

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

Studio delle sorgenti carsiche nel progetto ALIRHYS: Alpi Latine – Identificazione delle Risorse HYdriques Sotterranee

FABRIZIO BIANCO (*), FEDERICO MARCHIONATTI (*), STEFANIA MENEGATTI(*)

KEY WORDS: *Idrogeologia, sorgenti, carsismo, ALCOTRA.*

INTRODUZIONE

Nell'ambito della realizzazione del progetto ALIRHYS: Alpi Latine – Identificazione delle Risorse HYdriques Sotterranee è stata identificata una serie di sorgenti carsiche che insieme ad altre emergenze costituiscono le principali risorse idriche sorgive presenti nel territorio del Piemonte meridionale.

Tale progetto si inserisce nell'ambito dell'obiettivo Cooperazione Territoriale 2007-2013 (ALCOTRA) e riguarda la conoscenza e la gestione delle risorse idriche sotterranee di una vasta area del territorio compresa tra l'Italia e la Francia. La zona presa in esame riguarda il settore prevalentemente montuoso, compreso tra le città di Cuneo e Nizza compreso tra le Alpi Liguri e Marittime in provincia di Cuneo (tra le Valli Maira e Tanaro), il Department des Alpes-Maritimes e la parte meridionale del Department des Alpes de Haute Provence, corrispondente al bacino del Var.

Le sorgenti considerate, ubicate sul territorio nazionale, presentano portate piuttosto rilevanti ed in parte alimentano importanti enti acquedottistici della provincia di Cuneo.

Per ogni emergenza si è predisposto un sistema di monitoraggio per l'acquisizione in continuo dei dati di portata, temperatura, conducibilità elettrica delle acque sotterranee. Vengono inoltre eseguiti una serie di campionamenti stagionali per la durata di due anni e analisi chimico fisiche delle acque per la determinazione degli ioni principali, dei metalli e delle terre rare. La ricerca comprende anche lo studio isotopico delle acque attraverso il campionamento delle sorgenti e delle precipitazioni sia liquide che solide a quote diverse nelle area di alimentazione delle diverse sorgenti.

Le sorgenti prese in esame sono una decina e presentano risposte idrodinamiche e geochimiche molto diverse tra loro essendo alimentate da sistemi con funzionamenti diversi e inquadrabili nelle situazioni di dreno dominante, dreni interconnessi e di circolazione dispersiva. La finalità della ricerca è di conoscere le problematiche delle risorse idriche su questo territorio e nello specifico degli acquiferi carsici e di valutare gli impatti che possono interessare queste sorgenti con particolare riferimento alle problematiche legate alla vulnerabilità e alle condizioni meteorologiche estreme (periodi di siccità ed eventi alluvionali).

(*) Politecnico di Torino - Dipartimento di Ingegneria dell'Ambiente, del Territorio e delle Infrastrutture

MATERIALI E METODI

Tra le diverse sorgenti prese in esame 11 di esse sono alimentate da acquiferi carsici e verranno brevemente descritte di seguito (fig. 1-2).



Fig. 1 – Area di studio del progetto ALIRHYS

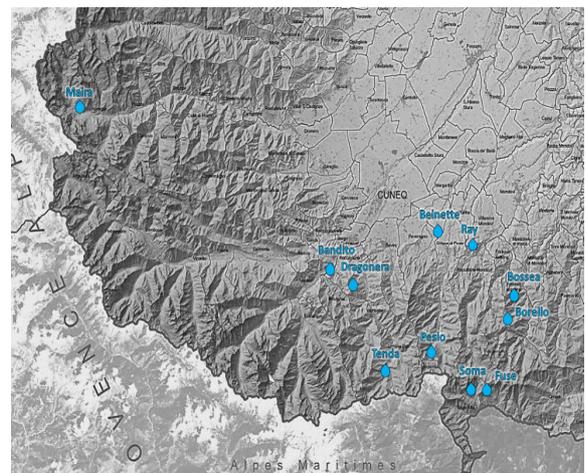


Fig. 2 – Ubicazione delle sorgenti del progetto ALIRHYS alimentate da acquiferi carbonatici

Tra queste sorgenti alcune vengono captate totalmente o in parte ad uso potabile e servono sia importanti Enti Acquedottistici che piccoli acquedotti utilizzati per

l'approvvigionamento idrico dei numerosi paesi presenti nell'intero territorio (sorgenti Bandito, Borello superiore, Dragonera, Maira, Ray e Tenda) le altre emergenze (sorgenti di Beinette, Bossea, Soma, Fuse e Pesio) alimentano importanti corsi d'acqua del territorio cuneese.

La sorgente di Beinette è l'emergenza con la maggiore portata del territorio piemontese. Al contrario delle altre sorgenti ubicate in aree montuose, questa emergenza si trova nel settore di pianura, in corrispondenza dell'altopiano di Beinette, costituito da una coltre di depositi plio-pleistocenici con spessori di diverse decine di metri, caratterizzati da una permeabilità piuttosto ridotta. La sorgente di La sorgente di Beinette si trova in corrispondenza di un alto strutturale dell'ammasso carbonatico, coperto da circa 70 m di sedimenti fini. È quindi una tipica "Sorgente sepolta" e le acque sotterranee arrivano in superficie attraverso una serie di pseudo condotti, scavati nei sedimenti poco permeabili, che vanno ad alimentare un piccolo laghetto. L'ingente flusso idrico, piuttosto costante, intorno a 1900 l/s, proviene dalle perdite del sub-alveo dei torrenti Gesso e Vermenagna nel settore presso Borgo S. Dalmazzo, dove tali corsi d'acqua scorrono sul substrato carbonatico.

La sorgente del Bandito ubicata allo sbocco del Rio Bedale, presso Andonno, sembra essere prevalentemente alimentata dalle perdite in subalveo del torrente Gesso e presenta una portata, piuttosto costante, intorno a 600l/s.

La sorgente di Borello superiore, in alta Val Corsaglia, è alimentata da un acquifero carbonatico piuttosto carsificato, al quale si aggiungono gli apporti provenienti da un vasto settore del basamento metamorfico, in parte coperto da depositi detritico-morenici. Tali apporti confluiscono nel Rio Borello che presenta una innumerevole serie di inghiottitoi in sub-alveo. La morfologia carsica superficiale è caratterizzata dalla presenza di ampie depressioni assorbenti con una copertura piuttosto ridotta.

Anche la sorgente di Bossea, ubicata nella parte alta della media Val Corsaglia, viene alimentata in parte dalle perdite in subalveo di due piccoli corsi d'acqua che scorrono dal settore della dorsale con la valle Maudagna presso Prato Nevoso, con tempi di percorrenza piuttosto ridotti a seconda delle condizioni idrodinamiche dell'acquifero. Gli approfonditi studi condotti dalla Stazione scientifica di Bossea evidenziano una notevole complessità della circolazione idrica sotterranea all'interno dell'acquifero carbonatico con deflussi molto rapidi in corrispondenza del collettore principale (Torrente Mora) e deflussi più lenti collegati ad una rete di dreni interconnessi.

La Sorgente Dragonera viene in parte captata a scopo idropotabile dall'acquedotto di Roaschia.

L'area, di 8,5 km², è caratterizzata dalla presenza di versanti piuttosto acclivi, con una ridotta copertura detritica, ai quali si alternano scoscese pareti rocciose.

I litotipi affioranti appartengono all'Unità del Colle di Tenda, che costituisce uno degli elementi strutturali più importanti presenti in questo settore delle Alpi Marittime. Tale unità è inserita (Malaroda *et Alii*, 1970 – Lombardo *et Alii*, 1975), nella Zona Sub-Brianzonese che affiora, con continuità, dalla dorsale Gesso-Stura al Colle di Tenda.

L'acquifero carbonatico che alimenta la Sorgente Dragonera è caratterizzato dalla presenza di una zona satura piuttosto estesa con evidenti fenomeni di pistonaggio in

seguito agli episodi di piena più importanti.

All'interno dei complessi detritico-morenico e arenaceo-calcareo sono presenti acquiferi secondari (per porosità primaria il primo e per fratturazione il secondo) che esercitano un'azione di travaso nei confronti dell'acquifero principale.

La Sorgente Fuse non viene captata ed alimenta un corso d'acqua che riceve, dopo alcune centinaia di metri, il copioso contributo della Sorgente delle Vene. L'intero fronte sorgivo costituisce uno dei principali apporti idrici che alimentano il Torrente Tanaro.

L'area di ricarica, ricopre una superficie di circa 6 km² 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.

L'acquifero carbonatico che alimenta la sorgente risulta caratterizzato da una elevatissima permeabilità, legata ad una carsificazione profonda molto sviluppata, dall'assenza di una zona satura tradizionale e da una ridotta circolazione idrica nelle discontinuità dell'ammasso roccioso.

Il complesso sorgivo del Pesio si trova all'interno del Parco Naturale alta Valle Pesio e Tanaro nel Comune di Chiusa Pesio e dà origine al torrente che prende lo stesso nome. La zona sorgiva è formata da 3 sorgenti distinte: la Sorgente Pesio 18, ubicata a quota: 1340 m s.l.m.m., la Sorgente Pesio, ubicata a quota 1380 m s.l.m.m., e la Sorgente Pis del Pesio, ubicata a quota 1460 (sorgente di troppo pieno) m s.l.m.m.. L'area di alimentazione delle sorgenti Pesio e Pesio 18 comprende un'area abbastanza estesa posizionata in parte in territorio italiano ed in parte in territorio francese: la Conca delle Carsene, che costituisce la testata della Valle Pesio, ancora in territorio Italiano risulta la principale area di ricarica, mentre il settore francese compreso tra Pian Ambrogi e Pian Scivolai ubicati alla testata della Valle Roja, occupa una superficie minore. La Conca delle Carsene è costituita da due ampi valloni glacio-carsici caratterizzati da carso di alta quota, in cui abbondano rocce affioranti attraversate da campi solcati, doline e pozzi. La zona di Pian Ambrogi e Pian Scivolai, invece, è caratterizzata da un carso con una maggiore copertura e numerose doline, anche di grandi dimensioni.

I livelli massimi di portata vengono raggiunti nella stagione estiva (Q pari a 3200 l/s), in seguito ad importanti precipitazioni che si sommano all'aliquota della fusione nivale mentre nei periodi di magra i deflussi sono molto ridotti (50 l/s). A causa di tali variazioni del flusso idrico, questa sorgenti in genere non viene captata ad uso idropotabile.

La sorgente del Tenda viene captata a scopo idropotabile dal Consorzio per l'Acquedotto delle Langhe e Alpi Cuneesi mediante una galleria drenante che corre parallela alla galleria ferroviaria.

L'alimentazione del sistema è in parte pluvio-nivale ed in parte dovuta alle perdite di alcuni corsi d'acqua impostati nei complessi meno permeabili. Una rilevante parte della ricarica sembra provenire anche dai travasi del complesso detritico-morenico che cede lentamente ai calcari sottostanti le acque assorbite. Il sistema acquifero è caratterizzato da una rete a dreni interdipendenti, nel quale le fratture predominano rispetto alla rete carsica.

L'acquifero che alimenta la Sorgente del Tenda, impostato nel Complesso calcareo-dolomitico, presenta una permeabilità medio-alta per intensa fratturazione e blando carsismo con una zona satura piuttosto sviluppata.

Le acque delle sorgenti del Maira vengono a giorno mediante una serie di polle (sorgenti reali) ubicate in differenti settori.

Anche se parzialmente coperto da depositi detritico-morenici, il complesso basale costituisce una soglia di permeabilità giustapposta che determina la fuoriuscita delle acque sotterranee nel punto più depresso dell'intera struttura idrogeologica.

Le Sorgenti della Soma non essendo captate, alimentano un corso d'acqua che confluisce nel Rio di Carnino.

La zona, che ricopre una superficie di circa 1.3 km², è caratterizzata in quota da affioramenti rocciosi con scarsa copertura vegetale e suolo quasi assente; le morfologie carsiche superficiali sono quasi del tutto assenti. Nel settore inferiore l'ammasso carbonatico è coperto da una spessa coltre detritica.

L'acquifero che alimenta la Sorgente Soma è di tipo carbonatico con circolazione impostata in fratture e cavità carsiche piuttosto ridotte.

La sorgente Ray viene captata a scopo idropotabile dall'acquedotto di Mondovì, mediante un bottino di presa.

L'area, di quasi 2,5 km², è caratterizzata da un carso coperto, con scarsi affioramenti rocciosi, ed una potente copertura di depositi residuali (terre rosse, argille e limi) e forme carsiche rappresentate solamente da ampi pianori assorbenti.

L'acquifero che alimenta la sorgente, è di tipo carbonatico con circolazione impostata in fratture, privo di carsificazione profonda. La zona satura risulta estesa, mentre lo spessore dell'insaturo è piuttosto modesto.

Il progetto presentato è suddiviso in 7 attività:

- Analisi dei dati esistenti territoriali e creazione banca dati
- Acquisizione di nuovi dati attraverso il monitoraggio delle sorgenti tramite strumentazioni installate sul territorio
- Determinazione qualità delle acque e caratterizzazione geochimiche con il campionamento delle risorse idriche
- Esecuzione test con traccianti
- Rappresentazione e visualizzazione dei dati cartografici e dei dati idrogeologici acquisiti
- Modellizzazione dei dati
- Ottimizzazione della risorsa idrica

Le attività principali che si svilupperanno per tutta la durata del progetto sono la 2, la 3 e la 4.

In particolare per quanto riguarda l'attività 2: acquisizione di nuovi dati attraverso il monitoraggio delle sorgenti tramite strumentazioni installate sul territorio, verranno utilizzati due strumentazioni specifiche: la sonda STS, in grado di registrare ad intervalli orari la temperatura, la conducibilità elettrica, il livello idrico e il pluviometro interrato, un prototipo che ha diversi vantaggi, tra cui quello di essere poco costoso, di semplice funzionamento, di permettere la correlazione tra la fusione nivale e la portata sorgiva e per ultimo di poter essere installato anche ad alta quota non necessitando di alimentazione elettrica, avendo una batteria interna che rende

lo strumento autonomo. I dati che si otterranno dal monitoraggio in continuo delle sorgenti verrà rappresentata con un grafico tipo fig. 3, dove è evidente come all'aumento della portata corrisponda una diminuzione della conducibilità elettrica.

Per determinare la qualità delle acque e la caratterizzazione geochimiche delle risorse idriche (attività 3) verranno svolti 4 campionamenti all'anno per ciascuna sorgente in modo da poter campionare sia le magre che le piene. Per ogni campione d'acqua verranno determinati i parametri per la qualità di base, i metalli e i lantanidi. Parallelamente si determineranno in sito i valori di conducibilità elettrica, di temperatura ed di pH.

Le analisi isotopiche delle acque di sorgente, delle nevi e delle acque meteoriche permetteranno di realizzare le rette di regressione tra i rapporti isotopici (18O/16O, 2H/1H) e l'altitudine nei due versanti principali (mediterraneo e padano) per valutare la quota di infiltrazione.

L'esecuzione di test con traccianti servono per individuare le condizioni di alimentazione di ogni singola sorgente. Il tracciamento verrà realizzato sia con il Tinopal CBS - X che con la Fluoresceina sodica.

RISULTATI

I dati raccolti fino ad oggi hanno permesso di caratterizzare le sorgenti e di individuarne il modello concettuale di circolazione che le caratterizza.

I modelli concettuali di circolazione idrica negli acquiferi carsici sono sostanzialmente :

- Sistemi a dreno dominante
- Sistemi a dreni interconnessi
- Sistemi a circolazione dispersiva

Le sorgenti studiate nel progetto ALIRHYS possono essere ricondotte a tali modelli concettuali, in particolare: le sorgenti di Bandito, Borello Superiore, Fuse e Pesio sono alimentate da acquiferi a dreno dominante; le sorgenti Dragonera, Maira, Tenda, Soma e Bossea sono alimentate da acquiferi a dreni interconnessi; infine la sorgente Ray è alimentata da un acquifero di tipo dispersivo.

Sistemi con rete a dreno dominante

Sono caratterizzati dalla presenza di una rete di drenaggio impostata in grossi condotti, alcuni sempre attivi, mentre in altri la circolazione idrica si manifesta solamente durante le piene maggiori. La zona satura tradizionale è assente mentre sono presenti tratti sifonanti più o meno lunghi che costituiscono unicamente una via di transito delle acque sotterranee. La rete di flusso è ben organizzata con una serie di collettori principali e secondari che sono in grado di smaltire rapidamente gli apporti infiltrativi.

L'andamento della portata della sorgente Bandito nell'anno 2013 (figure 3a-3b) evidenzia due picchi, nel mese di maggio e nel mese di ottobre con portate che raggiungono i 2400l/s, probabilmente dovuti alla fusione nivale e alle forti precipitazioni. Negli altri periodi dell'anno la portata rimane costante intorno ai 500l/s.

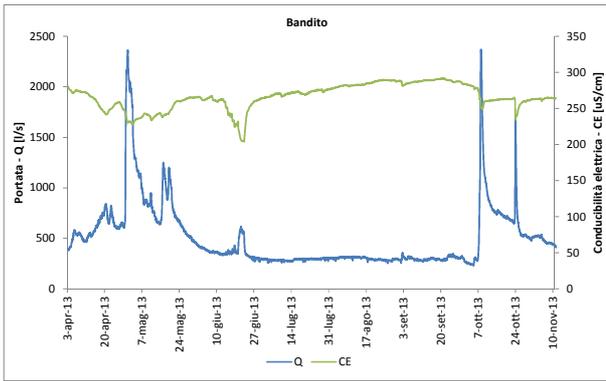


Fig. 3a – Andamento di portata e conducibilità elettrica della sorgente Bandito

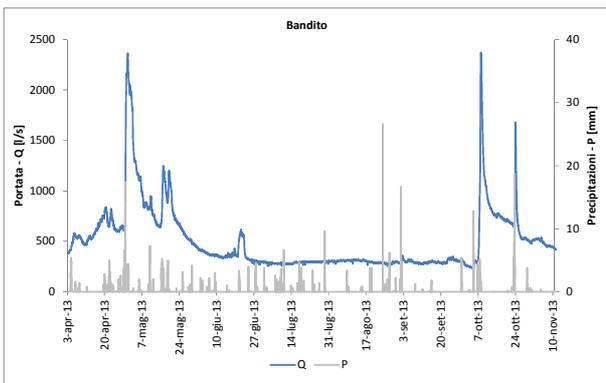


Fig. 3b – Andamento di portata e precipitazione della sorgente Bandito

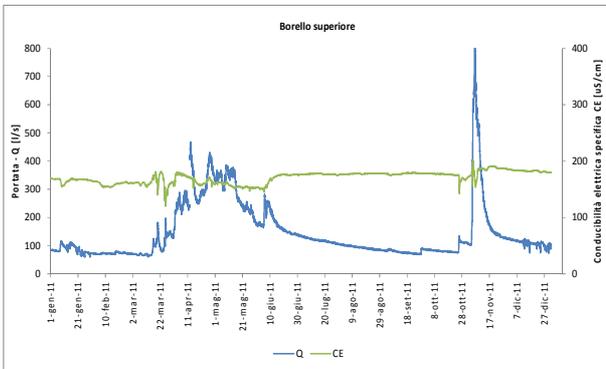


Fig. 4a – Andamento di portata e conducibilità elettrica della sorgente Borello superiore

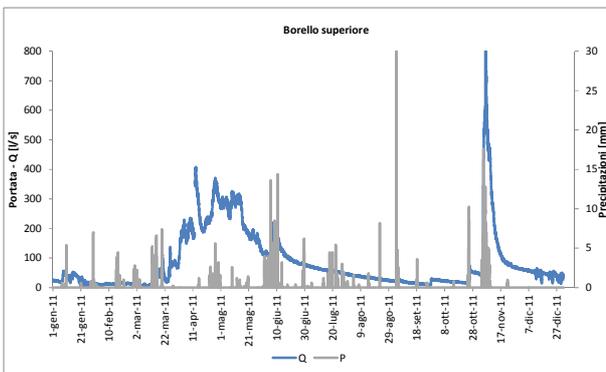


Fig. 4b – Andamento di portata e precipitazione della sorgente Borello superiore

La conducibilità elettrica non risente in modo evidente dei due picchi di portata e rimane variabile tra i 200 e i 270 $\mu\text{S}/\text{cm}$ per tutto l'anno considerato.

L'andamento della portata della sorgente Borello superiore (figure 4a-4b) nell'anno 2011, evidenzia la lunga magra invernale con portate minime di circa 70 l/s, che si protrae fino a fine marzo 2011, quando inizia la piena di fusione nivale legata agli apporti provenienti dai settori con esposizione sud-occidentale dove affiorano i complessi basale e metamorfico. Nel primo periodo la piena raggiunge i 100 l/s, fino a fine aprile, quando in occasione di precipitazioni che si sommano agli apporti di fusione, si superano i 400 l/s. La portata decresce fino a metà giugno (180 l/s) quando in seguito ad abbondanti piogge si evidenzia un altro picco fino a 310 l/s. Dopo questa piena il flusso decresce piuttosto lentamente raggiungendo a fine agosto circa 70 l/s. Le precipitazioni di inizio settembre e in particolare quelle di novembre, vengono registrate dall'idrogramma con picchi piuttosto pronunciati e di breve durata. La 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.

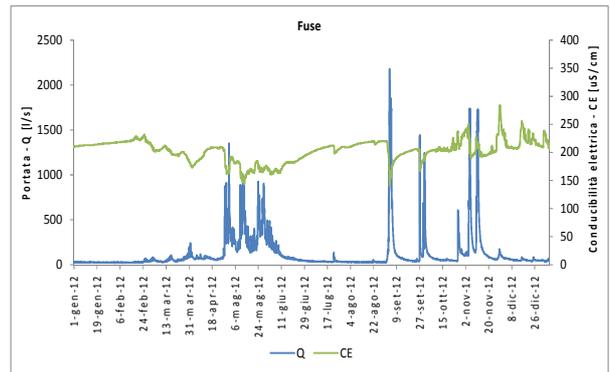


Fig. 5a – Andamento di portata e conducibilità elettrica della sorgente Fuse

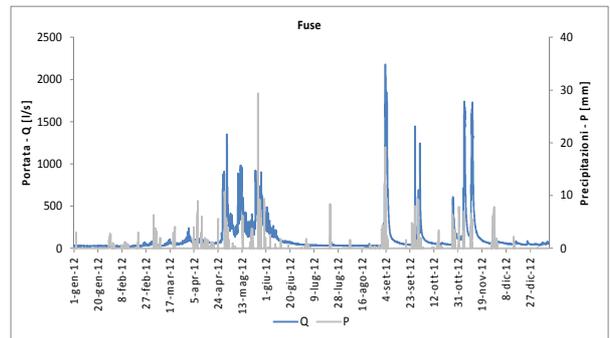


Fig. 5b – Andamento di portata e precipitazione della sorgente Fuse

La sorgente Fuse mostra un regime estremamente variabile (figure 5a-5b), dovuto ai notevoli incrementi di portata in seguito agli eventi infiltrativi principali (piogge e fusione nivale). Ad inizio anno le portate sono molto ridotte comprese tra 20 l/s e 30 l/s, a fine aprile le portate subiscono una notevole impennata per l'apporto delle piogge che si protraggono fino a fine maggio. Le portate variano nelle sole ventiquattro ore fino a 500 l/s raggiungendo un valore

massimo intorno a 800-900 l/s. A inizio settembre in seguito a importanti precipitazioni, la portata raggiunge nell'arco di poche ore il valore massimo annuale di 2170 l/s per ritornare poi ai valori pre-evento nell'arco di pochi giorni. Le precipitazioni del fine mese di settembre e ottobre provocano ulteriori picchi di portata. A partire dal mese di dicembre la portata si stabilizza tra 30 l/s e 40 l/s valore tipico della magra invernale.

L'andamento della conducibilità elettrica mostra un comportamento "a sostituzione prevalente" tipico dei sistemi acquiferi ad elevata permeabilità e ridotta dimensione della zona saturata. Con l'incremento delle portate si osserva una discesa della mineralizzazione che raggiunge i valori minimi intorno a 160 $\mu\text{S}/\text{cm}$ durante i principali picchi della piena di fusione nivale.

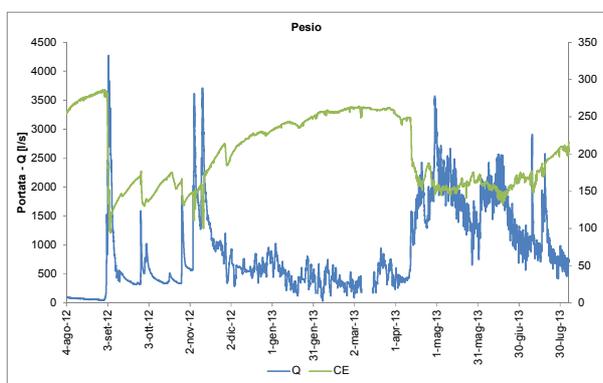


Fig. 6a – Andamento di portata e conducibilità elettrica della sorgente Pesio

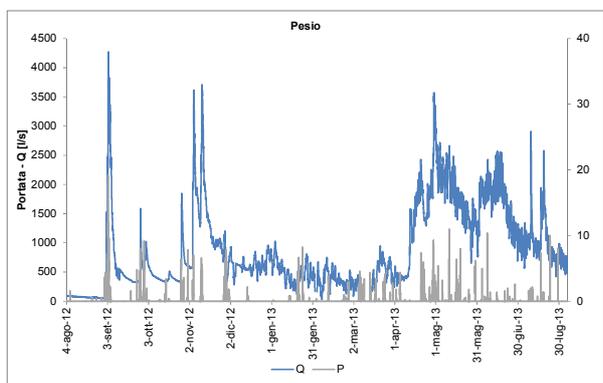


Fig. 6b – Andamento di portata e conducibilità elettrica della sorgente Pesio

Anche la sorgente Pesio mostra un regime estremamente variabile (figure 6a-6b), dovuto ai notevoli incrementi di portata in seguito agli eventi infiltrativi principali (piogge e fusione nivale). L'idrogramma mostra importanti picchi di portata nei mesi di settembre 2012, di novembre 2012 e di maggio 2013, con valori che toccano i 4000 l/s nel primo picco ed i 3500 l/s nel secondo e nel terzo picco. Nel mese di maggio 2013, in particolare, l'alto valore di portata è dovuto sia alla fusione nivale che alle piogge. È evidente in questo idrogramma la forte influenza delle precipitazioni, le quali provocano aumenti di portata differenti in funzione del tipo ed entità di precipitazione.

La conducibilità elettrica raggiunge i valori di 250-300 $\mu\text{S}/\text{cm}$ durante i periodi di magra, mentre durante i periodi di

piena i valori scendono fino a 150 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Si può affermare che la conducibilità elettrica delle acque del Pesio evidenzia un legame maggiore con l'andamento della portata mostrando acque meno mineralizzate in primavera in seguito alle piene legate alla fusione nivale e valori maggiori durante il resto dell'anno, quando le portate sono ridotte.

Sistemi con rete a dreni interconnessi

Sono generalmente presenti in ammassi rocciosi fratturati e carsificati con assenza di importanti collettori e presenza di cavità semiattive, ad andamento prevalentemente verticale, che costituiscono le vie privilegiate del flusso sotterraneo, tra loro indipendenti, verso le zone più profonde dell'acquifero. In alcuni sistemi la circolazione idrica della zona non satura può essere impostata prevalentemente su reticoli di fratture e discontinuità poco carsificate. In profondità, generalmente ad una quota prossima a quella delle sorgenti, è invece presente una zona satura molto sviluppata e caratterizzata da una serie di condotti e fratture collegate fra loro, che formano un importante serbatoio con cospicue riserve idrogeologiche.

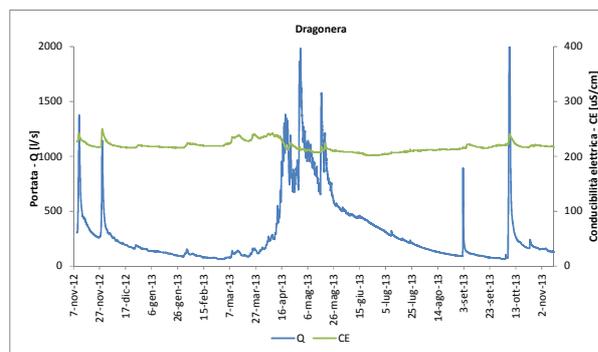


Fig. 7a – Andamento di portata e conducibilità elettrica della sorgente Dragonera

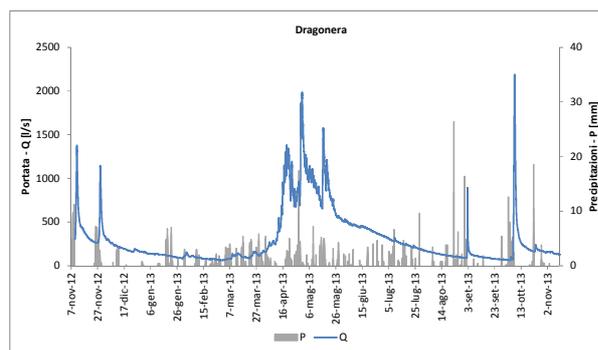


Fig. 7b – Andamento di portata e precipitazione della sorgente Dragonera

L'andamento della portata della sorgente Dragonera (figure 7a-7b) mostra da gennaio 2013 fino a i primi giorni di marzo 2013 una portata molto costante, intorno a 100 l/s legata alla magra invernale. La piena di fusione nivale si protrae per diversi mesi, fino a giugno, caratterizzata da ulteriori picchi legati all'ulteriore contributo delle piogge primaverili. Il massimo valore raggiunto è intorno a 2000 l/s il 6 maggio 2013. A partire da questa data la portata presenta un progressivo e lento decremento dei valori, nonostante numerose precipitazioni verificatesi nel periodo estivo, fino alla fine di ottobre, quando si registra la più importante piena

annuale di tale emergenza. Tale andamento sembra legato ad una permeabilità non particolarmente elevata e alla presenza di una zona satura piuttosto estesa in grado di laminare gli apporti infiltrativi.

L'andamento annuale della conducibilità elettrica evidenzia una notevole costanza dei valori che nell'arco dell'intero anno presentano un valore massimo intorno a 215 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Si evidenziano in ogni caso blandi incrementi dei valori in seguito ai principali eventi infiltrativi evidenziando fenomeni di pistonaggio.

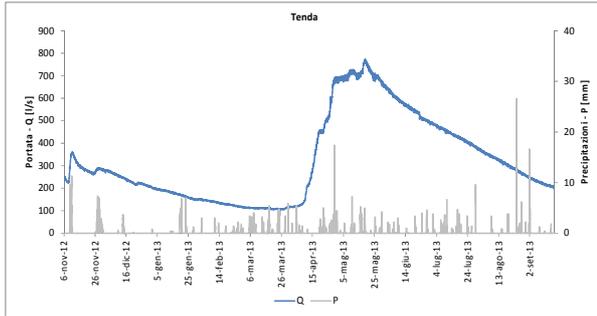


Fig. 8a – Andamento di portata e precipitazione della sorgente Tenda

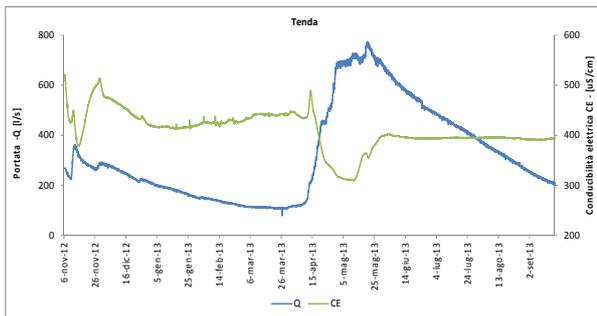


Fig. 8b – Andamento di portata e conducibilità elettrica della sorgente Tenda

Il flusso sorgivo della sorgente Tenda mostra una graduale diminuzione dei valori fino a fine marzo, quando si registra il valore minimo di circa 140 l/s. In seguito agli apporti legati alla fusione nivale, si registra un progressivo incremento della portata che raggiunge verso i primi giorni di maggio il valore massimo annuale intorno a 800 l/s. Le abbondanti precipitazioni del periodo primaverile condizionano marginalmente il flusso idrico con incrementi di alcune decine di litri/secondo. Dal mese di maggio la portata scende molto gradualmente raggiungendo i 200 l/s.

La conducibilità elettrica specifica rimane costante fino all'inizio della piena primaverile, con un valore di circa 450 $\mu\text{S}/\text{cm}$, per poi scendere piuttosto lentamente raggiungendo un valore di circa 340 $\mu\text{S}/\text{cm}$ durante le prime fasi di risalita della portata. Durante la fase di decrescita della portata, si osserva un successivo incremento (400 $\mu\text{S}/\text{cm}$). Tali variazioni della mineralizzazione sono interpretate come l'arrivo di acque con differenti chimismi dai diversi settori dell'area di alimentazione (dove sono presenti orizzonti più dolomitici o con gessi e carniole), da non confondere con processi di miscelazione legati ad apporti di acque di neo-infiltrazione.

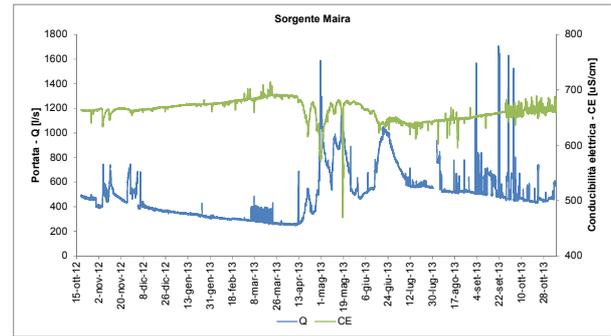


Fig. 9a – Andamento di portata e conducibilità elettrica della sorgente Maira

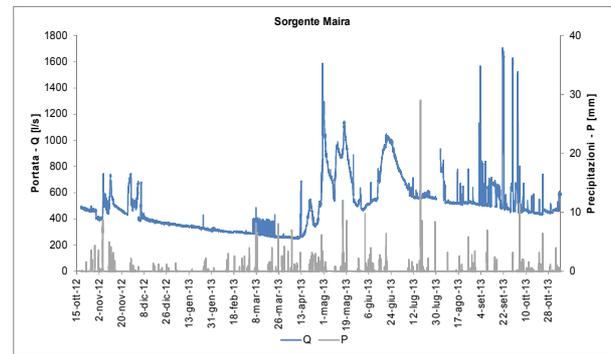


Fig. 9b – Andamento di portata e precipitazione della sorgente Maira

L'idrogramma della sorgente Maira indica una portata intorno a 470 l/s, interrotto da una serie di blandi incrementi in seguito a precipitazioni non particolarmente abbondanti, riassorbite nell'arco di circa un mese. A partire da inizio dicembre inizia una graduale discesa della portata che passa da 410 l/s, a 250 l/s a inizio aprile, raggiungendo il minimo valore registrato. Da questa data i valori iniziano a risalire in seguito alla piena primaverile quando dopo le piogge di maggio 2013 si raggiunge un picco massimo di portata pari a circa 1600 l/s. In seguito a tale episodio il flusso idrico scende rapidamente di quasi 1000 l/s nell'arco di una settimana. La mineralizzazione delle acque della sorgente è decisamente elevata a causa della presenza di alte concentrazioni in solfati, calcio e magnesio e presenta in seguito alle blande piene autunnali decrementi di circa 20 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (645 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 625 $\mu\text{S}/\text{cm}$). In seguito alla magra invernale la conducibilità elettrica mostra un lento e graduale incremento raggiungendo il valore massimo di 690 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Ad iniziare dalle piene di fusione nivale, la mineralizzazione decresce di circa 60 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Durante la piena principale, la conducibilità elettrica presenta un ulteriore abbassamento dei valori di circa 90 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Sistemi con rete a circolazione dispersiva, contraddistinguono ammassi rocciosi caratterizzati da una intensa fratturazione, anche a piccola scala, con numerose famiglie di discontinuità interconnesse, tanto da costituire acquiferi assimilabili a quelli di un mezzo poroso in ghiaie e sabbie. Non esistono vie di flusso preferenziali ma solo una complessa rete di drenaggio, piuttosto omogenea e con una superficie piezometrica abbastanza regolare.

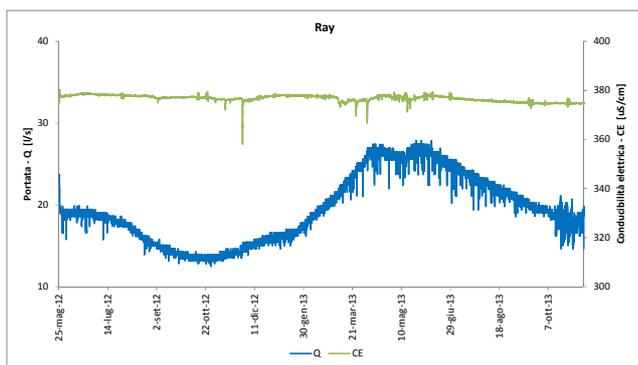


Fig. 10a – Andamento di portata e conducibilità elettrica della sorgente Ray

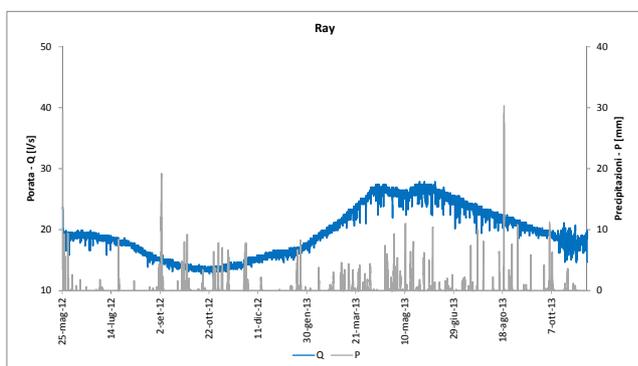


Fig. 10b – Andamento di portata e precipitazione della sorgente Ray

Le figure 10a-10b descrivono le variazioni di portata, conducibilità elettrica e di livello della sorgente Ray da maggio 2012 a novembre 2013. I grafici mettono in evidenza come le acque si muovano lentamente nell'ammasso roccioso con variazioni contenute e incrementi di Q temporaneamente differenziati rispetto ai corrispondenti eventi infiltrativi, andamento tipico dei sistemi con rete a circolazione dispersiva.

CONCLUSIONI

I dati fino ad oggi raccolti rappresentano un'importante base di conoscenza per quanto riguarda le risorse idriche sotterranee soprattutto in termini di disponibilità e qualità delle stesse in funzione di programmi di eventuale utilizzo in occasione di particolari necessità e, comunque, di protezione e salvaguardia.

Assume un ruolo fondamentale l'attività di monitoraggio in continuo delle sorgenti per comprendere i meccanismi di ricarica degli acquiferi e verificare possibili variazioni indotte dai cambiamenti di temperatura, portate e conducibilità elettrica specifica.

Un'analisi completa e prolungata delle sorgenti permetterà di definire il modello concettuali alla base degli acquiferi carsici. Il modello concettuale, nell'idrogeologia come in tutti i settori di ricerca, può essere interpretato come un buon punto di vista grazie al quale i meccanismi che risultano complessi appaiono più chiari e comprensibili.

