 7/12693 del 10 aprile 2003;
- D.lgs. 152 del 3 aprile 2006 (che sostituisce il D.lgs. 152 dell’11 maggio 1999).



METODOLOGIA D'INDAGINE

Il presente lavoro rappresenta, di fatto, l'estrapolazione di una indagine applicativa svolta nel Comune di Bianzano e nata in seguito alla necessità di acquisire sufficienti conoscenze che intercorrono tra la circolazione idrica sotterranea e le emergenze idriche, con lo scopo di valutare la vulnerabilità intrinseca dell'acquifero che alimenta la sorgente Maddalena.

Viene proposta così una metodologia per la caratterizzazione idrogeologica del sistema carsico fra i monti Crocione e Pler, rappresentato da una notevole diversificazione litologica e strutturale.

La prassi metodologica utilizzata ha riguardo:

- una prima fase relativa agli inquadramenti dell'area di tipo geografico, geologico, geomorfologico;
- una seconda fase riguardante la presentazione delle attività di campo espletate;
- una terza fase di valutazione dei risultati, con le debite prescrizioni e considerazioni conclusive.

Seguono alcune considerazioni in merito ai concetti di zona di rispetto, tutela assoluta e protezione delle sorgenti.



CRITERI PER LA DEFINIZIONE DELLE ZONE DI RISPETTO, TUTELA ASSOLUTA E PROTEZIONE

La Regione Lombardia, con Deliberazione n. 15137 del 27 giugno 1996, ha approvato le direttive per l'individuazione delle aree di salvaguardia delle captazioni di acque sotterranee (pozzi e sorgenti) destinate al consumo umano.

La funzione di delimitazione delle aree di rispetto delle predette captazioni è stata delegata alle Province con la Legge regionale n. 1 del 5 gennaio 2000. Nella citata D.g.r. 15137/96, tale delimitazione è sostanzialmente correlata ad una approfondita conoscenza sul grado di protezione dell'acquifero captato, con l'applicazione di un criterio temporale o idrogeologico.

Zona di tutela assoluta

La zona di tutela assoluta deve circondare la sorgente con un'estensione di raggio non inferiore a 200 m; un'estensione minore può essere adottata unicamente per sorgenti esistenti qualora la situazione territoriale non permetta di rispettare tale limite. Ovunque possibile deve essere opportunamente recintata, prevedendo l'allontanamento delle acque meteoriche ed eventualmente l'impermeabilizzazione del terreno superficiale e la difesa da esondazioni di corpi idrici superficiali. Vi possono essere insediate solo le installazioni relative alla captazione e ad eventuali impianti di trattamento delle acque.

Zona di rispetto

La zona di rispetto viene delimitata con uno dei seguenti criteri:

- a) *Criterio geometrico*: utilizzato nel passato, ma che attualmente può essere adottato solo in via provvisoria, in quanto non garantisce sempre le condizioni di sicurezza richieste dalla normativa attualmente in vigore. Nel passato si assumeva quale zona di rispetto una superficie di raggio non inferiore a 200 m intorno alla risorgiva. Nel passato era stato utilizzato tale criterio anche per la sorgente oggetto del presente studio.
- b) *Criterio temporale*: applicabile in caso di acquifero vulnerabile prevalentemente per i pozzi e solo dove possibile per le sorgenti. La zona

*Studio geologico-idrogeologico per la ridelimitazione
con criterio idrogeologico delle aree di rispetto
della sorgente "Maddalena" – Comune di Bianzano - Comune di Leffe(BG)*



di rispetto viene individuata quale inviluppo dei punti isocroni circostanti il pozzo in condizioni di emungimento a regime con la massima portata prevista di esercizio, dai quali l'acqua impiega un determinato « tempo di sicurezza» per raggiungere il punto di captazione attraverso il mezzo saturo.

Il valore del tempo di sicurezza da utilizzare nei calcoli, funzione dell'intervallo di tempo necessario per poter segnalare l'arrivo di un inquinante all'opera di captazione attivare interventi di risanamento e/o di approvvigionamento alternativo, sarà assunto pari a 60 giorni.

- a) *Criterio idrogeologico*: basato sugli elementi idrogeologici specifici dell'acquifero e dei suoi presunti limiti. In particolare viene attualmente applicato alle zone di protezione alle captazioni da sorgenti ed alle zone di rispetto dei pozzi in condizioni idrogeologiche di particolare complessità quali quelle carsiche che impediscono l'applicazione del criterio temporale.

Tale criterio si adotta, sulla base delle risultanze dello studio idrogeologico, idrochimico ed ambientale. Nel caso della presente relazione sarà applicato proprio questo criterio al fine di individuare le aree di salvaguardia della sorgente denominata la Maddalena.

Zona di protezione

Il dimensionamento della zona di protezione di una sorgente è possibile in base a studi idrogeologici, idrochimici e idrologici della struttura acquifera alimentatrice. In via cautelativa la normativa vigente invita a comprendere nella zona di protezione l'intera area di alimentazione delle sorgenti, comprese eventuali strutture acquifere, limitrofe delle quali sia attivo un significativo fenomeno di travaso idrico sotterraneo. Nel caso della sorgente Maddalena bisogna considerare l'aspetto peculiare di questa zona di emersione in quanto ricade in un'area interessata dal fenomeno del carsismo che si va ad impostare su un impianto strutturale caratterizzato dalla presenza di numerose faglie ed altre strutture tettoniche minori.



Caratteristiche qualitative delle acque

Le caratteristiche qualitative delle acque della sorgente che alimenta l'acquedotto del Comune di Bianzano risultano per quanto riguarda i parametri chimici soddisfacenti la normativa in vigore. Solo dal punto di vista batteriologico invece da qualche anno si riscontra periodicamente la presenza di batteri di origine il più delle volte fecale.

Tale situazione è sicuramente causata da inquinamento presso la zona di alimentazione delle correnti sotterranee. Lo scopo di tale studio è proprio quello di determinare quale siano le aree di alimentazione dell'acquifero.

LINEAMENTI GENERALI DELL'AREA

Caratteristiche del territorio comunale

Il comune di Bianzano, si estende in maniera articolata per 663 ettari ed occupa, assieme al comune di Ranzanico e Spinone, il settore sommitale della sponda occidentale del Lago d'Endine.

Bianzano confina a Nord, con gli abitati di Peia e Lefte, ad Ovest con Cene, a Nord-Est con Ranzanico, a Sud-Est con Spinone e a Sud con Gaverina.

L'area di studio presenta caratteristiche piuttosto diverse. La Valle Rossa è caratterizzata da ripidi versanti ma addolcita tuttavia in più parti nel settore alle quote più elevate.

Il crinale, sovrastato da una zona semi pianeggiante, funge da spartiacque con l'adiacente valle Gandino.

La morfogenesi fluviale è ben evidente nell'area interessata; essa si è sovrapposta a quella glaciale, almeno per la parte orientale del territorio comunale.

Le vallecole presenti appaiono per lo più sempre incise e impostate su roccia, questo testimonia sia il limitato spessore che possiedono le coperture detritiche che l'elevata acclività che caratterizza gli alvei.

Laddove la stratificazione è disposta a reggipoggio si determina, lungo le incisioni, la formazione di salti alti talora sino ad una decina di metri.



Per quanto riguarda l'area in questione, è inoltre facilmente constatabile la diffusione di una morfologia carsica superficiale nella zona di Monte Crocione-Monte Pler e del Monte Altinello, con la presenza d'inghiottitoi e doline anche estese.

Il reticolo idrografico del territorio comunale è rappresentato da una valle principale e da numerosi canali/solchi rettilinei che scendono dai versanti.

Inquadramento geografico e geomorfologico

La sorgente maddalena sgorga ai piedi della strada della Valle Rossa, in prossimità dell'omonimo torrente. La valle risulta essere caratterizzata da pendenze moderate ed ha una direzione all'incirca est- nord-est ovest- sud-ovest. Il substrato roccioso è sub affiorante, anche se gli spessori di coltre eluviale dovuti all'alterazione del substrato roccioso possono localmente raggiungere spessori notevoli. Il substrato roccioso risulta essere molto permeabile, sia per la sua natura che per le numerose fratture che lo compongono. Le giaciture variano ma tendono ad essere in particolar modo lungo la destra orografica della valle da franapoggio a traverpoggio.



La carta litologica della Provincia di Bergamo, individua nell'area la presenza di rocce sedimentarie. Queste tendono a creare nella parte sommitale della valle



Figura 1: Carta litologica della Provincia di Bergamo

numerose forme carsiche ed in particolare doline di dimensioni variabili. Sono queste che alimentano le numerose venute d'acqua lungo la Valle Rossa.

Il risultato della dissoluzione delle rocce è il ben noto svilupparsi di elementi morfologici caratterizzati dall'ampio sviluppo di zone di assorbimento con estinzione della rete idrografica in superficie, cavit e condotti sotterranei anche di grande dimensione, fonti e risorgenze di corpi idrici sotterranei di portata anche elevata. Questo comporta una redistribuzione delle risorse idriche e delle riserve di entit  tale da generare problemi di ricerca e gestione, sui quali   necessario un approfondimento.

Fra le difficolt  da annoverare nello studio del percorso delle acque sotterranee, troviamo anche il fatto che alcune forme di carsismo sono fossili, e sono



Hattusas s.r.l.

Via Roma, 37 – 24060 Tagliuno (Castelli Calepio, BG)

Tel e fax 035 4425112 e-mail info@hattusas.it

riconducibili a una geometria diversa da quella delle altre discontinuità. Alcune di queste strutture antiche sono colmate da terre di riempimento o da argille residuali, e necessitano di una ricostruzione quanto meno approssimativa.

La combinazione delle discontinuità delle zone di frattura determina la rete di flusso che condiziona la circolazione idrica sotterranea; una documentata ricostruzione geologica permette di ricostruire per sommi capi la geometria del bacino di alimentazione delle sorgenti, che risulta fortemente condizionata dalla geometria dei livelli poco permeabili.



I sistemi carsici

I sistemi carsici lombardi hanno la peculiarità di essere costituiti solitamente da più di un acquifero. L'idrodinamica degli acquiferi lombardi è di conseguenza caratterizzata da un comportamento complesso, nei confronti non solo della produttività, ma anche del tempo di risposta alle precipitazioni e della curva di deflusso annuale. Il sistema carsico tipico delle aree lombarde risulta infatti generalmente formato da un acquifero superficiale, che scorre entro i livelli più alterati prossimi al piano-campagna e che comunica, tra-mite le discontinuità

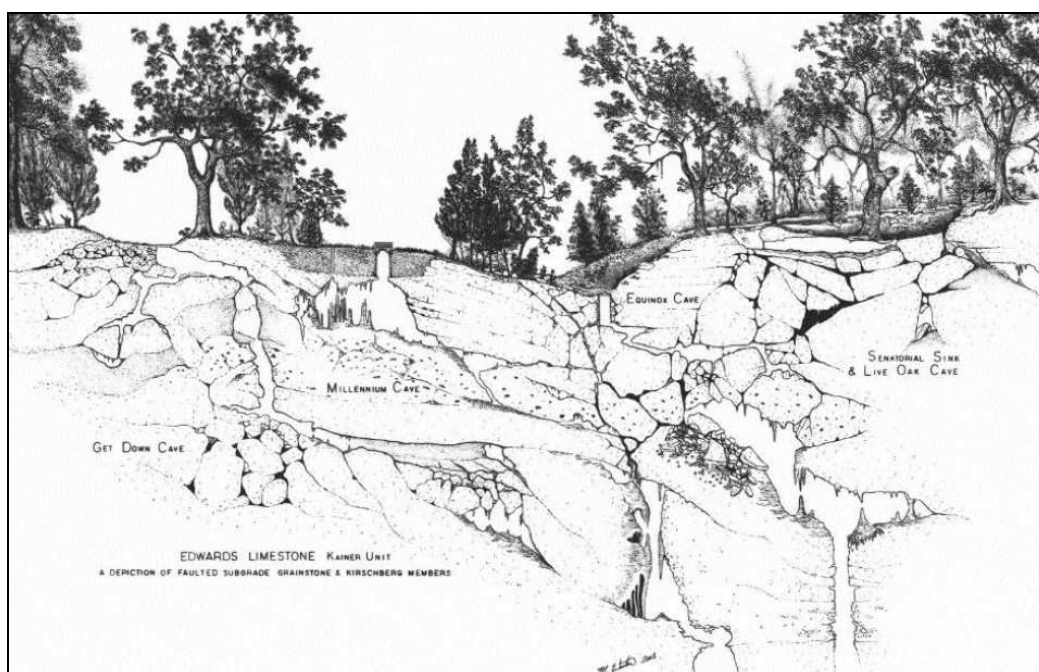


Figura 2: La figura rappresenta uno spaccato dell’epicarso, cioè del livello superficiale che di solito ha uno spessore decametrico, nel quale l’alterazione e le forme carsiche sono più sviluppate.

primarie e secondarie della roccia, con le emergenze puntuali e lineari, e spesso anche con acquiferi più profondi. A differenza dei sistemi classici costituiti da un monostrato, il carsismo lombardo interessa spesso più formazioni, ciascuna delle quali costituisce un acquifero con comportamento distinto dagli altri, dai quali è spesso separato da unità poco permeabili. Generalmente l'alimentazione al



sistema perviene dall'infiltrazione efficace di precipitazioni, fusione di nevi e da perdite di corsi d'acqua, distribuite a diverse altezze. In generale prevalgono le infiltrazioni dirette da doline o campi carsici nella parte alta dei bacini, in specie dove siano presenti antiche conche glaciali o superfici di erosione.

Per quanto riguarda l'area in questione, è facilmente constatabile la diffusione di una morfologia carsica superficiale nella zona di Monte Crocione-Monte Pler e del Monte Altinello, con la presenza d'inghiottitoi e doline anche estese.

In generale, sul territorio orobico si possono distinguere quattro fasce geografiche, morfologicamente diverse e interessate da differenti tipi di



Figura 3: Morfologia carsica dell'area in esame

carsismo; inoltre ogni fascia, dal Miocene in poi, ha subito sollevamenti di diversa entità che hanno diversamente condizionato lo sviluppo del carsismo.

Partendo da Sud si distinguono:

A la pianura quaternaria;

*Studio geologico-idrogeologico per la ridelimitazione
con criterio idrogeologico delle aree di rispetto
della sorgente “Maddalena” – Comune di Bianzano - Comune di Lefte(BG)*



- B la fascia collinare con rocce del Cretacico e del Giurassico;
- C la fascia intermedia sulla quale affiorano le rocce del Triassico;
- D la fascia settentrionale pre-Triassica.

La zona di studio rientra per gran parte nella terza fascia, caratterizzata da rocce triassiche.

Per quanto riguarda le litologie in questione, sia la formazione del Calcarea di Zorzino (facies calcarea) che quella della Dolomia Principale sono oggetto di un carsismo superficiale molto sviluppato anche in profondità, con numerose cavità sotterranee di discreto sviluppo.

Sono presenti in superficie, sulle clinostratificazioni dello Zorzino, vaschette, scallop e solchi a doccia; tipiche forme di carsismo superficiale, classificate come microforme di corrosione superficiale, dovute all'azione dell'acqua leggermente acida sul calcare.

Il fenomeno trova diffusione su una formazione calcarea che si presenta fessurata, per la presenza di diaclasi strutturali, le cui fessure vengono sempre più allargate ed approfondite.

Inquadramento geologico strutturale

Le Alpi Bergamasche presentano un assetto strutturale caratterizzato da unità tettoniche disposte in fasce E-W che individuano un edificio strutturale complesso, suddivisibile per stili e strutture nei seguenti settori:

- Anticlinale Orobica;
- Zona a scaglie e Faglia Valtorta-Valcanale;
- Autoctono Camuno;
- Parautoctono ed unità alloctone
- Zona a pieghe e pieghe-faglie.

L'area di studio ricade nel cosiddetto **Parautoctono prealpino**, vasto settore posto immediatamente a sud della linea Valtorta-Valcanale e caratterizzato da un edificio strutturale creato dalla duplice o triplice sovrapposizione di sequenze carbonatiche triassiche. Tale settore è delimitato alla base da un piano di



sovrascorrimento che individua un'area alloctona difficilmente delimitabile a meridione, che si estende per alcune centinaia di kmq.

Più in particolare l'area in esame si colloca nella porzione a sud di un importante lineamento tettonico a carattere regionale, noto in letteratura con il nome di **Faglia di Clusone**. Tale lineamento presenta un andamento NE-SW e separa il Parautoctono in due zone distinte, caratterizzate da una diversa evoluzione strutturale.

La **zona meridionale**, nella quale ricade l'area in esame, fino a poco tempo fa ritenuta poco deformata, è stata recentemente oggetto di una sostanziale revisione ad opera di Berra, Rovellini e Jadoul (1991). Essi hanno riconosciuto una struttura tutt'altro che semplice e caratterizzata da tre unità tettoniche sovrapposte, interessate a loro volta da fenomeni di raccorciamento crostale che le hanno scomposte in diverse sottunità.

Partendo dall'alto gli Autori hanno distinto:

- l'Unità del Monte Cornetto-Corna Lunga;
- l'Unità Gandino-Val Supine-Scanapà;
- il **Parautoctono s.s.**

A complicare i limiti tra le varie unità, generando talora anche unità minori interne, sono presenti inoltre sovrascorrimenti secondari, orientati prevalentemente E-W e WNW-ESE, faglie compressive (inverse e trascorrenti) e più recenti faglie distensive. Queste ultime si sviluppano secondo due direzioni preferenziali, N-S e NNW-SSE, e sono caratterizzate da piani subverticali.

Nell'area indagata compaiono unicamente formazioni riferibili al Parautoctono s.s. poiché la sovrastante Unità Gandino-Val Supine-Scanapà si sviluppa lungo l'alto versante destro della Val Cavallina.

Gli stimoli compressivi presenti durante il sovrascorrimento dell'Unità Gandino-Val Supine-Scanapà sul Parautoctono s.s. sono ritenuti responsabili delle deformazioni plastiche riconosciute nelle formazioni ben stratificate e più plastiche di quest'ultima unità.

Berra, Rovellini e Jadoul (1991) ipotizzano inoltre che si siano verificate delle deformazioni anche dopo la messa in posto dell'Unità Gandino-Val Supine-Scanapà e proprio a questa fase deformativa sembrano riferibili molte faglie a



rigetto orizzontale.

Tra le strutture plicative che interessano il Parautoctono s.s. della zona in esame vi sono:

- a nordovest la **sinclinale d'Endine**, situata in corrispondenza del fondovalle della Val Cavallina: è orientata grossomodo E-W e sviluppata nel Calcere di Zorzino, ma con le Argilliti di Riva di Solto al proprio nucleo. Secondo Schonborn (1992) si tratta di una sinclinale coricata dove, nei livelli di Calcere di Zorzino presenti alla base della struttura plicativa, sono riconoscibili pieghe parassite a forma di "Z" con assi orientati E-W e piani assiali immergenti a nord. In corrispondenza del tetto di tale struttura, avvicinandoci cioè al piano di sovrascorrimento Gandino-Val Supine-Scanapà presente subito a nord, i calcari di Zorzino si rovesciano.
- a Ovest l'**anticlinale del Monte Altino**, con piano assiale orientato all'incirca E-W, che si sviluppa dal Monte Altino verso il fondo della **Val Rossa**, poco oltre il bivio della strada per Leffe . Tale struttura è evidente soltanto sulle pendici della valle dove le giaciture della Dolomia confermano la presenza di una struttura antiforme.

La carta geologica della Provincia di Bergamo, di seguito riportata, individua nell'area in esame la presenza delle seguenti Unità:

- Calcere di Zorzino
- Dolomie Zonate
- Dolomia principale.

Il *calcere di Zorzino* rappresenta un'unità che affiora estesamente e con continuità nella parte medio inferiore della Valle Seriana e verso oriente



costituisce gran parte dell'area compresa fra il Fiume Serio il Lago di Endine.

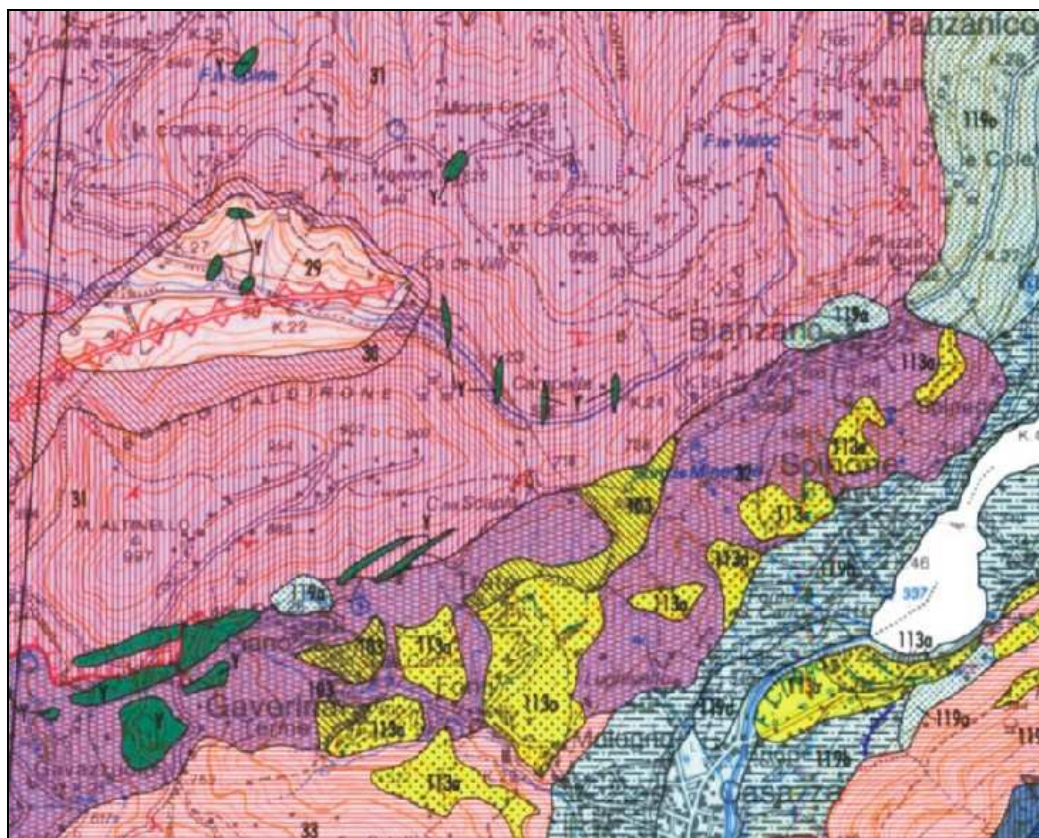


Figura 4: Carta geologica della provincia di Bergamo

In quasi tutta l'area d'affioramento il Calcare di Zorzino poggia sulle Dolomie Zonate. Questo limite è transazionale, caratterizzato da una progressiva diminuzione della granulometria dei carbonati e dalla scomparsa o consistente diminuzione dei processi di dolomitizzazione.

Il Calcare di Zorzino è costituito da una successione piuttosto monotona di calcari micritici neri, spesso laminati, fetidi, con rare intercalazioni calcarenitiche – ruditiche a volte con base erosiva e gradazione diretta. La stratificazione è ben evidente in strati piano paralleli di spessore da centimetrico a pluridecimetrico, con rare sottili intercalazioni centimetriche di marne nere.

Le *Dolomie Zonate* nel settore prealpino orientale l'unità affiora nel gruppo montuoso del Pizzo Formico – M. Grione, in Val Gandino e in Val Rossa. Inferiormente questa formazione è in contatto transazionale con la Dolomia Principale, con la quale risulta eteropica. Il limite inferiore è spesso



transazionale, caratterizzato dalla comparsa di dolomie grigie o grigio scure ben stratificate intercalate ai banchi di dolomie chiare ricristallizzate dell'unità sottostante. Le Dolomie Zonate sono costituite da alternanze da dolo areniti – dolo siltiti in strati decimetrici piano – paralleli, con clasti millimetrici chiari e scuri, spesso con clasti pelitici appiattiti, disorientati e massa di fondo grigio scura; i livelli più grossolani possono presentare struttura gradata e base degli strati erosivi.

La *Dolomia Principale* affiora in maniera molto limitata lungo la Valle Rossa. L'unità presenta alla sua base un membro costituito da dolomie ben stratificate scure costituite da dolareniti fini. Localmente sono presenti laminazioni stromatolitiche planari e a duomo di origine batterica, brecciole litoclasti che e piccoli slumpings.

Acquiferi presenti nel substrato roccioso

Occorre pensare che il valore della permeabilità, attribuito ai terreni affioranti, non tiene conto dell'eventuale presenza in superficie della copertura eluviale laddove quest'ultima non è stata cartografata. L'effetto impermeabilizzante operato dalla coltre eluviale non è tuttavia da trascurare in quanto tali depositi, soprattutto in corrispondenza dell'affioramento delle Argilliti di Riva di Solto, mostra possedere spessori anche plurimetrici.

Le rocce che costituiscono il substrato roccioso sono normalmente caratterizzate da una permeabilità primaria (legata cioè alla composizione stessa della roccia) da scarsa a nulla e da una permeabilità secondaria variabile a seconda della giacitura della stratificazione, del grado di fratturazione e della loro composizione chimica; di ciò se n'è tenuto conto confrontando con quanto visto sul terreno.

La suddivisione adottata per le formazioni rocciose che costituiscono il substrato è la seguente:



Classe di permeabilità	di Formazioni sedimentarie
Bassissima (BB) $K \leq 10^{-7}$ m/s	<ul style="list-style-type: none">• Argilliti di Riva di Solto
Bassa (B) $K = 10^{-7}$ m/s	<ul style="list-style-type: none">• Dolomia Principale e Dolomie Zonate
Media (M) $K = 10^{-6}$ m/s	<ul style="list-style-type: none">• Calcarea di Zorzino

Come è possibile constatare, solamente le argilliti, litotipi da poco impermeabili ad impermeabili, possono svolgere un ruolo di separazione efficace tra i diversi acquiferi di natura carbonatica. Visto che esse compaiono alla base della successione stratigrafica presente in zona, i litotipi soprastanti possono essere considerati come un unico acquifero carbonatico.

Solamente i calcari stratificati (spessore massimo 15-30 metri) intercalati alle argilliti possono essere considerati come acquiferi a parte.

Altri limiti di permeabilità sono rappresentati dai limiti tettonici poco impermeabili quali le faglie, le pieghe-faglie e i piani di sovrascorrimento.

Nell'ambito del territorio comunale, la direzione del deflusso idrico sotterraneo è chiaramente influenzata dalla presenza della depressione che ospita il lago e visto il generale assetto dell'immersione della stratificazione verso SSO, con inclinazioni medio-elevate, si ritiene che le emergenze idriche presenti per lo più nel Calcarea di Zorzino, abbiano un bacino di alimentazione limitato all'altipiano Monte Crocione-Pler. Quest'area presenta caratteristiche carsiche molto evidenti, ed è quindi da considerarsi come un area di ricarica, che va ad alimentare le sorgenti più a valle attraverso un circolazione profonda.

Le emergenze idriche individuate e posizionate in carta, sono sorgenti in roccia la cui circolazione idrica sotterranea avviene lungo le superfici di stratificazione del Calcarea di Zorzino, che nonostante abbia una permeabilità primaria bassa o nulla, si presenta molto fratturato, e quindi con permeabilità secondaria elevata.



La loro portata è limitata ma può essere soggetta anche a forti incrementi nei periodi di elevata alimentazione.

INDAGINE IDROGEOLOGICA

Le attività di campo

Le attività di campo preliminari che sono state realizzate hanno riguardato:

- il rilievo geomorfologico per l'analisi del modellamento del rilievo con particolare attenzione alle forme prodotte dal carsismo;
- il rilievo geologico-strutturale e geomeccanico per l'analisi litologica della roccia affiorante e per il rilievo delle caratteristiche geometriche e fisiche dei giunti di strato;

A completamento dello studio si rende dunque necessario verificare che i punti settori potenzialmente sensibili, individuati con i rilievi di terreno, siano posti direttamente in contatto con i condotti di ricarica della sorgente. A tal proposito si rende necessario l'utilizzo di traccianti chimici, che consentono di determinare in modo oggettivo le effettive aree di ricarica.

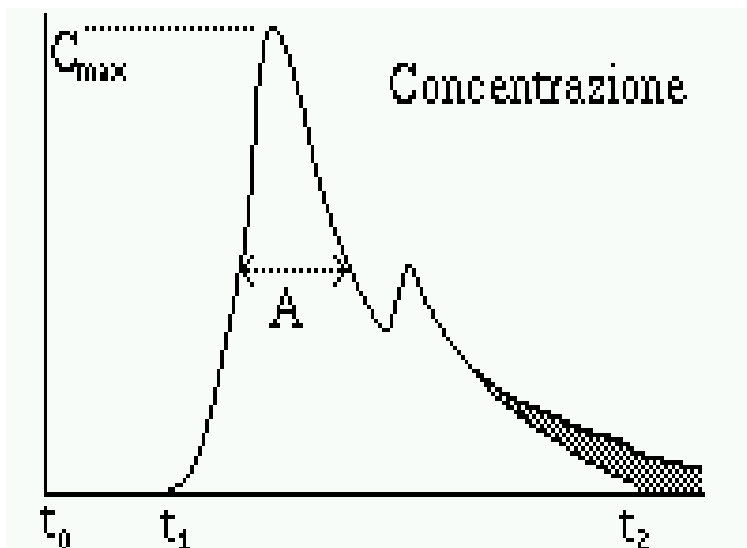
TRACCIANTI CHIMICI

I traccianti sono sostanze naturali od artificiali utilizzati negli studi idrogeologici. La risposta della falda all'immissione dei traccianti permette infatti di determinare i tempi di percorrenza e di quantificarne i parametri idrodinamici. Per la prova con traccianti si intende utilizzata l'Uranina (o fluoresceina sodica ®, $C_{20}H_{10}Na_2O_5$) comunemente utilizzata da decenni per tali prove. La sostanza si presenta sotto forma di sottile polvere solubile.

L'osservazione della distribuzione del tracciante permetterà di calcolare i parametri idrogeologici significativi dell'acquifero quali il tempo intercorso tra immissione e primo arrivo del tracciante.



La fluoresceina è il colorante più utilizzato perché è caratterizzato da una grande solubilità e può essere rilevato, ad occhio nudo, fino a concentrazioni debolissime (**0,1 mg/l**).



Offre il vantaggio di essere scarsamente assorbita dalle rocce, salvo che dai minerali argillosi e dalle materie organiche.

In bibliografia esistono alcune formule di calcolo della quantità da utilizzare, ma esse non hanno alcun valore pratico perché bisogna

in ogni caso tenere conto della realtà idrogeologica locale. Infatti i quantitativi possono essere notevolmente diversi a seconda che si preveda l'esistenza di un unico condotto tra il punto di immissione e quello di prelievo, ovvero che si preveda l'esistenza di diluizioni; possono inoltre variare a seconda che le acque siano o no utilizzate ed a seconda del tipo di utilizzazione esistente.

All'atto pratico, quando nell'acquifero si verificano diluizioni non quantizzabili, conviene prefissare la concentrazione finale in base alla sensibilità metodologica di rilevazione per esempio in modo di avere una concentrazione massima pari o poco superiore ai 0,1 mg/l.

Dal momento che molte delle caratteristiche dell'acquifero profondo non sono conosciute e quindi non si hanno indicazioni si intende procedere per tentativi, procedendo nel caso mediante piccoli incrementi di soluto.

La risposta ad un tracciamento è descritta dal grafico della concentrazione del tracciante alla risorgenza in funzione del tempo, meglio detto curva di restituzione. Il grafico assume una tipica conformazione a rampa ascendente (che inizia al tempo di minimo transito), raggiunge un massimo, e decresce con andamento esponenziale. Sulla coda possono esserci altri massimi secondari



indicati l'esistenza di diversioni rispetto allo scorrimento principale. Dallo studio della curva di restituzione si hanno molte informazioni. Abbiamo già accennato ai picchi secondari come indici di diversioni rispetto allo scorrimento principale. La *traccia* è la restituzione lenta del tracciante adsorbito dalle argille (curva tratteggiata in figura) ed è difficile da stimare.

Calcolo delle concentrazioni

Come già accennato precedentemente considerata la scarsità di dati relativi ai parametri idrogeologici dell'acquifero si è sin da subito ipotizzato di effettuare prove con quantità di fluoresceina crescente o in punti di immissione diversi.

Per la prima fase si prevede di essere utilizzato un quantitativo di fluoresceina pari a **50 g**. Tale quantità è stata determinata in base alle seguenti considerazioni:

- La fluoresceina viene disciolta orientativamente in circa 10 mc. di acqua
- La portata nominale della sorgente è di 7 l/s
- L'afflusso di acqua al serbatoio del Comune di Bianzano viene bloccato nel momento in cui il tracciante viene rilevato alla sorgente o durante la notte successiva alla prova.
- La concentrazione massima di fluoresceina nella sorgente dovrà essere prossima a 0,1 mg/l (soglia minima per la rilevazione visiva)

Tenendo conto dei punti precedenti si può ipotizzare che la fluoresceina verrà disciolta nell'acqua immessa nel punto "a monte" che a sua volta si diluirà in un quantitativo di acqua per lo meno pari alla quantità di acqua che sgorga dalla sorgente, nelle 16 ore previste di blocco di ricarica dell'acquifero.

La quantità di acqua che fuoriesce dalla sorgente in 16 ore è pari a :

$$7 \text{ l/s} * 60 * 60 * 16 = 403000 \text{ l}$$

La quantità di acqua minima nella quale viene disciolta la fluoresceina è pari a :

$$403000 \text{ l} + 10000 \text{ l} = 413000 \text{ l}$$



Al fine di avere una concentrazione massima di circa $C = 0,1$ mg/l la quantità di fluoresceina da usare Q_0 sarà pari a :

$$Q_0 = C * 413000 \text{ l} = \underline{41 \text{ g}}$$

Le valutazioni numeriche sin qui prodotte non tengono comunque conto di alcune variabili intrinseche al sistema di circolazione idrica profonda che possono variare le concentrazioni fissate in partenza. Tali variabili possono, in linea di principio, abbattere le concentrazioni di traccianti disciolti, tra di esse vanno considerate:

- le dimensioni effettive del serbatoio di ricarica della sorgente,
- la possibile presenza di anidride carbonica disciolta nelle acque di scorrimento,
- la possibile presenza di argille residuali lungo il percorso di ricarica della sorgente,

Alla luce delle considerazioni sopra esposte si prevede alla partenza l'utilizzo di un quantitativo di fluoresceina sodica pari a 50 g.

La concentrazione massima nel caso in cui tutta la fluoresceina vada a finire nella sorgente sia comunque prossima al valore valutato e pari a:

$$C_{\max} = 50 \text{ g} / 413000 \text{ l} = 0,12 \text{ mg/l}$$

Modalità operative di cantiere

Come già accennato precedentemente, le attività di cantiere hanno avuto inizio con un rilievo geologico-strutturale e geomeccanico. Solo successivamente, una volta individuate i luoghi più idonei per l'espletamento delle indagini, si è proceduto con la seconda fase di cantiere.

Come già accennato precedentemente è stato opportuno procedere per tentativi partendo con concentrazioni di fluoresceina molto limitati.

Una volta ottenuti i permessi il Comune di Bianzano ha garantire la disponibilità di un'autobotte del volume di circa 10 mc di acqua in corrispondenza del sito di

*Studio geologico-idrogeologico per la ridelimitazione
con criterio idrogeologico delle aree di rispetto*

della sorgente "Maddalena" – Comune di Bianzano - Comune di Leffe(BG)



immissione della fluoresceina. Il primo tentativo è stato effettuato in corrispondenza dell'inghiottitoio presenti nei terreni in prossimità di Via Monte Croce, il secondo tentativo è stato effettuato delle Cascina collocate ad ovest del monte Crocione.

Rilievo geologico-strutturale e geomeccanico

Il 29 luglio del 2009 è stato effettuato dai tecnici della Società Hattusas un rilievo geomorfologico del versante in destra orografica della Valle Rossa. Seguendo un sentiero che inizia lungo la strada si è risaliti il versante fino ad arrivare nei settori che si supponeva fossero le aree di alimentazione del bacino della sorgente Maddalena.

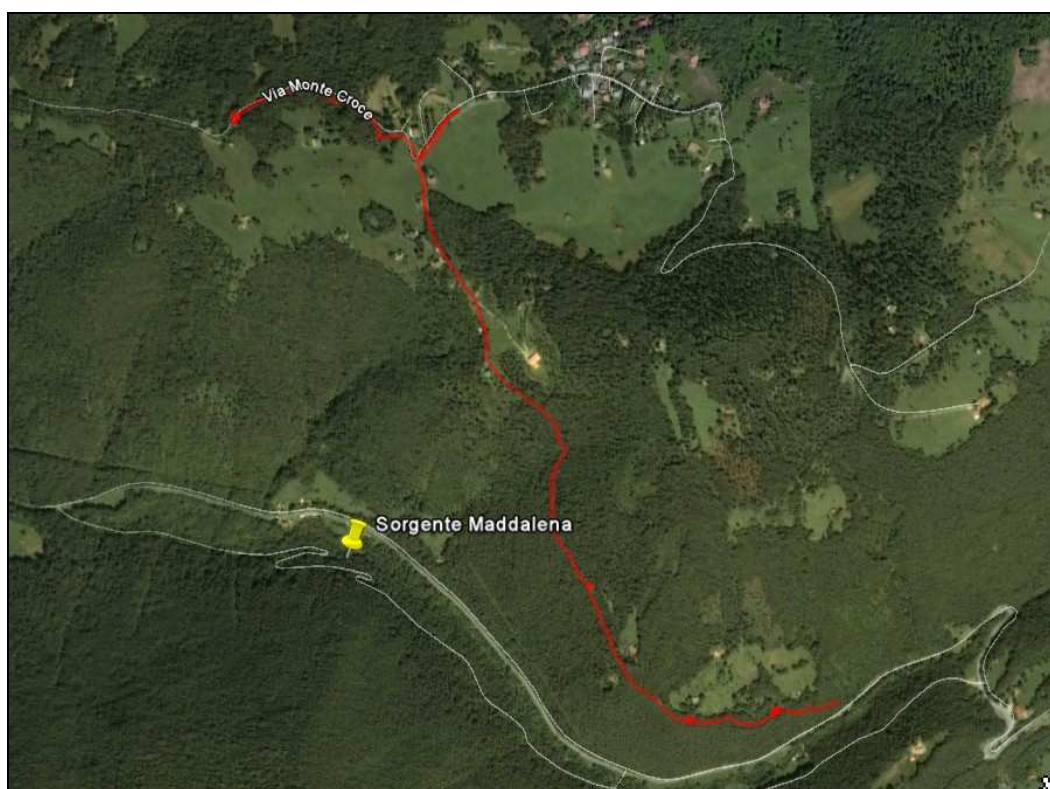


Figura 5: Percorso rilevato con GPS lungo il quale è stato effettuato il rilievo geomeccanico



Lungo la strada e su diverse aree di affioramento sono state effettuate stazioni speditive su cui sono stati raccolti i dati per l'interpretazione dell'assetto strutturale.

Il quadro generale dei dati ha restituito una situazione dominata da un sistema a piega antiforme con andamento Ovest –Nord Est, dove in quasi in corrispondenza del vertice dell'antiforme si colloca il contatto stratigrafico tra le Dolomie Zonate e la Dolomia Principale.

Si devono anche considerare i sistemi di faglie con andamento N-S che incidono nel controllo strutturale per la venuta a giorno delle acque sorgive.

Da quanto si è potuto constatare, il sistema carsico della zona del Monte Crocione contribuisce solo come ricarica superficiale al flusso idrico profondo.

Prima prova di immissione

La prima prova di immissione della fluoresceina nella falda è stata effettuata il 18 novembre 2010. I tecnici dei vari enti ed i tecnici Hattusas, dopo l'incontro al Passo della Forcella si sono diretti sul posto stabilito per la prima prova.

La fluoresceina è stata mischiata in una autobotte che era stata caricata con circa 10 m³ di acqua.

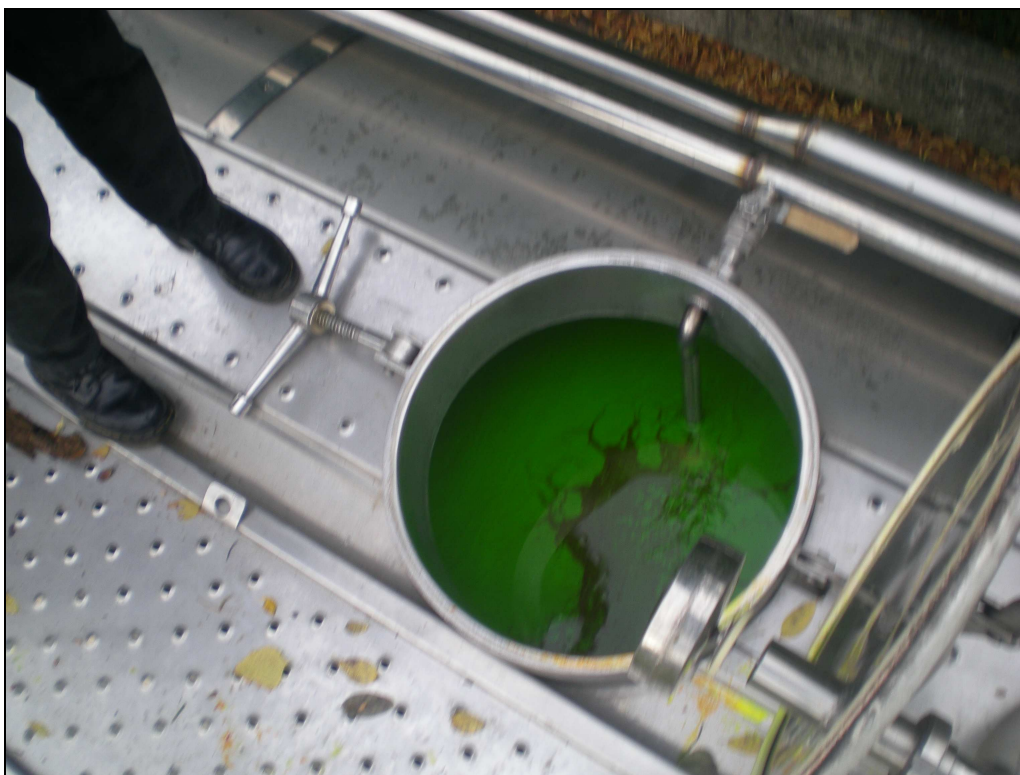


Figura 6: La fluoresceina viene disciolta nelle cisterne

Alle 9:30 circa è iniziata l'immissione dell'acqua in corrispondenza della dolina che è stata considerata la più idonea per la prova. L'immissione si è prolungata per circa una ora e trenta minuti.

Successivamente tutti i tecnici si sono diretti alla Sorgente Maddalena dove è iniziato il monitoraggio della sorgente mediante la messa in opera dei carboni attivi e mediante osservazioni dirette che si sono susseguite per l'intera giornata.



All'incirca alle 21:00 dello stesso giorno il tecnico della Società Uniacque, ha osservato la presenza nella sorgente di acque colorate dalla fluoresceina. Si sono



Figura 7: L'acqua viene immessa nella dolina

dunque bloccate le pompe che alimentano il bacino Orti, fino al mattino successivo, quando come previsto l'acqua derivata non conteneva più il tracciante in soluzione.

Durante il monitoraggio della sorgente sono stati più volte sostituiti i carboni attivi al fine di determinare se tracce del tracciante siano arrivate prima e dopo l'avvistamento in sorgente. In particolare sono stati prelevati campioni dopo 4 ore dall'immissione; alle ore 21 quando è stata rilevata visivamente la fluoresceina nella sorgente; la mattina successiva quando la fluoresceina non era più presente nelle acque di sorgente ed infine alle 17:30 del 19 novembre.

Alcuni di questi campioni sono stati inviati in laboratorio per la verifica del caso.

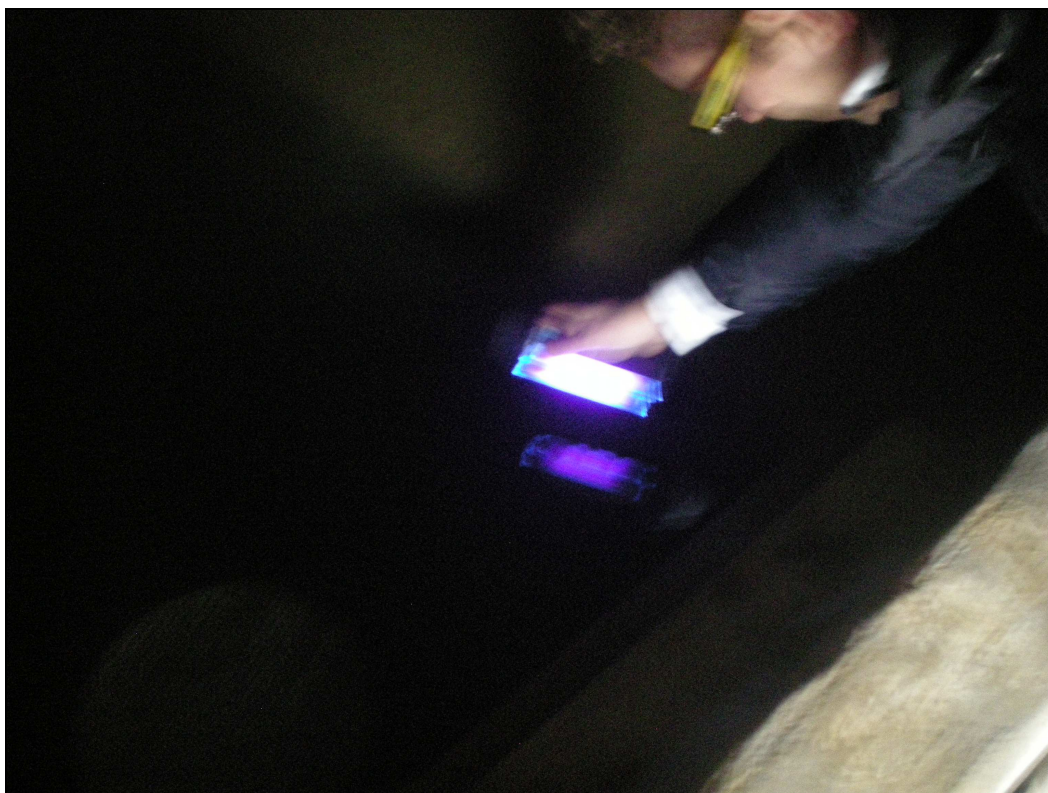


Figura 8: Monitoraggio in corrispondenza della sorgente Maddalena mediante la lampada di Wood

Dai dati di bibliografia e da considerazioni numeriche di massima, si prevedeva un tempo di arrivo alla sorgente compreso tra le 4 e le 8 ore.

Seconda prova di immissione

La seconda prova di immissione della fluoresceina nella falda è stata effettuata il 25 novembre 2010. I tecnici dei vari enti ed i tecnici Hattusas, dopo l'incontro al Passo della Forcella si sono diretti sul posto stabilito per la prova.

La fluoresceina è stata mischiata in una autobotte che era stata caricata con circa 10 m³ di acqua (vedi immagine n°1).

Alle 9:00 circa è iniziata l'immissione dell'acqua in corrispondenza della dolina che è stata considerata la più idonea per la prova. L'immissione si è prolungata per circa una ora e trenta minuti.



Successivamente tutti i tecnici si sono diretti alla Sorgente Maddalena dove è iniziato il monitoraggio della sorgente mediante la messa in opera dei carboni attivi e mediante osservazioni dirette che si sono susseguite per l'intera giornata.

La morfologia dell'area e l'orientazione dei versanti ha fatto supporre che considerando questo punto di immissione, il tracciante potesse essere rilevato in primis lungo le sorgenti presenti nella parte alta della Valle Rossa. Per tale motivo si è provveduto a collocare un carbone attivo in corrispondenza del troppo pieno della sorgente Fontanelli, presente in corrispondenza del curvone precedente il passo della Forcella. Tale campione è stato rilevato dopo 48 ore dall'immissione.

All'incirca alle 23:30 dello stesso giorno il tecnico della Società Uniacque, pur non avendo osservato la presenza del tracciante nella sorgente a provveduto a bloccate le pompe che alimentano il bacino Orti, fino al mattino successivo.

Durante il monitoraggio della sorgente, non è stata in nessun momento osservata visivamente la presenza della fluoresceina; al fine di poter verificare il possibile arrivo del tracciante in quantità minime e non visibili a occhi nudo o mediante la lampada di Wood, sono stati più volte sostituiti i carboni attivi. In particolare sono stati prelevati campioni dopo 13 ore dall'immissione; la mattina successiva ed infine dopo circa 36 ore.

Alcuni di questi campioni sono stati inviati in laboratorio per la verifica del caso.

Analisi di laboratorio

Per la fase di monitoraggio della sorgente, al fine di verificare la presenza di fluoresceina anche in concentrazioni minime sono stati collocati dei carboni attivi.

I carboni attivi sono costituiti da un corpo poroso in granuli di dimensioni variabili dai 3 ai 5 mm ottenuto per carbonizzazione di materie cellulosiche (previa impregnazione di alcuni agenti chimici).



I carboni attivi sono dotati di un grande potere adsorbente che consente di fissarne le molecole.

Il carbone attivo viene trattato con una soluzione alcolica al 10 % di potassio idrossido (KOH); in tal modo restituisce circa il 45% del colorante assorbito durante il periodo di immersione in acqua. La nuova soluzione risulta incolore se nel carbone attivo non è presente fluoresceina; se invece questa è stata fissata, assume una colorazione giallo paglierino.

Le analisi di laboratorio sono state eseguite dalla Consulenze Ambientali Spa con sede in Via Aldo Moro a Scanzorosciate (Bg).

In particolare si è deciso di procedere con l'analisi di tre campioni. Uno prelevato in corrispondenza della prima prova di immissione e due riferiti alla seconda prova.

Il campione prelevato durante la prima prova è quello prelevato alle ore 7:00 del 19/11/2010. Esso è stato immerso per tutta la notte successiva la prima prova di immissione nelle acque di sorgente. Si ricorda che prima della messa in posa del carbone attivo la fluoresceina era già apparsa visivamente in sorgente.

I risultati di laboratorio confermano che il campione è entrato in contatto con la fluoresceina sodica, ed il valore rilevato è pari a 7.4 mg/kg.

Per quanto riguarda i due campioni relativi alla seconda prova entrambi non hanno riscontrato la presenza della fluoresceina. Il valore <0,15 indica l'assenza del tracciante nei campioni prelevati in corrispondenza della sorgente Fontanelli e del campione prelevato nella sorgente maddalena alle ore 7:00 del 26 novembre.



Hattusas s.r.l.

Via Roma, 37 – 24060 Tagliuno (Castelli Calepio, BG)

Tel e fax 035 4425112 e-mail info@hattusas.it

Definizione delle aree di rispetto e tutela

Con la raccolta dei dati di terreno, l'analisi strutturale e i risultati delle prove di immissione mediante traccianti di fluoresceina sodica, si è ricostruito un quadro complessivo sia del sistema di ricarica della sorgente Maddalena ma anche le possibili aree sensibili per eventuali interferenze.

Rispetto alla proposta iniziale, si ritiene possibile limitare le aree di tutela ad un poligono più ristretto compreso tra il fianco orientale del Monte Crocione, Ca del Villi Cà Diciotta compresa la zona di Monte Croce ricadente in Comune di Leffe.

Per quanto riguarda le aree ricadenti sull'altipiano di Monte Pler, sebbene non siano dimostrati collegamenti diretti col sistema di ricarica, si raccomanda cautela nel governo delle pratiche agricole.



CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

In seguito ai ripetuti eventi di inquinamento avvenuti in corrispondenza della sorgente Maddalena è stato effettuato uno studio idrogeologico per determinare la perimetrazione delle aree di salvaguardia basandola su criteri scientifici che tengano conto della situazione idrogeologica reale.

Al fine di realizzare uno studio geologico ed idrogeologico di dettaglio delle aree interessate, applicando il criterio idrogeologico sono state eseguite una serie di indagini precedentemente descritte.

I risultati ottenuti hanno dimostrato come la sorgente maddalena è alimentata in parte dal sistema carsico che interessa tutto il versante in destra orografica della Valle Rossa fino all'altezza del monte Crocione (vedi allegato).

In relazione ai gravi e reiterati fenomeni di inquinamento della sorgente Maddalena, secondo quanto stabilito nel sopralluogo tecnico del giorno 11 Novembre 2008 si erano evidenziate le aree da sottoporre a totale interdizione, rispetto ad attività connesse allo spargimento di liquami, concimi e affini sotto qualsiasi forma.

Lo studio idrogeologico effettuato ha permesso di rivedere tale delimitazione secondo quanto riportato nella tavola allegata.

I risultati ottenuti hanno infatti dimostrato come solo parte dell'area precedentemente interdetta influisce direttamente con la sorgente Maddalena, tuttavia si ribadisce cautela nell'effettuare le pratiche agricole di smaltimento che potrebbero compromettere l'integrità delle sorgenti poste alla testata della Valle Rossa.

La presenza della fluoresceina nel campione relativo alla prima prova di immissione conferma come l'area che include il Monte Crocione e tutto l'altopiano collocato ad est dello stesso interferiscano direttamente con la sorgente Maddalena.

In generale, nella zona di rispetto **sono vietati** l'insediamento dei seguenti centri di pericolo e lo svolgimento delle seguenti attività:

- a) dispersione di fanghi e acque reflue, anche se depurati;
- b) accumulo di concimi chimici, fertilizzanti o pesticidi;



- c) spandimento di concimi chimici, fertilizzanti o pesticidi, salvo che l'impiego di tali sostanze sia effettuato sulla base delle indicazioni di uno specifico piano di utilizzazione che tenga conto della natura dei suoli, delle colture compatibili, delle tecniche agronomiche impiegate e della vulnerabilità delle risorse idriche;
- d) dispersione nel sottosuolo di acque meteoriche provenienti da piazzali e strade;
- e) aree cimiteriali;
- f) apertura di cave che possono essere in connessione con la falda;
- g) apertura di pozzi a eccezione di quelli che estraggono acque destinate al consumo umano e di quelli finalizzati alla variazione dell'estrazione e alla protezione delle caratteristiche qualitative della risorsa idrica;
- h) gestioni di rifiuti;
- i) stoccaggio di prodotti ovvero sostanze chimiche pericolose e sostanze radioattive;
- l) centri di raccolta, demolizione e rottamazione di autoveicoli;
- m) pozzi perdenti;
- n) pascolo e stabulazione di bestiame che ecceda i 170 chilogrammi per ettaro di azoto presente negli effluenti, al netto delle perdite di stoccaggio e distribuzione. È comunque vietata la stabulazione di bestiame nella zona di rispetto ristretta.

Per gli insediamenti o le attività preesistenti, ove possibile e comunque ad eccezione delle aree cimiteriali, sono adottate le misure per il loro allontanamento: in ogni caso deve essere garantita la loro messa in sicurezza. Le regioni disciplinano all'interno delle zone di rispetto le seguenti strutture o attività:

- a) fognature;
- b) edilizia residenziale e relative opere di urbanizzazione;
- c) opere viarie, ferroviarie e in genere infrastrutture di servizio;
- d) le pratiche agronomiche e i contenuti dei piani di utilizzazione.



Hattusas s.r.l.

Via Roma, 37 – 24060 Tagliuno (Castelli Calepio, BG)

Tel e fax 035 4425112 e-mail info@hattusas.it

Tagliuno, (Castelli Calepio, BG), dicembre 2010

Dott. Geol. Andrea Gritti

Iscriz. Ord. dei Geol. della Lombardia n. 1461



Hattusas s.r.l.

Via Roma, 37 – 24060 Tagliuno (Castelli Calepio, BG)

Tel e fax 035 4425112 e-mail info@hattusas.it

ALLEGATO FOTOGRAFICO

Rilievo geologico-strutturale e geomeccanico



Immagine 1: Substrato roccioso a franapoggio in prossimità della



Immagine 2: Particolare substrato roccioso fratturato con segni di alterazione

*Studio geologico-idrogeologico per la ridelimitazione
con criterio idrogeologico delle aree di rispetto
della sorgente “Maddalena” – Comune di Bianzano - Comune di Leffe(BG)*



Hattusas s.r.l.

Via Roma, 37 – 24060 Tagliuno (Castelli Calepio, BG)

Tel e fax 035 4425112 e-mail info@hattusas.it



*Immagine 3: Substrato roccioso lungo il versante destro della Valle
Rossa*



Immagine 4: Specchio di frana

*Studio geologico-idrogeologico per la ridelimitazione
con criterio idrogeologico delle aree di rispetto
della sorgente “Maddalena” – Comune di Bianzano - Comune di Leffe(BG)*



Hattusas s.r.l.

Via Roma, 37 – 24060 Tagliuno (Castelli Calepio, BG)

Tel e fax 035 4425112 e-mail info@hattusas.it



Immagine 5: Fase del rilievo geomeccanico



Immagine 6: stratificazione

*Studio geologico-idrogeologico per la ridelimitazione
con criterio idrogeologico delle aree di rispetto
della sorgente “Maddalena” – Comune di Bianzano - Comune di Leffe(BG)*



Hattusas s.r.l.

Via Roma, 37 – 24060 Tagliuno (Castelli Calepio, BG)

Tel e fax 035 4425112 e-mail info@hattusas.it

Prima prova di immissione

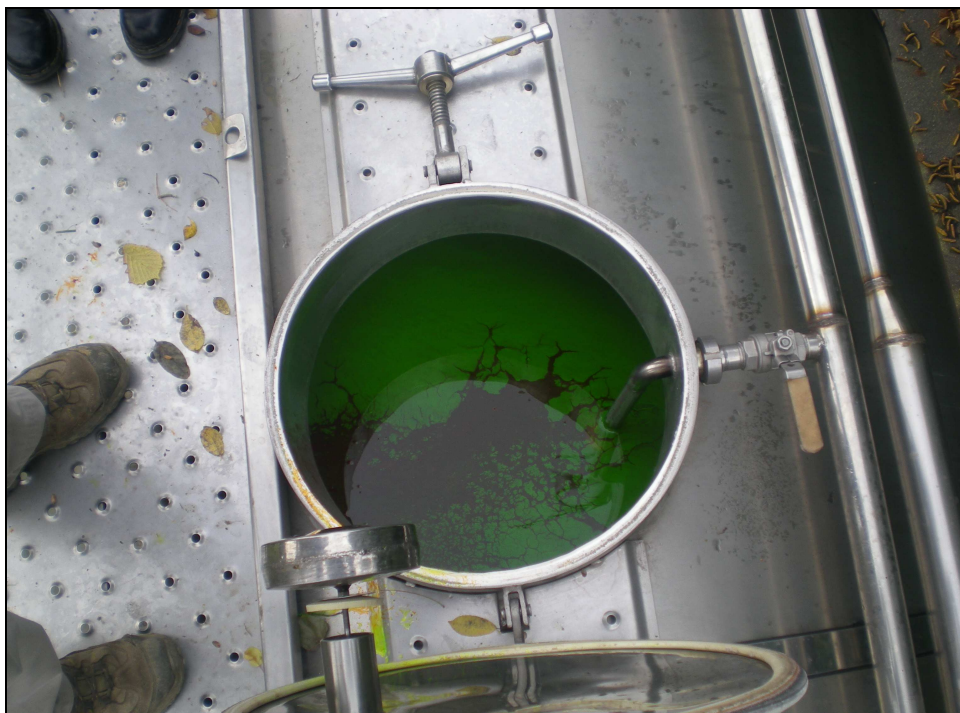


Immagine 7: La fluoresceina viene disciolta direttamente nella cisterna



Immagine 8: La fluoresceina disciolta viene immessa nella dolina

*Studio geologico-idrogeologico per la ridelimitazione
con criterio idrogeologico delle aree di rispetto
della sorgente “Maddalena” – Comune di Bianzano - Comune di Leffe(BG)*



Hattusas s.r.l.

Via Roma, 37 – 24060 Tagliuno (Castelli Calepio, BG)

Tel e fax 035 4425112 e-mail info@hattusas.it



Immagine 9: Nonostante l'elevata permeabilità dei terreni si forma una pozza



Immagine 10: Tutti i tecnici presenti durante la fase di immissione



Hattusas s.r.l.

Via Roma, 37 – 24060 Tagliuno (Castelli Calepio, BG)

Tel e fax 035 4425112 e-mail info@hattusas.it



Immagine 11: La sorgente maddalena



Immagine 12: Filtro a carbone attivo (per concentrazioni > a 0,001 mg/l)

*Studio geologico-idrogeologico per la ridelimitazione
con criterio idrogeologico delle aree di rispetto
della sorgente “Maddalena” – Comune di Bianzano - Comune di Leffe(BG)*



Hattusas s.r.l.

Via Roma, 37 – 24060 Tagliuno (Castelli Calepio, BG)

Tel e fax 035 4425112 e-mail info@hattusas.it

Seconda prova di immissione



Immagine 13: Secondo punto di immissione



Immagine 14: La fluoresceina viene rilasciata nel sito prescelto



Hattusas s.r.l.

Via Roma, 37 – 24060 Tagliuno (Castelli Calepio, BG)

Tel e fax 035 4425112 e-mail info@hattusas.it



Immagine 15: Si forma una pozza di acqua "fluorescente"

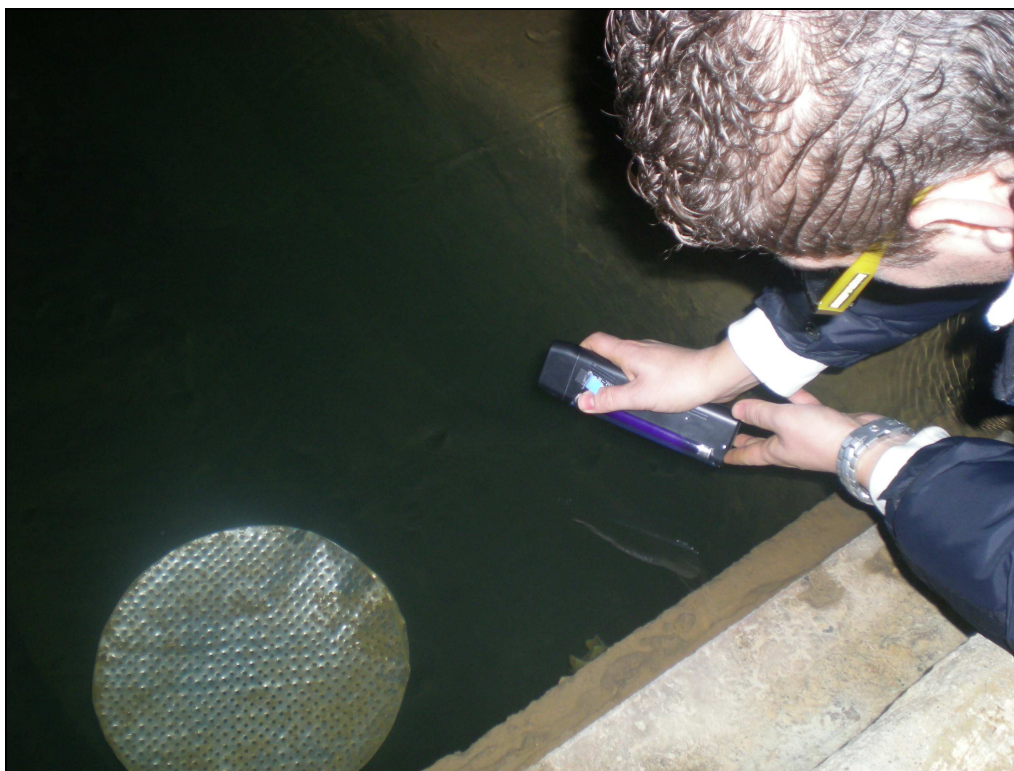


Immagine 16: Fase di monitoraggio alla sorgente mediante lampada di Wood

*Studio geologico-idrogeologico per la ridelimitazione
con criterio idrogeologico delle aree di rispetto
della sorgente "Maddalena" – Comune di Bianzano - Comune di Leffe(BG)*



Hattusas s.r.l.

Via Roma, 37 – 24060 Tagliuno (Castelli Calepio, BG)

Tel e fax 035 4425112 e-mail info@hattusas.it

Allegato Documentale

Rapporti di laboratorio



Hattusas s.r.l.

Via Roma, 37 – 24060 Tagliuno (Castelli Calepio, BG)

Tel e fax 035 4425112 e-mail info@hattusas.it

Allegato Cartografico