

BOSSEA MMXIII

CONGRESSO NAZIONALE

LA RICERCA CARSOLOGICA IN ITALIA

Frabosa Soprana (Cn) – Grotte di Bossea
22-23 giugno 2013

ATTI

LABORATORIO CARSOLOGICO SOTTERRANEO DI BOSSEA
STAZIONE SCIENTIFICA DI BOSSEA CAI CUNEO – COMITATO SCIENTIFICO CENTRALE DEL CAI

Modelli concettuali relativi agli acquiferi in rocce carbonatiche

BARTOLOMEO VIGNA (*)

KEY WORDS: *Acquiferi in rocce carbonatiche, Modelli concettuali, Monitoraggio, Sorgenti*

I modelli concettuali relativi agli acquiferi in rocce carbonatiche descrivono ed evidenziano le differenti situazioni idrogeologiche che caratterizzano i diversi sistemi carsici. Numerosi sono i parametri che possono essere presi in esame, dalla distribuzione e dalle proprietà della rete delle discontinuità che caratterizzano un ammasso roccioso al processo di ricarica-discarica ed alla idrodinamica sorgiva, fino ai tenori e alle variazioni temporali dei parametri chimico-fisici delle acque sotterranee. L'insieme di tutti questi dati permette di comprendere il funzionamento di un dato sistema e di

descrivere il modello concettuale finale.

I modelli concettuali relativi alla circolazione delle acque sotterranee in un ammasso carbonatico (Sistemi a dreno dominante, Sistemi a dreni interconnessi e Sistemi con circolazione dispersiva, Fig. 1) e alla risposta chimico-fisica delle acque sorgive agli input infiltrativi (Sostituzione prevalente, Pistonaggio e Omogeneizzazione, Fig. 1) sono stati ampiamente descritti in letteratura (White 1969, Civita *et alii* 1988, 1992, Ford e Williams 1989, 2007, Vigna 2002, 2007) mentre pochi sono i lavori che prendono in esame e descrivono con esempi concreti le modalità di alimentazione di un sistema carsico (Dreydrodt 1988, Ford e Williams 1989, 2007, Palmer 1991, 2007, Palmer e Audra 2003, Bakalowicz 2005).

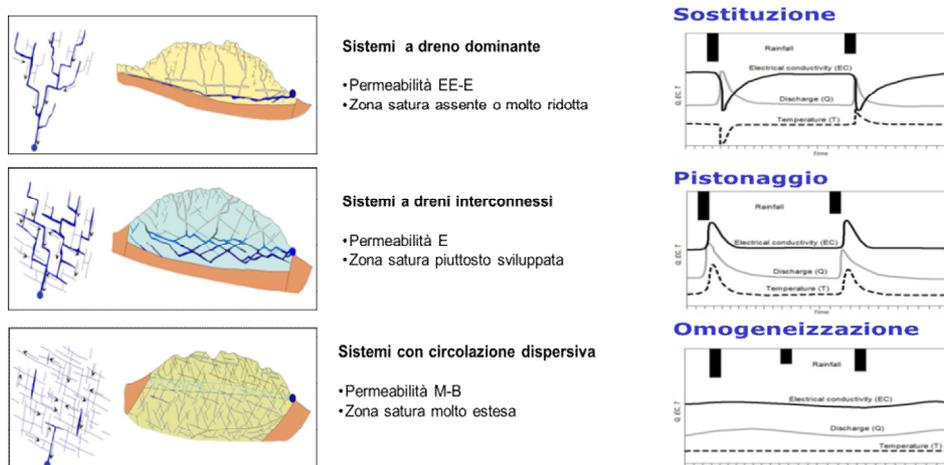


Fig. 1 – Modelli concettuali relativi alle modalità di circolazione delle acque sotterranee di un acquifero in rocce carbonatiche (a sinistra) e alla risposta chimico-fisica delle acque sorgive (a destra)

Tali modalità, che possono condizionare pesantemente sia l'idrodinamica che la qualità delle acque sorgive, sono legate prevalentemente a due differenti tipi di apporti (Fig. 2) che chiameremo:

- apporti legati alla **alimentazione primaria o autigenica**, dove con questo termine si intende la ricarica diretta (piogge o fusione nivale) che interessa nel tempo unicamente l'ammasso carbonatico (Foto 1)

- apporti legati all'**alimentazione secondaria o allogenica** riferendosi alle acque di ruscellamento provenienti da ammassi rocciosi poco permeabili o da travasi di acquiferi secondari (in genere detritici o fratturati) che contribuiscono alla ricarica dell'acquifero carbonatico (Foto 2).

Occorre infatti evidenziare che l'area di alimentazione

(*) Politecnico di Torino, Dipartimento di Ingegneria dell'Ambiente, del Territorio e delle Infrastrutture. Lavoro eseguito nell'ambito del Progetto ALCOTA-ALIRHYS

di un sistema carsico, in determinate situazioni morfologico-strutturali, può interessare anche vaste porzioni di rocce non solubili dove sono presenti corsi d'acqua più o meno importanti (alimentati da acque di

ruscellamento superficiale o provenienti da acquiferi secondari) che vengono poi assorbite dall'acquifero carbonatico in corrispondenza di inghiottitoi puntuali o distribuiti in tratti più o meno lunghi del sub-alveo.



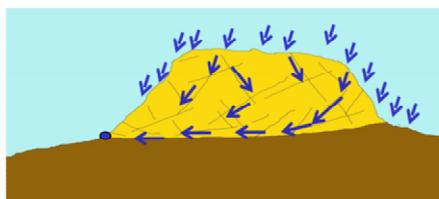
Fig. 2 – Modello concettuale relativo all'area di alimentazione di una sorgente carsica



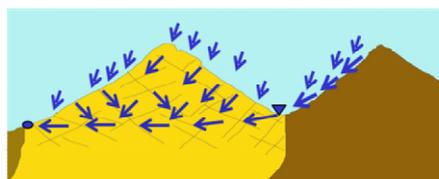
Foto 1 e 2 – Alimentazione primaria su campi solcati ed alimentazione secondaria di acque di ruscellamento in inghiottitoi

Sulla base del tipo di alimentazione che un sistema carsico riceve è quindi possibile riconoscere tre modelli concettuali rispettivamente denominati: sistemi con

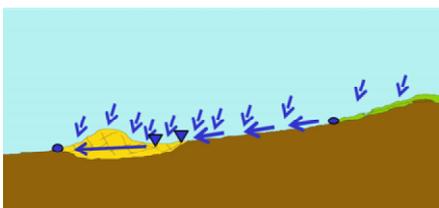
alimentazione primaria prevalente, sistemi con alimentazione primaria e secondaria, sistemi con alimentazione secondaria prevalente (Fig. 3).



Sistemi con alimentazione primaria prevalente



Sistemi con alimentazione primaria e secondaria



Sistemi con alimentazione secondaria prevalente

Fig. 3 – Modelli concettuali relativi alle modalità di alimentazione di un sistema carsico

I sistemi con alimentazione primaria prevalente sono caratterizzati da un'infiltrazione diffusa e distribuita in modo piuttosto omogeneo sull'intera idrostruttura costituita prevalentemente da rocce carbonatiche. Possono essere presenti anche alcuni inghiottitoi che assorbono le acque provenienti da esigui settori di rocce impermeabili che bordano o sono sovrapposte all'acquifero carbonatico. In genere la mineralizzazione delle acque sorgive è piuttosto elevata essendo legata ad una circolazione impostata unicamente nell'ammasso carbonatico. Sistemi appartenenti a tale tipologia di alimentazione sono molto frequenti in tutto il settore alpino e sono tipici delle strutture carbonatiche poggianti sulle rocce del basamento metamorfico o si incontrano frequentemente nelle estese successioni calcaree dell'Italia centro-meridionale. In questo lavoro viene descritto il sistema carsico che alimenta le sorgenti delle Vene e delle Fuse, ubicate in alta Valle Tanaro (Piemonte meridionale), appartenente a tale modello.

Sistema alimentante le sorgenti delle Vene e delle Fuse

L'area di alimentazione delle Sorgenti Vene-Fuse si estende oltre lo spartiacque della Val Tanaro e comprende una vasta area carsica ubicata alla testata delle valli Ellero e Corsaglia, compresa tra le quote 2630 m s.l.m.m. del Monte Mongioie e la quota sorgiva di 1475 m s.l.m.m. L'area, ricopre una superficie di circa 6 km² (Fig. 4 e 5) ed è caratterizzata principalmente da un carso di alta quota, con scarsa copertura vegetale e suolo quasi inesistente, ampie superfici di carso scoperto, doline, pozzi e crepacci di varie dimensioni. La carsificazione profonda è assai elevata con la presenza di numerosi abissi e cavità con sviluppo chilometrico. Il complesso carbonatico, sede dell'acquifero, è formato da calcari e dolomie triassiche (alla base della successione carbonatica) e da calcari massicci e scistosi di età compresa tra il Giurassico e il Cretaceo.

L'elevato grado di carsificazione dell'ammasso roccioso ha dato origine a forme carsiche molto estese sia in superficie sia in profondità. Tale complesso è

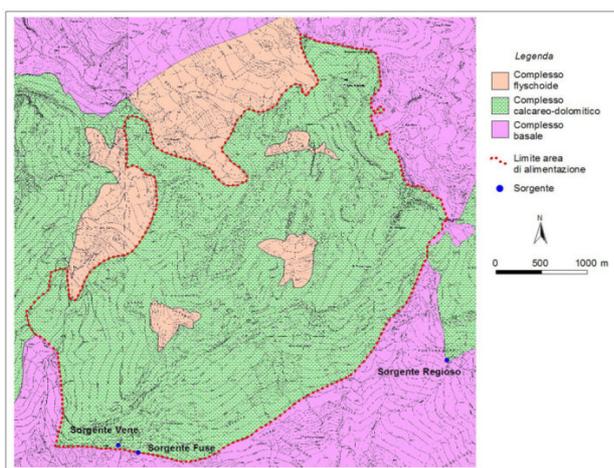


Fig. 4 e 5 – L'area di alimentazione delle sorgenti Vene e Fuse riportata su cartografia CTR e su immagine fotografica da volo aereo



Foto 3 e 4 – Il bordo orientale dell'area di alimentazione delle sorgenti Vene e Fuse e la zona sorgiva

localmente sovrastato da esigui lembi di depositi flyschoidi costituiti da un'alternanza di arenarie e scisti argillosi di età cretastico-eocenica che alimentano sorgenti con portate molto ridotte.

Alla base della successione carbonatica è presente il complesso basale costituito da metavulcaniti e quarziti di

età permo-triassica (Foto 3). Tale complesso, caratterizzato da una permeabilità relativa molto ridotta, costituisce un limite di permeabilità che condiziona la circolazione delle acque profonde e la geometria della zona sorgiva (Foto 4).

L'alimentazione del sistema è di tipo "primaria prevalente" legata principalmente all'infiltrazione diffusa,

(attraverso una superficie carsica altamente carsificata), delle acque legate al processo di fusione nivale e alle piogge (Foto 5 e 6). Alcuni rii con uno sviluppo molto limitato e portate altrettanto ridotte scorrono sui

sedimenti flyschoidi e si perdono in corrispondenza dell'acquifero carbonatico. Tali apporti costituiscono un ridottissimo contributo legato all'alimentazione secondaria.

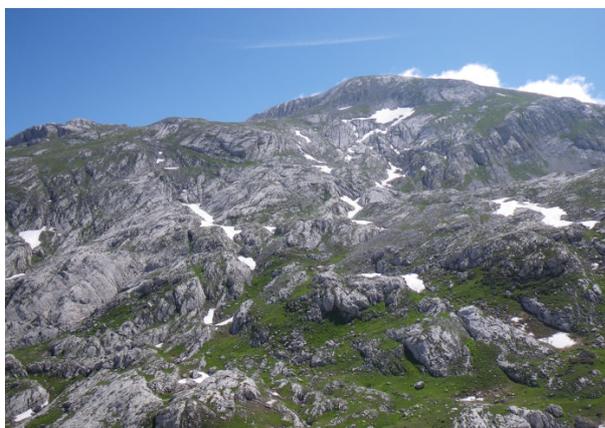


Foto 5 e 6 – L'area di alimentazione del M. Mongioie e particolare della zona di alimentazione primaria

Presso la Sorgente Fuse e nel collettore carsico che scorre nella cavità carsica delle Vene, il Politecnico di Torino, con l'aiuto degli speleologi imperiesi, ha realizzato due stramazzi per la misura della portata ed installato due sonde multiparametriche che rilevano ad intervalli orari il livello, la temperatura e la conducibilità elettrica delle acque sorgive. Le misure alle Vene sono durate per un breve periodo mentre alle Fuse i rilevamenti, iniziati nel 2004, sono tuttora in corso.

Le due sorgenti sono alimentate da rispettivi collettori carsici: quello delle Vene presenta uno sviluppo di diversi chilometri mentre quello delle Fuse è stato esplorato per una lunghezza di circa 1000 m.

Ambedue le emergenze mostrano un regime estremamente variabile (Fig. 6 e 7), con piene legate ai principali eventi infiltrativi (piogge e fusione nivale) e magre molto pronunciate in assenza degli apporti diretti. Nel periodo invernale le portate sono molto ridotte comprese tra 20 l/s e 30 l/s, fino a inizio primavera quando inizia la piena di fusione nivale. In questa stagione le portate subiscono ulteriori incrementi in seguito ai temporanei apporti delle piogge. La piena di fusione nivale è caratterizzata da oscillazioni giornaliere del flusso idrico legate all'incremento delle temperature dell'aria nelle ore centrali della giornata e al conseguente maggior apporto liquido. Le portate variano nelle sole ventiquattro ore con incrementi di diverse centinaia di l/s. A partire dal mese di giugno i valori decrescono fino a stabilizzarsi nel periodo estivo con un valore di circa 30 l/s. In seguito a importanti precipitazioni, verso fine estate

o in autunno, la portata raggiunge nell'arco di poche ore i valori massimi annuali (oltre 2.000 l/s alle Fuse e 5.000 l/s alle Vene) per ritornare poi ai valori pre-evento nell'arco di pochi giorni. A partire dal mese di dicembre la portata si stabilizza tra 30 l/s e 40 l/s valore tipico della magra invernale. Tali andamenti sono quindi strettamente legati alla elevata carsificazione dell'ammasso roccioso e alla modalità di alimentazione dei due sistemi (apporti unicamente legati all'infiltrazione primaria).

Anche l'andamento della concentrazione della conducibilità elettrica (Fig. 8 e 9) delle due sorgenti mostra un tipico comportamento "a sostituzione prevalente", tipico dei sistemi acquiferi ad elevata permeabilità, ridotta dimensione della zona satura ed alimentazione primaria legata all'infiltrazione diffusa in tutta l'area di ricarica. La mineralizzazione delle acque cresce lentamente durante la magra invernale raggiungendo un valori di conducibilità elettrica intorno a 250 $\mu\text{S}/\text{cm}$ alle Fuse e 265 $\mu\text{S}/\text{cm}$ alle Vene. Con il progressivo incremento delle portate si osserva una discesa della conducibilità elettrica che raggiunge i valori minimi intorno a 160 $\mu\text{S}/\text{cm}$ durante i principali picchi di piena primaverile. La mineralizzazione riprende poi progressivamente a salire durante la magra estiva ma in seguito alle intense piogge estive o autunnali subisce un repentino decremento di diverse decine di $\mu\text{S}/\text{cm}$ nell'arco di poche ore. Anche i valori della temperatura delle acque subiscono repentine variazioni legate agli apporti infiltrativi provenienti dall'alimentazione primaria (Fig. 10).

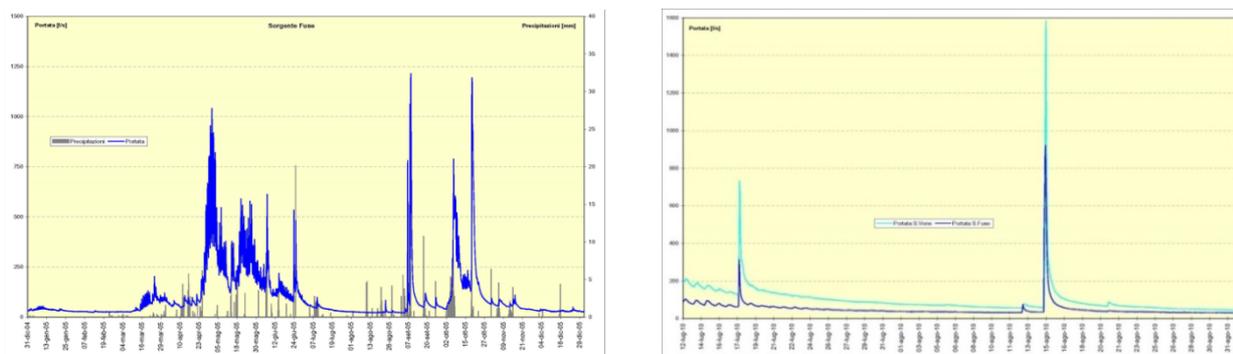


Fig. 6 e 7 – andamento annuale della portata della Sorgente Fuse e confronto delle portate della Sorgente Vene e della Sorgente Fuse

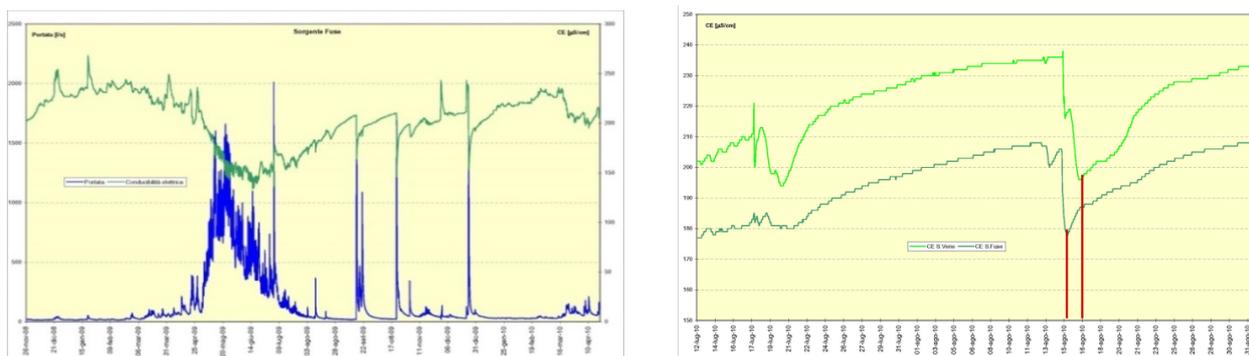


Fig. 8 e 9 – Andamento annuale della portata e della conducibilità elettrica delle acque della Sorgente Fuse e confronto della mineralizzazione delle acque delle sorgenti Vene-Fuse

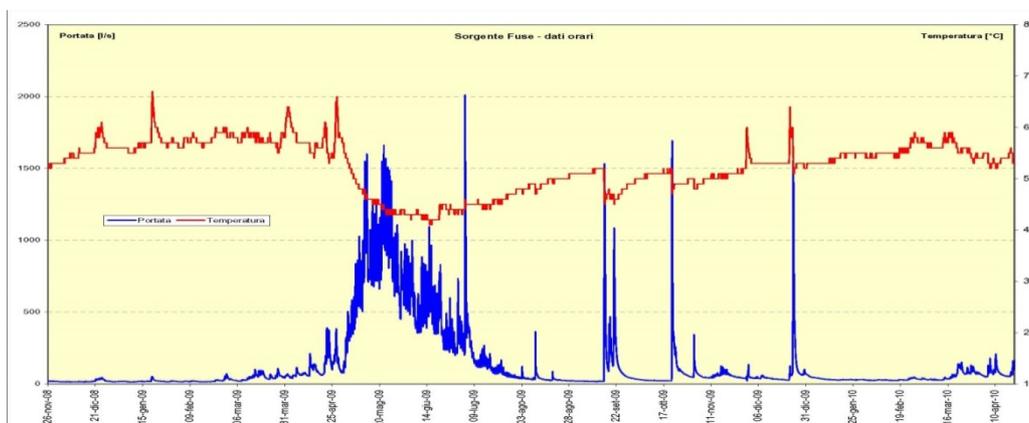


Fig. 10 – Andamento annuale della portata e della temperatura delle acque della Sorgente Fuse

I sistemi con alimentazione primaria e secondaria vengono ricaricati sia dagli apporti infiltrativi diretti sull’acquifero carbonatico sia dalle acque di ruscellamento superficiale provenienti da settori dove sono presenti rocce non solubili ai bordi della struttura acquifera principale. Le acque sorgive di questi sistemi si caratterizzano in genere per valori di mineralizzazione più ridotti rispetto a quelli dei sistemi descritti in precedenza, a causa degli abbondanti apporti di acque con tenori piuttosto bassi in bicarbonati, calcio e magnesio.

L’acquifero carbonatico è, in genere, lateralmente confinato attraverso contatti sub-verticali di tipo stratigrafico o tettonico, da rocce a bassa permeabilità (litotipi dei basamenti metamorfici o coperture flyschidi). Numerosi sono quindi gli inghiottitoi in subalveo ubicati in prossimità di tali contatti che assorbono la totalità o solo una parte delle acque di ruscellamento superficiale.

Le variazioni nel tempo della portata e della mineralizzazione delle acque sono quindi condizionate dai due differenti tipi di apporti (alimentazione primaria e secondaria). In molte situazioni nelle aree che bordano le rocce carbonatiche sono presenti acquiferi secondari impostati nelle porzioni maggiormente fratturate dell’ammasso roccioso o nelle coperture detritico-alluvionali. Tali acquiferi, in genere caratterizzati da permeabilità piuttosto ridotte, alimentano sorgenti e piccoli corsi d’acqua con un flusso idrico perenne che contribuiscono quindi in modo continuativo alla ricarica del sistema principale. L’area di alimentazione di questi sistemi è quindi impostata nella porzione costituita dalle rocce carbonatiche e nel bacino imbrifero del reticolo idrografico superficiale che contribuisce alla ricarica del sistema.

Nel settore alpino questi sistemi sono numerosi ed

alimentano importanti sorgenti captate anche ad uso idropotabile. Il sistema rappresentativo di tale situazione è quello che alimenta la Sorgente di Borello superiore (Foto 7), ubicata nel settore del Piemonte meridionale, in alta Valle Corsaglia.

Sistema alimentante la Sorgente di Borello superiore

La struttura acquifera alimentante la Sorgente di Borello superiore è costituita da un ammasso di rocce carbonatiche di età compresa tra il Tias ed il Cretacico appartenenti alla successione del Brianzonese ligure, da una porzione di rocce metamorfiche (quarziti) e da una serie di depositi detritico-morenici. Sulla base dei dati idrogeologici acquisiti (test con traccianti artificiali e monitoraggio della sorgente) e dei rilevamenti speleologici risulta che l'ammasso carbonatico è interessato da una notevole carsificazione profonda mentre le forme carsiche superficiali sono presenti solo nei settori più in quota. In corrispondenza del Vallone di Borello (foto 8), impostato lungo il contatto tettonico tra le quarziti e la successione calcareo-dolomitica, sono presenti numerosi inghiottitoi subalveari che assorbono le acque ruscellanti sulle rocce impermeabili del basamento e che confluiscono nel fondovalle principale (foto 9).

Il Rio Borello presenta quindi una circolazione superficiale solo in occasione di precipitazioni molto abbondanti o durante i periodi caratterizzati da una notevole fusione nivale quando gli inghiottitoi di subalveo non sono in grado di assorbire i notevoli volumi idrici superficiali. Nel settore assorbente più a monte sono presenti due zone di assorbimento impostate in corrispondenza di ampie depressioni tettonico-carsiche denominate *Zottazzo sottano* e *Zottazzo soprano* mentre presso il limite orientale del sistema, ad oltre 2000 m di quota, è presente l'importante zona carsica di Cima Ciuaiera dove sono presenti importanti cavità carsiche semiattive. A quota inferiore, presso la località denominata "La Colletta" si trova l'ingresso di un altro importante abisso profondo quasi 650 m e percorso al fondo da un piccolo corso d'acqua. Questa cavità si dirige

in direzione del Vallone di Borello e si approfondisce di quasi 150 al di sotto della quota di tale vallone.

L'area di alimentazione della sorgente in esame comprende quindi tre principali complessi idrogeologici (Fig.11):

Il *Complesso carbonatico* è costituito da una successione calcareo-dolomitica di età triassico-cretacica, caratterizzata da una permeabilità elevata legata ad una notevole carsificazione sia in superficie sia in profondità documentata dalla presenza di numerosi macroforme superficiali (ampie depressioni assorbenti e doline) e di profonde cavità sotterranee. Tale complesso viene a contatto con le rocce impermeabili del complesso basale attraverso una importante discontinuità sub-verticale (Faglia di Borello) impostata in corrispondenza del vallone assorbente principale.

Il *Complesso basale* è costituito prevalentemente da quarziti permo-triassiche, impermeabili, ed affioranti in corrispondenza del versante in destra orografica del Rio Borello interessando una vasta area con numerosi piccoli corrivi alimentati dalle estese coperture eluvio-colluviali che caratterizzano le quarziti permotriassiche. Questi rii, in genere perenni, confluiscono nel Rio Borello dove vengono assorbiti in corrispondenza di inghiottitoi in subalveo, in genere coperti da depositi detritico-alluvionali.

Il *Complesso detritico-morenico* è impostato nei depositi alluvionali del fondovalle del Rio Borello, nelle esigue coperture eluvio-colluviali ed in particolar modo in corrispondenza di una estesa morena laterale affiorante sul versante in destra orografica del rio principale. Questo complesso è caratterizzato da una permeabilità piuttosto elevata per porosità primaria e ricopre in parte i due complessi descritti in precedenza. Anche le acque circolanti in questo complesso alimentano una serie di piccole emergenze o vengono direttamente assorbite dall'acquifero carbonatico e quindi contribuiscono all'alimentazione della Sorgente di Borello.

L'area di alimentazione (Fig. 11) comprende quindi sia il versante in destra orografica del Rio Borello



Foto 7 e 8 – La captazione della Sorgente Borello e il vallone assorbente del Rio Borello

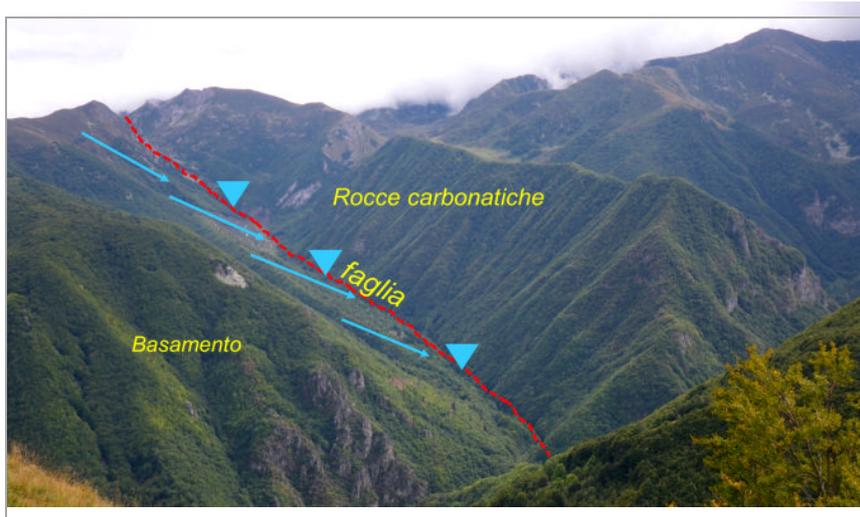


Foto 9 – Panoramica dell'area di alimentazione della Sorgente di Borello superiore

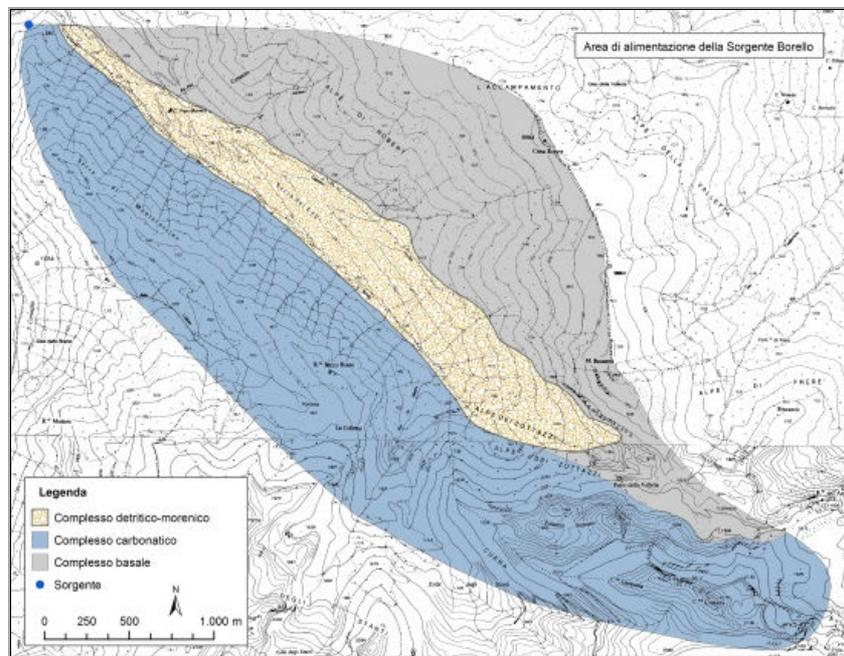


Fig. 11 – Carta idrogeologica relativa al bacino di alimentazione della Sorgente di Borello superiore

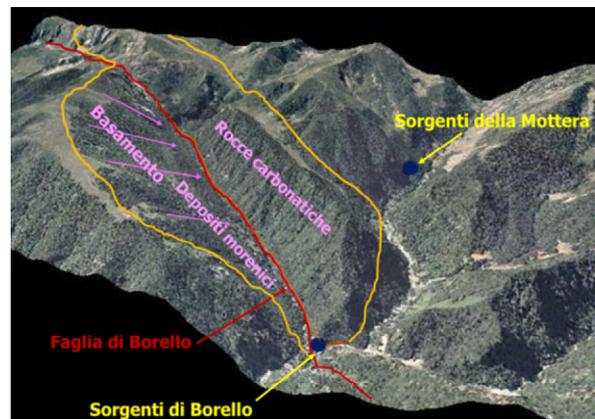
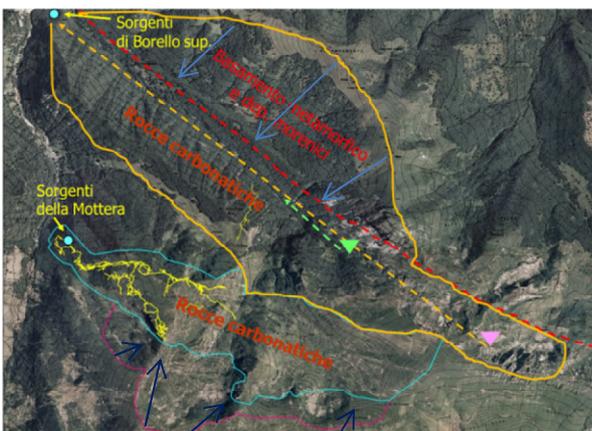


Fig 12 e 13 – L'area di alimentazione delle sorgenti Borello e Mottera su foto aerea (a sinistra) e 3D del Sistema di Borello (a destra)

impostata in corrispondenza del Complesso basale e del Complesso detritico-morenico, sia quello in sinistra orografica impostato nel Complesso carbonatico fino allo

spartiacque sotterraneo con un altro sistema carsico, alimentante la Sorgente Mottera. Questo limite è stato identificato grazie all'accurato rilevamento della grotta

omonima, importante cavità attiva dello sviluppo di oltre 18.000 m e che presenta un andamento parallelo al sistema di Borello (Fig. 12).

L'area di alimentazione raggiunge poi la dorsale che separa la Val Corsaglia con le valli Casotto e Tanaro (Fig. 13). I dati relativi alla portata, alla mineralizzazione e temperatura delle acque sorgive vengono acquisiti con una sonda multiparametrica installata dai ricercatori del Politecnico di Torino presso la captazione della sorgente. In questo lavoro sono presentati gli andamenti relativi all'anno 2011 (Fig 14, 15 e 16).

Nei periodi di magra invernale la portata sorgiva si attesta con valori minimi intorno a 70 l/s fino verso i primi giorni di marzo quando inizia la piena primaverile legata prevalentemente alla fusione nivale e alle piogge di questo periodo. La portata presenta in genere un andamento piuttosto variabile legato al processo di fusione (pesantemente condizionate dalle temperature dell'aria), con blande oscillazioni giornaliere di qualche decina di l/s, appena percettibili sull'idrogramma annuale. In seguito all'ulteriore contributo delle piogge primaverili, il flusso presenta temporanei incrementi con valori di poco superiori ai 400 l/s. A partire dal mese di giugno si osserva una progressiva decrescita della portata che raggiunge verso la fine della stagione estiva i valori minimi annuali intorno ai 65-70 l/s legato prevalentemente agli apporti provenienti dagli acquiferi secondari che bordano la struttura carbonatica. Nella stagione autunnale possono verificarsi intense e prolungate precipitazioni con conseguenti incrementi della portata che raggiunge i valori massimi annuali con picchi intorno a 800 l/s come quelli del novembre del 2011. Nella successiva stagione invernale le portate decrescono piuttosto rapidamente raggiungendo valori della magra invernale di poco inferiori a 100 l/s, pesantemente condizionate dagli apporti legati all'infiltrazione secondaria. La mineralizzazione dell'acqua sorgiva (Fig.15 e 16), nonostante la circolazione prevalente impostata nell'ammasso carbonatico, è piuttosto ridotta a causa degli importanti apporti provenienti dai settori del basamento e delle coperture detritico-moreniche ubicati in prossimità dell'area sorgiva. I valori della conducibilità elettrica sono intorno a 180 $\mu\text{S/cm}$, con variazioni annuali piuttosto

contenute. Durante il periodo di magra invernale il valore è di circa 160-175 $\mu\text{S/cm}$, probabilmente condizionato dagli apporti provenienti anche dai settori dove affiorano le rocce non carbonatiche. Durante la piena primaverile si osservano blande variazioni positive e negative con incrementi dai valori minimi ai massimi di circa 30 $\mu\text{S/cm}$. Anche durante i picchi massimi della portata primaverile, la mineralizzazione delle acque presenta abbassamenti piuttosto modesti raggiungendo valori minimi dell'ordine di ca. 150 $\mu\text{S/cm}$.

In seguito alla magra estiva il valore della conducibilità elettrica rimane piuttosto costante intorno a 180-190 $\mu\text{S/cm}$ ed anche in occasione degli importanti fenomeni di piena di inizio novembre del 2011 si osservano unicamente blandi decrementi della mineralizzazione, seguiti da modesti incrementi (con un delta di conducibilità elettrica di circa 20 $\mu\text{S/cm}$) a causa degli apporti dai differenti settori di alimentazione (acquifero carbonatico e detritico-morenico). La relativa costanza dei valori della conducibilità elettrica, durante l'intero anno idrologico, sembra indicare la presenza di una zona satura relativamente estesa in prossimità della zona sorgiva, che tende a omogeneizzare la mineralizzazione delle acque sorgive.

I valori della temperatura delle acque sorgive mostrano, invece, un andamento caratterizzato da variazioni annuali piuttosto marcate legate prevalentemente agli apporti provenienti dall'infiltrazione secondaria (Fig. 17). In corrispondenza della magra invernale la temperatura si attesta intorno a 6-7° C per poi scendere nel periodo successivo durante la piena primaverile quando si raggiungono i valori minimi annuali. In occasione dell'inizio della piena di fusione nivale del marzo 2011 è stato raggiunto il valore di poco superiore a 4° C con temporanei decrementi di quasi 3° C legati ad apporti temporanei di acque superficiali provenienti dagli inghiottitoi del Rio Borello più prossimi alla zona sorgiva. Nella stagione estiva la temperatura delle acque aumenta progressivamente fino a raggiungere valori di poco superiori a 7° C. In seguito alle piene autunnali si osservano ulteriori evidenti decrementi della temperatura (con un delta massimo di circa 0.5° C) legati al mescolamento tra le acque circolanti nell'acquifero e quelle di neo-infiltrazione.

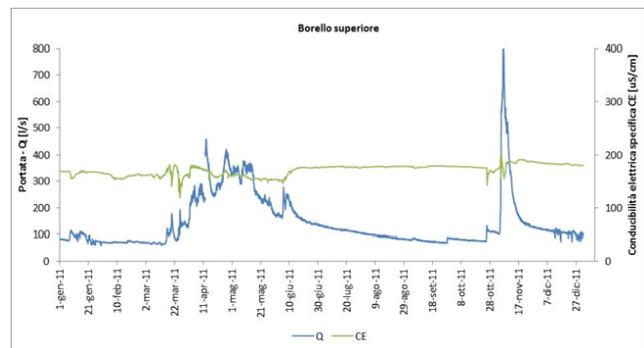
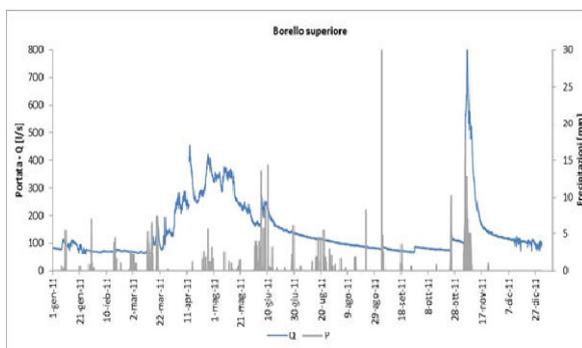


Fig. 14 e 15 – Andamento annuale della portata, delle precipitazioni e della conducibilità elettrica delle acque della sorgente di Borello superiore

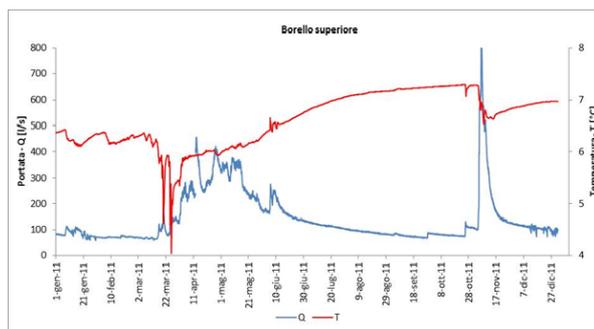
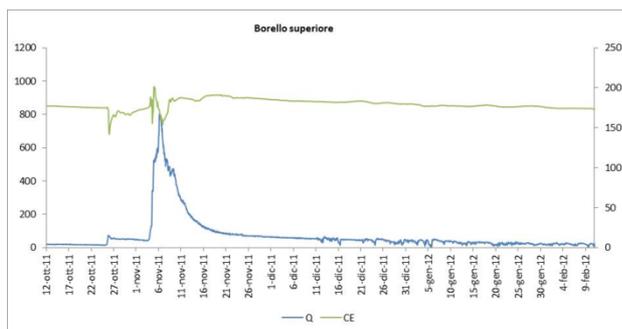


Fig. 16 e 17 – Particolare di un evento di piena (portata e conducibilità elettrica) e andamento annuale portata-temperatura delle acque sorgive della Sorgente di Borello superiore

I sistemi con alimentazione secondaria prevalente sono in genere ubicati in prossimità dei fondovalle dove si trovano importanti corsi d'acqua che scorrono, per tratti più o meno lunghi, sulle rocce carbonatiche. Questi corvivi, quando intercettano le porzioni dell'ammasso roccioso caratterizzate da permeabilità elevate, (fratturazione o più spesso carsificazione elevata) presentano in genere perdite progressive in subalveo che possono essere, nelle stagioni asciutte, totali o parziali. Le sorgenti, alimentate da questi sistemi, vengono quindi prevalentemente ricaricate dalle perdite dei corsi d'acqua superficiali che condizionano quindi pesantemente la portata, in genere piuttosto elevata e relativamente costante, il chimismo e la qualità delle acque sorgive (legata di conseguenza a quella delle acque superficiali). A tale modello appartengono anche i trafori idrogeologici collegati a valli cieche, dove gli inghiottitoi assorbono direttamente l'intero flusso superficiale e l'alimentazione primaria è del tutto trascurabile. Nel lavoro viene presentata la situazione idrogeologica di un sistema carsico che alimenta le Sorgenti del Bandito, ubicata nel Piemonte meridionale, in Valle Gesso, captate ad uso idropotabile.

Sistema alimentante le Sorgenti del Bandito

Le Sorgenti del Bandito sono costituite da una serie di venute idriche intercettate attraverso la realizzazione di una galleria drenante (Foto 10) di una lunghezza di poco inferiore al centinaio di metri che ha intercettato in parte una serie di piccoli condotti carsici attivi. La zona di emergenza è ubicata sulla destra idrografica di un importante corso d'acqua, il Torrente Gesso, che scorre a poche decine di metri di distanza, su un sottile materasso di sedimenti alluvionali (Foto 11). Le emergenze si

trovano in prossimità di un contatto stratigrafico tra un ammasso carbonatico della Successione Sub-Brianzonese ed un livello di conglomerati arenacei caratterizzati da una permeabilità ridotta che condizionano quindi la circolazione idrica profonda dell'intero settore sorgivo (Fig. 18). Il settore a monte dell'area sorgiva è costituito da un esteso massiccio carsico che raggiunge la quota di 2.000 s.l.m., impostato in un ampia struttura sinclinalica con al nucleo una successione terrigena caratterizzata da una ridotta permeabilità. Il versante nord-occidentale dell'area in esame è invece costituito da un'ampia vallata scavata nei calcari giuresi e coperta da pochi metri di ghiaie grossolane quaternarie depositate dal corso d'acqua principale. I fianchi vallivi sono formati da scoscese pareti calcaree alla cui base, ad alcune centinaia di metri a monte dell'area di emergenza, si trovano gli ingressi di una estesa cavità costituita da un reticolo di condotti con morfologia "a pieno carico" che si sviluppano con un andamento grossomodo parallelo al Torrente Gesso. Tale situazione evidenzia che in passato, quando il livello del fondovalle si trovava una decina di metri più alto rispetto alla situazione attuale, fosse presente una circolazione idrica sotterranea impostata in reticoli carsici di sub-alveo del corso d'acqua principale. Un secondo vallone, che confluisce nel T. Gesso alcune centinaia di metri a valle della zona sorgiva, è percorso da un corso d'acqua che presenta palesi perdite in sub-alveo a circa 500 m di distanza dal Bandito. Sulla base di un test con tracciante effettuato ma soprattutto dallo studio geochimico delle acque condotto sulle diverse polle sorgive e sulle acque superficiali, risulta che solo una parte molto ridotta di queste perdite è da collegare con la circolazione sotterranea alimentante le sorgenti in esame.



Foto. 10 e 11 – La galleria drenante delle Sorgenti del Bandito e 3D del Sistema Bandito

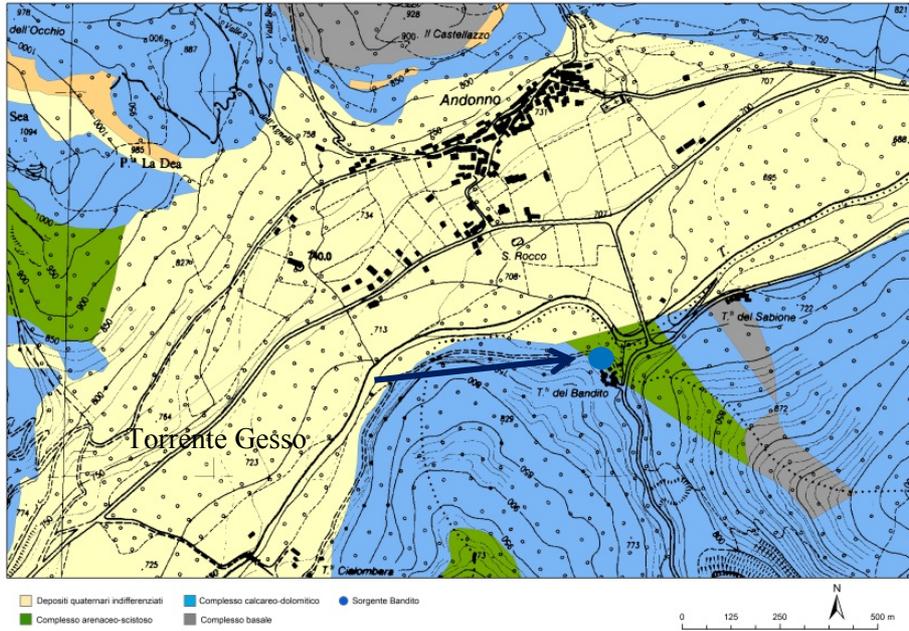


Fig. 18 – Carta idrogeologica dell’area relativa alle Sorgenti del Bandito

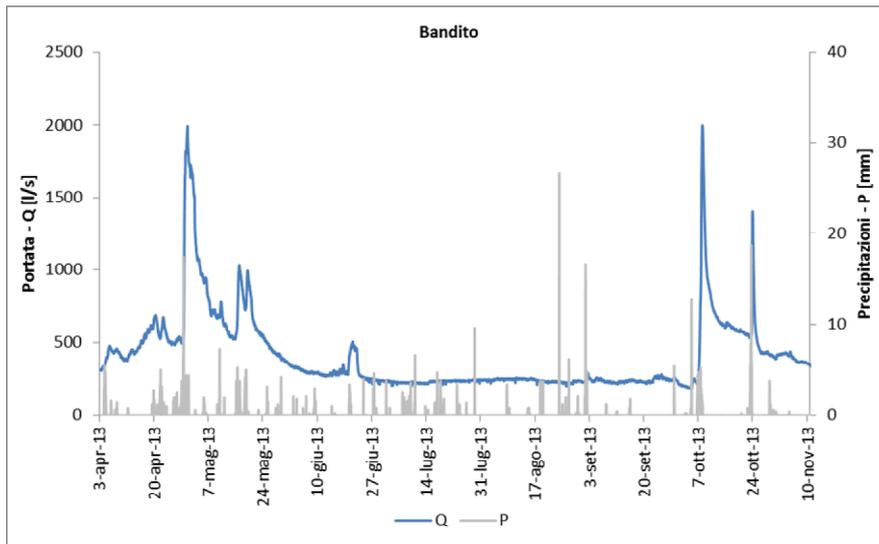


Fig. 19 – Andamento della portata delle Sorgenti del Bandito e delle precipitazioni

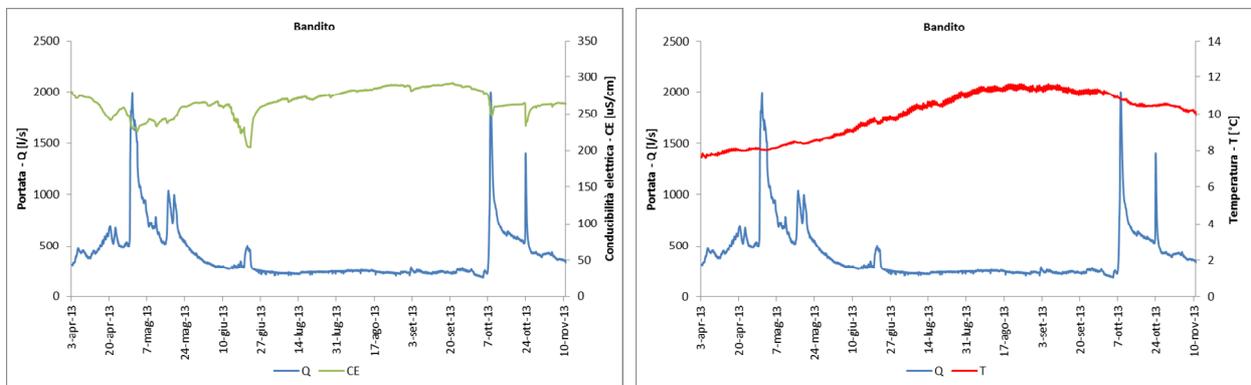


Fig. 20 e 21 – Andamento dei valori della portata, della conducibilità elettrica e della temperatura delle acque delle Sorgenti del Bandito

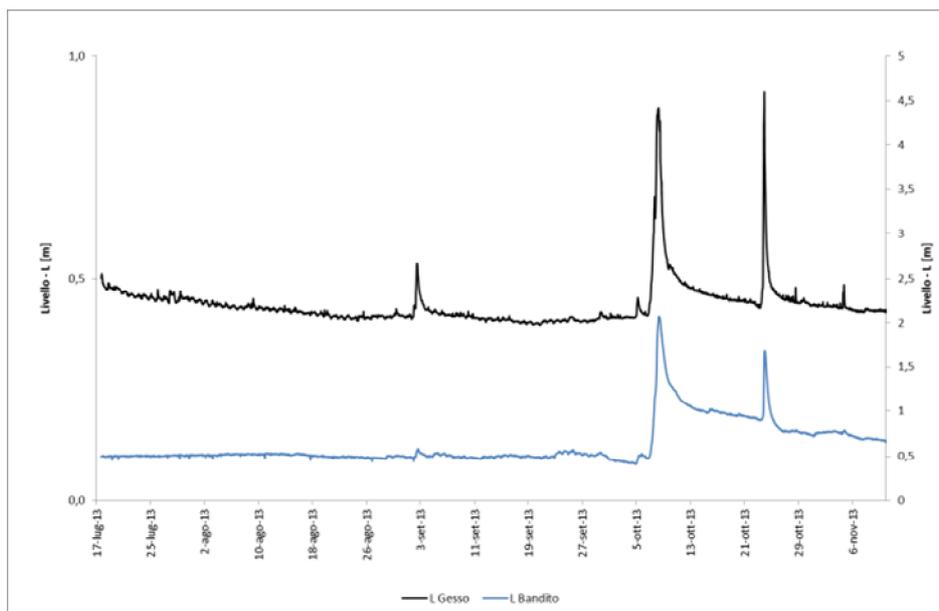


Fig. 22 – Confronto degli andamenti dei livelli idrici del T. Gesso e delle Sorgenti del Bandito

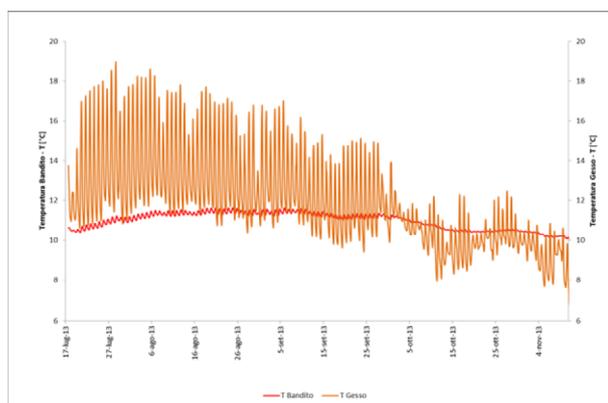
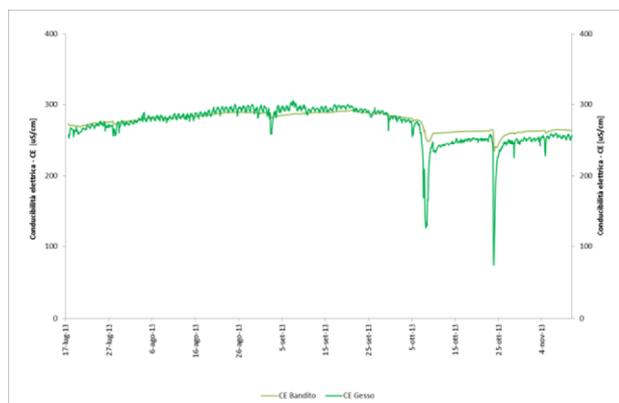


Fig. 23 e 24 – Confronto degli andamenti della conducibilità elettrica e della temperatura delle acque del T. Gesso e delle Sorgenti del Bandito

Per esaminare le eventuali connessioni tra la circolazione delle acque superficiali e quella sotterranea sono state installate, dal Politecnico di Torino, a partire dal mese di aprile 2013, due sonde multiparametriche rispettivamente sul corso del Torrente Gesso e sul canale che raccoglie l'intero flusso sorgivo. Esaminando unicamente i dati acquisiti alle Sorgenti del Bandito, non è infatti facile comprendere le modalità di alimentazione di questo sistema. Se osserviamo l'andamento nel tempo della portata sorgiva (Fig. 19) si nota una stretta connessione tra il flusso sotterraneo e le precipitazioni registrate da una stazione meteorologica dell'Arpa Piemonte ubicata nell'area in esame. Nella stagione primaverile e in quella autunnale in seguito ad abbondanti piogge la portata passa nell'arco di uno-due giorni dai valori di magra compresi grossomodo tra i 200 ed i 500 l/s ad oltre 1900 l/s. Durante il periodo estivo la portata rimane piuttosto costante anche si verificano nell'area una serie di temporali che, a causa della notevole evapotraspirazione, non forniscono importanti aliquote infiltrative. I valori della mineralizzazione delle acque sorgive (piuttosto elevate) in genere subiscono, in seguito all'incremento della portata, abbassamenti non

particolarmente marcati con una diminuzione di circa 40 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Fig. 20), mentre la temperatura delle acque passa dai 7.6° C del mese di aprile a 11.5° C registrati verso gli ultimi giorni di agosto (Fig. 21).

Tutti questi dati sembrano evidenziare unicamente l'esistenza di un circuito carsico piuttosto evoluto ma non forniscono utili indicazioni per comprendere bene il modello concettuale di funzionamento di questo sistema.

Confrontando invece i dati rilevati presso il Torrente Gesso e alle Sorgenti del Bandito, anche se per un periodo molto breve (circa 4 mesi), risulta evidente lo stretto legame esistente tra le acque superficiali e quelle sorgive.

L'andamento dei livelli del T. Gesso e quello delle Sorgenti del Bandito è molto simile (Fig. 22) anche se le variazioni del corso d'acqua risultano essere più impulsive e con una curva di decremento decisamente più acclive. Anche i dati della conducibilità elettrica dei due punti di monitoraggio confermano l'esistenza di un sistema con alimentazione secondaria prevalente legata direttamente alle perdite in sub-alveo del T. Gesso con un andamento della mineralizzazione delle acque superficiali e sorgive del tutto simili (Fig. 23). Durante i principali eventi di piena si nota una caduta sincrona dei valori della

conducibilità elettrica dei due punti d'acqua monitorati anche se i picchi negativi delle acque del torrente sono decisamente maggiori rispetto a quelli delle Sorgenti del Bandito. Estremamente significativo è anche il trend della temperatura delle acque (misurato con acquisitori con risoluzione del centesimo di grado): sono molto evidenti le oscillazioni giornaliere dei valori delle acque superficiali (condizionato ovviamente dagli sbalzi termici giorno-notte che soprattutto nella stagione estiva sono molto pronunciati) mentre le acque sotterranee presentano variazioni molto più contenute con un ritardo di circa 4 ore (Fig. 24). Nei mesi caldi le acque del torrente presentano un delta giornaliero di oltre 6° C mentre nelle acque sorgive la differenza è di solo 0.2° C. Tale andamento dimostra l'esistenza di una circolazione sotterranea relativamente estesa ad una porzione dell'ammasso roccioso impostata in un reticolo di piccoli condotti carsici in grado di omogeneizzare il segnale esterno.

BIBLIOGRAFIA

- BAKALOWICZ M., 2005 - *Karst groundwater: a challenge for new resources*. Hydrogeol J. 13: 148-160
- CIVITA M., OLIVERO G., VIGNA B., 1988 - *Analyse et comparaison des variations temporelles des paramètres physico-chimiques de trois différents systèmes karstiques des Alpes liguriennes (Italie)*. 4° Coll. D'Hydrologie en Pays Calcaires et Milieu Fissuré, Besancon, Ann. Scient. De l'Université de Besancon, Mém. Hors Série, 6, tome 2
- CIVITA M., MANZONE L., OLIVERO G., VIGNA B., 1992 - *Approcci sinergici nelle ricerche sui sistemi idrogeologici carbonatici del Piemonte meridionale*. Proc. Congr. "Ricerca e Protezione delle risorse idriche Sotterranee delle Aree Montuose", Brescia: 53-86
- DREYDRODT W., 1988 - *Processes in karst systems, physic, chemistry and geology*. Ed. Springer Verlag, pp. 288
- FORD D., WILLIAMS P., 1989 - *Karst geomorphology and hydrology*. Ed. Unwin Hyman, pp. 601
- FORD D., WILLIAMS P., 2007 - *Karst hydrogeology and geomorphology*. Ed. Wiley, pp. 562
- PALMER A. N., 1991 - *Origin and morphology of limestone caves*. Geol. Soc. Of America Bull., Vol. 103:1-21
- PALMER A. N., AUDRA PH., 2003 - *Patterns of caves*. In: Gunn J., 2004, *Encyclopedia of Caves and Karst Scienze*. Fitzroy Derabon, New York: 573-575
- PALMER A. N., 2007 - *Cave Geology*. Cave books-Cave Research Foundation, pp. 454
- VIGNA B., 2002 - *Monitoraggio e valutazione della vulnerabilità all'inquinamento degli acquiferi carsici*. Atti Conv. "Le risorse idriche sotterranee delle Alpi Apuane: conoscenze attuali e prospettive di utilizzo", Forno, 22/6/2002: 23-35
- VIGNA B., 2007 - *Schematizzazione e funzionamento degli acquiferi in rocce carbonatiche*. In: Cucchi F., Forti P., Sauro U., 2007, *L'acqua nelle aree carsiche in Italia*. Memorie dell'Istituto Italiano di Speleologia. Serie II, Vol XIX: 31-26
- WHITE W.B., 1969 - *Conceptual models for carbonate aquifers*. Ground Water 7 (3): 15-21

