

ALMA MATER STUDIORUM A.D. 1088
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

SCUOLA DI SCIENZE

Corso di Laurea in Scienze Geologiche

Dipartimento di Scienze Biologiche, Geologiche ed Ambientali

Relazione di Laurea

BILANCIO IDROGEOLOGICO SPERIMENTALE DI UN
ACQUIFERO IN OFIOLITI NELL'APPENNINO PARMENSE
(MONTE PRINZERA)

Candidato:
Anna Monti

Relatore:
Prof. Alessandro Gargini
Co-relatore:
Dott. Stefano Segadelli
(Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli, R.E.R.)

Sessione II
Anno Accademico 2016-2017

Premessa

Introduzione	1
1) Inquadramento dell'area di studio	3
1.1 Geografico	3
1.2 Meteo-climatico	6
1.3 Geomorfologico e pedologico	12
1.3.1 Forme di origine strutturale	14
1.3.2 Forme e depositi dovuti alle acque ruscellanti	16
1.3.3 Forme e depositi dovuti ai movimenti di massa	17
1.3.4 Depositi di degradazione meteorica	18
1.3.5 Elementi di origine antropica	19
1.3.6 Inquadramento pedologico	19
1.4 Geologico a scala regionale	19
1.4.1 Domini paleogeografici	24
1.4.1.1 Ligure	25
1.4.1.2 Subligure	26
1.4.1.3 Toscano	26
1.4.1.4 Umbro-Marchigiano	27
1.4.1.5 Epimesoalpino ed Epiligure	27
1.5 Geologico dell'area di studio	27
1.6 Idrogeologico e geochimico	33
2) Materiali e metodi	36
2.1 Cartografia tematica e immagini telerilevate	36
2.2 Metodologia campionamento acque sorgive	37
2.3 Metodologie analitiche di laboratorio	43
2.3.1 Titolazione Acido-base	43
2.3.2 Spettrofotometria nel visibile (Colorimetria)	44
2.3.2.1 Determinazione ione ammonio	46
2.3.2.2 Determinazione ione nitrito	46
2.3.3 Spettrofotometro ad assorbimento atomico (AAS)	47
2.3.4 Cromatografia Ionica	50
2.4 Analisi idrologica dell'esaurimento: descrizione metodologica	53
2.4.1 Classificazione delle sorgenti in base ai sistemi di flusso	53
2.4.1.1 Sistema locali di flusso di versante (tipo S)	55

2.4.1.2. Sistemi regionali di flusso (tipo T)	56
3) Risultati e discussione	58
3.1. Presentazione dati monitoraggio in discontinuo delle sorgenti nell'area di studio	58
3.1.1 Monitoraggio in discontinuo delle sorgenti;	58
3.1.2 Analisi dell'esaurimento;	60
3.1.3 Classificazione delle emergenze secondo i sistemi di flusso;	70
3.1.4 Stima della ricarica diretta (Q _m).	72
3.2 Presentazione dei dati chimici	74
3.2.1 Descrizione dei dati idrochimici	74
3.2.2 Classificazione delle acque e diagrammi di variazione	76
3.3 Bilancio Idrogeologico del Massiccio ofiolitico del Monte Prinzerà	85
3.3.1 Calcolo del Coefficiente di Infiltrazione	85
3.3.1.1 Relazione precipitazione – quota	86
3.3.1.1.1 Curve ipsometriche del bacino d'alimentazione	89
3.3.1.1.2 Stima della precipitazione totale annua per la placca ofiolitica	90
3.3.2 Stima dell'Evapotraspirazione totale reale del Massiccio del M. Prinzerà	91
3.3.2.1 Stima della temperatura annua media e di E _R	92
3.3.3 Stima del Surplus o Precipitazione efficace	94
3.3.4 Stima della Ricarica totale (R) del Massiccio del M. Prinzerà	94
3.4 Il Coefficiente di Infiltrazione C _i ed il Coefficiente di infiltrazione potenziale (CIP)	94
4) Conclusioni	95
Bibliografia	97
Allegato 1 - Schede descrittive delle sorgenti monitorate	104

Premessa

Il presente studio, nell'ambito di una collaborazione scientifica attiva tra il Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli della Regione Emilia Romagna e l'Università di Bologna, ha come scopo la determinazione sperimentale di un bilancio idrogeologico di un acquifero fratturato ospitato in un ammasso ofiolitico nell'Appennino settentrionale (Monte Prinzera, comuni di Fornovo di Taro e Terenzo, provincia di Parma).

Grazie alla strumentazione messa a disposizione dal Dipartimento BiGeA dell'Università di Bologna e dal Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli della Regione Emilia-Romagna (SGSS), che ha anche fornito gli adeguati supporti cartografici tematici in formato digitale ed ha supervisionato la definizione del modello geologico concettuale di riferimento, lo studio è partito nel mese di Luglio 2011, con una prima fase di verifica delle ubicazioni delle sorgenti libere e captate presenti nell'area di studio. Nella seconda fase, terminata con l'ultima campagna di monitoraggio idrogeologico alla fine di Ottobre 2011, si è cercato di acquisire il maggior numero di dati "*in situ*" attraverso misurazioni dei parametri fisico-chimici delle sorgenti e misure dirette di portata eseguite in condizioni di magra; quest'ultime al fine di determinare le corrispondenti curve di esaurimento. Si è passati poi ad una fase di analisi in laboratorio dei campioni d'acqua raccolti, con la finalità di caratterizzare a livello idrochimico gli stessi.

Tutte queste attività sono state svolte al fine di classificare i sistemi di circolazione idrica sotterranea che alimentano le sorgenti e di definire il bilancio idrogeologico del massiccio del M. Prinzera.

Lo studio proposto, assieme ad un'altra tesi condotta sul massiccio del monte Penna (Parma), rappresentano un primo tentativo di analisi idrogeologica quantitativa di un acquifero nord-appenninico in ofioliti. Tale litologia ha una importanza idrogeologica regionale dato che la maggior parte dei litotipi presenti in molte porzioni dell'Appennino Settentrionale hanno permeabilità medio-bassa e le ofioliti, in quanto rocce ignee, possono venire a costituire, per litologia e struttura, un acquifero importante per il territorio. L'interesse della tesi deriva dal fatto che vi sono scarse conoscenze in letteratura sulla idrogeologia delle ofioliti.

Introduzione

Il presente lavoro di tesi rientra in un più ampio progetto di collaborazione alla ricerca svolto in collaborazione fra Università di Bologna (Dipartimento di Scienze Biologiche, Geologiche ed Ambientali) e Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli della Regione Emilia-Romagna e volto alla caratterizzazione geologica di acquiferi fratturati (*hard-rock aquifers*) sedi di significative risorse idriche nell'Appennino Emiliano - Romagnolo.

L'area oggetto di studio ricade nella provincia di Parma, all'interno dei comuni di Fornovo di Taro e Terenzo. Nello specifico sono state studiate le sorgenti, captate e naturali, sgorganti dalla placca del Monte Prinzera; caratteristica di questa placca è la natura ofiolitica (peridotiti serpentizzate) delle rocce che la compongono. Altra caratteristica peculiare è che la placca è una unità idrogeologica ben definita rispetto a formazioni tamponanti circostanti e quindi ben si presta ad una analisi di bilancio idrogeologico.

L'obiettivo di questo lavoro consiste in primo luogo nel classificare le sorgenti secondo il sistema di flusso a loro associato, a partire dalla determinazione sperimentale del coefficiente di esaurimento che rispecchia la velocità di svuotamento del bacino idrogeologico della sorgente, e, successivamente, di fare una stima del coefficiente d'infiltrazione legato alle unità geologiche costituenti l'ammasso roccioso acquifero in modo tale da arrivare poi alla realizzazione di un bilancio idrogeologico sperimentale applicato alla placca ofiolitica oggetto di studio.

La natura ofiolitica delle rocce dà luogo, oltre che ad un deflusso sorgentifero peculiare nell'ambito della catena nord appenninica, alla nascita di particolari habitat, definibili come GDE (Groundwater Dependent Ecosystems) che ospitano popolamenti vegetali e animali che hanno bisogno del deflusso sotterraneo per la loro sussistenza e che meritano pertanto protezione; per questo motivo, il Monte Prinzera, oltre che costituire la riserva omonima gestita dalla Provincia di Parma, fa parte anche di una rete ecologica europea di tutela denominata "Rete Natura 2000" formata da Zone di Protezione Speciali (ZPS) e da Siti di Importanza Comunitaria (SIC).

Le sorgenti oggetto di monitoraggio sono in numero di 8 e sono così suddivise:
- N° 5 sorgenti costituiscono una riserva idropotabile e sono sotto la gestione dell'ente "Montagna 2000";

- N° 3 sorgenti libere, di cui una rappresentante una anomalia idrochimica (elevato valore di pH e composizione sulfurea).

Lo studio si è articolato secondo vari fasi di seguito elencate:

- analisi della cartografia geologica disponibile;
- interpretazione delle foto aeree della zona;
- monitoraggio di carattere discontinuo delle sorgenti captate e libere con cadenza pressoché quindicinale durante il periodo di recessione estiva dell'anno 2011 e precisamente da Luglio ad Ottobre;
- prelievo ed analisi chimica inorganica delle acque di sorgente (analisi svolta presso il laboratorio di Geochimica del Dipartimento BiGeA);
- elaborazione dati acquisiti;
- realizzazione di un bilancio idrogeologico sperimentale.

1) Inquadramento dell'area di studio

1.1 Geografico

L'area oggetto di studio è posta nel settore emiliano dell'Appennino settentrionale, ricade nella provincia di Parma e più precisamente interessa i comuni di Fornovo Taro e Terenzo (**Figure 1 e 2**). Il luogo di indagine è raggiungibile percorrendo l'Autostrada A1 Bologna-Milano fino al raccordo Parma Ovest, si prosegue poi sull'Autostrada A15 Parma - La Spezia fino all'uscita del casello autostradale Fornovo di Taro.

Da un punto di vista cartografico l'intera area rientra nel Foglio 199 "Parma Sud" alla scala 1:50.000 della carta I.G.M.I., mentre alla scala 1:10.000 della Cartografia Tecnica Regionale le sezioni utili ai fini del presente studio sono le seguenti:

Sezione N° 199090 VARANO DE' MELEGARI

Sezione N° 199100 FORNOVO DI TARO

Sezione N° 199130 CITERNA

Sezione N° 199140 CALESTANO

Sotto l'aspetto orografico, il territorio in destra del fiume Taro è caratterizzato da rilievi di natura ofiolitica quali il M. Zirone (680 m. s.l.m.), San Genesio (435 m. s.l.m.) e M. Prinzerà (736 m. s.l.m., **Foto 1**) con il vicino M. Prinzerotto (582 m. s.l.m.); altri rilievi sono rappresentati dal M. Sant'Antonio (730 m. s.l.m.), M. Albareto (835 m. s.l.m.).

Il sistema idrografico della zona è governato da due principali corsi d'acqua che sono, procedendo da ovest verso est, il fiume Taro ed il torrente Sporzana che confluisce nel Taro nei pressi di Fornovo di Taro; entrambi sono caratterizzati da numerosi corsi d'acqua minori che affluiscono rispettivamente in sinistra idraulica al fiume Taro ed in quella destra al torrente Sporzana.

L'affioramento ofiolitico ultramafico del M. Prinzerà risulta disposto lungo la direttrice Nord-Sud a costituire la dorsale spartiacque tra il fiume Taro e il torrente Sporzana.

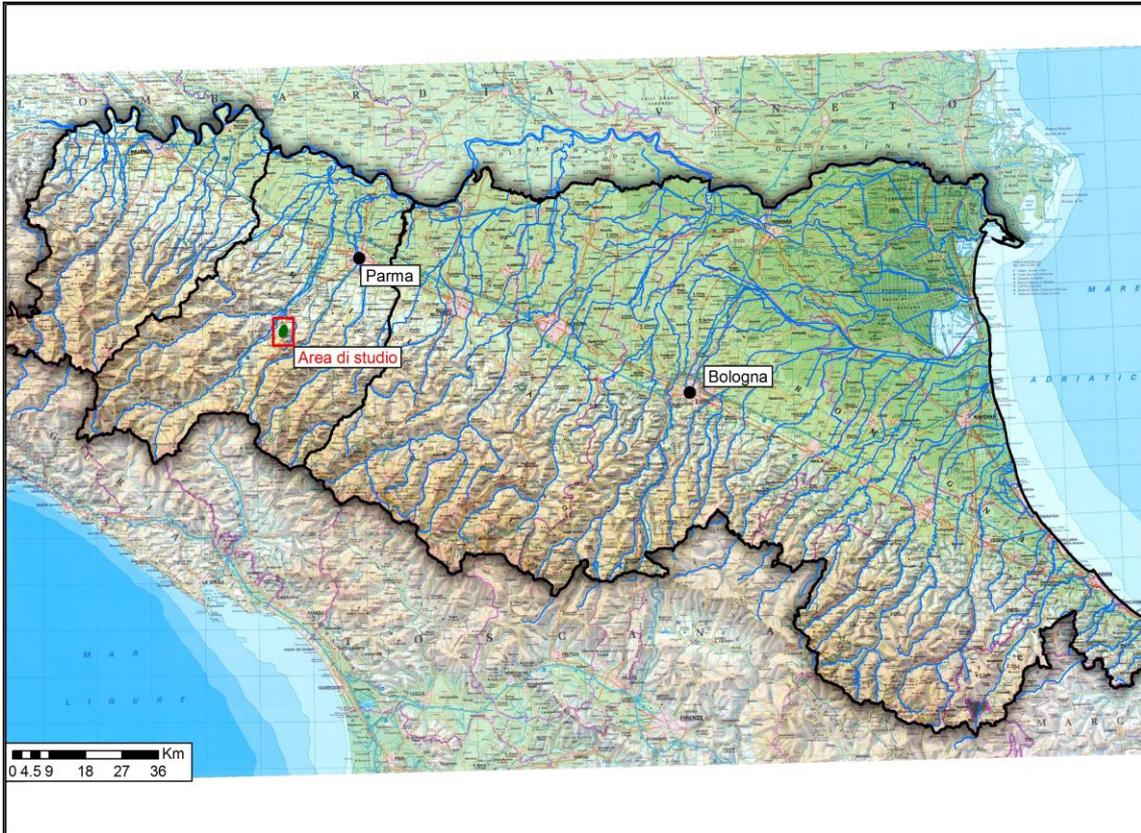


Figura 1 - Inquadramento geografico dell'area di studio.



Figura 2 - Inquadramento geografico di dettaglio.

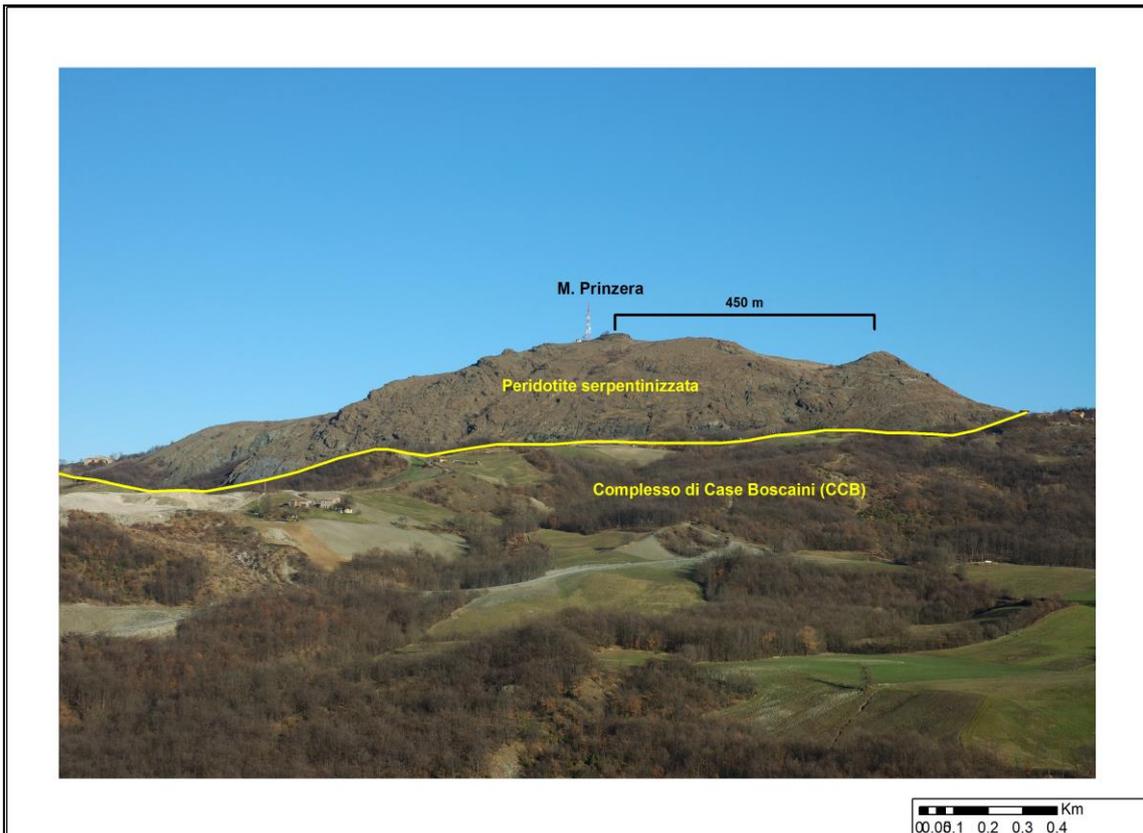


Foto 1 - Panoramica versante ovest M. Prinzerà. Appare evidente l'isolamento litologico, e quindi anche idrogeologico, dell'unità rispetto ai termini a dominante argillitica circostanti.

1.2 Meteo-climatico

La stazione meteorologica considerata per descrivere le condizioni climatiche nell'area di studio è quella di Calestano (381 m s.l.m.), **Fig. 3**.

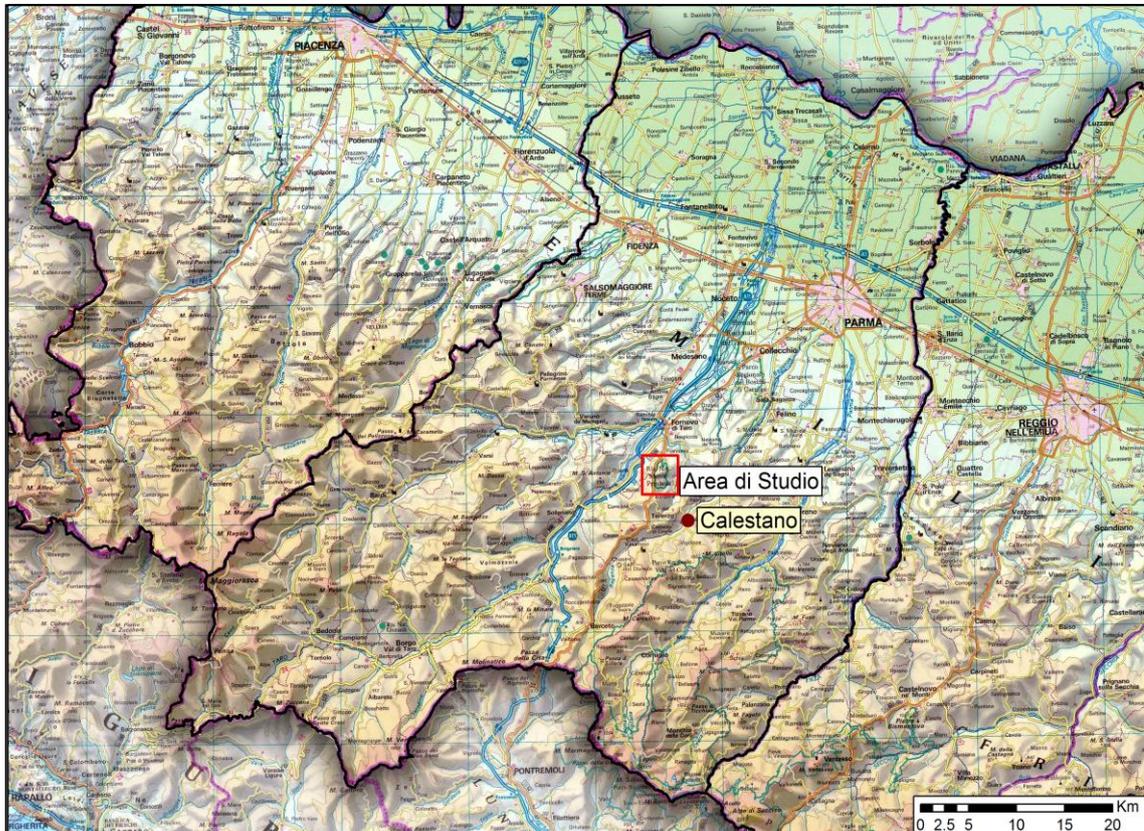


Figura 3 - Ubicazione della stazione meteorologica.

La scelta è stata fatta in funzione della disponibilità di dati e della vicinanza con l'area di studio. Dall'analisi dei dati relativi al periodo 2000-2013 emerge che le precipitazioni medie annue, liquide e solide, oscillano da un minimo di 589 mm (2006) a un massimo di 1265 mm (2010), con una media complessiva di 919 mm. Il regime pluviometrico è caratterizzato da due massimi, un massimo assoluto in corrispondenza dei mesi di settembre-ottobre-novembre ed un massimo relativo in corrispondenza dei mesi di marzo-aprile-maggio-giugno e da due minimi, un minimo assoluto nel mese di luglio ed un minimo relativo nel mese di gennaio-febbraio.

I mesi con il maggior numero di giorni piovosi sono aprile per quanto riguarda la stagione primaverile, novembre per l'autunno, mentre il mese con il minore numero di giorni piovosi è luglio (**Fig.4**).

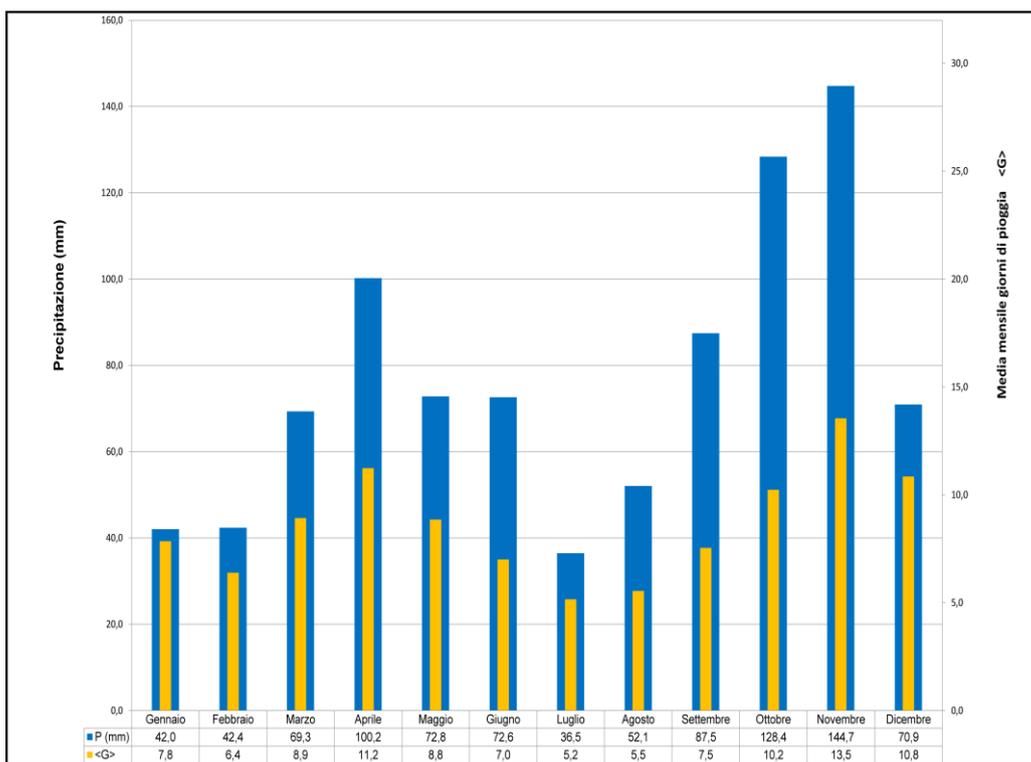


Figura 4 - Media dei giorni di pioggia (in giallo) e precipitazione mensile media (in blu) per la serie storica 2000-2013 stazione meteorologica di Calestano.

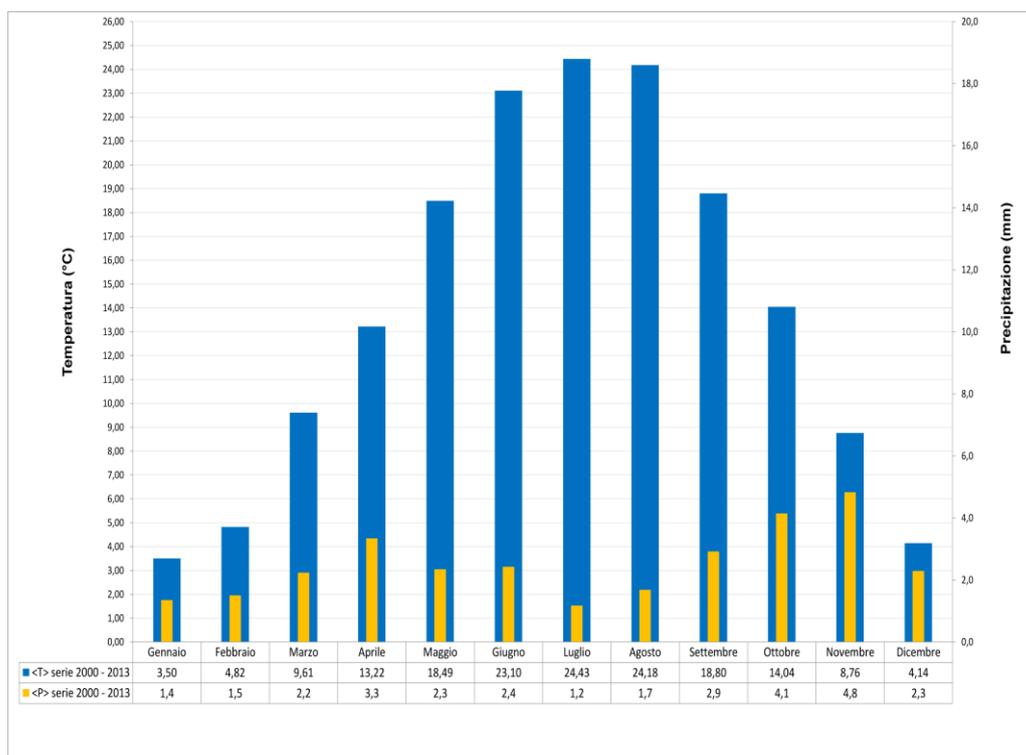


Figura 5 - Andamento della temperatura mensile media (in blu) e della precipitazione mensile media (in giallo) per la serie storica 2000-2013, stazione meteorologica di Calestano.

Per quanto riguarda la temperatura (**Fig. 5**), i dati, relativi alla serie 2000-2013, indicano temperature minime e massime assolute che possono raggiungere rispettivamente i -15°C e 41°C.

Il numero medio di giorni nevosi oscilla tra i 10 ed i 25 all'anno, generalmente distribuiti tra novembre e febbraio, con punte massime in gennaio e a seguire, febbraio e dicembre. L'altezza massima del manto nevoso può raggiungere i 60 cm. Il dato è importante per la ricarica

I dati descritti nelle **Figure 4 e 5** sono congrui con la classificazione climatica di Köppen (1936). L'area di studio ricade quindi nella zona a clima temperato delle medie latitudini con estate calda ed una mancanza di una netta stagione arida (Cfa, Tabella 1). Per una descrizione più rappresentativa della situazione italiana, secondo Pinna (1977), il regime termico del territorio dell'area di studio rientra nella categoria clima temperato subcontinentale. Infine, secondo Panizza (1995), l'area di studio del M. Prinzera ricadrebbe nella zona morfoclimatica temperata a clima mediterraneo. Nella **Tabella 1** sono messe a confronto le classificazioni menzionate con i dati ricavati dal presente studio.

Köppen, 1936 (Cfa)	Pinna (1977)	Panizza (1995)	Presente studio
(C) - Climi temperati delle medie latitudini: dove il mese più freddo ha una temperatura media inferiore a 18°C ma superiore a -3°C.	Temperatura media del mese più freddo compresa tra -1 e 3.9°C	Temperatura media del mese più freddo sono sempre superiori allo 0°C e presentano massime inferiori ai 15°C	3,5°C del mese di gennaio. Temperatura media massima del mese più freddo 7,8°C
(f) – Umido: almeno un mese ha una temperatura media superiore a 10°C	Da 1 a 3 mesi con temperatura media superiore a 20°C		7 mesi, da aprile a ottobre con temperatura media superiore a 10°C. 3 mesi con temperatura media superiore a 20°C
(a) Il mese più caldo è superiore a 22°C			Luglio con 24,43°C
	Temperatura media annua compresa tra 10 e 14,4 °C		14°C
	Escursione annua della temperatura superiore a 19°C		20,9°C
		Precipitazione media annua inferiore ai 1000mm	919mm
		Temperature medie nel mese più caldo non superiori a 28-30°C	24,4°C

Tabella 1 - Confronto tra le classificazioni climatiche menzionate nel testo.

Sulla base del valore di precipitazione media annua (919 mm) e di temperatura media annua (14°C), relativamente alla serie storica 2000-2013, l'area del M. Prinzero ricade in una situazione favorevole ai processi elementari di disgregazione fisica e di alterazione chimica moderata (Panizza, 1995 e **Fig. 6**).

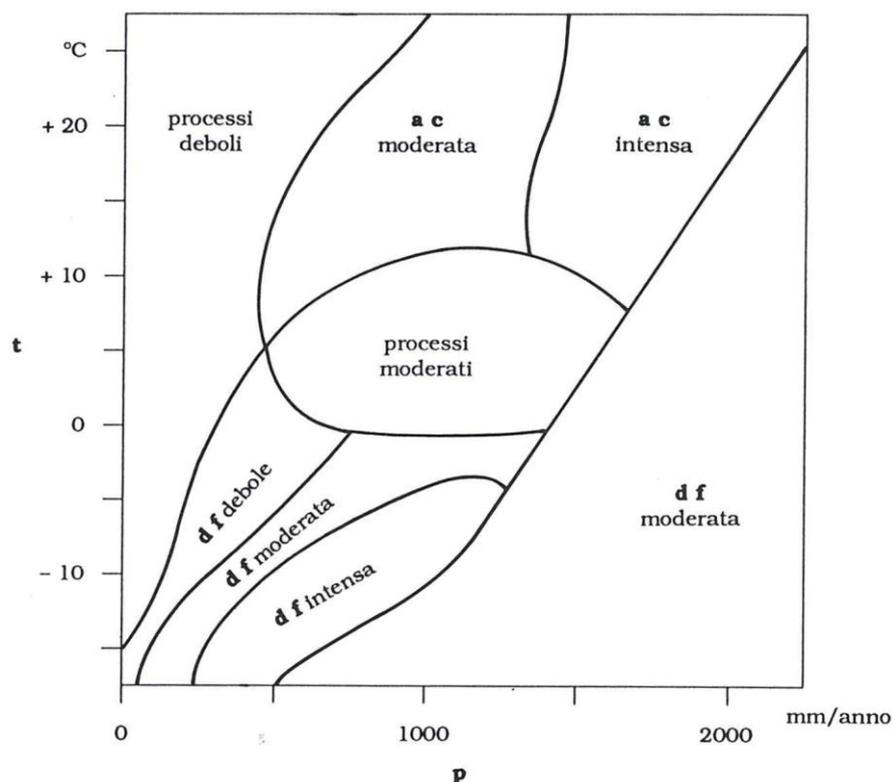


Figura 6 - Relazione fra le condizioni di precipitazione media annua (p) e di temperatura media annua (t), da Panizza (1995).

Per ciò che concerne le correnti appenniniche, dalla stazione anemometrica di Varsi, una delle più vicine al M. Prinzero, le direzioni dei venti prevalenti sono due: sud-ovest 50% e nord-est 30%. Questo dato potrebbe essere in parte dovuto alle particolarità del sito di misura ma A.R.P.A.E. - Sezione Idro-Meteo-Clima, che ha effettuato l'elaborazione, ritiene che le direzioni prevalenti siano quelle che caratterizzano l'area di studio (**Figure 7 e 8**).

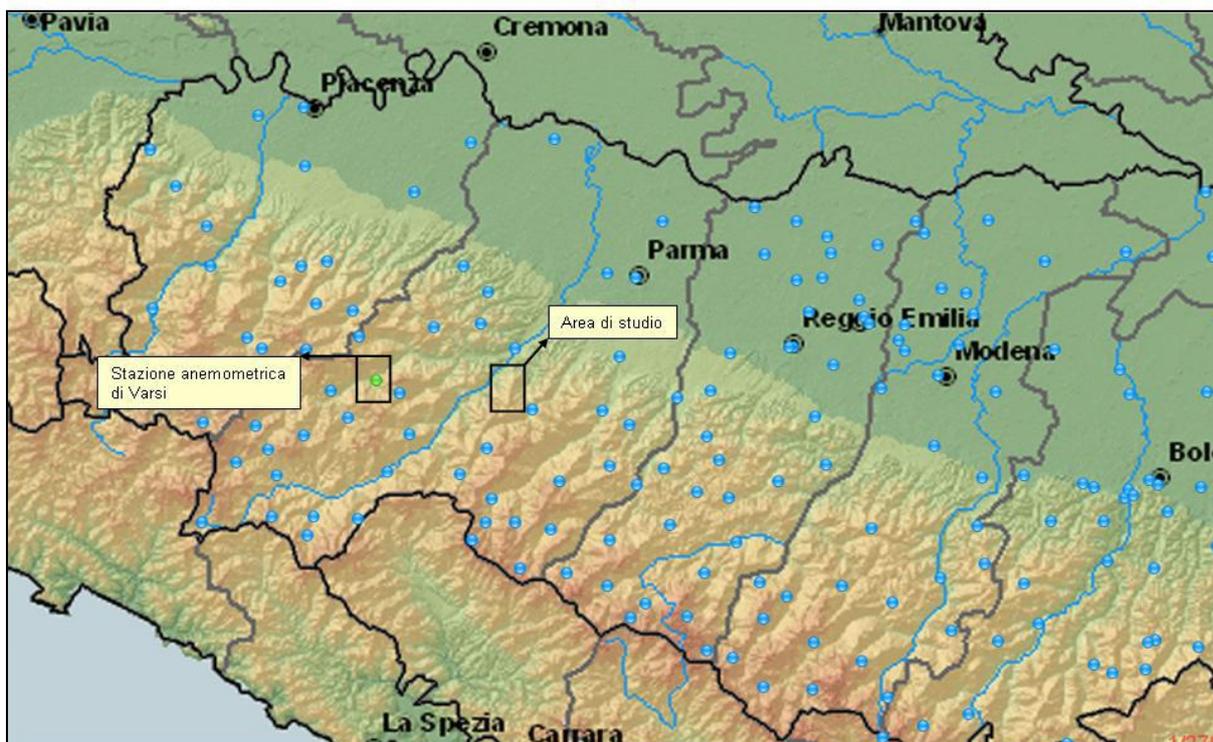


Figura 7 – Ubicazione della stazione anemometrica di Varsi

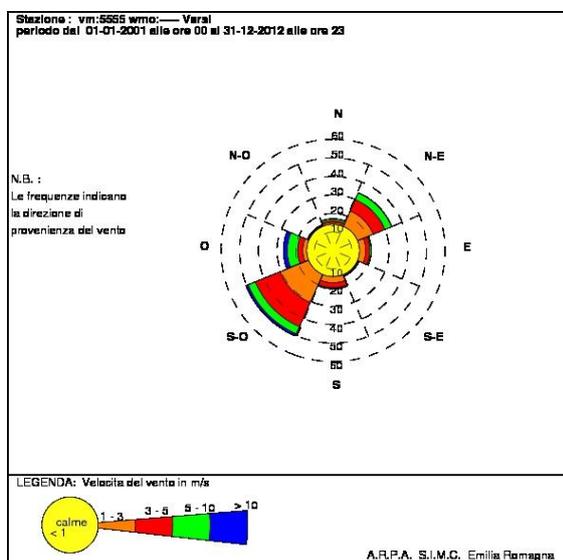


Figura 8 - Direzioni dei venti prevalenti nella stazione anemometrica di Varsi.

1.3 Geomorfologico e pedologico

La morfologia dell'area di studio risulta assai diversificata e risulta descritta nelle sue caratteristiche principali dai seguenti autori: AA.VV. (1979); Lombini et al., (1998); Sacconi (1990); Venturelli (2002); Marchiani & Venturelli (2006); Segadelli (2014). Il massiccio del Prinzero è un insieme di canali in roccia, pareti rocciose, creste, cavità e massi che emerge per erosione selettiva dai più dolci terreni sedimentari argillosi sottostanti e circostanti.

I versanti orientali sono i più acclivi con frequenti pareti verticali e strapiombi (**Foto 2**) mentre le pendici occidentali, pur presentando notevoli affioramenti rocciosi, sono complessivamente meno acclivi. In entrambi i casi numerose sono le aree denudate o con copertura scarsa o assente (**Foto 1**).



Foto 2 - Panoramica del versante orientale del M. Prinzero.

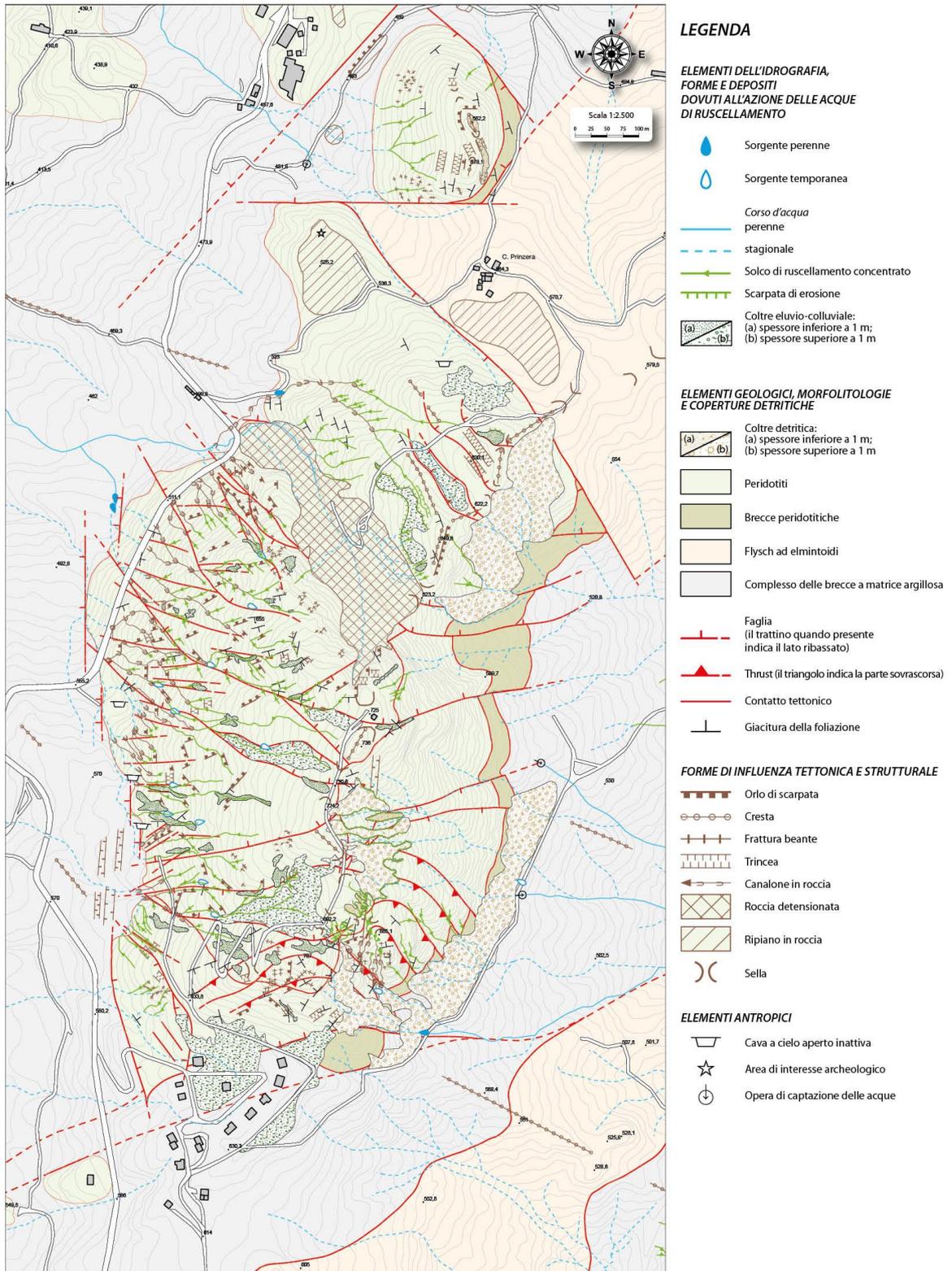


Figura 9 - Carta degli elementi geomorfologici di influenza tettonica e strutturale del Monte Prinzerà (Segadelli et al., 2014).

In particolare, Segadelli (2015) propone una carta geomorfologica che rappresenta il primo apporto alla conoscenza della geomorfologia di dettaglio dell'affioramento ofiolitico del M. Prinzerà (**Fig. 9**). Nello specifico la carta dimostra l'importanza del contributo della geomorfologia nell'evidenziare le forme del rilievo legate alla struttura della roccia determinando le vie di infiltrazione e percolazione dell'acqua nell'ammasso ultramafico. Le principali forme e depositi riconosciuti e cartografati in carta sono:

1.3.1 Forme di origine strutturale

Lungo le pendici del M. Prinzerà sono state riconosciute forme a sviluppo lineare come trincee (**Foto 3**), canali in roccia (**Foto 4**) e pareti rocciose (**Foto 5**). Gli orli di scarpata e i canali in roccia presentano due orientazioni preferenziali, NO-SE e NE-SO, e uno sviluppo lineare da metrico a decametrico. Le scarpate ad esse associate sono sub-verticali, poco smussate e risultano distribuite in modo preferenziale nel settore occidentale dell'ammasso ofiolitico. I canali in roccia sono poco gerarchizzati con fondo roccioso concavo e subordinatamente ricoperto da detrito eluvio-colluviale. Le trincee mostrano anche una terza orientazione preferenziale N-S, hanno una forma stretta e allungata, delimitate da scarpate poco smussate, con il fondo spesso riempito di materiale detritico con scarsa matrice. Le dimensioni medie sono: larghezza decimetrica, lunghezza decametrica e profondità da decimetrica a metrica. Risultano distribuite indistintamente su tutta la superficie dell'ammasso ofiolitico. Queste trincee sono connesse al sollevamento più recente del margine appenninico durante il Pleistocene-Olocene (Di Dio et al., 2005). Questa distensione ha prodotto delle faglie dirette e un generalizzato detensionamento della fratturazione, soprattutto di quella orientata sulla direzione Nord-Sud (**Foto 6**).

Sono state individuate altre forme come creste e selle che mostrano direzione Est-Ovest. Queste creste si estendono per lunghi tratti dell'ammasso ofiolitico come testimoniato, per esempio, dalla dorsale del M. Prinzerà che non mostra un andamento lineare in pianta ma risulta marcatamente discontinuo. Le selle sono ubicate in modo preferenziale lungo la porzione centrale della dorsale del M. Prinzerà. L'ampiezza delle depressioni va da un minimo di 10 m a un massimo di 45m.

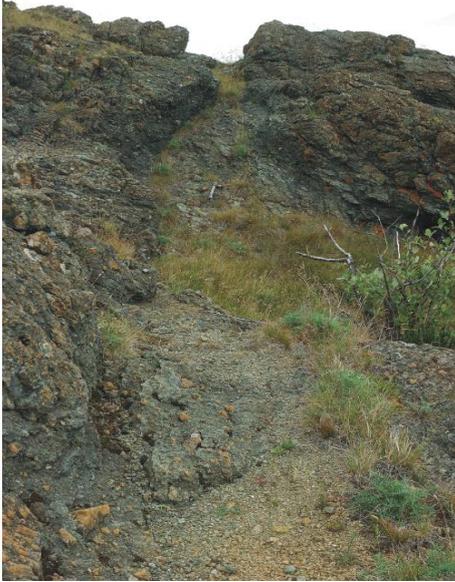


Foto 3 - Esempio di trincea.

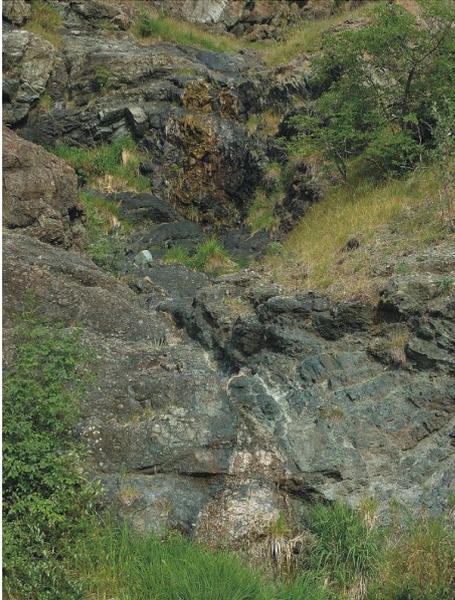


Foto 4 - Esempio di canalone in roccia.



Foto 5 - Esempio di parete rocciosa.



Foto 6 - Esempio di fratturazione beante. L'ampiezza dell'aperura va da un minimo di pochi millimetri a un massimo di circa 8 cm.

1.3.2. Forme e depositi dovuti alle acque ruscellanti

Tra le forme erosive trovano larga diffusione i solchi di ruscellamento. Queste forme presentano un andamento lineare e parallelo tra loro. L'incisione delle acque correnti si sviluppa prevalentemente a carico delle morfologie di natura ofiolitica. Sviluppano un modello di drenaggio a canali poco gerarchizzati, non molto profondi e ravvicinati e uno sviluppo lineare da metrico a decametrico. Mostrano due orientazioni preferenziali, NO-SE e NE-SO. Sono particolarmente sviluppati lungo il versante occidentale.

Meno diffuse sono le scarpate di erosione modellate prevalentemente nei depositi di alterazione e residuali e subordinatamente nelle coltri eluvio-colluviali.

Sono state cartografate coltri eluvio-colluviali (**Foto 7**) composte da una matrice fine sabbioso-limosa inglobante ciottoli arrotondati di natura ofiolitica; la matrice può apparire fortemente arrossata. Questi depositi sono privi di elementi calcarei e risultano presenti solo nel settore occidentale dell'ammasso roccioso. La natura di questi depositi risulta intimamente legata al substrato di natura peridotitica, si possono accumulare lungo tratti a modesta acclività o essere confinate all'interno di vallecole a fondo concavo. Presentano una alta capacità di infiltrazione.



Foto 7 – Esempio di coltre eluvio-colluviale.

1.3.3 Forme e depositi dovuti ai movimenti di massa

Sono state riconosciute falde detritiche e accumuli di frana. Le prime hanno una forma a ventaglio, sono coalescenti e costituite da elementi litoidi spigolosi, generalmente privi di matrice. Si sono formate per la caduta di roccia a seguito dei processi di disgregazione meccanica e sono accumulate alla base di scarpate rocciose interessate da intensa fratturazione. Queste forme di deposito possono essere rielaborate successivamente dalle acque di ruscellamento. Sono sviluppate lungo il versante orientale dell'affioramento peridotitico dove sono presenti estese pareti rocciose fortemente inclinate o sub-verticali.

Per quanto riguarda la stabilità dei versanti, l'area di studio è interessata da diverse frane. In generale sono stati individuati sostanzialmente tre tipi di frane (Di Dio et., 2005). Si tratta di scivolamenti, colamenti e frane complesse. Dal punto di vista della morfodinamica sono stati riconosciuti processi attivi e quiescenti. La distinzione tra frane attive e quiescenti è stata fatta sulla base di osservazioni di campagna senza l'ausilio di strumentazione.

Nelle frane attive il corpo è ben riconoscibile, generalmente di modeste dimensioni e la superficie del deposito è priva di copertura vegetale. Sono costituite da accumuli caotici di elementi litoidi di natura poligenica in matrice pelitica (Di Dio et al., 2005, Segadelli 2014, Servizio Geologico Nazionale 2005).

Le frane quiescenti hanno, generalmente, una maggiore estensione e tratti più o meno ampi di tali aree possono presentare riattivazioni localizzate. La superficie del deposito di frana ha la copertura vegetale. Sono costituite da ammassi detritici

incoerenti aventi una tessitura caratterizzata da clasti litologicamente eterogenei e granulometricamente eterometrici, supportati da matrice pelitica più o meno abbondante. Hanno una struttura generalmente di aspetto caotico e, nei corpi di maggior volume, comprendono grandi porzioni rocciose dalla stratificazione apparentemente poco disturbata.

I colamenti presentano un corpo ad andamento nastriforme, risultano confinati lungo le linee di impluvio, mentre il piede mostra generalmente una forma a ventaglio. I depositi sono costituiti in prevalenza da una matrice pelitica e/o pelitico-sabbiosa che include elementi litoidi di natura calcarea prevalente.

La carta geomorfologica di Segadelli (2014) mette in luce la presenza, tutto attorno al M. Prinzero, di numerose frane come descritte in precedenza.

Esse sono da mettere in relazione con la diversa attitudine all'infiltrazione delle rocce affioranti nell'area di studio. In particolare, il contatto tra le rocce peridotitiche serpentinizzate, permeabili per l'intensa fratturazione, e il sottostante complesso delle breccie a matrice argillosa dà luogo a numerose sorgenti che favoriscono l'instabilità dei versanti (Panizza, 1995).

1.3.4 Depositi di degradazione meteorica

Coperture detritiche che consistono in detrito di colore prevalente grigio chiaro, generalmente caratterizzate da clasti litoidi eterometrici ed eterogenei di natura ofiolitica e calcarea, sostenuti da matrice pelitica. Essi non presentano uno spessore omogeneo e risentono della conformazione del substrato che tendono a colmare ispessendosi nelle zone più depresse (**Foto 8**)

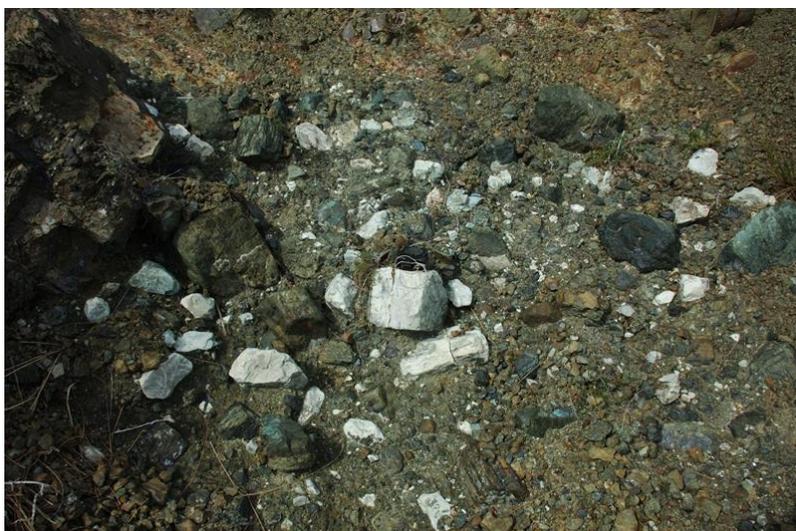


Foto 8 - Esempio di coltre detritica con elementi calcarei e ofiolitici.

1.3.5 Elementi di origine antropica

Da segnalare le modificazioni di origine antropica recente che hanno modificato la morfologia e l'assetto pedologico originale come:

- le diverse cave abbandonate visibili lungo il tracciato della S.S. 62 della Cisa. Una di queste è stata recentemente recuperata e ospita un orto botanico;
- le piste di accesso e gli scavi per la realizzazione delle captazioni e della rete acquedottistica;
- i lavori presso la cima del Monte Prinzera per ospitare gli impianti R.A.I.

1.3.6. Inquadramento pedologico

Per la descrizione dei profili del suolo della Riserva si rimanda a Saccani (1990) dove l'autore individua i profili che caratterizzano i substrati ofiolitici e sedimentari-argillosi. Sulle ofioliti Saccani (1990) ha riconosciuto suoli a profilo A-R (litosuoli) nei versanti più ripidi e suoli a profilo A-Bw-(C)-R (suoli bruni) nelle situazioni morfologiche più stabili.

Nel complesso i suoli sulle ofioliti hanno una scarsa fertilità causa la poca abbondanza di elementi nutritivi, quali fosforo, potassio, calcio, e alla contemporanea elevata concentrazione di magnesio e ferro.

Infine, dalle analisi chimiche del substrato roccioso e di alcuni orizzonti pedologici prodotti da alterazione superficiale, Marchiani & Venturelli (2006) evidenziano come la concentrazione di alcuni elementi quali Cr e Ni raggiunga valori estremamente elevati per causa naturale.

1.4 Inquadramento Geologico a scala regionale

Tradizionalmente l'Appennino settentrionale è delimitato a sud dalla linea Anzio-Ancona e a nord dall'allineamento tettonico trasversale rappresentato dalla linea Sestri-Voltaggio (Elter, 1994), che separa un settore alpino con prevalenti deformazioni verso occidente da un settore appenninico con movimenti prevalenti verso oriente (**Fig. 10**).

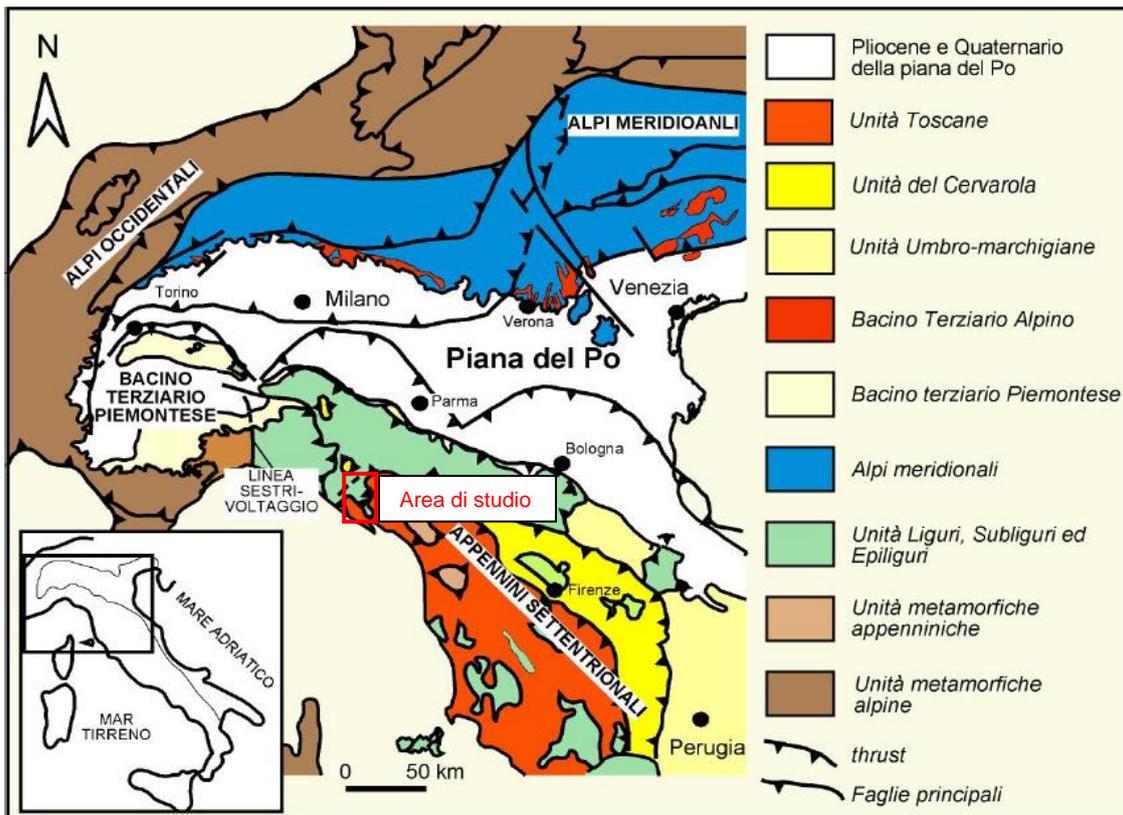


Figura 10 - Appennino settentrionale: inquadramento geologico (da di Biase & Mutti, 2002).

L'assetto attuale dell'Appennino settentrionale è il risultato di una complessa storia geologica iniziata a partire dal Cretacico superiore in seguito alla chiusura dell'Oceano Ligure Piemontese e alla susseguente collisione della placca europea con quella adriatica. Questa complessa storia geologica può essere suddivisa in due fasi principali:

- 1) fase oceanica;
- 2) fase intracontinentale.

Diverse sono le ipotesi riguardanti gli schemi evolutivi dell'orogenesi alpina e appenninica (Boccaletti et al., 1990; Principi & Treves, 1984). Qui presento il modello proposto da Elter & Marroni (1991) in cui viene illustrata l'evoluzione fra la placca africana (Apula) ed Europea a partire dal Cretaceo (**Figura 11**).

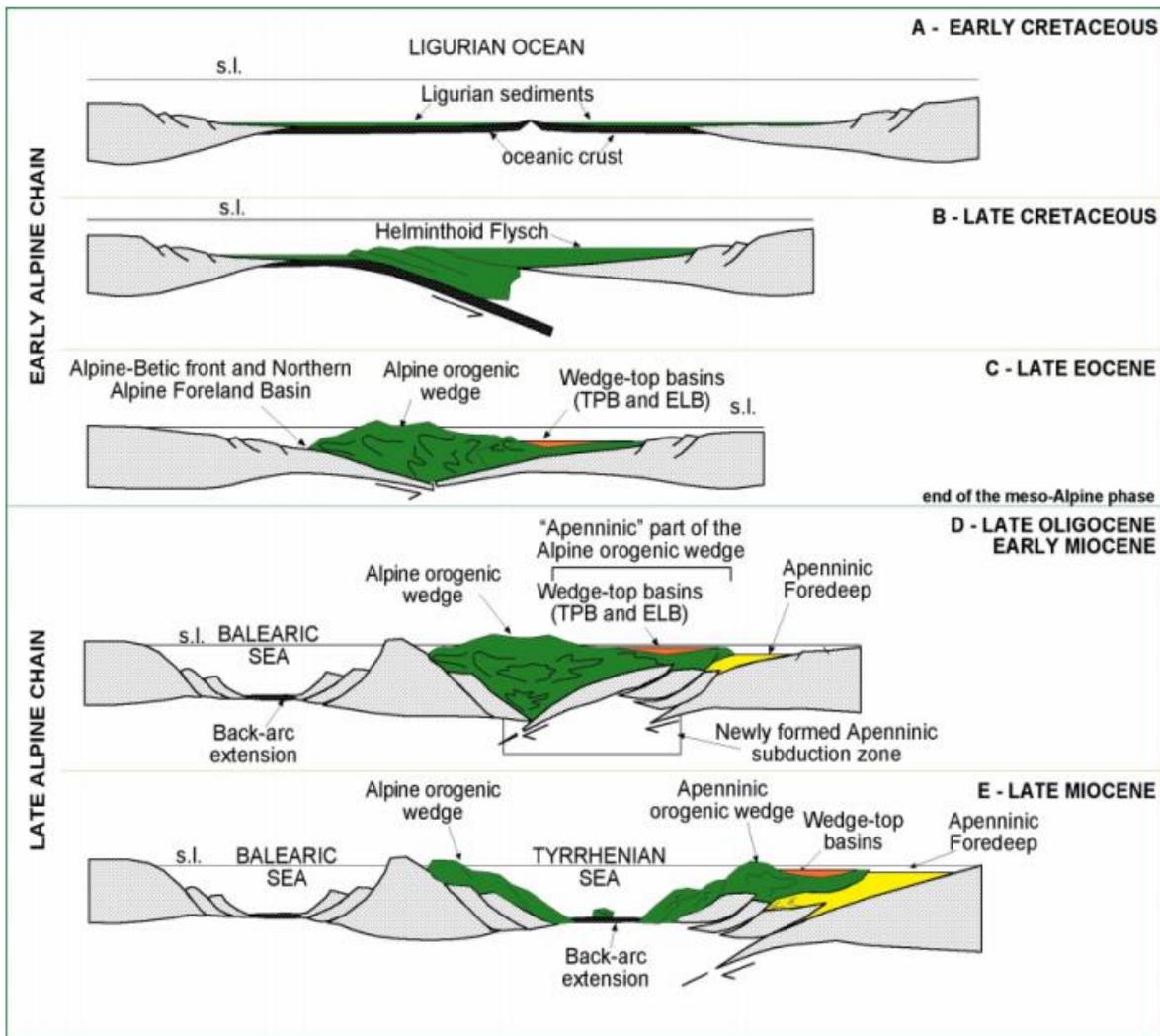


Figura 11 – Schema evolutivo relativo alla formazione degli Appennini settentrionali (da Elter & Marroni, 1991).

Le principali fasi di questo modello sono:

A) Dal Giurassico fino al Cretaceo inferiore le placche sono caratterizzate da un movimento divergente con la formazione di un'ampia crosta oceanica, attraverso la nascita dell'oceano Ligure-Piemontese. In questo periodo nel Dominio Ligure Interno la sedimentazione è essenzialmente pelagica di mare profondo con diaspri, calcari a calpionelle ed argille a palombini. Al contrario nel Dominio esterno Toscano ed Umbro-Marchigiano la sedimentazione è essenzialmente di mare basso con la deposizione di potenti successioni prevalentemente carbonatiche;

B) Nel Cretaceo superiore avviene un drastico cambio nel regime tettonico. Nel bacino che fino a quel momento era caratterizzato da fenomeni divergenti

incominciano a comparire i primi processi di convergenza. In questa fase inizia la subduzione della Placca Europea al di sotto di quella Africana con la conseguente deposizione dei Flysch ad elmintoidi;

C) Con la totale subduzione della crosta oceanica, nell'Eocene superiore avviene la collisione continentale tra le placche europea ed apula che determina una importante fase tettonica denominata Meso-Alpina o Ligure. In questa fase le falde liguri vengono sigillate da depositi definiti epi-mesoalpini formati in bacini tipo *piggy back* e facenti parte tradizionalmente del Bacino Terziario Piemontese e dei Bacini Epiliguri dell'Appennino settentrionale;

D) Nell'Oligocene superiore avviene un altro grande cambiamento nel regime tettonico della catena in formazione legato all'inversione del processo di subduzione. Se durante il Cretaceo superiore e Paleogene era la Placca Europea a subdurre al di sotto della Placca Apula ora a causa dell'apertura del bacino balearico e la conseguente rotazione in senso antiorario del massiccio Sardo-Corso il processo di subduzione subisce un'inversione costringendo la Placca Apula ad andare in subduzione al di sotto di quella Europea (**Figura 12**). Con questa inversione, perciò, ha inizio l'orogenesi appenninica, attraverso la formazione di una catena con vergenza verso i settori nord orientali; contemporaneamente al movimento dei fronti di accavallamento si generano bacini d'avanfossa lungo il margine occidentale della Placca Apula (Boccaletti et al., 1971, 1990; Mutti et al., 2002).

L'evoluzione post-collisionale dell'Appennino settentrionale è legata alla migrazione spazio-temporale del sistema catena-avanfossa in risposta al progressivo arretramento verso est della zona di flessura della litosfera dell'avampaese adriatico. In questo modo, a partire dall'Oligocene Superiore, si formano quattro principali bacini d'avanfossa, il cui depocentro migra progressivamente nel tempo verso NE, chiamate Macigno (Oligocene superiore), Cervarola (Miocene inferiore), Marnoso-arenacea (Miocene medio) e Laga (Miocene superiore). In ogni caso il movimento rotazionale in senso antiorario che, per l'insieme Sardo-Corso (in base ai dati paleomagnetici) risulta essere cessato a 16 Ma, per la penisola italiana continua grazie all'apertura del Tirreno, avvenuta nel Tortoniano, e che porta alla separazione della catena appenninica dal massiccio sardo-corso (**Figura 13**);

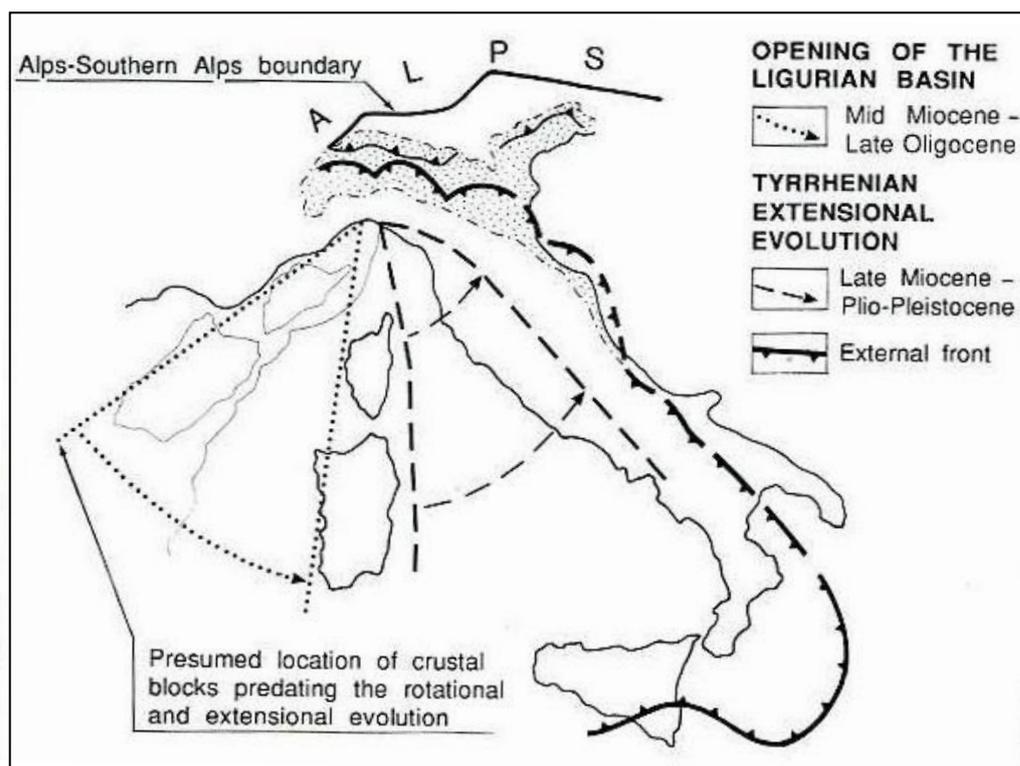


Figura 12 – La strutturazione della catena appenninica è legata dapprima all’apertura del Bacino Ligure-Balearico, connessa alla roto-traslazione del Blocco Sardo-Corso, a seguito della quale l’orogene ruota gradualmente verso NE (in età Terziaria: Oligocene sup.-Miocene med.); l’assetto attuale dell’Appennino Settentrionale è dovuto ad una successiva fase distensiva responsabile, a partire dal Miocene superiore, dell’apertura del Mar Tirreno (da Castellarin et alii, 1992).

E) Infine, nel Miocene superiore avviene un altro importante cambio nel regime tettonico della catena legato all’apertura del bacino Tirrenico con conseguente formazione del bacino deposizionale di avanfossa della Laga (Ricci Lucchi, 1986).

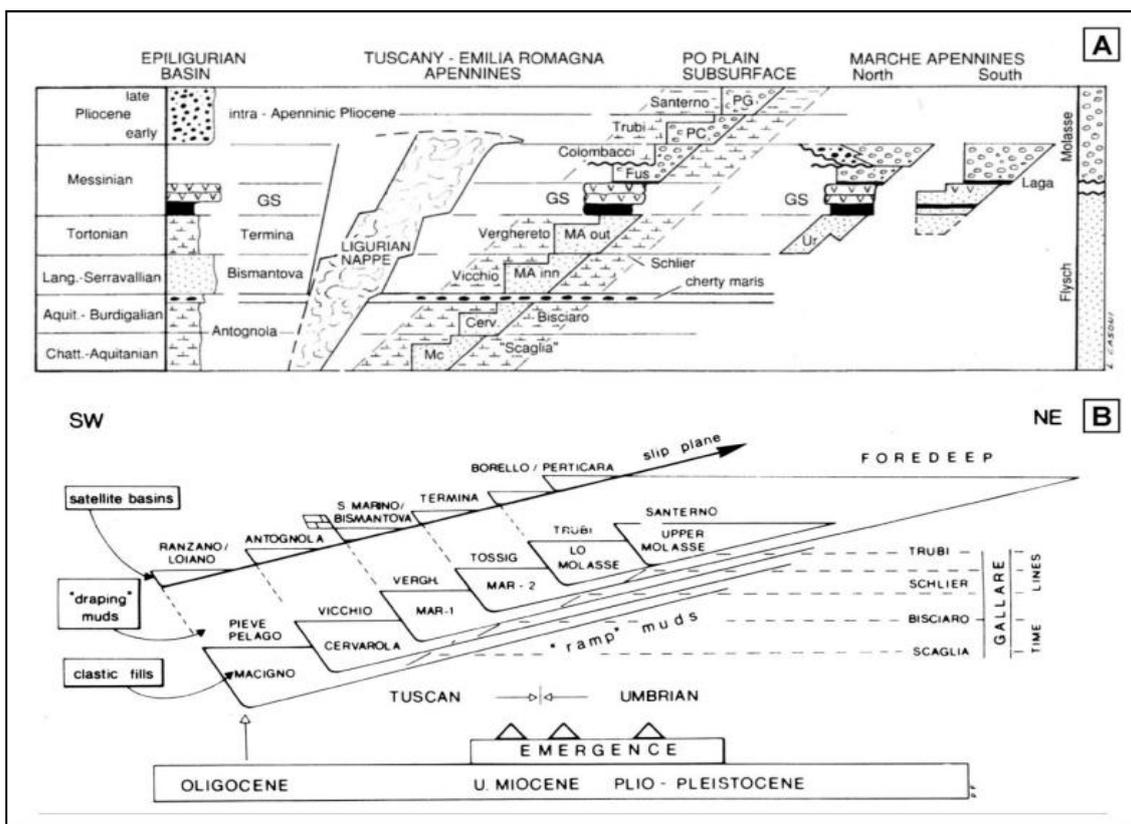


Figura 13 – Schema evolutivo concettuale dei depositi di avanfossa ed epiliguri (A), da Argnani & Ricci Lucchi (2001) e B) da Ricci Lucchi (1986) in Roveri et al. (2002).

1.4.1 Domini paleogeografici

Elter (1975; 1994), ma vedasi anche Elter & Maroni (1991), interpretano la successione stratigrafica degli Appennini come il risultato della sovrapposizione tettonica di due grandi domini: un insieme Esterno Toscano e Umbro-marchigiano, che costituisce lo zoccolo continentale appartenente alla Placca Africana-Apula ed un insieme Interno Ligure-Emiliano caratterizzato da una serie d'unità tettoniche con la presenza di ofioliti appartenenti al dominio dell'oceano ligure-piemontese (**Fig. 14**).

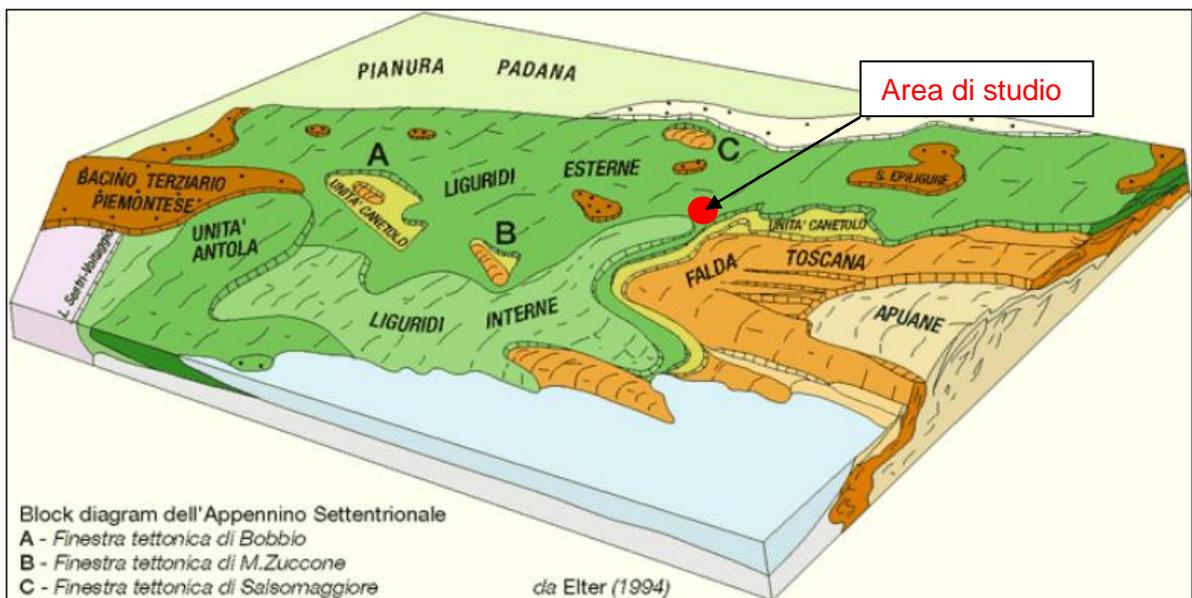


Figura 14 - Block diagram dell'Appennino Settentrionale. A- Finestra Settentrionale di Bobbio; B- Finestra tettonica di M.te Zuccone; C- Finestra tettonica di Salsomaggiore. Da Elter (1994).

In generale le unità dell'Appennino Settentrionale possono essere divise in cinque (5) domini paleogeografici, che dalla zona più interna (occidentale) a quella più esterna (orientale), sono:

- il Dominio Ligure, caratterizzato da crosta oceanica;
- il Dominio Subligure, ubicato fra il dominio oceanico e quello continentale;
- il Dominio Toscano e il Dominio Umbro-Marchigiano caratterizzato dalla crosta continentale appartenente alla placca Apula;
- il Dominio Epiligure.

Per maggior dettagli su questa divisione si possono consultare le seguenti opere: Elter (1975 e 1994), Elter & Marroni (1991) Vai & Castellarin (1992), Mutti et al. (1995), Ricci Lucchi (1986).

1.4.1.1 Ligure

Questo dominio viene tradizionalmente suddiviso in due domini, detti rispettivamente Ligure Interno e Ligure Esterno, separati da un contatto tettonico rappresentato dalla linea Ottone - Levanto lungo il quale il primo si accavalla solo parzialmente sul secondo (Elter, 1994). I due domini interno ed esterno sono caratterizzati dalla presenza di ofioliti, ciononostante queste assumono nell'uno e nell'altro caso un diverso significato.

Le Unità Liguridi Interne (Elter & Perstusati, 1973) hanno caratteristiche sicuramente oceaniche in quanto le maggiori masse ofiolitiche, rappresentate dall'Unità del Bracco, si trovano ancora in posizione primaria alla base della successione sedimentaria. I primi sedimenti che le ricoprono, e che datano l'apertura dell'oceano, sono i diaspri del Giurassico superiore seguiti dai Calcari a Calpionelle del cretaceo inferiore e poi dalle Argille a palombini che vanno fino al cretaceo superiore.

Nelle Liguridi Esterne, le ofioliti compaiono invece come masse scollate, anche di dimensione plurichilometriche, alla base della successione sedimentaria. Esse sono sempre accompagnate da un vistoso detritismo sottomarino (debris flows, slides blocks, ecc.) costituito da un misto d'elementi ofiolitici e sedimentari (Elter & Marroni, 1991 e Vescovi, 1993). Alle Liguridi esterne appartiene l'Unità Tettonica Grotta all'interno della quale ricadono, dal basso, il Complesso di Case Boscaini (CCB), le Argille Varicolori di Case Crovini (ACR) e la formazione di Ponte Grosso (PGR), Di Dio et al., (2005).

1.4.1.2 Subligure

Il Dominio Subligure si trova interposto tettonicamente tra le unità toscane sottostanti e le unità liguri sovrastanti e, per questo, viene interpretato come un dominio intermedio fra la crosta oceanica ligure a ovest e il margine continentale Tosco-Umbro Marchigiano ad est. Fino ad oggi, comunque, ci sono dubbi sul tipo di substrato (oceanico, continentale o intermedio) e anche sulle unità che compongono questo dominio. Alcuni autori (Plesi, 1975) considerano soltanto l'Unità di Canetolo (Eocene; Supergruppo di Roccaferara) mentre altri vi includono anche il Supergruppo della Calvana (Vai & Castellarin, 1992).

1.4.1.3 Toscano

Questo dominio, insieme a quello Umbro-marchigiano, costituisce l'elemento più esterno della catena appenninica (Elter, 1994). La successione stratigrafica di questi due domini, infatti, è molto simile e va a costituire la copertura sedimentaria del margine continentale della placca Apula. Nella successione stratigrafica di questo dominio è registrata la storia evolutiva della catena appenninica, dalle fasi di rift del Giurassico alle fasi di margine passivo (*drift*) fino alle fasi collisionali che segnano l'inizio dell'orogenesi, prima alpina e poi appenninica.

1.4.1.4 Umbro-Marchigiano

Questo dominio è il più esterno dell'Appennino Settentrionale e rappresenta la parte più esterna del margine continentale apulo. La successione stratigrafica di questo dominio, come si è detto precedentemente per il Dominio Toscano, rispecchia l'evoluzione della catena alpino-appenninica in cui, da una situazione di rift continentale, si passa a quella di margine, prima passivo e poi attivo, che porta all'inizio dell'orogenesi, prima alpina e poi appenninica. Ciononostante la sedimentazione di questo dominio inizia a differenziarsi da quello Toscano a partire dal Giurassico. L'annegamento della piattaforma carbonatica, legato alla fase di rift, infatti, è leggermente posteriore rispetto alle aree toscane permettendo la formazione di condizioni ambientali meno profonde. Questa deposizione carbonatica si mantiene fino al Cretaceo inferiore (Maiolica) a cui segue una sedimentazione calcareo-argillosa pelagica generalizzata (Scaglia).

1.4.1.5 Successione Epiligure

Dopo la chiusura dell'oceano Ligure-Piemontese e la conseguente scomparsa della crosta oceanica, le Unità Liguri, messe in posto durante la fase ligure, sono interessate, a partire dal Bartoniano, dalla sedimentazione di potenti successioni sedimentarie in bacini tipo *piggy back* denominati bacini epiliguri (Dominio Epiligure). È comunemente accettato che la successione terziaria del Bacino Epiligure, estesa dalle Marne di Monte Piano alle Marne del Termine, abbia i suoi equivalenti nelle avanfosse appenniniche secondo lo schema classico di Ricci Lucchi (1986).

1.5 Inquadramento geologico dell'area di studio

L'area di studio è stata descritta da numerosi studi di carattere geologico, strutturale e petrografico. Di questi verranno descritti solo quei contributi ritenuti utili ai fini del presente studio.

Giammetti (1964) descrive uno studio geo-petrografico sul M. Prinzero evidenziando la distribuzione delle serpentine all'interno del complesso ofiolitico e dei loro caratteri mineralogici e chimici, proponendo una carta geo-petrografica. Zanzucchi (1980) descrive i principali lineamenti geologici dell'Appennino parmense e propone uno schema degli eventi stratigrafici e tettonici osservati e dedotti sulla base delle unità tettoniche riconosciute. Nella carta delle unità tettoniche proposta, il settore orientale dell'area del M. Prinzero ricade all'interno dell'Unità del M. Caio,

mentre il settore occidentale ricade nell'unità di M. Cassio. Recenti studi collocano l'area in esame all'interno di un'unità caotica sedimentaria la cui età di messa in posto è stata attribuita al Messiniano (Artoni et al., 2004).

Da un punto di vista della cartografia geologica il M. Prinzerà ricade in numerose pubblicazioni che ricoprono un arco temporale ampio che va dagli anni '60 del secolo scorso (Istituto di Geologia dell'Università di Parma, 1966; Dalla Casa & Ghelardoni, 1967; Servizio Geologico D'Italia, 1968; Boccaletti & Coli, 1982; Cerrina Feroni et al., 2002) fino alla recente pubblicazione della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000, Foglio 199 Parma sud-ovest (Servizio Geologico Nazionale, 2005)

L'area di studio ricade all'interno dell'Unità Tettonica Grotta facente parte del dominio Ligure esterno (Di Dio et al., 2005). In particolare si distinguono:

- Complesso di Case Boscaini (CCB);

Si tratta di un complesso sedimentario costituito da depositi clastici grossolani, di natura torbida, cui sono associati olistoliti, anche di notevoli dimensioni, di natura essenzialmente ofiolitica (Dalla Casa & Ghelardoni, 1967; Boni et al., 1971). Il Complesso di Case Boscaini è caratterizzato da breccie argillose, costituite da blocchi più o meno stratiformi di calcari grigio chiari tipo palombino e/o Maiolica e da calcari e calcari marnosi grigio-verdi, immersi in una matrice argillosa grigio-azzurra localmente rossa, in cui sono intercalate anche arenarie siltose grigie in strati sottili e corpi lenticolari costituiti da marne grigio chiare. Localmente sono stati osservati dei corpi stratificati costituiti da breccie sedimentarie a pezzame calcareo e subordinati elementi ofiolitici a grana medio-sottile e matrice argillosa grigio-verdastra; sono presenti anche argille rosso mattone in livelli pseudostratificati.

Al suo interno è stato distinta un livello a breccie poligeniche (**CCB_b**) costituito da breccie grano sostenute ad elementi ofiolitici e sedimentari in rapporti variabili; tra i sedimentari si riconoscono calcilutiti chiare, diaspri rossi, siltiti, areniti ed argilliti nere, sono presenti anche rari frammenti di rocce granitoidi. La matrice è per lo più pelitica scagliosa, molto scura, o arenaceo-siltosa. Localmente le breccie passano a conglomerati fini ed arenarie grossolane gradate a composizione prevalentemente ofiolitica. Il Complesso di Case Boscaini non mostra sul terreno contatti di chiara interpretazione con le formazioni adiacenti. Sono associati olistoliti costituiti da:

serpentiniti (**Σ**): serpentiniti e lherzoliti serpentinite brecciate di colore verde scuro, in masse di dimensioni molto variabili, spesso fasciate da breccie e arenarie grossolane ofiolitiche. Rientra in questa categoria l'affioramento del M. Prinzerà.

calcari a Calpionelle (**cc**): calcilutiti chiare a frattura da concoide a scheggiata, in strati spessi e banchi, spesso a laminazione parallela e con sottili livelli discontinui di selce grigia.

argille a palombini (**ap**): sequenze plurimetriche di calcilutiti silicizzate a frattura concoide, grigio chiare e grigio-verdi in strati da medi a spessi, con spalmature verdi sulle superfici di strato, calcari marnosi grigi o verdastri a base talora calcarenitica fine in strati spessi e argilliti scagliose grigio piombo in livelli da molto sottili a medi.

arenarie torbiditiche (**at**): torbiditi pelitico-arenacee con strati calcarenitici medi e spessi, talora molto spessi, laminati con base spesso grossolana a litici calcarei, intercalati a peliti marnose grigio scure con rari banchi marnosi.

argille varicolori (**av**): argille rosse, rosso mattone e grigio-azzurre e arenarie con patine nerastre in strati sottili e medi, alcuni strati a grana medio-grossolana mostrano una composizione prevalentemente a quarzo, miche e feldspati rosa.

diaspri (**ds**): diaspri rossi in strati da sottili a molto sottili, talora con sottili intercalazioni di argilliti silicizzate di colore rosso.

L'età della formazione è stata desunta per posizione stratigrafica ed attribuita ad un generico Campaniano (Di Dio et al., 2005).

- Argille Varicolori di Case Crovini (ACR);

Questa formazione, di recente istituzione, è costituita da argille e argilliti, di colore variabile dal rosso al grigio-verde a struttura scagliosa; presentano talora intercalati dei livelli sottili di arenarie silicoclastiche o più raramente di calcari marnosi chiari, e inglobano localmente blocchi budinati calcarei e conglomerati. La formazione si presenta molto spesso estremamente tettonizzata. (De Nardo, 1991).

L'ambiente di deposizione doveva essere un bacino molto profondo a sedimentazione emipelagica, con limitati apporti da parte di flussi torbiditici diluiti.

Lo spessore è difficilmente valutabile data l'intensa deformazione e le cattive condizioni di affioramento. La potenza geometrica è variabile da 0 a circa 200 m.

Le argille varicolori di Case Crovini passano stratigraficamente alla formazione di Ponte Grosso; i rapporti tra le due formazioni sono visibili sul terreno solo in pochi punti, dove si osserva un passaggio rapido per alternanze tra le due formazioni.

La formazione è attribuibile alla transizione Campaniano-Maastrichtiano (Di Dio et al., 2005).

- formazione di Ponte Grosso (PGR).

Questa formazione da ascrivere alla famiglia dei flysch ad elmintoidi, è costituita da marne e calcari marnosi grigio chiari in strati da spessi a banchi, a base arenitica medio-fine, passanti a peliti marnose grigio scure, in cui sono intercalate areniti medie grigio chiare, poco cementate, in strati sottili e medi. Gli strati marnosi sono spesso interessati da intensa bioturbazione con impronte di vermi e tracce di *Chondrites*.

Alla base della formazione sono localmente intercalate delle litoareniti medio-grossolane in strati medi, di colore bruno-verde, estremamente ricche in elementi ofiolitici, e un paio di livelli conglomeratici, di spessore decimetrico, con abbondanti clasti serpentinitici e basaltici e subordinati sedimentari, costituiti per lo più da calcilutiti e diaspri rossi.

L'ambiente di deposizione pare da ascrivere ad un bacino profondo in cui la sedimentazione torbidity era nettamente prevalente sulla normale sedimentazione emipelagica. Lo spessore massimo valutato è di circa 640 m. L'età della formazione di Ponte Grosso nell'area del Foglio non è più giovane dell'Eocene (Di Dio et al., 2005).

Il rilevamento geologico-strutturale effettuato nella zona del M. Prinzerà da Segadelli et al., (2017) ha consentito di realizzare una carta geologica alla scala 1:2.500, corredata da una maglia di quattro sezioni geologiche di dettaglio (**Figure 15, 16 e 17**).

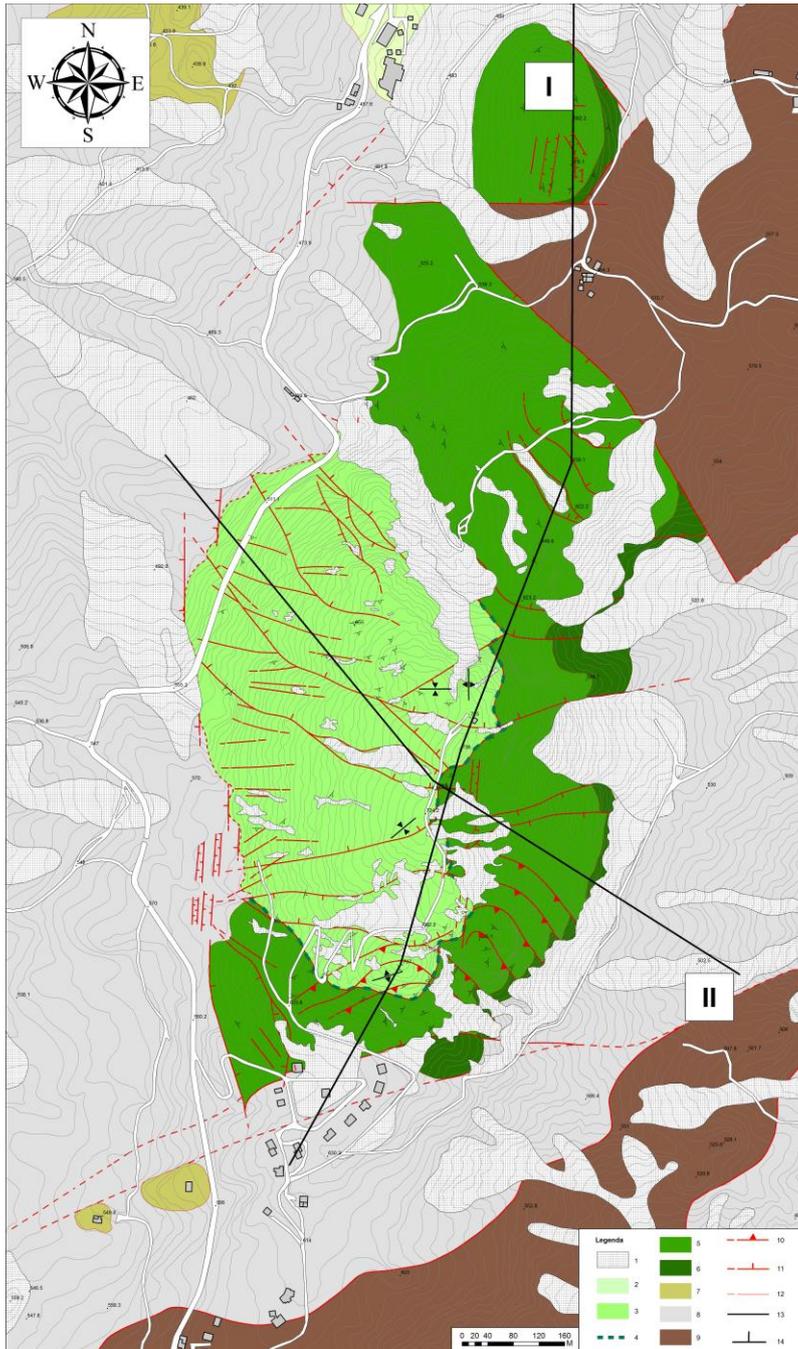


Figura 15 – Carta geologica del M. Prinzer (da Segadelli et al., 2017).



Figura 16 – Sezione geologica I (SO -N). Da Segadelli et al., 2017.

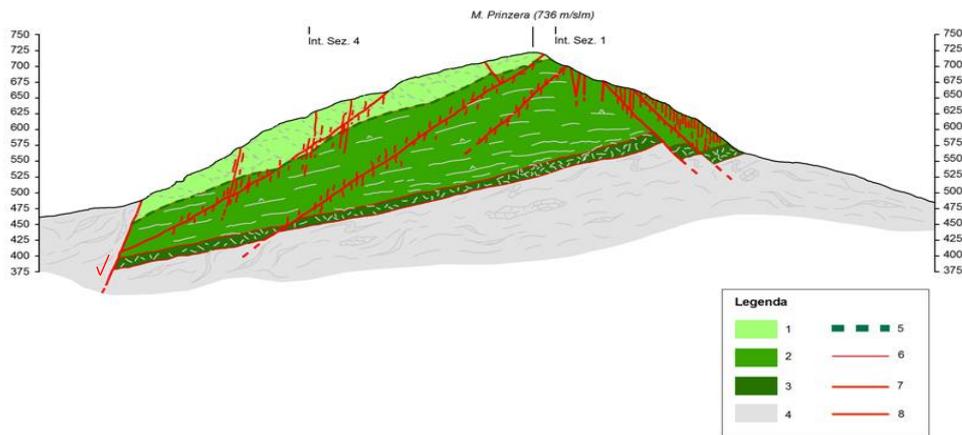


Figura 17 – Sezione geologica II (NO – SE). Da Segadelli et al., 2017.

L'analisi della carta geologica evidenzia come il corpo ofiolitico del Monte Prinzerza risulta suddiviso in cinque unità litologiche come descritto in **Fig. 18**.

Presente lavoro	
	unità 5 - Breccie sedimentarie monogeniche intensamente deformate a matrice argillosa di colore rosso mattone. Spessore massimo di 50m.
	unità 4 - Peridotiti serpentinizzate e breccie monogeniche in corpi phacoidali. L'unità nel suo complesso raggiunge uno spessore massimo di 50m.
	unità 3 - Breccie sedimentarie poligeniche in matrice argillosa. Spessore massimo di 1,8m.
	unità 2 - Peridotiti serpentinizzate con foliazione in corpi a geometria prevalentemente tabulare, massicce o subordinatamente sotto forma di breccie. Spessore massimo di 150m.
	unità 1 - Peridotiti serpentinizzate intensamente brecciate. Spessore massimo di 15m.
Complesso delle breccie poligeniche a matrice argillosa Età: generico Campaniano	

Figura 18 - Rappresentazione schematica in verticale dei diversi corpi litologici tettonicamente sovrapposti individuati nell'area di studio. Il tratto rosso evidenzia superfici tettoniche che separano unità con caratteristiche litologiche omogenee.

Alle distinzioni effettuate all'interno del complesso ultramafico non può essere attribuito un valore stratigrafico in quanto si riferiscono a un corpo fisicamente circoscritto, ma semplicemente descrivono corpi litologici con caratteristiche omogenee tettonicamente sovrapposti.

1.6 Inquadramento idrogeologico e geochimico

Nell'area di studio l'acquifero principale è rappresentato dal massiccio ofiolitico fratturato del M. Prinzera (peridotiti fortemente serpentizzate) e l'acquicludo è rappresentato dalle litologie appartenenti al Complesso di Case Boscaini (CCB). Tale struttura definisce, secondo la classificazione di Civita (1973, 2005) condizioni di emergenza per soglia di permeabilità sottoposta.

La placca ofiolitica presenta un'estensione areale di 0,77 Km² e uno spessore massimo di 250 m. Esso rientra tra gli *hard rock aquifers* e nel contesto idrogeologico dell'Appennino emiliano-romagnolo, le ofioliti rappresentano uno degli *hard rock aquifers* di riferimento.

Nella bibliografia idrogeologica internazionale il termine "*hard-rock aquifers*" si riferisce a graniti, metamorfiti o rocce sedimentarie stratificate con presenza di livelli poco permeabili, caratterizzati da una medio-bassa permeabilità a grande scala e caratterizzati da una forte discontinuità delle proprietà idrogeologiche con presenza locale di fasce o zone molto permeabili (Gargini et al., 2014).

L'acquifero del Monte Prinzera è stato oggetto di due studi idrogeologici specifici, uno di carattere generale (Gargini et al., 2014) e uno di dettaglio finalizzato a ricostruire il modello idrogeologico concettuale del Monte Prinzera (Segadelli et al., 2017).

In particolare, Segadelli et al., (2017) ha evidenziato come da un punto di vista idrogeologico si possa considerare la placca ofiolitica del M. Prinzera un acquifero eterogeneo multifalda, dove coesistono una falda sospesa che alimenta sorgenti a carattere stagionale, a deflusso sub-corticale, su una falda basale, a deflusso più prolungato e profondo in grado di alimentare sorgenti a regime perenne (**Fig. 19**).

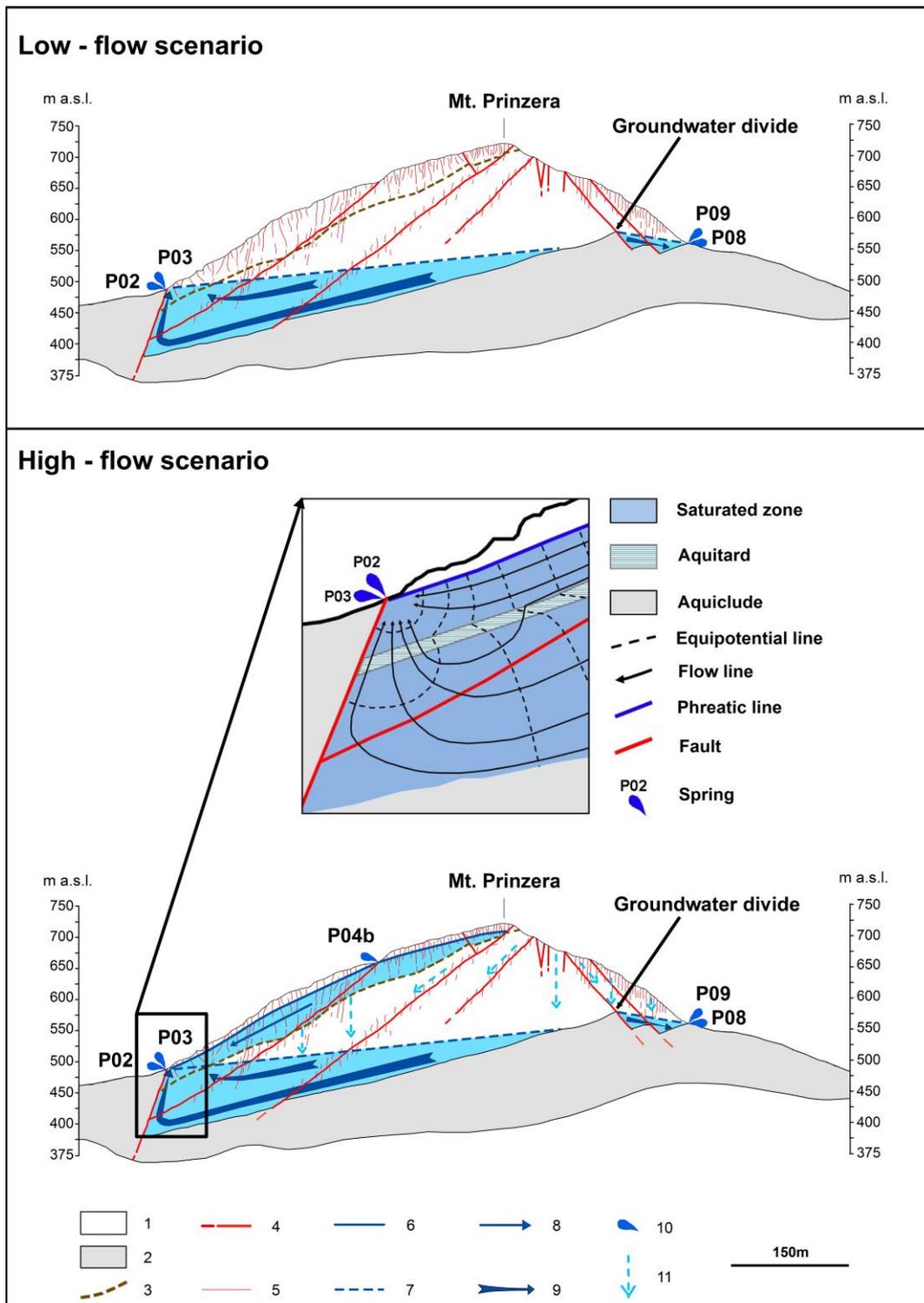


Figura 19 - Modello idrogeologico concettuale del M. Prinzerà

Rispetto agli obiettivi del presente studio si evidenzia quanto segue:

- 1) l'affioramento del M. Prinzerà, olistolite all'interno del Complesso di Case Boscaini (CCB), rappresenta un elemento ultramafico incluso all'interno di un livello a breccie poligeniche a matrice prevalente argillosa. Questo consente di identificare il M. Prinzerà come un'idrostruttura ben delimitata;

2) la presenza diffusa di roccia caratterizzata da fratture aperte. L'apertura varia da un minimo di pochi millimetri a un massimo di circa 8 cm (**Foto 6**). Questo detensionamento è in grado di amplificare localmente le caratteristiche di permeabilità della roccia ultramafica;

3) Il M. Prinzerà è un acquifero con aree a ridotta copertura vegetale (25 %), scarsa estensione areale dei depositi di degradazione meteorica e delle coltri elluvio-colluviali (16 %) e assenza di campi agricoli.

L'insieme di questi fattori facilita l'infiltrazione efficace dell'acqua nel sottosuolo. In questo modo l'acqua che si infiltra nel terreno percola fino a raggiungere la falda acquifera. Questo processo di ricarica aiuta a mantenere stabile la portata dei corsi d'acqua e preservare il livello delle falde.

Diversi sono invece i lavori che prendono in considerazione e descrivono dati chimico-fisici ed isotopici su alcune sorgenti presenti all'interno della Riserva Naturale di M. Prinzerà.

Venturelli et al., (1977) studiano, da un punto di vista geochimico e mineralogico, gli effetti del "*weathering*" sulle rocce ultramafiche del M. Prinzerà, proponendo un diverso grado di mobilità a seconda degli elementi considerati. Gli Autori evidenziano come l'elevato tenore in Cr, Mg e Ca di alcune sorgenti stagionali e perenni del M. Prinzerà sia da mettere in relazione alla mobilità di questi elementi per effetto del "*weathering*".

Marchiani & Venturelli (2006) studiano gli ambienti acquatici della Riserva del M. Prinzerà dal punto di vista idrobiologico, al fine di valutarne il loro stato ecologico.

A scala regionale, Boschetti (2003) e Boschetti & Toscani (2008) forniscono una interpretazione dei dati chimico-fisici ed isotopici di alcune sorgenti provenienti da affioramenti ofiolitici appartenenti alle Liguridi esterne nelle valli del Taro e del Ceno (Provincia di Parma). Per queste sorgenti gli autori propongono una composizione chimica che deriva dall'interazione a bassa temperatura tra le acque meteoriche e le rocce basaltiche e ultramafiche. Nel dettaglio, le acque che emergono da rocce basaltiche hanno una composizione Ca-HCO₃ mentre la composizione chimica delle acque che provengono dalle rocce ultramafiche può variare di composizione da Ca-HCO₃ o Mg-HCO₃ a Na-HCO₃ o Na-SO₄ con valori di pH che oscillano da 7.3-8.8 a oltre 11 rispettivamente. Da un punto di vista isotopico tutte le acque delle sorgenti analizzate sono di origine meteorica Marchiani & Venturelli (2006) e Boschetti & Toscani (2008).

2) Materiali e metodi

2.1 Cartografia tematica e immagini telerilevate

1) Raccolta preliminare, per l'area di studio, dei dati esistenti sia in formato cartaceo che in formato digitale georeferenziato. Nel dettaglio:

- Acquisizione da *Montagna 2000* S.p.A., l'azienda dei Servizi Idrici integrati locale, dello schema degli acquedotti e dell'ubicazione delle sorgenti utilizzate;

- Presso il S.S.G.S. della Regione Emilia-Romagna è stato possibile reperire:

- La Banca Dati della Carta Geologica e delle Coperture Quaternarie dell'Appennino Emiliano-Romagnolo in scala 1:10.000;
- Le Carte Geologiche dell'Appennino emiliano-romagnolo 1:10.000 sezioni:
 - 199130 - Citerna, Chicchi (in stampa);
 - 199090 - Varano dé Melegari, De Nardo (in stampa);
 - 199100 - Fornovo di Taro, Piccin & Ronchi (in stampa);
 - 199140 - Calestano, Rizzoli & Piccin (in stampa).
- Le note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000, Foglio Parma Sud-Ovest (Di Dio et. al., 2005);
- La carta Geologica d'Italia in scala 1:50.000 del Foglio 199 Parma sud-ovest (Servizio Geologico Nazionale, 2005);
- La carta Geologica d'Italia in scala 1:100.000, Foglio 85 - Castelnuovo né Monti. II Edizione (Servizio Geologico D'Italia, 1968);
- Le Carte Topografiche C.T.R. in scala 1:10.000 e 1:25.000;
- Le nuove ortofoto AGEA 2008 e 2011;
- L'ubicazione delle sorgenti libere e captate, presenti nell'area di studio.

- Presso l'Archivio cartografico della Regione Emilia-Romagna è stato possibile reperire le seguenti immagini aerofotografiche:

- Riprese aeree eseguite per l'aggiornamento della Carta Tecnica Regionale compiute tra il 1985 e il 1986;
- Riprese aeree "Volo Italia" eseguite nel 1994;
- Riprese aeree "Volo G.A.I." eseguite ad alta quota tra il 1954 e il 1955.

- Reperimento di ulteriori fonti bibliografiche.

2) Attività di verifica dei dati raccolti e censimento di nuove sorgenti presenti nell'area di studio attraverso un lavoro sul terreno effettuato durante il mese di giugno 2011.

2.2. Metodologia campionamento acque sorgive

Per quanto concerne le attività di monitoraggio multiparametrico si è proceduto come di seguito sintetizzato:

- Sono state oggetto di monitoraggio n. 8 sorgenti, in parte perenni (7) e in parte stagionali (1), scelte in modo tale da esaminare numerosi punti d'acqua all'interno dell'idrostruttura in esame (**Fig. 20**);
- Il monitoraggio è stato complessivamente effettuato da Luglio 2011 a Ottobre 2011;
- Le attività di monitoraggio sono state effettuate con sette uscite sul terreno, con una cadenza di 15/20 giorni in media tra una misurazione e l'altra;
- I parametri monitorati sono stati la conducibilità elettrica, la temperatura, il pH e la portata di tutte le 8 sorgenti di cui si è detto in precedenza;
- Sono state eseguite analisi chimiche complete (ioni maggiori e minori) delle acque di tutte le 8 sorgenti oggetto di studio.

Le misure di portata sono state effettuate con metodo volumetrico, in un numero di repliche mai inferiore a 5 per ogni misurazione. Le condizioni di affioramento delle sorgenti esaminate, dato il contesto naturale e la portata ridotta, non hanno infatti consentito l'utilizzo di correntometri.

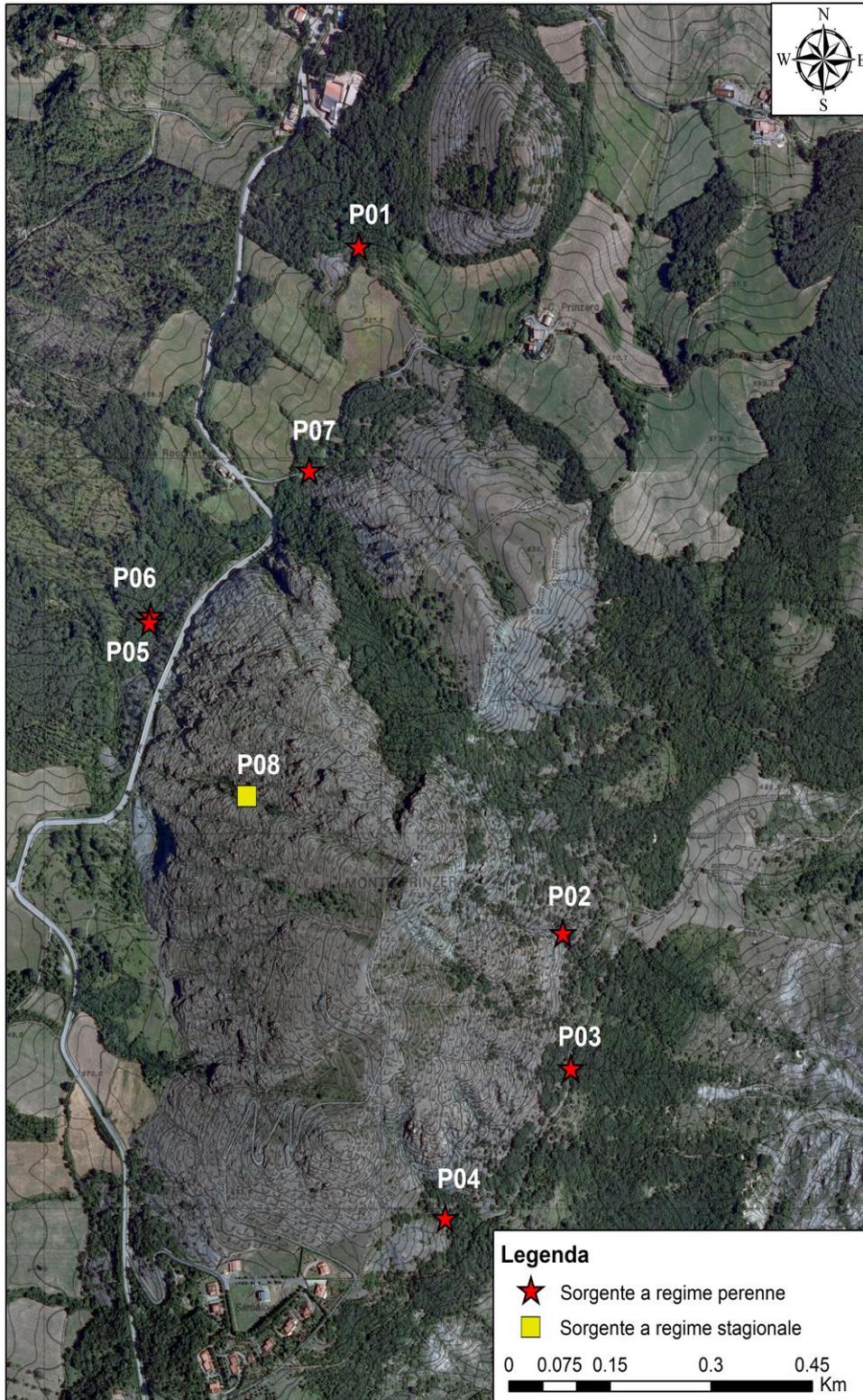


Figura 20 - Distribuzione delle sorgenti individuate nell'area di studio (la numerazione è stata attribuita alle n.8 sorgenti oggetto di monitoraggio). Risulta evidente l'areale ofiolitico di affioramento del Monte Prinzer rispetto ai litotipi argillitici circostanti.

La conducibilità elettrica è stata misurata mediante Sonda *Eutech Instrument* (modello Cond 6+), mentre il pH e la temperatura sono stati determinati mediante sonda *Eutech Instrument* (modello pH 6+) equipaggiata con elettrodo a vetro *Polyplast BNC Hamilton* (**Fig. 21** e **Foto 9**). Entrambi gli strumenti sono stati calibrati ripetutamente, nel corso del monitoraggio.



Caratteristiche tecniche modello

pH - Campo misura	0,00 ÷ 14,00 pH
Risoluzione/ Accuratezza	0,01 pH / ± 0,01 pH
Punti di taratura	1, 2 o 3
Valori tamponi	USA: pH 4,01 - 7,00 - 10,01 NIST: pH 4,01 - 6,86 - 9,18 Ph: pH 4,00 - 6,97 - 10,00
mV - Campo misura	-1000 ÷ +1000 mV
Risoluzione / Accuratezza	1 mV / ± 2 mV
Temperatura - Campo misura	0,0 ÷ 100,0 °C
Risoluzione / Accuratezza	0,1 °C / ± 0,5 °C
Compensazione Temperatura	Automatica / manuale (0...100 °C)
Funzione blocco lettura	si
Autospegnimento	dopo 17 minuti
Display	LCD (Liquid Crystal Display)
Ingressi	BNC - phono
Alimentazione	4 batterie tipo "AAA"
Dimensioni / Peso (strumento)	140 x 70 x 35 mm / 200 g
Dimensioni / Peso (con valigia)	270 x 350 x 75 mm / 1,7 Kg

Caratteristiche tecniche modello

Conducibilità Con cella =1	Intervallo	da 0.0 a 199.9 µS/cm da 200 a 1999 µS/cm da 2.00 a 19.99 mS/cm da 20 a 199.9 mS/cm
	Precisione	± 1% su tutta la scala
	Risoluzione	da 0.0 a 199.9 µS/cm 0,1 da 200 a 1999 µS/cm 1 da 2.00 a 19.99 mS/cm 0,01 da 20 a 199.9 mS/cm 0,1
Conducibilità Con cella =0,1	Intervallo	da 0.0 a 199.9 µS/cm da 200 a 1999 µS/cm da 2.00 a 19.99 mS/cm da 20 a 199.9 mS/cm
	Precisione	± 1% su tutta la scala
	Risoluzione	da 0.0 a 199.9 µS/cm 0,01 da 200 a 1999 µS/cm 0,1 da 2.00 a 19.99 mS/cm 1 da 20 a 199.9 mS/cm 0,01
Temperatura	Intervallo	da -10 a + 100 °C
	Precisione	±0,5 °C
	Risoluzione	0,1 °C
Punti di taratura	1	
Standard riconosciuti	84 µS, 1413 µS, 12,88 mS, 11 mS / 25 °C	
Costante di cella (selezionabile)	0,1 / 1,0 / 10	
Coefficiente di temperatura	da 0,0 a 3,0% per °C	
Temperatura di riferimento	20/25 °C	
Cambio scala automatico	Si	
Dimensioni	14x7x3,5 cm	
Peso con batterie	200 grammi	
Alimentazione	4 pile "AAA"	
Durata batterie	> 100 ore	
Memoria	50 dati	

Figura 21 - Descrizione delle caratteristiche tecniche degli strumenti utilizzati per il monitoraggio dei parametri in situ.



Foto 9 - Sorgente P05, monitoraggio dei parametri idrochimici.

Per le analisi chimiche il prelievo delle acque di sorgente è stato effettuato con contenitori di PVC previo lavaggio in acqua distillata. Per ogni punto di emergenza sono state raccolte due aliquote: una “tal quale” (TQ) e una filtrata e acidificata. Il campione TQ viene raccolto dalla sorgente in un becker dopo risciacquo (“avvinatura”) e poi versato senza filtraggio nel contenitore in PVC da 250 ml riempito fino all’orlo onde evitare la presenza di bolle d’aria. La seconda aliquota è quella “acidificata” (H⁺). Anche in questo caso l’acqua viene inizialmente raccolta nel becker accuratamente risciacquato e successivamente versata nel contenitore da 100 ml tramite apposita siringa di plastica munita di filtro costituito da una membrana di cellulosa da 0,45µm, dopodichè si aggiunge l’acido nitrico concentrato in quantità pari a 1,00 ml per mezzo di una pipetta (concentrazione 1%), **Foto 10a e 10b**.



Foto 10a



Foto 10b

Per entrambi i contenitori sono state apposte sul davanti e sul tappo le seguenti indicazioni (**Foto 11**):

- Data
- Sigla campione
- Identificazione contenitore (TQ o H⁺).



Foto 11

I campioni vengono sigillati in sacchetti di plastica e quindi riposti in una borsa frigo. In laboratorio, sull'aliquota TQ, sono state determinate le specie anioniche (NO_3^- , NO_2^- , HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-}) e alcune specie cationiche (NH_4^+ , Na^+ e K^+) mentre sul campione acidificato sono state determinate le altre specie cationiche fondamentali (Ca^{2+} , Mg^{2+}).

Oltre al prelievo di campioni, in campagna sono stati misurati i seguenti parametri *in situ*: Temperatura, pH, Eh (potenziale ossido-riduttivo) e EC (Conducibilità Elettrica a compensata a 20 C°), **Foto 12**.



Foto 12

2.3 Metodologie analitiche di laboratorio

Tutti i campioni sono stati analizzati presso il laboratorio di Geochimica del Dipartimento BIGEA (Scienze Biologiche, Geologiche ed Ambientali) dell'Università degli Studi di Bologna.

Per la determinazione quantitativa delle specie ioniche sono state utilizzate le seguenti tecniche analitiche:

- Titolazione Acido-Base (HCO_3^- ; CO_3^{2-})
- Spettrometria nel visibile (NH_4^+ ; NO_2^-)
- Spettrometria di assorbimento atomico (Na^+ ; K^+ ; Ca^{2+} ; Mg^{2+})
- Cromatografia ionica (Cl^- ; SO_4^{2-} ; Br^- ; NO_3^- ; F^-)

2.3.1 Titolazione Acido-base

La determinazione dell'alcalinità di una soluzione, espressa in termini di carbonato e bicarbonato, può essere ottenuta tramite titolazione acido-base, una tecnica volumetrica che consente di determinare la concentrazione di una soluzione a titolo incognito mediante una reazione di neutralizzazione con una soluzione a titolo noto. Il titolante è acido cloridrico (HCl) 0,01 N e metil-arancio l'indicatore utilizzato.

Nel corso della titolazione le aggiunte di titolante determinano una variazione progressiva dei valori di pH. L'alcalinità nelle soluzioni acquose naturali è quasi esclusivamente legata agli equilibri delle specie dell'acido carbonico. Gli equilibri coinvolti e le costanti di dissociazione a condizioni standard ($T = 25 \text{ }^\circ\text{C}$ e $P=1 \text{ atm}$) sono:



Per le reazioni (2) e (3) i rapporti $\text{HCO}_3^-/\text{H}_2\text{CO}_3$ e $\text{CO}_3^{2-}/\text{HCO}_3^-$ assumono valori di 1/100, in pratica corrispondenti alla conversione totale dei prodotti nei reagenti, rispettivamente a pH 4.70 e 8.33.

La strumentazione utilizzata per la titolazione Acido- Base è costituita da una buretta graduata dove viene inserito HCl 0,01 N (titolante a concentrazione nota); al di sotto è posto un becker contenente 10 ml di campione TQ che assumerà colore giallo per $\text{pH} > 4.7$ quando gli si aggiunge una goccia di Metil – arancio, indicatore di formula chimica $\text{C}_{14}\text{H}_{14}\text{N}_3\text{NaO}_3\text{S}$.

Si prosegue nella titolazione con HCl fino al punto di viraggio (punto finale), punto in cui il metil – arancio cambia colore e la soluzione assume una colorazione rosa carnacina. Tale punto corrisponde a $\text{pH} = 4.7$, cioè alla totale scomparsa dello ione bicarbonato. A questo punto si annota il volume di titolante usato che, moltiplicato per il titolo della soluzione di HCl (0,01 N), fornisce direttamente la quantità di HCO_3^- nei 10 ml di soluzione titolata.

Per campioni ad elevata alcalinità, con un pH iniziale > 8.33 , è stata utilizzato la fenolftaleina che consente di titolare anche la specie CO_3^{2-} .

La procedura è la stessa utilizzata per la titolazione di HCO_3^- . Si utilizza come titolante HCl 0,01 N e come indicatore la fenolftaleina. In questo caso al punto di viraggio la soluzione vira da rosa pallido a incolore.

2.3.2 Spettrofotometria nel visibile (Colorimetria)

La tecnica analitica è basata sull'interazione tra materia e radiazioni elettromagnetiche e si applica con buoni risultati alle soluzioni diluite (10^{-3} - 10^{-5} M). La concentrazione di un componente viene determinata attraverso la misura del grado di assorbimento di una specifica lunghezza d'onda in soluzione acquosa a seguito dell'aggiunta di un reattivo che in presenza dell'analita determina la formazione di un precipitato colorato di intensità proporzionale alla concentrazione del medesimo.

Nella colorimetria si utilizzano le radiazioni emesse nel campo del visibile (350-750 nm). L'assorbimento di una specifica radiazione elettromagnetica da parte di una soluzione acquosa è regolato dalla *Legge di Lambert-Beer*, la quale afferma che quando una radiazione attraversa una soluzione, essa viene assorbita più o meno intensamente a seconda della concentrazione dell'analita, di un coefficiente di assorbimento che dipende dal tipo di analita e dello spessore della soluzione attraversata (cammino ottico). Nelle procedure analitiche quello che conta di più è che *l'assorbimento dipende dalla concentrazione* di ioni o molecole incontrati durante il "cammino ottico".

La formulazione della legge di Lambert-Beer è:

$$\text{Log } I_0 / I_d = k \cdot c \cdot d$$

dove:

$$\text{Log } I_0 / I_d = \text{Assorbanza}$$

I_0 = radiazione incidente
 I_d = radiazione trasmessa
 k = coefficiente di assorbimento
 c = concentrazione
 d = cammino ottico

Dalla legge di Lambert-Beer si evince chiaramente che il valore dell'assorbanza è linearmente proporzionale alla concentrazione dell'analita in soluzione.

Gli spettrofotometri possono essere a singolo o a doppio raggio.

Nello *spettrofotometro a raggio singolo* vi è un solo alloggiamento per le celle: in questo caso per ogni lunghezza d'onda è necessario determinare l'assorbimento del solvente (il "bianco") per sottrarlo dall'assorbimento del campione in soluzione.

Nello *spettrofotometro a doppio raggio* vi sono due alloggiamenti per le celle: uno per la cella contenente il solo solvente e l'altro per la cella contenente la soluzione campione. Un sistema elettronico esegue il confronto automatico ad ogni lunghezza d'onda dell'assorbimento delle due celle (I_0 e I_d) e sottrae il valore dell'assorbimento del solvente a quello della soluzione. Si ottiene così il valore d'assorbimento del solo soluto.

Le celle (generalmente di spessore 1 cm) che si utilizzano nel visibile sono di quarzo.

Schematicamente lo strumento è dotato di:

- Sorgente luminosa a filamento di tungsteno per il visibile;
- Monocromatore: dispositivo che, attraversato da un fascio di radiazione policromatica, lascia uscire solo la componente di una lunghezza d'onda selezionabile;
- Alloggiamento per le celle (dette anche "cuvette");
- Display per visualizzare i risultati analitici.

Per gli scopi del presente studio è stato utilizzato uno spettrofotometro su soluzione a raggio singolo, modello *Hach DR/2010* (**Foto 13**). Con tale strumento sono state determinate le concentrazioni di NH_4^+ e NO_2^- in soluzione acquosa.



Foto 13 – Spettrofotometro su soluzione a raggio singolo, modello *Hach DR/2010*

2.3.2.1 Determinazione ione ammonio

Per poter procedere alla determinazione dello ione è necessario, innanzitutto, misurare il “bianco”. Tale misura viene fatta una sola volta e ad essa vengono comparate, in successione, le misure dei campioni analizzati.

La *cuvette* del “bianco” è costituita da acqua distillata (milliQ), mentre quella del campione da analizzare contiene l’aliquota “tal quale”; ad entrambe si aggiunge una bustina di ammonio salicilato. Una volta inserito il primo reagente si setta il programma con un codice corrispondente alla lunghezza d’onda 655 nm necessaria a tracciare lo ione ammonio e poi si attendono 3 minuti prima di poter aggiungere il secondo reagente, ammonio cianurato, ad entrambe le *cuvette*. In questo caso il tempo necessario allo svolgimento completo della reazione è di 15 minuti; se trascorso tale tempo il nostro campione ha assunto una colorazione verde, significa che c’è presenza di ammonio e il valore della sua concentrazione, in ppm, viene effettuata direttamente dallo strumento inserendo il campione nell’apposito slot porta-*cuvette*.

2.3.2.2. Determinazione ione nitrito

Il procedimento per la determinazione della concentrazione dello ione nitrito è lo stesso di quello utilizzato per la speciazione dello ione ammonio. In questo caso però

la *cuvette* del “bianco” contiene solo l’aliquota “tal quale”, mentre quella del campione è costituita dal “tal quale” a cui si aggiunge il reattivo *Nitriver 3*[®]. Lo strumento viene settato con una lunghezza d’onda di 507 nm. Affinché si svolga completamente la reazione bisogna attendere 20 minuti e se c’è presenza di nitriti, la soluzione assume una colorazione rosa (**Foto 14**).



Foto 14 - In foto i reagenti utilizzati (*Nitriver 3*[®]) per la determinazione della presenza di nitriti all’interno della soluzione campione.

2.3.3 Spettrofotometro ad assorbimento atomico (AAS)

La spettrofotometria di assorbimento atomico è una tecnica che permette di eseguire analisi quantitative di metalli su campioni in soluzione acquosa. Questa tecnica si basa sul principio fisico secondo il quale quando un atomo viene messo in condizione di acquistare energia elettromagnetica di intensità adeguata uno o più elettroni possono abbandonare gli orbitali nei quali si trovano per passare ad orbitali più ricchi di energia. Di conseguenza l’atomo passa da uno stato fondamentale di energia ad un livello più ricco di energia (eccitato). Da questo stato eccitato l’atomo ricade rapidamente allo stato fondamentale restituendo all’ambiente l’energia appena acquisita in forma radiante. L’energia della radiazione emessa corrisponderà esattamente a quella relativa al salto quantico realizzato da ogni singolo elettrone nel passaggio dallo stato eccitato a quello fondamentale. Le tecniche che utilizzano le radiazioni emesse si chiamano spettrofotometria in emissione. Un atomo nello stato fondamentale è però anche in grado di assorbire direttamente onde

elettromagnetiche quando queste abbiano un'energia esattamente corrispondente a quella di possibili salti quantici degli elettroni. In questo caso si parla di spettrofotometria in assorbimento. Dato che ogni atomo è caratterizzato da un suo numero proprio di elettroni situati su determinati orbitali è possibile registrare spettri di assorbimenti atomici caratteristici per ogni atomo. L'intensità della radiazione assorbita segue come nelle tecniche colorimetriche descritte in precedenza la legge di Lambert-Beer.

Uno spettrofotometro in assorbimento atomico si compone di 5 componenti fondamentali:

- La **sorgente di radiazione elettromagnetica** data da una lampada a catodo cavo (*Hollow Cathode Lamp*, HCL) la quale emette con uno spettro molto ristretto e caratteristico dell'elemento di cui è fatto il catodo stesso. Queste lampade possono essere selettive per una sola specie quando il catodo è rivestito di un solo metallo (Na, K, Ca, Li, etc.) oppure possono essere lampade multi elemento, adatte all'analisi di più specie analitiche quando il catodo è rivestito di più metalli. Naturalmente le lampade specifiche offrono una maggiore affidabilità, stabilità e durata rispetto alle lampade composite.
- Il **sistema di atomizzazione** è un dispositivo mediante il quale il campione in analisi, e quindi i metalli da ricercare, viene ridotto allo stato di gas monoatomico. Tale condizione risulta necessaria in quanto viene misurata la differenza di intensità della radiazione elettromagnetica prima e dopo il passaggio attraverso il campione. L'atomizzazione avviene in una fiamma ottenuta in un bruciatore che utilizza una miscela di aria/acetilene. La miscela da analizzare nella forma di soluzione è aspirata nel bruciatore dopo essere stata precedentemente nebulizzata; alle temperature della fiamma (fra i 2000 e i 3000 °C), gli equilibri di dissociazione sono in genere fortemente spostati verso la produzione di atomi.
- Il **sistema ottico e il monocromatore** è dato da un sistema di lenti e specchi che serve per collimare, indirizzare e gestire la radiazione proveniente dalla lampada e in uscita dal campione. In particolare il monocromatore è di fondamentale importanza ai fini analitici; questo serve per rendere la radiazione elettromagnetica il più possibile monocromatica (ovvero con un campo spettrale molto ridotto) prima di inviarla al rivelatore. Svolge la sua funzione sfruttando i principi di diffrazione della luce.

- Il **rivelatore** è l'organo sensoriale dell'apparecchio; si tratta, solitamente, di un fotoelettrodo che sfrutta la proprietà particellare della luce per evidenziare una radiazione incidente su un elettrodo mediante una differenza di potenziale; talvolta, però, le differenze possono essere minime, perciò si ricorre ad un fotomoltiplicatore che moltiplica di molte volte il segnale originale permettendo una migliore interpretazione (a discapito di parte dell'accuratezza analitica)
- Il **sistema di elaborazione**, basato su un computer, serve per l'interpretazione, il calcolo e il salvataggio dei dati. Attualmente il PC è usato in tutti i campi analitici.

Lo strumento utilizzato in laboratorio per la determinazione delle specie cationiche è il *FAAS series Thermo Electron Corporation* (**Foto 15**).



Foto 15 – *FAAS series Thermo Electron Corporation*.

Prima di procedere con l'analisi effettiva è necessario effettuare una prova con i valori a concentrazione nota degli elementi in modo da costruire le rette di taratura che stiano dentro i limiti costruiti sulla legge di Lambert-Beer.

Per il dosaggio di Ca e Mg è stata utilizzata l'aliquota acidificata in modo da evitare sottostime dovute alla precipitazione dei carbonati. Le concentrazioni degli elementi in soluzione sono state opportunamente diluite per rientrare nell'intervallo analitico dello strumento. Le lunghezze d'onda utilizzate sono state $\lambda = 422,7 \text{ nm}$ per il Ca e

$\lambda = 285,2$ per il Mg.

Le concentrazioni di Sodio e Potassio sono state determinate sull'aliquota tal quale, anche in questo caso, previa diluizione dei campioni. Le lunghezze d'onda utilizzate sono state $\lambda = 589$ nm per il Na e $\lambda = 766,5$ nm per il K.

2.3.4 Cromatografia Ionica

Con il termine cromatografia si indica un insieme di tecniche che hanno lo scopo di separare una miscela nei suoi componenti per permetterne il riconoscimento qualitativo e quantitativo. Questo tipo di tecnica è basato sulla distribuzione differenziale dei vari componenti fra due fasi, una denominata "fase fissa o stazionaria" e l'altra chiamata "fase mobile" (eluente), il quale fluisce in modo costante attraverso la fase fissa (**Fig. 22**).

La separazione dei vari componenti dell'eluente si basa su una costante di ripartizione (distribuzione caratteristica tra le due fasi) caratteristica di ogni componente.

Tutte le tecniche cromatografiche sono sempre distruttive poiché operano solo su campioni in soluzione o in fase vapore: questo vuol dire che tutto ciò che si intende analizzare deve essere disciolto in un opportuno solvente. Il procedimento di analisi si svolge attraverso fasi successive: la prima è quella di introdurre il campione nella fase mobile (iniezione); la seconda è quella di far fluire la fase mobile attraverso la fase fissa; misurare un parametro fisico-chimico proporzionale alla concentrazione dei singoli componenti la miscela; infine determinare le concentrazioni di ciascun componente nella miscela attraverso il confronto con miscele standard.

Nel caso della cromatografia ionica, il risultato dell'interazione tra la fase mobile e quella fissa è riportato in un cromatogramma, ossia un grafico in cui sull'ordinata vi è la conducibilità elettrica e sull'ascissa il tempo di ritenzione. Per tempo di ritenzione si intende il tempo che impiega un componente della miscela iniettata ad interagire completamente con la fase fissa, ed è specifico per ogni elemento. Il cromatogramma, come si vede in Figura 19, è un grafico che si presenta come una serie di picchi ad ampiezza ed altezza variabili. La loro posizione rispetto all'asse delle ascisse serve per identificare i vari componenti del campione e l'area sottesa dai picchi è proporzionale alla



Figura 22 – La figura illustra la separazione di una miscela (a sinistra della colonna cromatografica) nei suoi componenti (a destra della colonna cromatografica) e quindi il loro riconoscimento qualitativo e quantitativo.

quantità di ogni singolo componente, utilizzata per calcolarne la concentrazione. Generalmente nei cromatogrammi viene registrato un primo picco più piccolo e distanziato rispetto agli altri, chiamato “tempo morto”, che rappresenta una parte di soluzione che non ha avuto nessuna interazione con la fase fissa. In base a quanto si può osservare nella **Fig.23**, il “tempo morto” è sempre minore dei tempi di ritenzione dei singoli elementi.

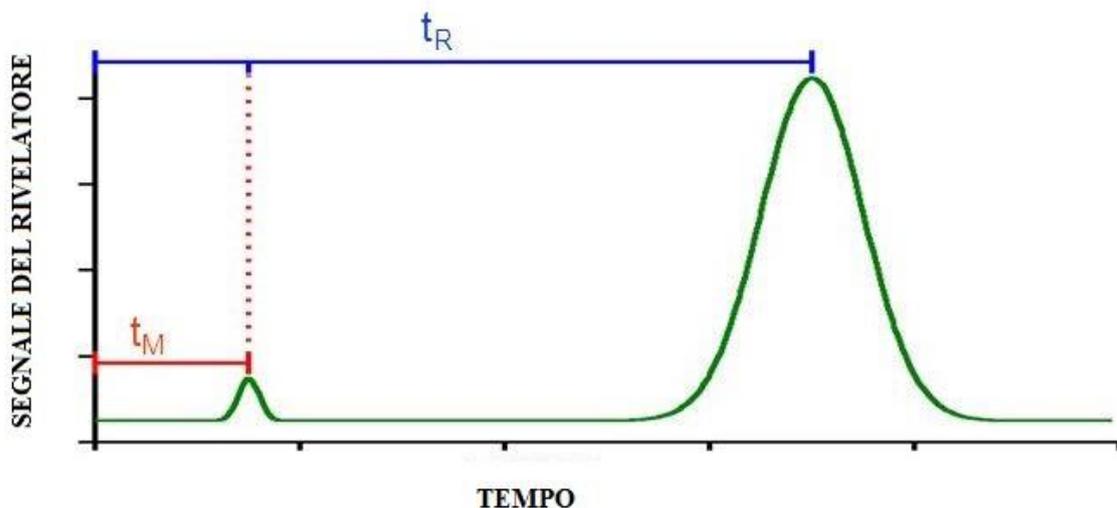


Figura 23 - Cromatogramma semplificato con il “tempo morto” (tempo di ritenzione del primo elemento uscito dalla colonna cromatografica (da Moritz, 2015).

Lo strumento utilizzato per la determinazione simultanea di Cl^- , SO_4^{2-} , Br^- , NO_3^- e F^- in soluzione acquosa è il cromatografo *Methrom 881 Compact IC PRO* (**Foto 16**). L'intervallo di concentrazioni anioniche analizzabili è compreso fra 0 e 20 ppm.

Sostanzialmente è composto da:

- Pompa: ha la funzione di trasferire il campione da analizzare e l'eluento necessario al trasporto del medesimo attraverso la colonna e fino al detector;
- Colonna di separazione: è la colonna contenente le resine di separazione ionica (fase fissa);

- Soppressore: ha la funzione di annullare la conducibilità elettrica degli ioni presenti nell'eluente;
- Rilevatore a conducibilità (*Detector*): è costituito da una cella conduttimetrica;
- Programma di gestione dei dati: permette di visualizzare il cromatogramma finale e calcolare le concentrazioni dei singoli componenti.



Foto 16

L'analisi si effettua iniettando nella colonna di separazione, tramite siringa dotata di filtro, circa 0,1 ml di campione "tal quale". La separazione degli ioni avviene su colonna impaccata con resine scambiatrici di ioni. All'uscita della colonna è posto un rilevatore che misura la concentrazione di soluto nell'eluato (cioè la fase mobile che esce dalla colonna); riportando il segnale in funzione del tempo è possibile ottenere il cromatogramma.

2.4 Analisi idrologica dell'esaurimento: descrizione metodologica

Il regime di portata in un acquifero fratturato è influenzato fundamentalmente dalla profondità del sistema di flusso, dalla distribuzione di permeabilità nell'ammasso roccioso e del regime della ricarica diretta (Freeze & Cherry, 1979; Halford & Mayer, 2000); come conseguenza della dominante natura superficiale del sistema di flusso nei contesti torbiditici, e più in generale nei contesti arenacei, ed esteso quindi ad un contesto ofiolitico permeabile per fratturazione (dunque interpretabile come *hard rock aquifer*), il ruolo chiave del regime di precipitazione effettiva, cioè della disponibilità d'acqua sulla superficie per la ricarica diretta, è intensificato.

In tale tipologia di sistema, la portata di scarico dello stesso diventa in pratica uno specchio della ricarica, dal momento che esiste un passaggio molto veloce tra il segnale di input (precipitazioni) e quello di output (flusso di sorgente); solo durante la stagione di recessione, periodo di magra, dove la ricarica attiva è assente o molto ridotta, l'output di portata diventa completamente rappresentativo delle proprietà intrinseche dell'acquifero (Gargini et al., 2008).

2.4.1 Classificazione delle sorgenti in base ai sistemi di flusso

Per le motivazioni illustrate si è scelto di effettuare una classificazione delle sorgenti basata sull'analisi dell'esaurimento estivo delle emergenze monitorate, basata a sua volta sulla struttura idrogeologica, in accordo con modelli concettuali predeterminati (Civita, 1973), dato che si è rilevata molto efficace in contesti non carsici, quale quello di studio (Gargini et al., 2008).

A partire dall'analisi della curva di esaurimento di una sorgente, che rappresenta, in linea generale, il tratto più regolare del segnale di scarico del sistema, si è quindi deciso di classificare le emergenze sulla base di un parametro, denominato *Base-yield* (B_y), il quale può essere considerato un indice empirico della produttività di una sorgente durante la recessione estiva (Ermini et al., 2009).

Il parametro B_y , è definito come il prodotto, cambiato di segno, tra il logaritmo di base 10 del coefficiente di esaurimento e la portata media estiva della sorgente:

$$B_y = -[\log_{10}(\alpha) * Q_s]$$

dove Q_s è la portata media estiva espressa in (l/min) ed α è il coefficiente di esaurimento di recessione (1/g).

Il segno meno rende i valori di B_y positivi. Tale parametro tiene conto, in modo integrato, del flusso medio estivo della sorgente e del suo tasso di recessione: un alto valore di portata media estiva, combinato ad un basso tasso di diminuzione del flusso sorgentizio durante la magra, suggerisce che la produttività della sorgente è guidata da una cella di scarico maggiormente sviluppata (Gargini et al., 2008).

Una volta definito il valore del *Base-yield* per le diverse sorgenti, esso può essere graficato in relazione alla quota relativa di emergenza delle sorgenti stesse, definita come differenza tra la quota s.l.m. delle emergenze ed il livello idrologico di base locale (rappresentato in genere dalla quota di base del torrente nel cui bacino recapita la sorgente). Il grafico così ottenuto (**Fig. 24**) permette di definire almeno 5 campi o tipi di sorgenti (*spring-field*), classificandone e distinguendone la tipologia di acquifero (Gargini et al., 2008).

Questi 5 campi sono sostanzialmente espressione di 2 sistemi di flusso principali, indicati con le sigle S e T: il sistema S è suddiviso a sua volta in 3 campi: S_s , S_L ; S_H , mentre nel sistema T sono annoverati i campi T_H e T_L .

Le sigle S e T stanno rispettivamente per *Slope* (che indica un sistema di flusso locale o di versante o intrabacino) e *Trans-watershed* (ovvero un sistema di flusso regionale o trans-bacino); i pedici L e H indicano invece, rispettivamente, se si tratta di alta quota (*High*) o bassa quota (*Low*), mentre il pedice S è posto ad indicare la scala dell'intero versante.

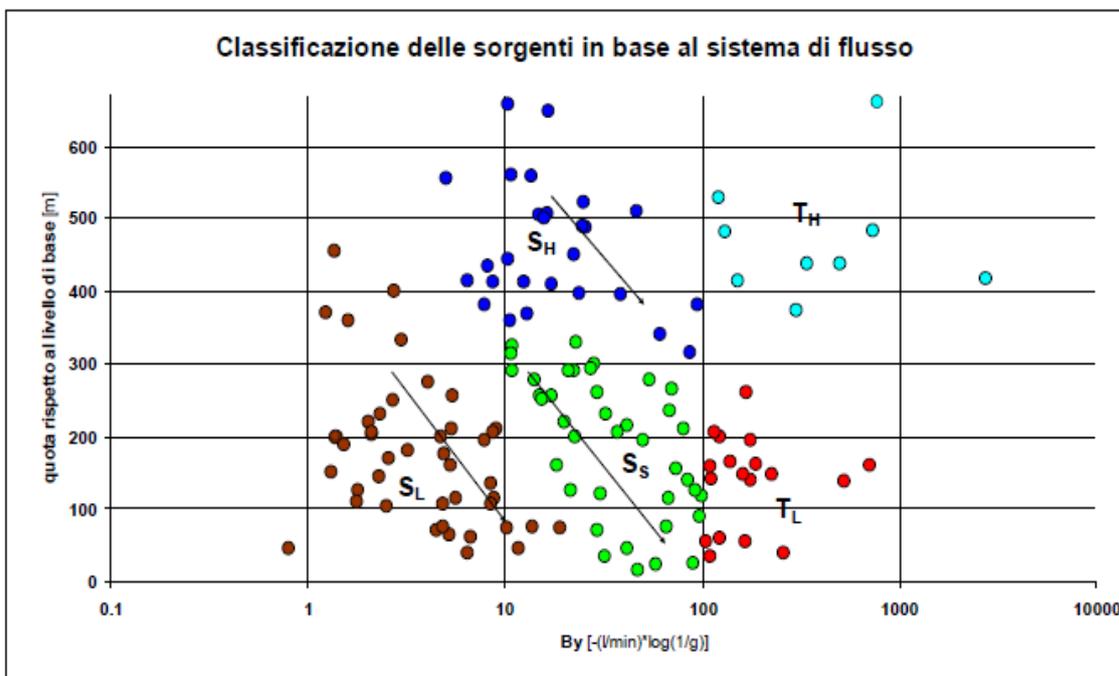


Figura 24 – Grafico classificativo delle sorgenti in base al sistema di flusso che le alimenta, riportato a titolo di esempio ed estratto dal lavoro di Ermini et al., (2009)

2.4.1.1 Sistema locali di flusso di versante (tipo S)

Tali tipologie di sistema sono collocate nella metà sinistra del grafico (**Fig. 24**) ed è facile notare una relazione inversa tra il valore B_y e la quota delle emergenze sul livello di base: i punti di scarico a bassa quota corrispondono ad un sistema di flusso maggiormente sviluppato.

Le sorgenti ascrivibili a sistemi di tipo S sono suddivisibili in 3 sottotipi: sistema di flusso locale ad alta quota (S_H), sistemi di flusso locale a bassa quota (S_L) e sistemi di flusso locale alla scala dell'intero versante (S_S).

Per quanto riguarda S_S , esso è il più rappresentato nella maggior parte dei contesti appenninici ed è caratterizzato da emergenze di piccola e media portata (al massimo 1 l/s in flusso di base), alimentate da una cella di flusso che si sviluppa lungo un versante, non sconfinando quindi al di fuori del bacino idrografico.

I sistemi di tipo S_H e S_L si sviluppano su aree più ridotte, gerarchicamente inferiori al sistema di versante S_S , e sono collocati rispettivamente ad alta e a bassa quota; le sorgenti associate sono spesso legate a celle di circolazione sviluppatesi entro accumuli di frana o in corpi detritici.

2.4.1.2. Sistemi regionali di flusso (tipo T)

I sistemi di tipo T sono situati nella metà destra del grafico della **Fig. 24** e rappresentano elementi di maggiore interesse dal punto di vista idrogeologico, poiché l'acquifero associato, di maggior estensione areale, è alimentato da un flusso a scala regionale, non racchiuso entro un singolo bacino idrografico. Le sorgenti relative a tali sistemi sgorgano nei luoghi in cui l'acquifero entra in contatto con unità geologiche relativamente meno permeabili (Ermini et al., 2009).

I sistemi di flusso regionali (T) possono essere definiti come un'anomalia in riferimento ai sistemi di flusso di versante, poiché, a differenza di quest'ultimi, le sorgenti associate presentano sempre un'elevata portata.

I sottotipi ascrivibili al sistema T sono rappresentati dai tipi T_H e T_L . Le sorgenti che ne derivano hanno portate di base generalmente molto elevate in rapporto alle altre emergenze dell'area; tali sistemi sono spesso alimentati da importanti strutture tettoniche a scala regionale, che tagliano i singoli bacini e drenano il flusso sotterraneo (T_L), o da soglie di permeabilità sottoposta di importanza regionale (T_H).

È importante sottolineare che il coefficiente di esaurimento α media la relazione esistente tra la portata media estiva (Q_s) e la portata media annua (Q_m). Tramite le equazioni riportate in **Fig. 25** (derivazione sperimentale dai risultati del monitoraggio eseguito nell'ambito del lavoro illustrato da Gargini et al., 2008) è possibile risalire ad una stima della portata media annua di una sorgente, a partire dai dati di Q_s ed α , ottenibili dall'analisi della sola curva di recessione.

In base ai risultati sperimentali ottenuti nell'ambito dello studio presentato da Gargini ed altri (2008), sono state individuate 6 classi di valori del coefficiente di recessione α (**Fig. 25 a**), per ognuna delle quali è riportata un'equazione di *best fitting* (**Fig. 25 b**), tramite cui, come già accennato, è possibile ricavare il valore della portata media annua a partire dalla portata media estiva e dal coefficiente α opportunamente inserito in una tra le classi individuate.

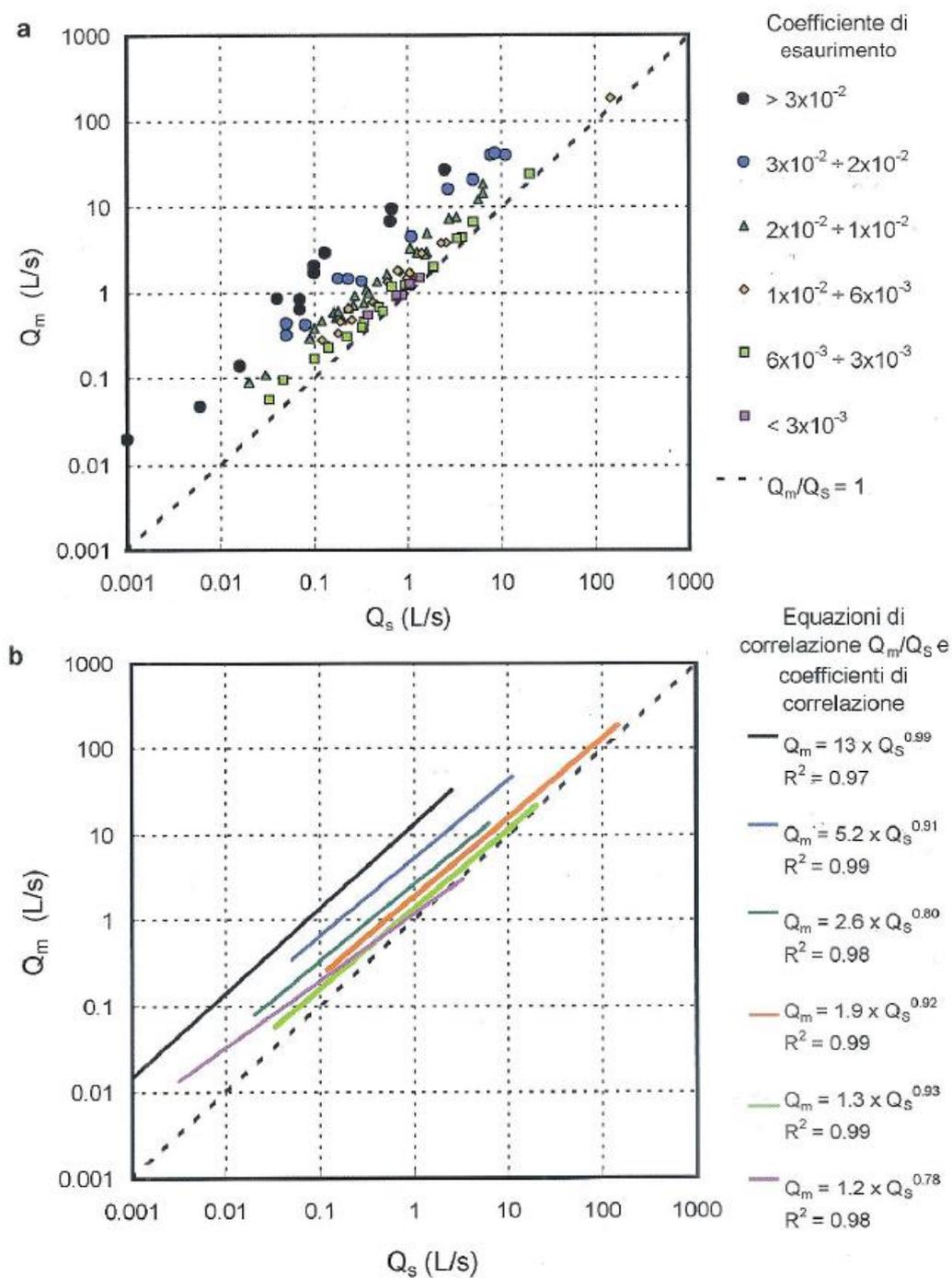


Figura 25 a,b - Correlazione secondo legge di potenza in funzione del valore del coefficiente di esaurimento (α), fra Q_s (portata media estiva) e Q_m (portata media annua) su scala bi-logaritmica. a): *scatter plot* con classi di valori di α ; b) *best fitting* con legge di potenza per ogni classe di α ; sono mostrate le equazioni di *best fitting* ed il valore dei coefficienti di correlazione R^2 (Gargini et al., 2008).

3) Risultati e discussione

3.1. Presentazione dei risultati di monitoraggio in discontinuo delle sorgenti nell'area di studio

Al fine di analizzare l'esaurimento idrologico e stimare il deflusso di base del sistema, è stato effettuato un monitoraggio sulle sorgenti (emergenze) tra 4 Luglio ed 25 Ottobre 2011. Considerando la tipologia di clima che caratterizza l'area di studio, il periodo scelto per il monitoraggio comprende interamente la fase di magra estiva, non perturbata da precipitazioni, in modo da accumulare un numero sufficiente di dati per poter poi parametrizzare il regime dell'esaurimento e, quindi, del deflusso di base del sistema. Nel seguente capitolo verranno presentati i dati di monitoraggio in discontinuo raccolti.

3.1.1. Monitoraggio in discontinuo delle sorgenti

Tutte le 8 sorgenti sono a regime perenne tranne una, P08, che è a carattere stagionale, e sono collocate lungo il contatto tra l'idrostruttura e le brecce poligeniche a matrice argillosa appartenente al complesso di case Boscaini (Di Dio et al., 2005). Pertanto le sorgenti si caratterizzano tutte per soglia di permeabilità sottoposta.

In particolare le sorgenti P01, P02, P03 sono captate a uso acquedottistico, P07 ad uso di fontana pubblica infine P04, P05, P06 sono libere. Sono state monitorate con 7 uscite complessive sul terreno, con una cadenza di 15/20 giorni in media tra una misurazione e l'altra. Le date di monitoraggio sono state definite in modo che le misure risentissero il meno possibile del disturbo legato alle precipitazioni in grado di innescare circuiti di flusso transitori e veloci, capaci di alterare il comportamento idrologico della recessione. I dati definitivi del monitoraggio sono riassunti in **Tabella 2**, mentre la **Tabella 3** mostra gli indici di variabilità di portata delle misurazioni effettuate.

Codice sorgente	Parametri	21/07/11	04/08/11	25/08/11	02/09/11	15/09/11	04/10/11	18/10/11	21/11/11
Fonte Lusore (P01)	Portata media	1,7	0,38	0,28	0,23	0,2	0,33	0,29	n.r.
	Conducibilità (µS/cm)	328	319	303	300	296	321	318	n.r.
	Temperatura acqua (°C)	14,60	15,00	16,60	17,10	16,20	14,50	12,80	n.r.
	pH	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	7,59	7,25	n.r.	n.r.
Sopra Piazza (P02)	Portata media	0,062	0,04	0,021	0,02	0,02	0,02	0,018	0,16
	Conducibilità (µS/cm)	370	372	362	355	371	385	379	335
	Temperatura acqua (°C)	12,70	12,60	13,30	14,50	15,60	15,60	12,60	11,80
	pH	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	7,17	7,15	n.r.	8,14
Piazza (P03)	Portata media	0,16	0,125	0,056	0,055	0,054	0,06	0,053	0,38
	Conducibilità (µS/cm)	388	381	380	375	373	389	388	381
	Temperatura acqua (°C)	13,10	13,60	15,00	14,80	14,50	14,10	13,60	12,50
	pH	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	7,38	7,21	n.r.	8,04
Libera (P04)	Portata media	0,163	0,13	0,05	0,045	0,04	0,03	0,02	n.r.
	Conducibilità (µS/cm)	484	479	484	479	484	495	484	n.r.
	Temperatura acqua (°C)	12,90	13,00	14,60	16,00	17,20	14,20	11,70	n.r.
	pH	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	7,72	7,6	n.r.	n.r.
Trincea (P05)	Portata media	0,083	0,063	0,026	0,0245	0,0239	0,024	0,047	0,2417
	Conducibilità (µS/cm)	241	216	218	256	323	339	360	288
	Temperatura acqua (°C)	12,2	12,7	13,4	12,4	12,4	12,7	13,0	12,7
	pH	7,36	7,31	7,30	7,60	7,54	7,53	7,54	7,60
pH12 (P06)	Portata media	0,0345	0,0295	0,0243	0,021	0,0261	0,036	0,033	n.r.
	Conducibilità (µS/cm)	304	297	287	282	285	299	301	n.r.
	Temperatura acqua (°C)	12,50	12,40	13,80	14,50	14,10	12,90	12,20	n.r.
	pH	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	9,64	9,74	n.r.	n.r.
Fontana del ciclista (P07)	Portata media	0,081	0,065	0,056	0,049	0,045	0,05	0,056	0,007
	Conducibilità (µS/cm)	314	310	299	293	299	304	304	n.r.
	Temperatura acqua (°C)	16,50	16,50	18,80	20,50	19,50	17,30	14,10	n.r.
	pH	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	7,92	7,9	n.r.	n.r.
Tenella (P08)	Portata media	1,6	0,325	0,274	0,436	0,184	0,243	0,096	
	Conducibilità (µS/cm)	111	125	138,1	129,5	153	140	165,4	
	Temperatura acqua (°C)	11,30	10,50	10,00	12,00	10,80	9,70	5,60	
	pH	7,5	7,48	7,84	7,78	7,85	7,84	7,86	

Tabella 2

Codice Sorgente	Q min. (l/s)	Q mas. (l/s)	Q media (l/s)	Δ Q (l/s)	CE min. (µS/cm)	CE mas. (µS/cm)	CE media (µS/cm)	Δ CE (µS/cm)	pH min.	pH mas.	pH medio	Δ pH	T min. (°C)	T mas. (°C)	T med. (°C)	Δ T (°C)
Fonte Lusore (P01)	0,200	1,70	0,49	1,500	296	328	312	32	7,25	7,59	7,42	0,34	12,8	17,1	15,3	4,3
Sopra Piazza (P02)	0,018	0,16	0,05	0,142	335	385	366	50	7,15	7,17	7,16	0,02	11,8	15,6	13,6	3,8
Piazza (P03)	0,053	0,16	0,12	0,107	373	389	382	16	7,21	8,04	7,54	0,83	12,5	15,0	13,9	2,5
Libera (P04)	0,020	0,16	0,07	0,143	479	495	484	16	7,60	7,72	7,66	0,12	11,7	17,2	14,2	5,5
Trincea (P05)	0,024	0,24	0,07	0,218	216	360	280	144	7,30	7,60	7,47	0,30	12,2	13,4	12,7	1,2
pH12 (P06)	0,021	0,04	0,03	0,015	282	304	294	22	9,64	9,74	9,69	0,10	12,2	14,5	13,2	2,3
Fontana del ciclista (P07)	0,007	0,08	0,05	0,074	293	314	303	21	7,90	7,92	7,91	0,02	14,1	19,5	17,6	5,4
Tenella (P08)	0,096	1,60	0,45	1,504	111	165	137	54	7,48	7,86	7,74	0,38	5,60	12,5	10,4	6,9

Tabella 3

3.1.2 Analisi dell'esaurimento

Per le sorgenti monitorate è stato ricavato il valore del coefficiente di esaurimento α , utilizzando la legge esponenziale proposta da Maillet (1905) secondo la quale la curva di recessione idrologica di una sorgente è ben approssimata dalla seguente equazione:

$$Q_t = Q_0 \times e^{(-\alpha t)}$$

dove Q_t è la portata della sorgente espressa in l/s, corrispondente al tempo t generico della recessione, Q_0 è il flusso di base all'inizio della recessione ed α è il coefficiente di esaurimento (espresso in 1/g) che sostanzialmente quantifica il tempo con cui la sorgente diminuisce la portata durante la recessione.

Si è deciso di utilizzare questa legge poiché, seppur datata, ha già dato prova in molti studi di carattere empirico, effettuati anche nel contesto appenninico, di essere la più valida per riprodurre il comportamento di sorgenti non carsiche durante l'esaurimento estivo (Tallaksen, 1995; Gargini et al., 2008).

Essendo la curva di Maillet (1905) di tipo esponenziale, è sufficiente porre la scala logaritmica nell'asse delle portate di un idrogramma perché tutti i punti di un esaurimento ideale si dispongano lungo una linea retta; il parametro che quantifica la pendenza della retta, espressa in funzione di Q e t , corrisponde al valore del coefficiente di esaurimento α .

Di seguito (da **Fig. 26** a **Fig. 32**) vengono riportate le curve di recessione disposte in scala semi – logaritmica, con le relative equazioni.

Codice sorgente Parametri 21/07/11 04/08/11 25/08/11 02/09/11 15/09/11 04/10/11 18/10/11

Fonte Lusore (P01)	Portata (l/s)	1.7	0.38	0.28	0.23	0.2	0.33	0.29
--------------------	---------------	-----	------	------	------	-----	------	------

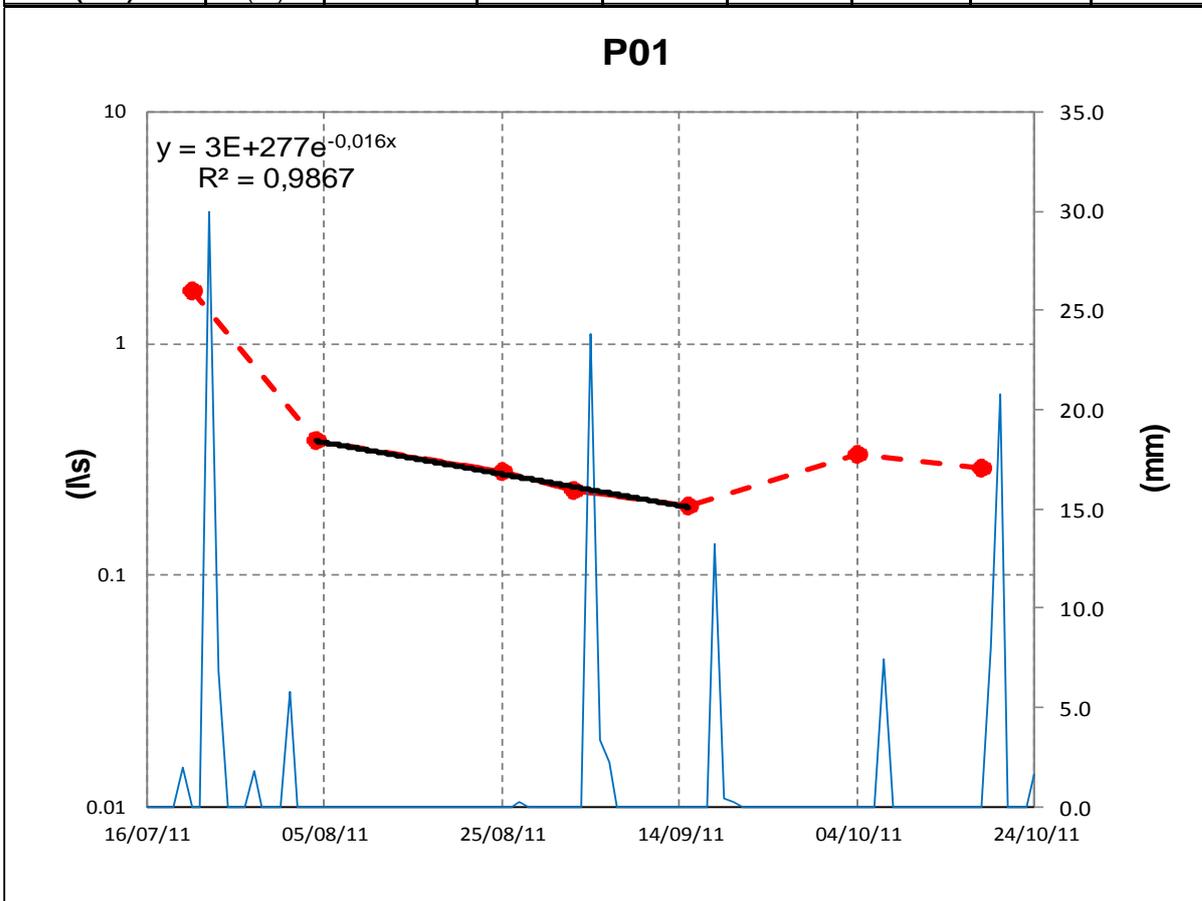


Figura 26 - Curva di recessione idrologica relativa alla sorgente P01, analizzata attraverso il modello di Maillet. Il valore assoluto dell'esponente, relativo alla funzione della linea di tendenza, corrisponde al coefficiente di esaurimento.

Codice sorgente Parametri 21/07/11 04/08/11 25/08/11 02/09/11 15/09/11 04/10/11 18/10/11 21/11/11

Sopra Piazza (P02)	Portata (l/s)	0.062	0.04	0.021	0.02	0.02	0.02	0.018	0.16
--------------------	---------------	-------	------	-------	------	------	------	-------	------

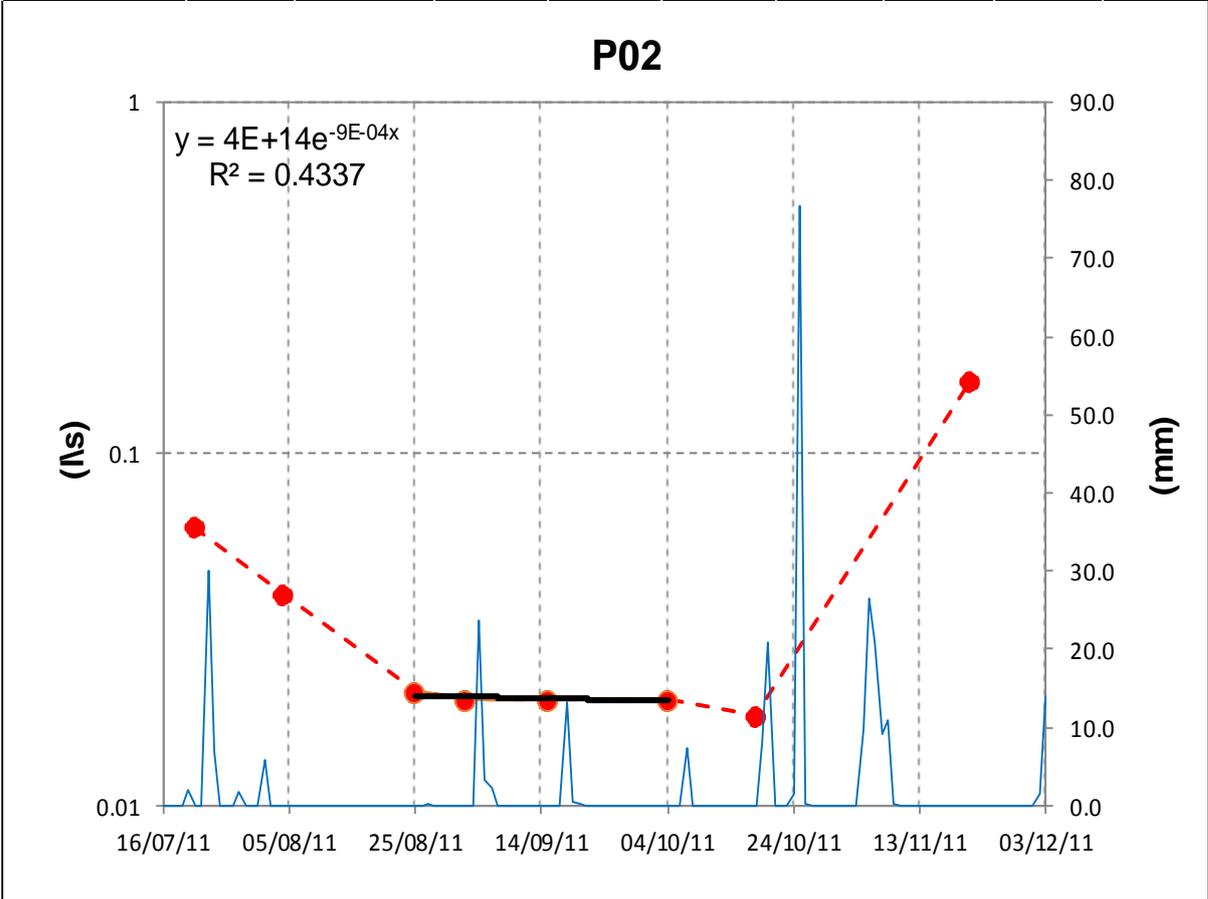


Figura 27 - Come in figura 26 in merito alla sorgente P02.

Codice sorgente Parametri 21/07/11 04/08/11 25/08/11 02/09/11 15/09/11 04/10/11 18/10/11 21/11/11

Piazza (P03)	Portata (l/s)	0.16	0.125	0.056	0.055	0.054	0.06	0.053	0.38
--------------	---------------	------	-------	-------	-------	-------	------	-------	------

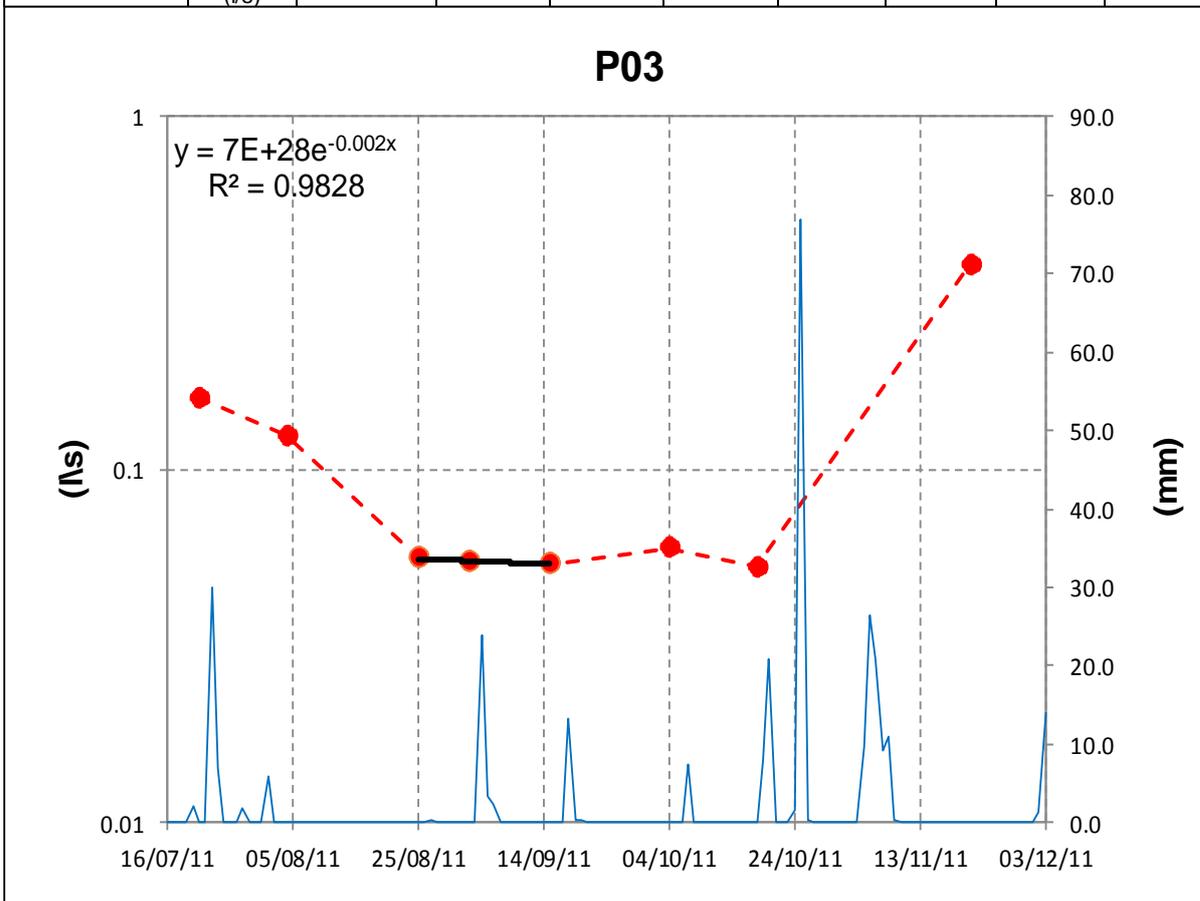


Figura 28 - Come in figura 26 in merito alla sorgente P03.

Codice sorgente Parametri 21/07/11 04/08/11 25/08/11 02/09/11 15/09/11 04/10/11 18/10/11

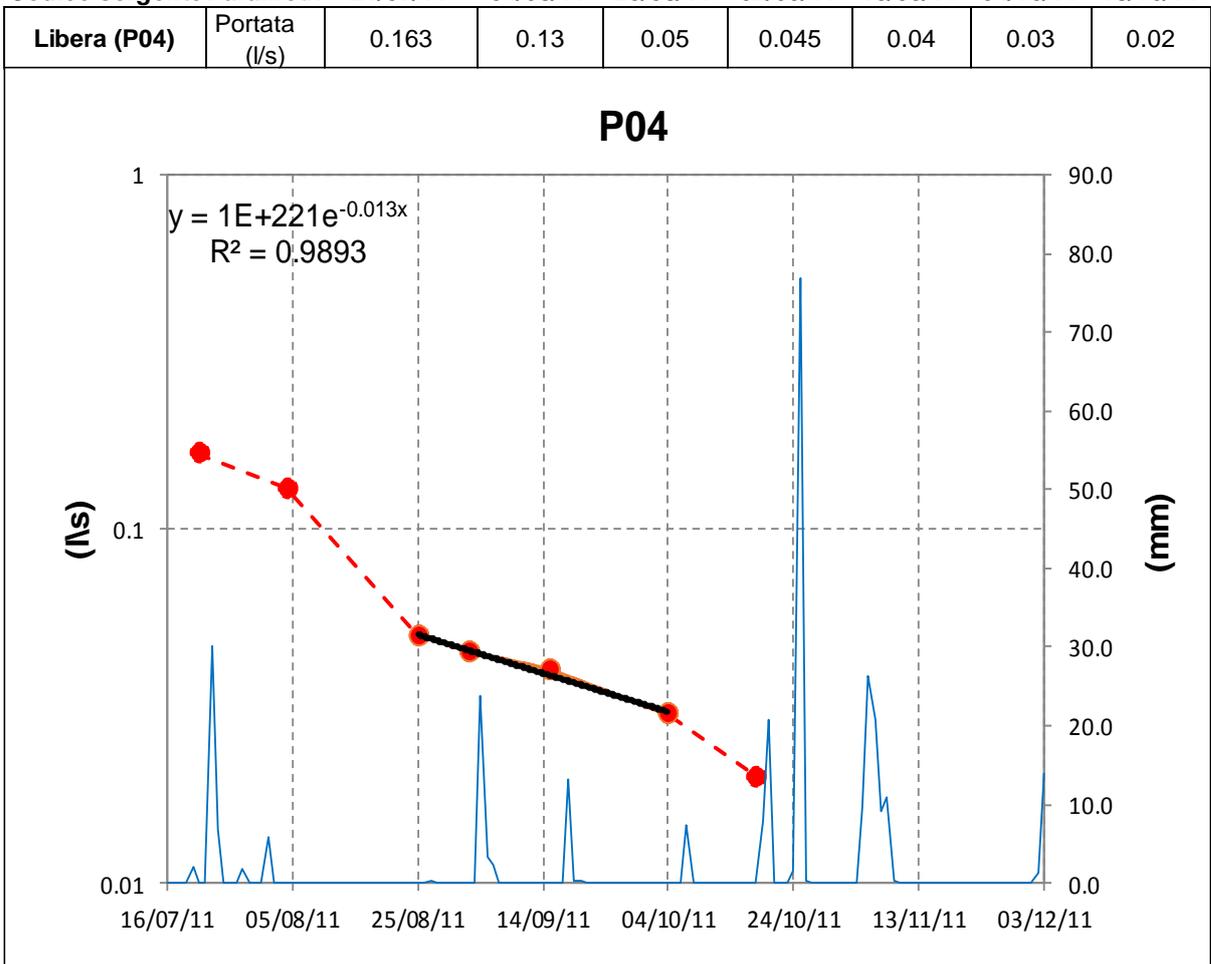


Figura 29 - Come in figura 26 in merito alla sorgente P04.

Codice sorgente Parametri 21/07/11 04/08/11 25/08/11 02/09/11 15/09/11 04/10/11 18/10/11 21/11/11

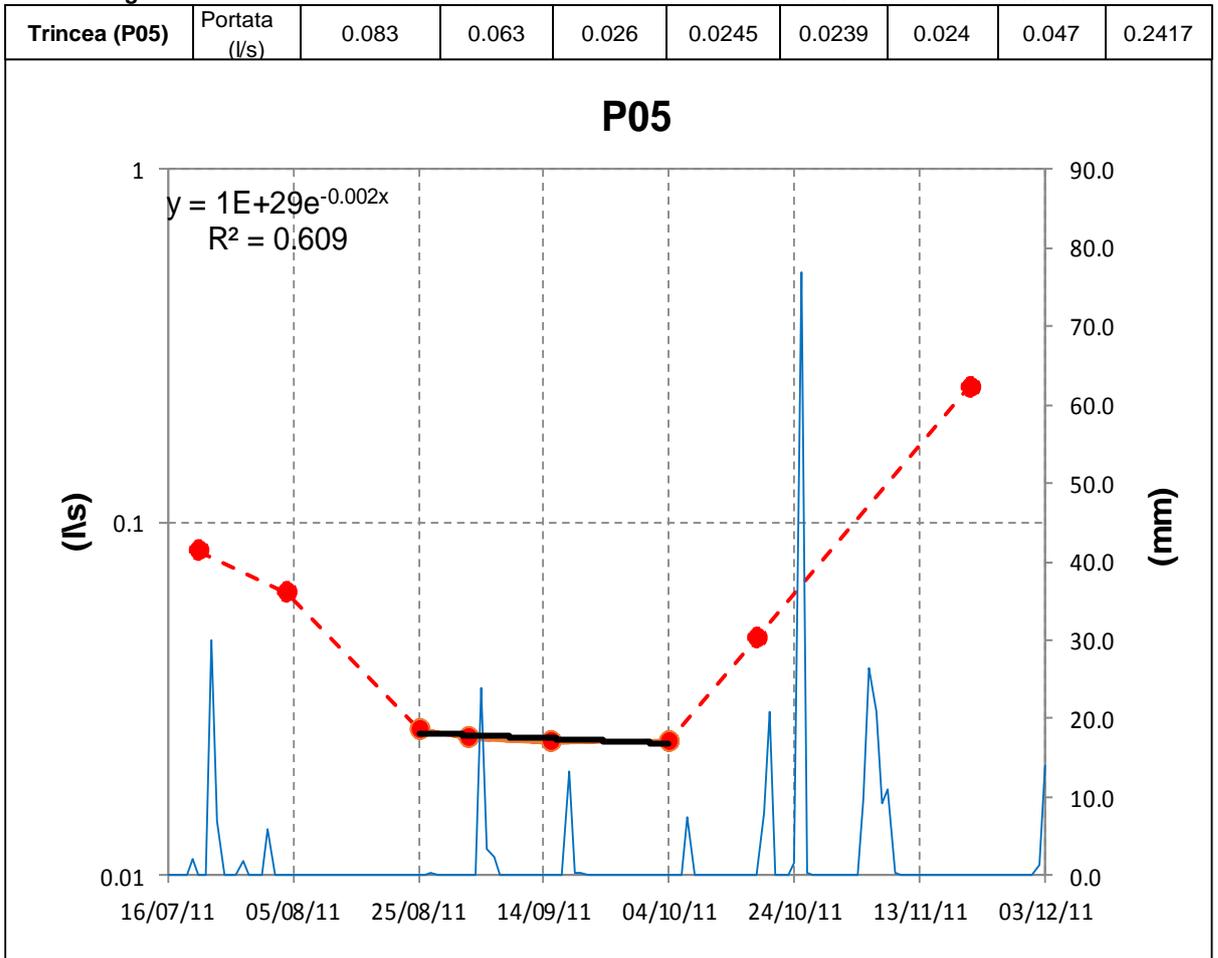


Figura 30 - Come in figura 26 in merito alla sorgente P05.

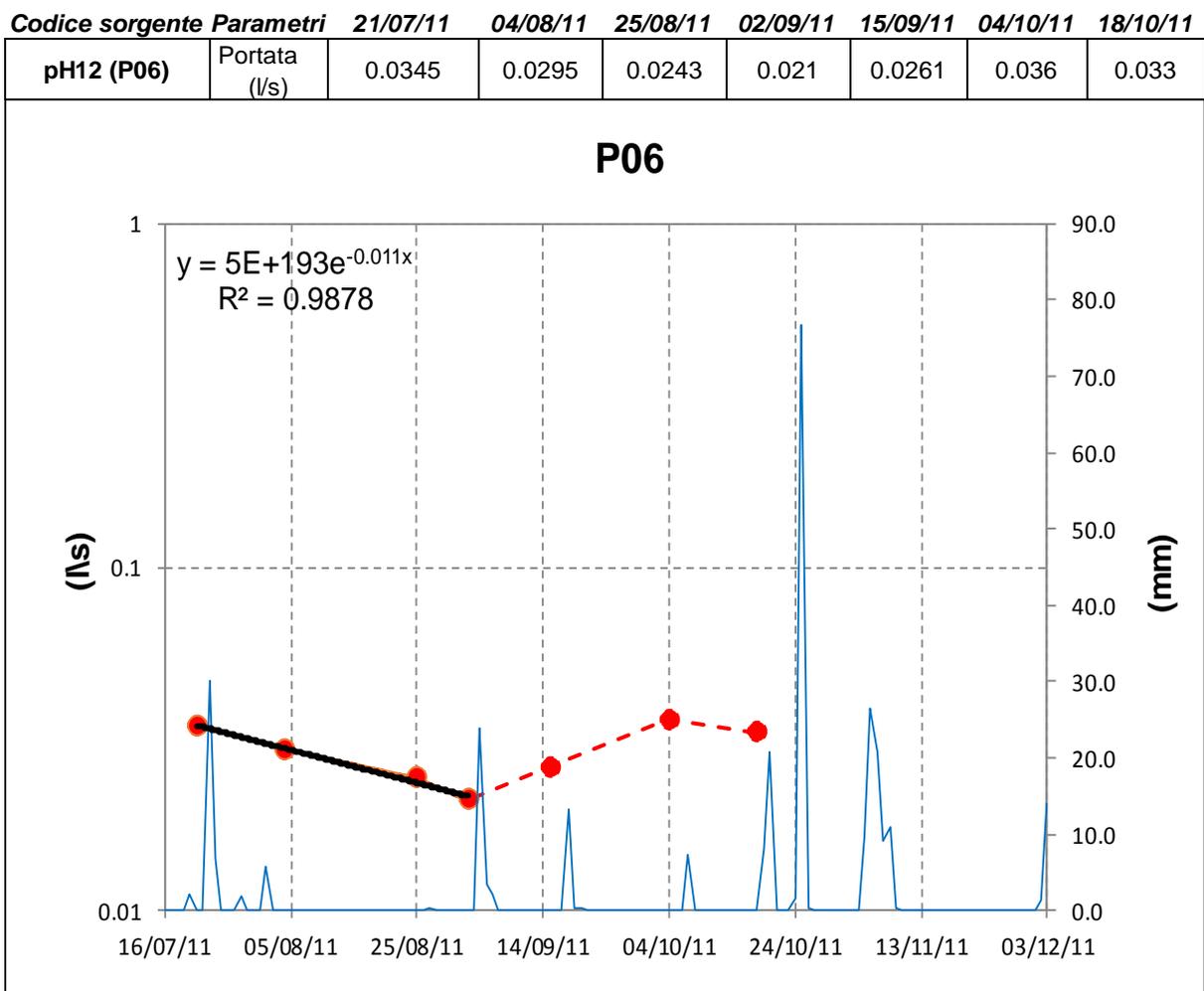


Figura 31 - Come in figura 26 in merito alla sorgente P06.

Codice sorgente Parametri 21/07/11 04/08/11 25/08/11 02/09/11 15/09/11 04/10/11 18/10/11 21/11/11

Fontana del ciclista (P07)	Portata (l/s)	21/07/11	04/08/11	25/08/11	02/09/11	15/09/11	04/10/11	18/10/11	21/11/11
		0.081	0.065	0.056	0.049	0.045	0.05	0.056	0.007

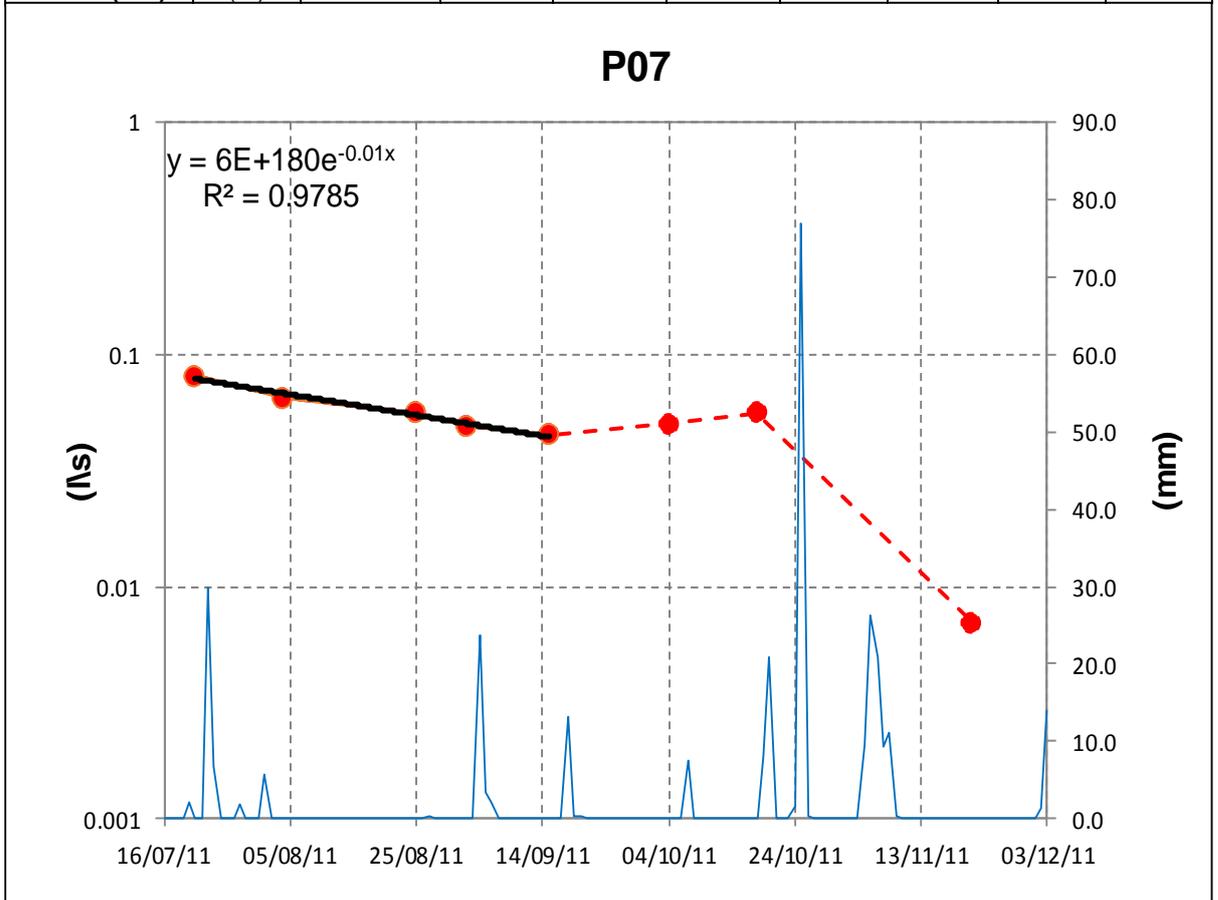


Figura 32 - Come in figura 26 in merito alla sorgente P07.

Come si osserva dagli idrogrammi riportati dalla figura 26 fino alla 32, non tutti i valori di portata sono stati impiegati per la determinazione del coefficiente d'esaurimento α ma, di caso in caso, è stato scelto l'intervallo di dati che meglio rispondeva alla legge di Maillet. Nell'analisi dei punti corrispondenti al reale esaurimento idrologico non perturbato sono stati depurati, e non considerati nell'analisi, i punti relativi a misure di portata corrispondenti alla fase di decremento e non di reale esaurimento idrologico. Nel decremento la sorgente svuota il serbatoio dopo una fase di ricarica ma il regime idrologico non è ancora definibile come "indisturbato". Se durante l'esaurimento vi è una tendenza all'aumento della pendenza, fenomeno che avviene soprattutto per piccole sorgenti, questo è dovuto ad un effetto "pompa" evapotraspirativo su una falda superficiale ed il dato relativo non viene considerato nell'analisi.

Le varie emergenze monitorate presentano valori del coefficiente di esaurimento che spaziano tra 9×10^{-4} 1/g e 1.6×10^{-2} 1/g. Viene di seguito riportato un riepilogo dei coefficienti di recessione ricavati per le varie emergenze (Tabella 4).

Codice sorgente	α [1/g]
P01	$1,6 \times 10^{-2}$
P02	$9,0 \times 10^{-4}$
P03	$2,0 \times 10^{-3}$
P04	$1,3 \times 10^{-2}$
P05	$2,0 \times 10^{-3}$
P06	$1,1 \times 10^{-2}$
P07	$1,0 \times 10^{-2}$

Tabella 4 – Coefficienti di esaurimento delle sorgenti monitorate.

L'analisi del regime termico (**Fig. 33**) permette di osservare che:

- La sorgente a regime stagionale (P08) mostra fluttuazioni termiche di entità prossima a quella registrata in atmosfera, con un regime perfettamente sincrono;

- Le sorgenti basali a regime perenne mostrano fluttuazioni termiche meno accentuate, con un regime chiaramente condizionato da quello atmosferico, ma traslato leggermente in avanti;
- Il comportamento della sorgente a regime stagionale è associabile a una emergenza alimentata, in toto o in gran parte, da un corpo idrico sotterraneo che defluisce in zona di eterotermia anche giornaliera (quindi a profondità relativamente ridotta dal piano campagna). Quanto affermato concorda con la spiccata relazione lineare tra la temperatura delle acque erogate dall'emergenza P08 e la temperatura atmosferica;
- Il comportamento delle sorgenti basali a regime perenne è associabile ad emergenze alimentate, in parte, da acque sotterranee che defluiscono in zona di eterotermia (più stagionale che giornaliera) e, in parte, da acque sotterranee che defluiscono in zona di omotermia (nel complesso, acque che defluiscono a profondità relativamente elevate dal piano campagna). Questa ipotesi concorda con una relazione meno marcata tra la temperatura delle acque erogate dalle altre emergenze e la temperatura atmosferica (**Fig.33**).

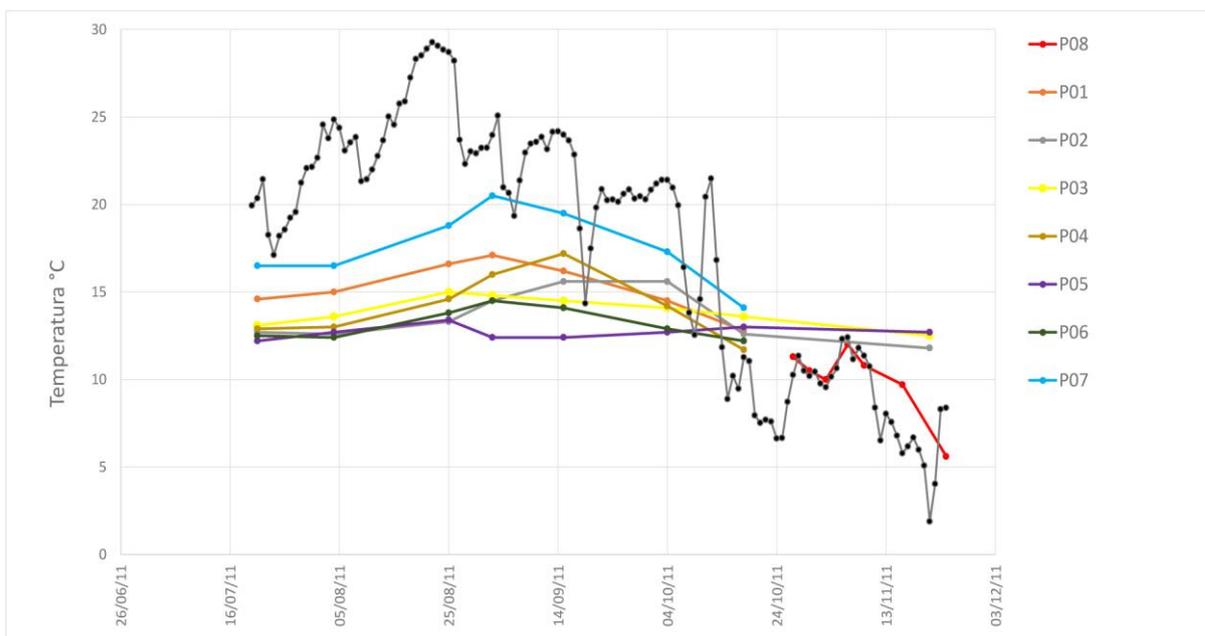


Figura 33 – Andamento della temperatura delle acque sorgive monitorate in funzione della temperatura atmosferica (linea di colore nero).

3.1.3 Classificazione delle emergenze secondo i sistemi di flusso

Seguendo la metodologia proposta da Gargini et al., (2008), è stata effettuata una classificazione delle sorgenti monitorate in funzione dei differenti sistemi di flusso alimentanti. Per effettuare tale classificazione è stato necessario definire, per ogni sorgente, il valore del parametro B_y (*Base-yield*), dipendente dal coefficiente di esaurimento α e dal valore della portata media estiva Q_s (ovvero dal valore medio di portata corrispondente all'intervallo estivo di regressione) espressa in l/min (**Fig. 34**). È stata inoltre determinata la quota sul livello di base (d), per ogni emergenza, ovvero la differenza tra la quota s.l.m. (z) delle emergenze ed il livello idrologico di base locale (h).

In **Tabella 5** è riportata inoltre la classe di appartenenza delle varie sorgenti entro la scala di magnitudo proposta da Meinzer (1923), assegnata a partire dal valore della Q_s (la scala di Meinzer è un sistema di classificazione delle sorgenti secondo la portata media ed è espressa in numeri romani compresi tra I, corrispondente a portate superiori a 10.000 l/s, e VIII, per portate inferiori a 0,01 l/s; fra una classe e la successiva vi è una differenza di 1 ordine di grandezza).

Codice sorgente	α [1/g] medio	Q_s (l/s)	Q_s (l/min)	B_y	z (m s.l.m.)	h (m s.l.m.)	d (m s.l.m.)	IVP	Classe di Meinzer
P01	$1,6 \times 10^{-2}$	0,49	29,4	52,8	470	0	470	3,06	VI
P02	$9,0 \times 10^{-4}$	0,05	3,0	9,14	570	0	570	3,16	VII
P03	$2,0 \times 10^{-3}$	0,12	7,2	19,43	535	0	535	0,89	VI
P04	$1,3 \times 10^{-2}$	0,07	4,2	7,92	477	0	477	2,04	VI
P05	$2,0 \times 10^{-3}$	0,07	4,2	11,34	488	0	488	3,14	VI
P06	$1,1 \times 10^{-2}$	0,03	1,8	3,53	486	0	486	0,50	VII
P07	$1,0 \times 10^{-2}$	0,05	3,0	6,00	505	0	505	1,48	VII

Tabella 5 - Sintesi dei parametri necessari alla classificazione delle sorgenti dell'acquifero del M. Prinzerza secondo il sistema di flusso ad esse correlato (Gargini et al., 2008).

I valori di α sono stati ottenuti come già mostrato in precedenza, mentre le portate medie Q_s sono state calcolate prendendo in considerazione tutti i valori di portata riportati in **Tabella 2**. Per quanto riguarda la quota s.l.m. delle sorgenti (z), questa è stata ricavata osservando la collocazione delle stesse sulla base topografica in scala 1:10000 (CTR). La quota del livello idrologico di base (h) nel presente studio coincide con il contatto tra l'acquifero peridotitico e l'impermeabile relativo sottostante. La quota sul livello di base (d), espressa in metri, è stata ottenuta come semplice differenza tra z e h .

Per quanto riguarda la scala di Meinzer, si osserva che tutte le sorgenti considerate rientrano nella classe di magnitudo VII, tranne la P01, P03, P04 e P05 che hanno magnitudo VI. Sulla base dell'indice di variabilità della portata ($Q_{max}-Q_{min}/Q_{med}$) le sorgenti del M. Prinzerza vengono classificate tutte come variabili ($IVP > 1$) fatta eccezione per le sorgenti P03 e P06 che vengono classificate come subvariabili ($0,25 \leq IVP \leq 1$).

Si è proceduto con la classificazione delle sorgenti sul grafico riportato da Gargini et al., (2008) ed Ermini et al., (2009) in base al valore di B_y e d (**Fig. 34**).

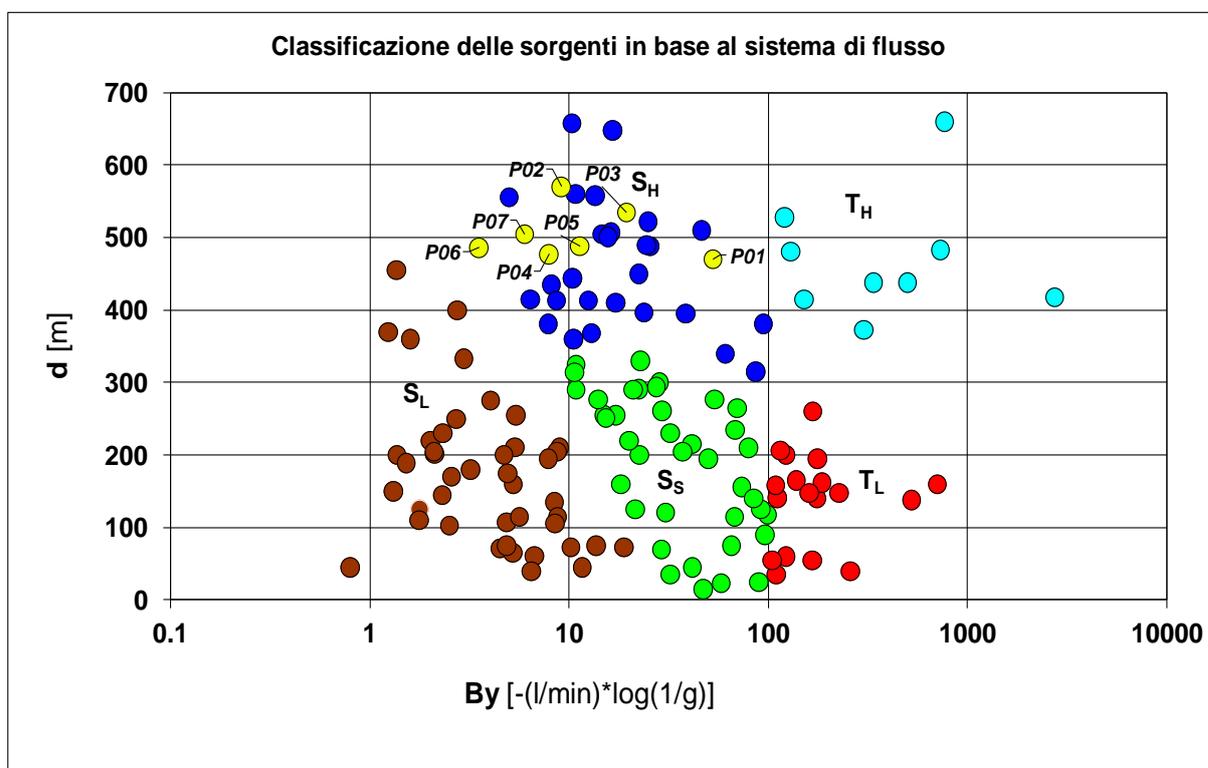


Figura 34 - Grafico classificativo delle sorgenti in base ai sistemi di flusso che le alimentano (da Gargini et al., 2008). In giallo le sorgenti del M. Prinzerza oggetto di monitoraggio in discontinuo classificate in base al sistema di flusso.

Dal confronto con il grafico classificativo riportato in **Fig. 34** emerge che tutte le 7 sorgenti considerate sono alimentate da sistemi locali di flusso di versante di tipo S, in particolare il sistema S_H caratterizzato da sorgenti di versante di alta quota relativa (superiore a 350 m rispetto al livello di base locale).

Le precipitazioni maggiori e più distribuite durante l'anno, la minore evapotraspirazione rendono tali sorgenti, pur se alimentate da sistemi di flusso piccoli, più produttive.

I valori medi della portata media estiva, del coefficiente di esaurimento, della conducibilità elettrica, della temperatura e del pH sono pari, rispettivamente, a: 0,13 l/s; $7,8 \times 10^{-3} \text{ g}^{-1}$; 346 $\mu\text{S/cm}$; 14,3 °C; 7,9.

In sostanza si può affermare che tutti i sistemi di flusso del monte Prinzero sono legati a schemi di circolazione “di versante”, conferma del carattere idrogeologicamente compartimentato da tutte le parti del massiccio.

Questo permette in modo significativo l’effettuazione di un calcolo del bilancio idrologico del massiccio sulla base della portata delle sorgenti.

3.1.4 Stima della ricarica diretta (Q_m).

La metodologia illustrata da Gargini et al., (2008) permette di stimare la portata media annua relativa ad una sorgente monitorata solo durante l’esaurimento estivo: il valore di tale flusso può essere considerato simile, in prima approssimazione, a quello della ricarica che agisce sul flusso sotterraneo, a monte della sorgente stessa all’interno del suo bacino idrogeologico.

Per ricavare il valore della ricarica annua (Q_m), relativamente ad una sorgente, è necessario possedere il valore del coefficiente di recessione α (come determinato nel paragrafo precedente) ed il dato di portata media estiva Q_s , ottenuto tramite la media matematica dei dati di portata acquisiti durante il monitoraggio estivo. Il valore così stimato di Q_m sarà relativo al solo anno idrologico di cui è stata monitorata la parte terminale di esaurimento.

Le varie emergenze sorgentizie oggetto di monitoraggio sono state suddivise in 6 classi (**Tabella 6**), a seconda del valore di α , ad ognuna delle quali corrisponde un’equazione (“Legge di potenza”, derivata sperimentalmente nell’ambito dello studio da Gargini et al., 2008) che lega il valore di Q_s a quello di Q_m .

In **Tabella 7** vengono riassunte le classi del coefficiente di recessione e le corrispondenti relazioni tra Q_s ed il valore di Q_m , calcolato tramite la relativa equazione.

Con tale approccio è possibile stimare il valore della portata media annua di una sorgente, fondamentale per la determinazione della ricarica, semplicemente sulla base del monitoraggio estivo della medesima sorgente (operativamente assai più semplice).

Classe	α [1/g]	Relazione $Q_s - Q_m$
1	$> 3E-2$	$Q_m=13*Q_s^{0,99}$
2	$3E-2 / 2E-2$	$Q_m= 5,2*Q_s^{0,91}$
3	$2E-2 / 1E-2$	$Q_m= 2,6*Q_s^{0,80}$
4	$1E-2 / 6E-3$	$Q_m= 1,9*Q_s^{0,92}$
5	$6E-3 / 3E-3$	$Q_m= 1,3*Q_s^{0,93}$
6	$< 3E-3$	$Q_m= 1,2*Q_s^{0,78}$

Tabella 6 - Sintesi delle classi del coefficiente di recessione, determinate sulla base del lavoro di Gargini et al. (2008); sono riportate le relazioni tra la portata media estiva e la portata media annua, relativamente alle differenti classi.

Codice sorgente	a [1/g]	Classe	Q_s (L/s)	Q_m (L/s)
P01	$1,6 \times 10^{-2}$	3	0,49	1,47
P02	$9,0 \times 10^{-4}$	6	0,05	0,12
P03	$2,0 \times 10^{-3}$	4	0,12	0,27
P04	$1,3 \times 10^{-2}$	3	0,07	0,31
P05	$2,0 \times 10^{-3}$	4	0,07	0,16
P06	$1,1 \times 10^{-2}$	3	0,03	0,16
P07	$1,0 \times 10^{-2}$	3	0,05	0,24
Somma			0,88	2,73

Tabella 7 - Sintesi dei dati necessari al calcolo della ricarica annua, relativa all'anno idrologico 04 ottobre 2010 – 25 ottobre 2011, per le sorgenti monitorate in discontinuo.

3.2 Presentazione dei dati chimici

3.2.1 Descrizione dei dati idrochimici

I risultati delle analisi chimiche delle acque prelevate nel massiccio del Monte Prinzera sono riportati in **Tabella 8a** e **8b**

codice	DATA CAMP	TIPO	COND	pH	Eh	TEMP	DUREZZA	TDS	Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺²	Mg ⁺²
			μS/cm		mV	°C	°f	g/L	ppm	ppm	ppm	ppm
P01	04/10/2011	S	336	8.1	250	11.4	19	0.06	2	0	19	35
P07	04/10/2011	S	318	8.7	105	15.3	16	0.04	2	0	6	35
P02	04/10/2011	S	344	8.1	90	11.7	20	0.06	3	0	23	35
P03	04/10/2011	S	389	7.2	565	14.1	17	0.05	3	0	25	25
P04	04/10/2011	S	539	8.3	129	14.2	28	0.09	7	0	44	40
P05	04/10/2011	S	339	9.1	-160	11.1	6	0.03	14	1	11	9
P06	04/10/2011	S	260	10.8	-282	12.1	4	0.03	17	0	15	0
P08	04/10/2011	S	180	7.8	67	14.6	11	0.03	2	0	4	24

S: spring; TDS: Total Dissolved Solutes; SI: Saturation Index; bdl: below detection limit; nd: not determined

Tabella 8a

codice	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ⁻²	F ⁻	Cl ⁻	NO ₂ ⁻	Br ⁻	NO ₃ ⁻	PO ₄ ⁻²	SO ₄ ⁻²	NH ₄ ⁺	SI _{calcite}	SI _{dolomite}	log PCO ₂
	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm			
P01	201	0.0	0.00	3	0.012	bdl	4.85	bdl	13	bdl	0.12	0.65	-2.80
P07	163	4.4	0.00	3	0.008	bdl	bdl	bdl	31	bdl	0.16	1.31	-3.49
P02	198	0.0	0.09	3	0.006	0.022	0.05	bdl	44	bdl	0.18	0.70	-2.81
P03	177	0.0	0.18	3	0.005	0.009	3.18	bdl	18	bdl	-0.66	-1.12	-1.94
P04	286	3.5	0.20	9	0.006	bdl	bdl	bdl	31	bdl	0.82	1.81	-2.85
P05	51	3.6	0.12	26	bdl	0.140	0.45	bdl	17	bdl	0.30	0.66	-4.41
P06	1	26.3	0.11	21	0.007	0.189	0.07	bdl	19	bdl	0.90	nd	-7.33
P08	126	0.0	0.00	4	bdl	0.013	bdl	bdl	9	bdl	-0.96	-0.95	-2.68

S: spring; TDS: Total Dissolved Solutes; SI: Saturation Index; bdl: below detection limit; nd: not determined

Tabella 8b

Le acque analizzate presentano temperature comprese nell'intervallo 11,1÷15,3 °C, prossime alle temperature medie dell'area oggetto di studio (11,9 °C; Regione ER, 2016). Risultano da alcaline a molto alcaline con valori di pH compresi nell'intervallo 7,2÷10,8. Il potenziale ossido-riduttivo Eh, espresso come mV in **Tabella 8a**, risulta quasi sempre positivo, con valori che raggiungono quelli tipici di acque in equilibrio con la PO₂ atmosferica (≈ +500 mV). Fanno eccezione i campioni P05 e P06 che presentano valori di Eh negativi (rispettivamente -160 e -282 mV). Il contenuto totale di sali disciolti è molto basso, con valori del TDS (Total Dissolved Solutes) variabili nell'intervallo 0,10÷0,42 g/L. Tra i cationi prevalgono i metalli alcalino terrosi (Ca²⁺ e Mg²⁺) con concentrazioni che non superano i 44 mg/L per il Ca²⁺ e 40 mg/L per il Mg²⁺. Ad eccezione del P05 e P06, con rapporti Ca²⁺/Mg²⁺ > 1, i campioni di acque del Prinzera mostrano rapporti Ca²⁺/Mg²⁺ sempre < 1. Na⁺ e K⁺ mostrano

concentrazioni al limite della rilevabilità strumentale. Ancora una volta i campioni P05 e P06 si distinguono per concentrazioni di Na^+ leggermente più alte, rispettivamente di 14 e 17 mg/L. Per quanto riguarda gli anioni risulta evidente l'assoluta prevalenza delle specie carbonatiche con concentrazioni misurate fino a 286 mg/L di HCO_3^- . In risposta all'equilibrio chimico tra specie dissociate dell'acido carbonico il rapporto $\text{CO}_3^{2-}/\text{HCO}_3^-$ aumenta all'aumentare del valore di pH. Come per Na^+ , con il quale risulta quasi sempre correlato, le concentrazioni osservate del Cl^- risultano < 10 mg/L, con la solita eccezione dei campioni P05 e P06 per i quali le concentrazioni di Cl^- risultano rispettivamente di 26 e 21 mg/L. Tra gli ioni fondamentali, lo ione SO_4^{2-} mostra concentrazioni comprese tra 9 e 44 mg/L. Tra i componenti minori e in traccia val la pena citare la presenza di concentrazioni misurabili di Br^- , chiaramente correlato al Cl^- , di NO_2^- e di F^- .

In **Tabella 8b** sono riportati i valori di SI (*Saturation Index*) e di $\log P_{\text{CO}_2}$ calcolati utilizzando il programma Phreeqc (USGS, 2008) per tutti i campioni analizzati. Il Saturation Index è un parametro derivato uguale a:

$$\log \text{IAP}/K_{\text{ps}} = \text{SI}$$

dove IAP sta per *Ion Activity Product*, ovvero il prodotto dell'attività ionica tra ioni in grado di precipitare un sale e K_{ps} il relativo prodotto di solubilità. Il valore di SI risulterà pari a 0 quando $\text{IAP} = K_{\text{ps}}$, ovvero la soluzione sarà satura nel sale stesso, oppure < 0 se $\text{IAP} < K_{\text{ps}}$, ovvero la soluzione sarà sottosatura, infine sarà > 0 quando $\text{IAP} > K_{\text{ps}}$, cioè la soluzione sarà sovrassatura. I campioni P01, P02, P04, P05, P06 e P07 mostrano valori di SI per la calcite > 0 quindi saranno sovrassaturi in calcite, i campioni P03 e P08 invece presentando valori di SI < 0 saranno sottosaturi in calcite. Tutti i campioni sovrassaturi in calcite lo sono pure per la dolomite, con valori di $\text{SI}_{\text{dolomite}} > \text{SI}_{\text{calcite}}$. Da ciò consegue che la dolomite è più stabile in queste soluzioni della calcite.

3.2.2 Classificazione delle acque e diagrammi di variazione

In **Fig.35** è riportato il diagramma classificativo di Langelier-Ludwig. In tale tipo di diagramma i punti composizione delle acque vengono riportati come rapporti in cinquantesimi sulla somma totale di anioni e cationi espressi in meq/L.

Le coordinate di ciascun punto (VR: Valori di Reazione) sono determinate nel seguente modo:

$$- VR_{(Na + K)} = [(C_{eq} (Na) + C_{eq} (K)) / \sum C_{eq} (cationi)] \times 50$$

$$- VR_{(Ca + Mg)} = [(C_{eq} (Ca) + C_{eq} (Mg)) / \sum C_{eq} (cationi)] \times 50 \rightarrow \text{la somma dei VR dei cationi deve essere 50}$$

$$- VR_{(HCO_3 + CO_3)} = [(C_{eq} (HCO_3) + C_{eq} (CO_3)) / \sum C_{eq} (anioni)] \times 50$$

$$- VR_{(SO_4 + Cl)} = [(C_{eq} (SO_4) + C_{eq} (Cl)) / \sum C_{eq} (anioni)] \times 50 \rightarrow \text{la somma dei VR degli anioni deve essere 50}$$

Sulla base della localizzazione dei punti composizione le acque vengono classificate in quattro differenti categorie:

– Quadrante I – Acque bicarbonato alcalino terrose: l'acqua ha una prevalenza di $Ca^{2+} + Mg^{2+}$, rispetto ad $Na^+ + K^+$ e di bicarbonato rispetto alla somma totale degli anioni (dato che il valore di Ca^{2+} è più alto del Mg^{2+} , vengono anche dette "acque bicarbonato calciche");

– Quadrante II – Acque bicarbonato alcaline: l'acqua ha una prevalenza di $Na^+ + K^+$ rispetto a $Ca^{2+} + Mg^{2+}$ e $HCO_3^- + CO_3^{2-}$ sulla somma totale degli anioni (dato che spesso prevale Na^+ , vengono chiamate "acque bicarbonato sodiche");

– Quadrante III – Acque solfato – clorurato alcaline: tra gli anioni prevalgono $Cl^- + SO_4^{2-}$ e tra i cationi $Na^+ + K^+$ (dato che spesso prevalgono Cl^- e Na^+ , le chiamiamo anche "acque clorurato sodiche");

– Quadrante IV – Acque solfato – clorurato alcalino terrose: tra gli anioni prevalgono $Cl^- + SO_4^{2-}$ e tra i cationi $Ca^{2+} + Mg^{2+}$ (dato che solitamente prevalgono SO_4^{2-} e Ca^{2+} , vengono chiamate "acque solfato calciche").

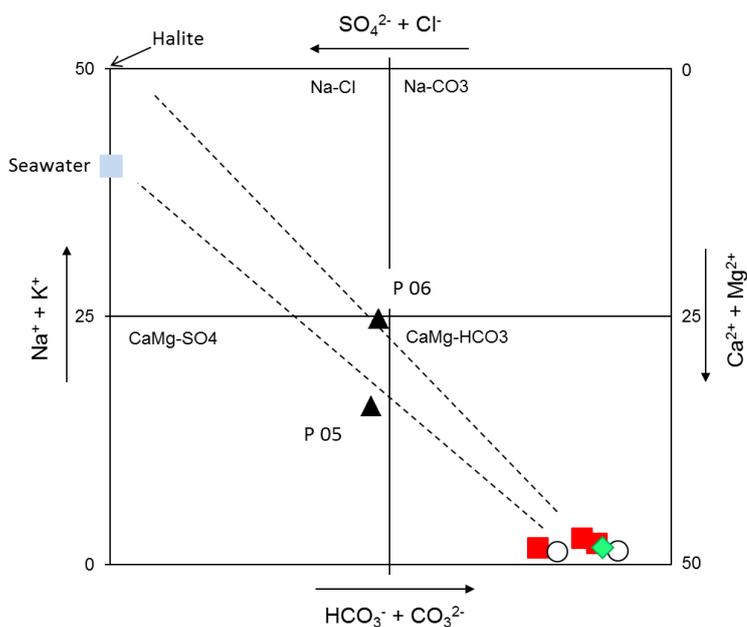


Figura 35

Degli otto campioni analizzati sei ricadono nel quadrante delle acque bicarbonato alcalino-terrose (P01, P02, P03, P04, P07 e P08) e due al limite dei quadranti seppur di poco nel quadrante delle acque solfato alcalino terrose (P05 e P06). La localizzazione dei campioni P05 e P06 risulta allineata (vedi linee a tratteggio) con la composizione delle acque marine attuali e con il vertice del diagramma in alto a sinistra (composizione della fase solida NaCl). Nel dettaglio il campione P06 risulta allineato con il vertice NaCl del diagramma, mentre il campione P05 si allinea tendenzialmente con la composizione attuale dell'acqua marina.

Nelle **Figg. 36 e 37** sono riportate le composizioni delle acque in termini dei loro contenuti relativi di anioni e cationi. Per quanto concerne gli anioni (**Fig. 36**) tutte le acque mostrano una prevalenza di carbonati rispetto a cloruri e solfati. Come già osservato nel diagramma classificativo, sei campioni risultano costituiti quasi esclusivamente di carbonato+bicarbonato, gli altri due invece nettamente arricchiti in cloruri e solfati. Il diagramma dei cationi (**Fig. 37**) mostra una distribuzione più articolata. Cinque campioni (P01, P02, P03, P07 e P08) ricadono nel quadrante delle acque magnesiache (bicarbonato magnesiache nel diagramma classificativo), un campione (P04) nel quadrante delle acque calciche (bicarbonato calciche nel diagramma classificativo) e due nel quadrante delle acque sodiche (clorurato sodiche nel diagramma classificativo). Le ampie variazioni osservate nel diagramma dei

cationi risultano in prevalenza dalla notevole variazione del apporto $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$ nelle acque analizzate e dall'incremento di concentrazione di Na^+ nei campioni P05 e P06.

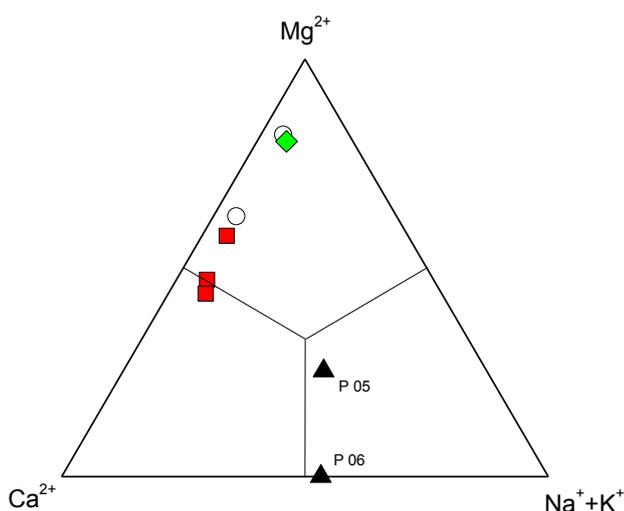
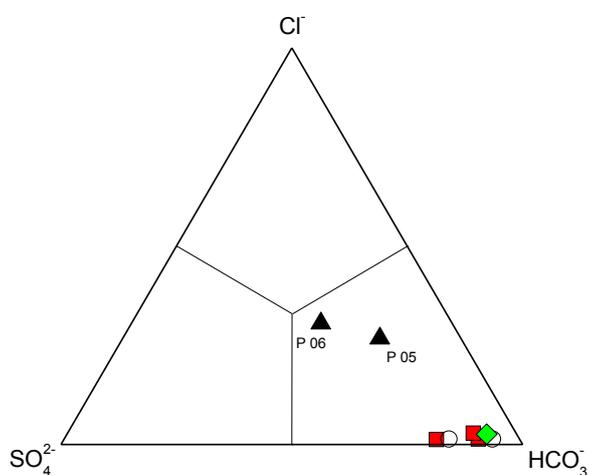


Figura 36 (in alto) e **37** (in basso)

In **Fig. 38** è riportato il diagramma binario Na^+ vs Cl^- . Seppur con un numero esiguo di campioni, i punti composizione tendono a mostrare una correlazione positiva tra le due variabili chimiche. Come già descritto in precedenza i campioni P05 e P06 risultano quelli con maggior concentrazione di Na^+ e Cl^- , seguiti dal campione P04. Come già evidenziato nel diagramma classificativo il campione P05 mostra un rapporto Na^+/Cl^- sostanzialmente uguale a quello dell'acqua marina attuale, mentre il campione P06 si colloca a rapporti Na^+/Cl^- significativamente più alti, in questo caso non riconducibili direttamente nemmeno alla dissoluzione stechiometrica di NaCl .

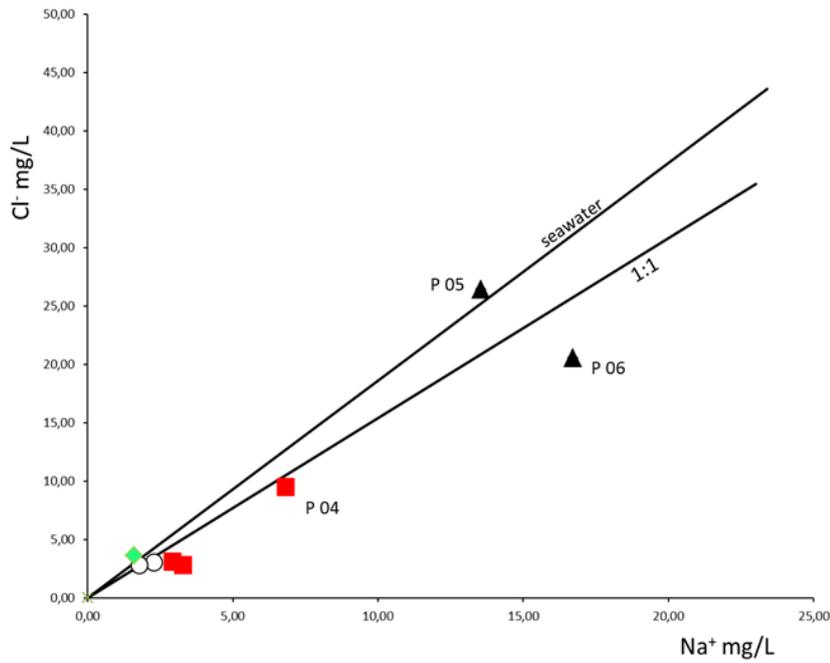


Figura 38

In **Fig. 39** è riportato il diagramma binario Ca^{2+} vs SO_4^{2-} . Con l'eccezione dei campioni P07 e P08, tutti i campioni analizzati mostrano un eccesso di Ca^{2+} rispetto alla stechiometria con lo ione SO_4^{2-} . Ciò indica che seppur in presenza di una grossolana correlazione positiva tra le due variabili chimiche i contenuti in Ca^{2+} e SO_4^{2-} delle acque analizzate non sono riconducibili a diretta dissoluzione di gesso o anidrite.

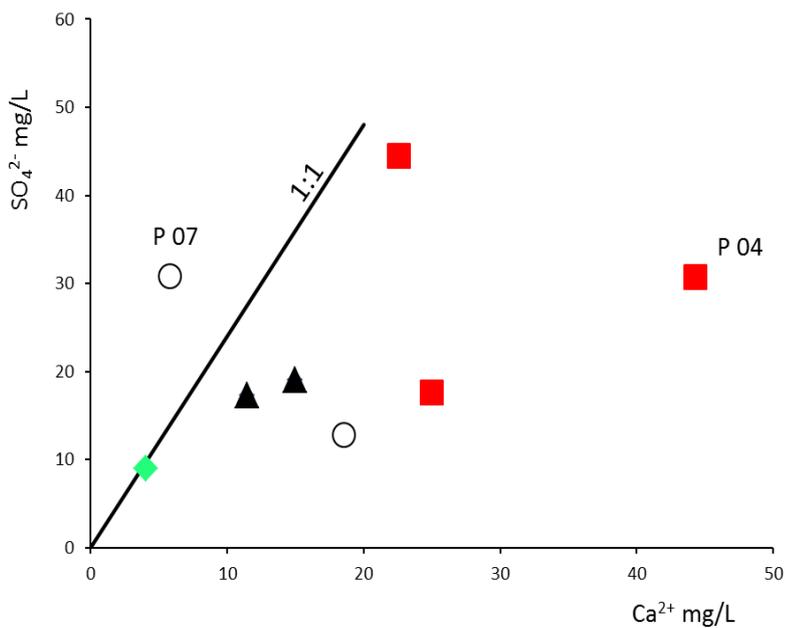


Figura 39

Il diagramma binario di **Fig. 40** rappresenta la relazione tra le concentrazioni di Ca^{2+} vs Mg^{2+} . Anche in questo caso la linea continua rappresenta il rapporto stechiometrico tra i due cationi, ovvero il rapporto atteso nel caso di dissoluzione diretta di dolomite. In questo caso i punti di composizione si collocano ben al di sopra del rapporto stechiometrico $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$, cioè a valori non compatibili con processi di dissoluzione diretta di dolomite e/o calciti magnesiache, che avrebbero al massimo determinato rapporti 1:1. Per tale condizione non si può nemmeno invocare la precipitazione diretta di calcite, e quindi la sottrazione di Ca^{2+} dalla soluzione, in quanto, come descritto in precedenza, lo stato di saturazione dei carbonati imporrebbe la precipitazione primaria di dolomite. Dunque i rapporti osservati non possono che derivare da processi di alterazione delle fasi a silicati di Mg^{2+} largamente presenti nelle rocce del complesso ofiolitico.

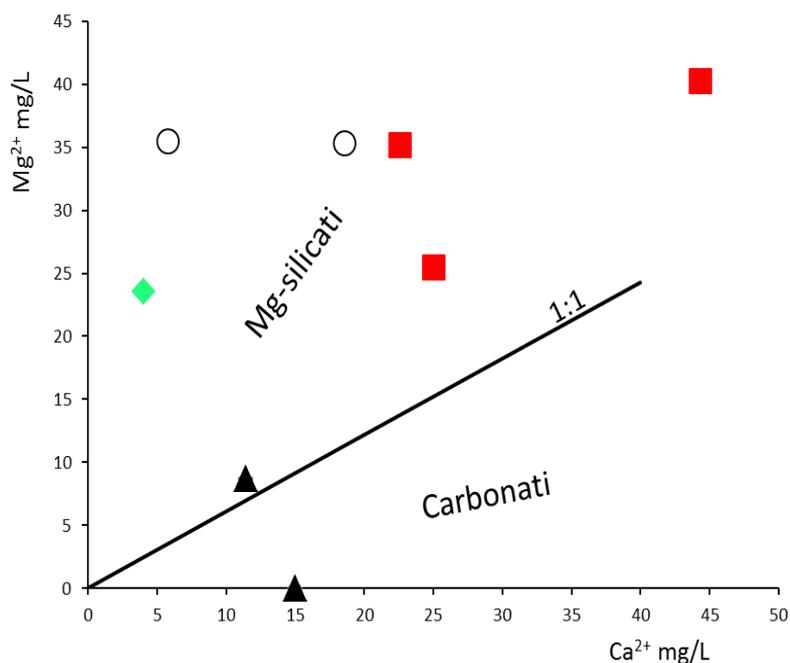
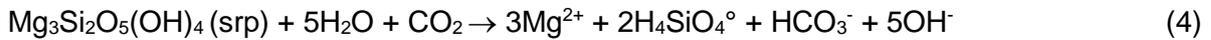
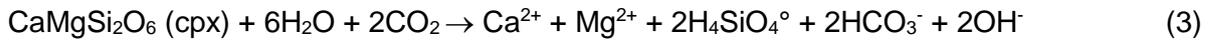


Figura 40

Tali processi possono essere rappresentati dalle seguenti reazioni, che coinvolgono minerali primari e secondari del complesso ofiolitico (ol: olivina; opx: ortopirosseno; cpx: clinopirosseno; srp: serpentino):



Dalle reazioni (1) - (4) si evince come il processo sia fondamentalemente un'idrolisi alcalina di silicati di Mg^{2+} e $(\text{Ca}^{2+}+\text{Mg}^{2+})$. Da notare come tali reazioni tendano a consumare CO_2 e al tempo stesso producano alcalinità liberando in soluzione ioni Mg^{2+} e Ca^{2+} . Tale considerazione trova evidente riscontro nel diagramma binario di **Fig. 41** dove i valori misurati di pH sono confrontati con i valori calcolati di $\log P_{\text{CO}_2}$. Tra le due variabili si osserva una chiara correlazione negativa, ragionevolmente interpretabile come il risultato di un consumo progressivo di CO_2 allo svolgersi delle reazioni di idrolisi alcalina descritte in precedenza. Da notare come i campioni più alcalini (P06 e, in misura minore, il campione P05), mostrino i più bassi valore di P_{CO_2} all'equilibrio (fino a 8500 volte più basso rispetto al valore atmosferico), cioè di aver prodotto la maggior alcalinità a spese della CO_2 .

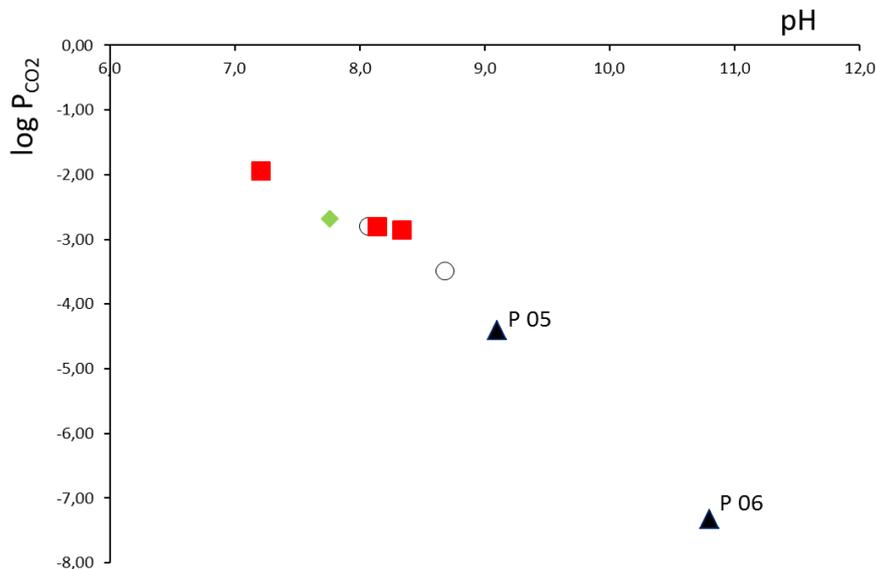


Figura 41

Dalle considerazioni svolte in precedenza si evince che il chimismo di tutti i campioni analizzati risulta fortemente condizionato da processi di interazione acqua/roccia che coinvolgono Mg-silicati appartenenti al complesso ofiolitico del Monte Prinzera. Tali processi determinano effetti significativi che consistono in: i) elevata alcalinità associata a idrolisi alcalina degli Mg-silicati (reazioni (1) - (4)); ii) potenziali redox negativi con presenza di H₂S; iii) rapporti Mg²⁺/Ca²⁺ > 1. L'elevata alcalinità dei campioni P05 e P06, insieme ai valori di potenziale negativi e alla presenza di H₂S sembra indicare una interazione particolarmente prolungata acqua/Mg-silicati. Ciò però non sembra confermato dai bassissimi contenuti osservati di Mg²⁺, con rapporti Mg²⁺/Ca²⁺ largamente < 1. In accordo con alcuni autori (Marchiani e Venturelli, 2006; Boschetti e Toscani, 2008; Boschetti et al., 2013) questi bassissimi contenuti di Mg²⁺ sono da riferire alla sua rimozione per effetto della precipitazione di serpentino e brucite dalle soluzioni acquose. In effetti acque a pH ≈ 11 determinano una solubilità di Mg²⁺ in forma di idrossido molto bassa, tale da portarne la concentrazione a valori largamente < 1 mg/L. Nel presente lavoro di tesi è stato però esplorato un meccanismo diverso, anche se non necessariamente alternativo. Tale meccanismo si basa sul processo di dolomitizzazione del CaCO₃.

Il processo di dolomitizzazione consiste nella trasformazione spontanea di CaCO₃ in CaMg(CO₃)₂ secondo la reazione:



Dalla (5) risulta evidente che la dolomitizzazione tende a rimuovere Mg²⁺ dalla soluzione e ad arricchirla in Ca²⁺, in altre parole il risultato finale è simile a quello proposto da Marchiani e Venturelli (2006), Boschetti e Toscani (2008) e Boschetti et al. (2013), cioè un'acqua a basso o bassissimo Mg²⁺/Ca²⁺.

Per stabilire se una reazione di questo tipo sia compatibile con le composizioni osservate occorre innanzitutto calcolare le condizioni all'equilibrio. In base all'equazione che lega i valori delle energie libere di formazione standard dei componenti la reazione stessa ($\Delta G^\circ_{\text{formazione}}$) è possibile calcolare la costante di equilibrio:

$$\ln K_{\text{eq}} = - \Delta G^\circ_{\text{reazione}} / RT \quad (6)$$

dove $\Delta G^\circ_{\text{reazione}}$ è il valore dell'energia libera standard della reazione (5), R è la costante dei gas perfetti e T la temperatura assoluta (nel nostro caso 25°C, ovvero 298,15 K).

Esprimendo il $\Delta G^\circ_{\text{reazione}}$ in kcal/mole, sostituendo i valori di R e T (298,15 K) e trasformando in \log_{10} il ln si ottiene:

$$\log K_{\text{eq}} = - \Delta G^\circ_{\text{reazione}}/1,364 \quad (7)$$

Il calcolo del $\Delta G^\circ_{\text{reazione}}$ si basa sulla conoscenza dei $\Delta G^\circ_{\text{formazione}}$ dei componenti, moltiplicati per i relativi indici stechiometrici. I valori tabulati dei $\Delta G^\circ_{\text{formazione}}$ dei componenti (Krauskopf, 1979) sono:

$$\Delta G^\circ_{\text{CaCO}_3} = - 269,9 \text{ kcal/mole}$$

$$\Delta G^\circ_{\text{Mg}^{2+}} = - 108,8 \text{ kcal/mole}$$

$$\Delta G^\circ_{\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2} = - 518,7 \text{ kcal/mole}$$

$$\Delta G^\circ_{\text{Ca}^{2+}} = - 132,3 \text{ kcal/mole}$$

In base ai valori di $\Delta G^\circ_{\text{formazione}}$ tabulati si ottiene un $\Delta G^\circ_{\text{reazione}} = -2,3$ kcal/mole, da cui:

$$\log K_{\text{eq}} = 1,68 \quad (8)$$

Il valore della K_{eq} (47,8) indica chiaramente una reazione spostata a destra alle condizioni standard (25°C, 1 bar e $\text{Mg}^{2+}/\text{Ca}^{2+} = 1$), cioè la dolomite risulta favorita rispetto alla calcite per valori unitari di $\text{Mg}^{2+}/\text{Ca}^{2+}$. Al fine di confrontare i dati misurati con i dati teorici ottenuti in base alla (8) si è costruito il diagramma binario Mg^{2+} vs Ca^{2+} di **Fig. 42** In tale diagramma sono riportati in forma logaritmica le attività ioniche di Mg^{2+} e Ca^{2+} dei campioni analizzati (calcolate tramite il programma phreeqc) insieme alle condizioni di equilibrio tra tre fasi (acqua, CaCO_3 e $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) espresse dalla linea nera a tratto continuo. Tale linea separa i campi di stabilità bifase di CaCO_3 e $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$.

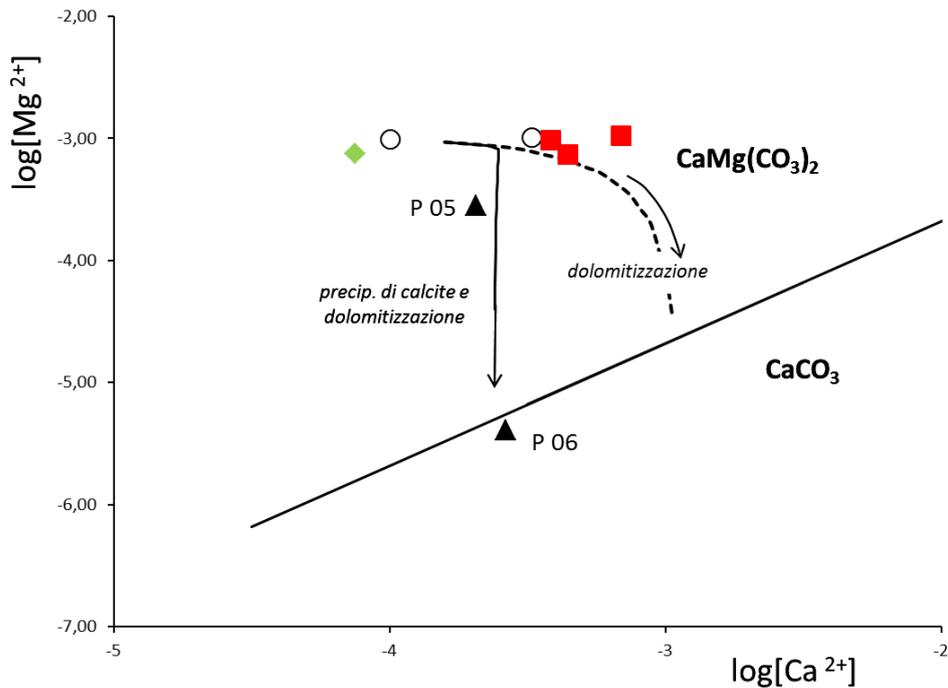


Figura 42

Con l'eccezione del P06 tutti i campioni analizzati ricadono nel campo di stabilità della $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$, cioè se a contatto con CaCO_3 dovrebbero cedere alla roccia Mg^{2+} ed arricchirsi di Ca^{2+} , secondo la reazione (5). La curva a tratteggio rappresenta l'evoluzione chimica attesa per effetto di un processo di dolomitizzazione. La curva a tratto continuo, invece, rappresenta lo stesso tipo di evoluzione ma ad attività di Ca^{2+} costante per effetto della precipitazione continua di CaCO_3 . Osservando la distribuzione dei valori delle attività ioniche risulta evidente che i campioni P05 e P06 tendono ad allinearsi con la curva a tratto continuo, ciò significa che le loro composizioni nei termini del rapporto $\text{Mg}^{2+}/\text{Ca}^{2+}$ sono compatibili con un processo di precipitazione di CaCO_3 e dolomitizzazione. In particolare la posizione del campione P06 coincide con la curva di equilibrio, cioè tale soluzione acquosa risulta equilibrata con tutte le fasi carbonatiche.

3.3 Bilancio Idrogeologico del Massiccio ofiolitico del Monte Prinzera

La valutazione delle risorse idriche sotterranee di una determinata area viene definita attraverso il calcolo analitico dei singoli parametri della seguente espressione di bilancio idrologico:

$$P = E_r + R + I$$

dove:

P = quantitativi d'acqua di *precipitazione* (in mm/a)

E_r = quantitativi d'acqua di *evapotraspirazione reale* (in mm/a)

R = quantitativi d'acqua di *ruscellamento superficiale* (in mm/a)

I = quantitativi d'acqua di *infiltrazione efficace* (in mm/a)

Le acque di ruscellamento superficiale (R) e quelle di infiltrazione (I) rappresentano il *deflusso idrico globale* (D) o Pioggia Efficace:

$$D = R + I$$

Tale parametro può essere ricavato dall'equazione di bilancio:

$$D = P - E_r$$

Il termine D così calcolato viene anche detto *precipitazione efficace* (P_e). Dal deflusso idrico globale si può risalire al valore delle due componenti che lo costituiscono calcolando il cosiddetto *coefficiente di infiltrazione efficace* o *coefficiente di infiltrazione potenziale* (C.I.P.), pari al rapporto fra Infiltrazione e Pioggia Efficace

Il calcolo del bilancio viene riferito ad un intero anno idrologico, nello specifico dal 04 ottobre 2010 al 25 ottobre 2011.

3.3.1 Calcolo del Coefficiente di Infiltrazione

Il Coefficiente di Infiltrazione (C_i), rappresenta la quantità d'acqua espressa come percentuale delle precipitazioni che infiltrandosi nel sottosuolo va ad alimentare il flusso di falda. Celico (1986) e Civita (2005) utilizzano il Coefficiente di Infiltrazione Potenziale o Efficace (C.I.P.) che rappresenta, a differenza del C_i , la sola

percentuale di precipitazione efficace (P_{eff}) (ovvero la precipitazione totale diminuita dell'aliquota di evapotraspirazione reale, $P_{\text{eff}} = P - E_R$) che concorre ad alimentare il flusso di falda.

Assumendo che l'intero flusso scaricato da una sorgente durante un determinato periodo temporale corrisponda, in prima approssimazione, all'aliquota infiltrata a partire dalla diretta precipitazione totale (P) sull'area di ricarica del bacino idrogeologico della sorgente nel medesimo periodo, il C_i può essere definito come il rapporto tra l'altezza della lama d'acqua, corrispondente alla portata media annua (Q_m) scaricata durante l'anno idrologico dalle emergenze sorgentizie, e l'altezza di precipitazione totale (P), caduta entro lo stesso periodo temporale. Il coefficiente è definito perciò dalla seguente espressione:

$$C_i = Q_m/P$$

Tale coefficiente C_i , per analogia con il C.I.P. proposto dalla letteratura (Celico, 1986; Civita, 2005), dipende da vari fattori quali la pendenza dei versanti, la copertura vegetale, la porosità e / o la fratturazione della roccia in superficie, la presenza e tipologia della copertura detritica e / o del suolo etc.

3.3.1.1 Relazione precipitazione - quota

Esiste una relazione, generalmente lineare, che lega la piovosità (P) all'altitudine (h). Per definire tale relazione, fondamentale per la stima della lama d'acqua di precipitazione sul massiccio del Prinzera, sono stati presi in esame i dati di precipitazione cumulata giornaliera, derivanti da stazioni meteorologiche collocate nell'intorno dell'area di studio e a differenti quote altimetriche secondo un transetto che va dalla pianura al crinale.

Per ogni stazione meteorologica sono stati scaricati i dati di precipitazione tramite il nuovo servizio *Dexter3r* attivo dal 19 aprile 2017 presso il Servizio Idro-Meteo-Clima di Arpa Emilia-Romagna (<http://www.smr.arpa.emr.it/dext3r/>), relativi all'anno idrologico 2010 - 2011.

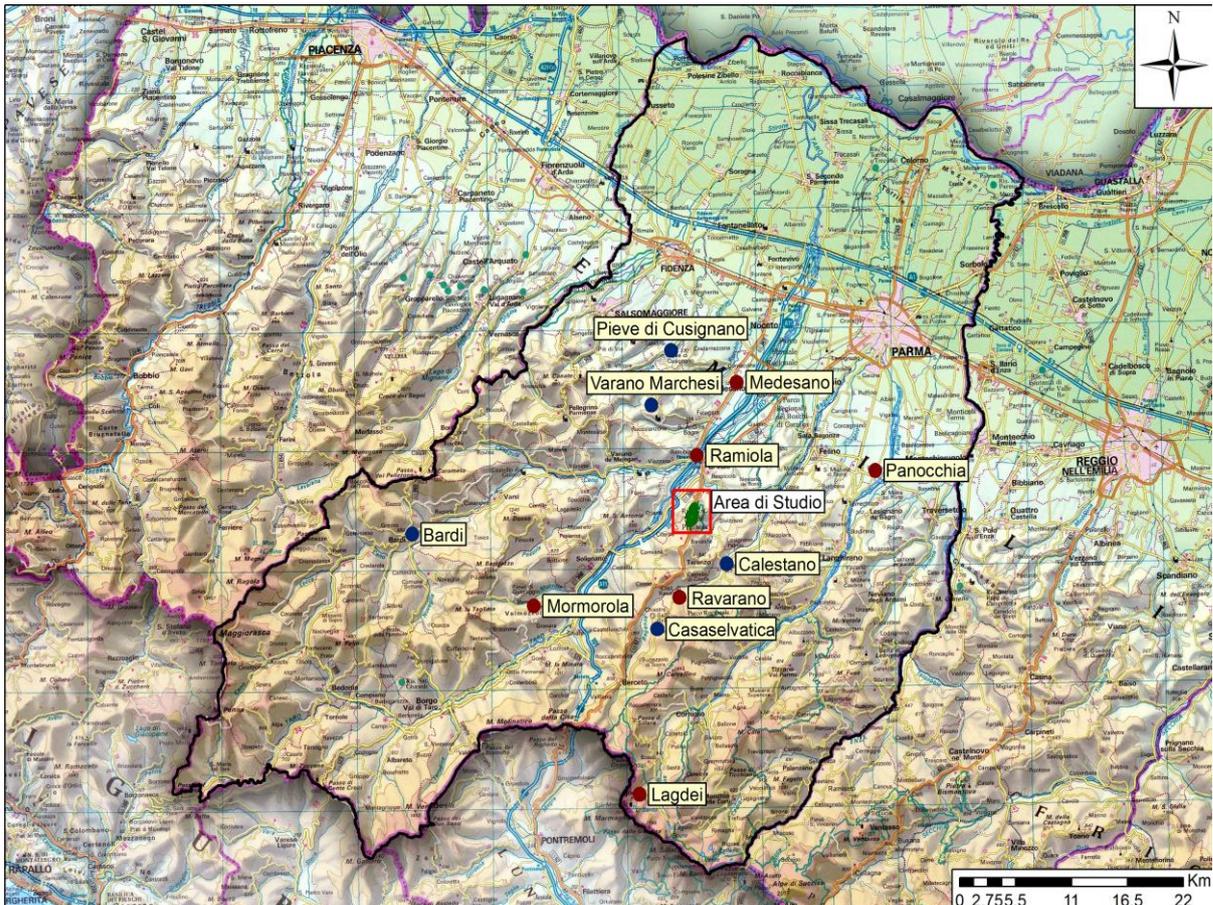


Figura 43 - Distribuzione geografica delle stazioni pluviometriche presenti nell'area di studio. Il pallino di colore blu rappresenta le stazioni considerate per la ricostruzione della relazione esistente tra quota topografica e precipitazione annua.

La **Fig. 43** mostra la distribuzione geografica delle stazioni pluviometriche presenti nell'area di studio. Nello specifico la scelta è ricaduta in quelle segnate in **Tabella 9**. Le stazioni di Mormorola, Medesano, Ramiola, Ravarano e Panocchia (indicate con il pallino di colore bordeaux in **Fig. 43**) sono state escluse perché presentavano lacune di registrazione (mancano i mesi di ottobre, novembre, dicembre e gennaio) causate da periodi di non funzionamento dei pluviometri. Anche la stazione di Lagdei è stata esclusa perché il valore della precipitazione totale annua per il periodo considerato, pari a 3587,2 mm, è un valore non rappresentativo delle precipitazioni medie che caratterizzano l'area di crinale pari a circa 2000 mm (Atlante climatico dell'Emilia-Romagna, edizione 2017).

Infine, in **Fig. 44** è stata ricostruita la relazione numerica tra precipitazione annua e quota topografica, ottenuta tramite correlazione di tipo lineare dei dati relativi ai soli pluviometri considerati. L'interpolazione dei dati diagrammati è stata eseguita

applicando il metodo dei minimi quadrati, seguita dall'analisi del parametro R^2 (indicatore statistico della qualità con cui la regressione ai minimi quadrati riesce ad adattare la funzione lineare) che, nel caso specifico, è risultato pari a 0.82.

Stazione	Quota (m slm)	P _{tot} 10 - 11 (mm)
Pieve di Cusignano	277	998.6
Calestano	381	1045.60
Varano Marchesi	434	1131.20
Bardi	597	1277.60
Casaselvatica	834	1271.20

Tabella 9 – Stazioni meteorologiche utilizzate per ricostruire la relazione quota altimetrica - precipitazione annua per il periodo corrispondente all'anno idrologico 4 ottobre 2010 al 25 ottobre 2011.

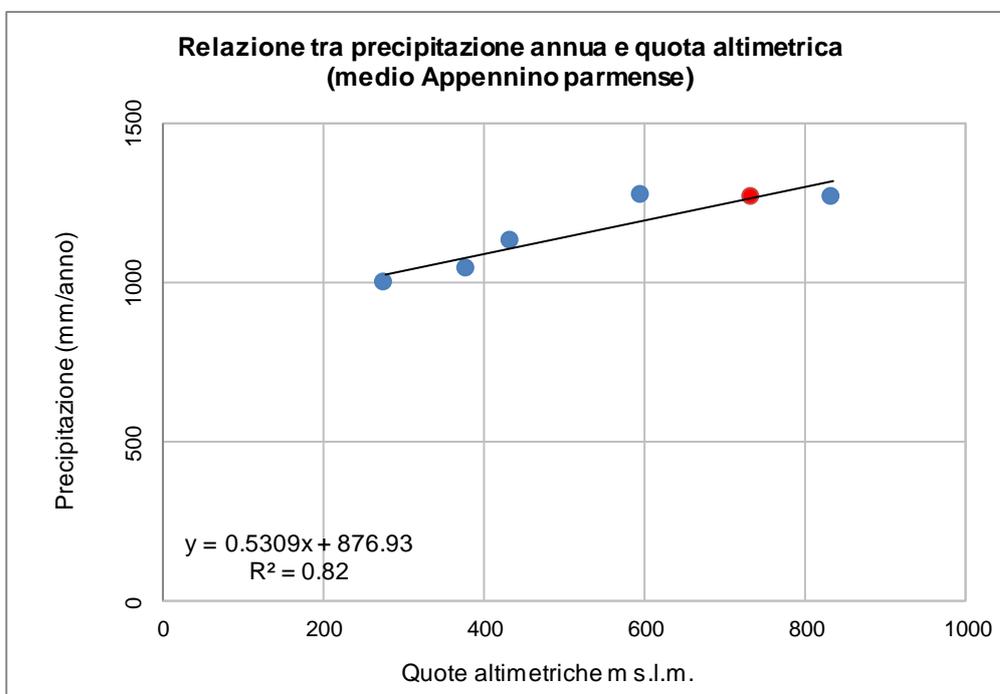


Figura 44 – Relazione numerica tra precipitazione annua e quota topografica, ottenuta tramite correlazione di tipo lineare dei dati relativi ai soli pluviometri considerati. L'indicatore rosso rappresenta il valore della precipitazione annua del M. Prinzera alla quota di 735 m s.l.m.

3.3.1.1.1 Curve ipsometriche del bacino d'alimentazione

Al fine di stimare la precipitazione annua totale sull'intero complesso ofiolitico acquifero si è reso necessario suddividere la placca del M. Prinzeria in fasce altimetriche (**Fig. 45**). È stata cioè suddivisa l'estensione in altezza massima della placca in un certo numero di intervalli compresi fra quote ben definite per le quali sono state calcolate le relative aree sottese (**Tabella 10**). Ciò è stato possibile attraverso la costruzione di *curve ipsometriche* con una equidistanza pari a 100 m.

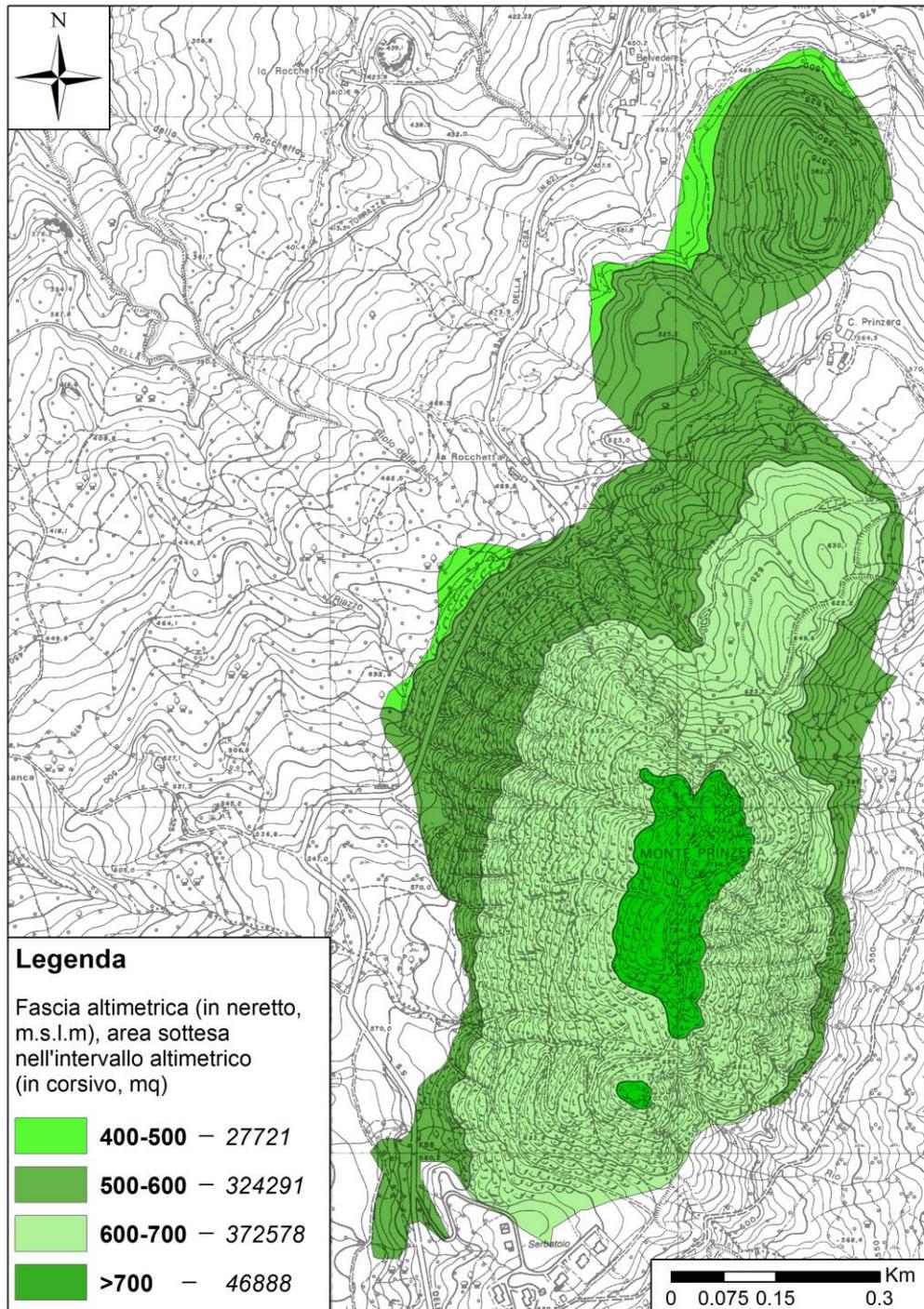


Figura 45 – Suddivisione in fasce altimetriche relative all'area della placca ofiolitica del M. Prinzeria.

Calcolo areale della placca ofiolitica del M.Prinzera				
Aree	Fasce Alt (m s.l.m.)	Aree km ²	Aree m ²	Aree cumulate %
A1	400 – 500	0,0280	27721	3,62
A2	500 – 600	0,3243	324291	42,01
A3	600 – 700	0,3726	372578	48,27
A4	> 700	0,0470	46888	6,09
Area TOT.	400-735	0,7719	771478	100,00

Tabella 10 - Tabella aree sottese entro le 4 fasce altimetriche.

3.3.1.1.2 Stima della precipitazione totale annua per la placca ofiolitica

L'equazione di correlazione tra piovosità e quota ci ha permesso di stimare il dato di precipitazione annua totale relativo all'area di studio (**Tabella 11**).

Quota media (m slm)	P (mm)
450	1115,84
550	1168,93
650	1222,02
735	1267,14

Tabella 11 - Tabella della quota media e della precipitazione.

Nello specifico, ad ogni fascia altimetrica è stato assegnato il valore di precipitazione stimato relativo alla quota media della fascia stessa che, moltiplicato per l'area corrispondente, fornisce il volume di acqua caduto nelle singole fasce. Successivamente, la lama media d'acqua relativa a tutta la placca è stata ottenuta dividendo la somma totale dei volumi di acqua di precipitazione di ogni fascia (m³), per la somma totale delle singole aree (m²) (**Tabella 12**).

Suddivisioni areali	Area (m ²)	Quota media (m s.l.m.)	P(m)	Vol.acqua caduto in ogni fascia altim.(m ³)
A1	27721	450	1.1158	30932.06204
A2	324291	550	1.1689	379071.8572
A3	372578	650	1.2220	455295.9047
A4	46888	735	1.2671	59413.73065
Totale	771478			924713.5545
P medio (m) della placca =	Vol.TOT(m ³) =	1.198625955	1198.625955	(mm)
	A TOT(m ²)			

Tabella 12 - Tabella per la stima della precipitazione annua caduta sulla placca ofiolica del M. Prinzerà nell'anno idrologico dal 04 ottobre 2010 al 25 ottobre 2011.

I calcoli effettuati alla scala della placca hanno dato un valore di precipitazione totale annua, per l'anno idrologico 2010 - 2011, di 1,198 m, equivalenti a 1198,63 mm.

3.3.2 Stima dell'evapotraspirazione totale reale del Massiccio del M. Prinzerà

L'evapotraspirazione è il risultato di due fenomeni: l'uno fisico, l'evaporazione e l'altro biologico, la traspirazione.

L'evaporazione avviene alle superfici di acqua libera e dalla superficie del terreno e dal suolo. La traspirazione interessa invece la copertura vegetale.

Si distinguono una evapotraspirazione potenziale E_p ed una evapotraspirazione reale E_r .

La prima è la quantità massima d'acqua che potrebbe essere eliminata dal suolo per evapotraspirazione, in relazione alla capacità termica dell'atmosfera, ammettendo che il medesimo sia in una condizione costante ideale di piena saturazione di acqua di ritenzione (capacità di campo); la seconda invece è la quantità d'acqua realmente perduta in relazione anche alla effettiva disponibilità idrica.

Per il presente studio è stato necessario stimare l'evapotraspirazione reale (E_R) e a tal fine si è scelto di utilizzare la formula di Turc (1955):

$$E_R = P / \sqrt{[0,9 + (P^2/L^2)]}$$

dove:

E_R = evapotraspirazione reale in mm/a

P = altezza di precipitazione totale in mm/a

Il parametro L, che rappresenta il potere evapotraspirante dell'atmosfera, si calcola con la seguente formula:

$$L = 300 + 25T_c + 0,05T_c^3$$

dove:

T_c = temperatura annua media dell'aria in °C.

Il dato di precipitazione totale annua, considerato rappresentativo per la zona di studio, è quello determinato nel Paragrafo 3.3.1.1.2.

Tutti i parametri sono sempre riferiti all'anno idrologico 2010 - 2011.

3.3.2.1 Stima della temperatura annua media per la determinazione di E_R

Per la stima del dato di temperatura annua media dell'ammasso ofiolitico del M. Prinzerà sono stati utilizzati i dati termici delle seguenti stazioni meteorologiche: Calestano, Varano Marchesi, Bardi e Casaselvatica. Come per le precipitazioni, per ogni stazione meteorologica sopra citata sono stati reperiti i dati di temperatura tramite il nuovo servizio Dexter3r attivo dal 19 aprile 2017 del Servizio Idro-Meteo-Clima di Arpa Emilia-Romagna (<http://www.smr.arpa.emr.it/dext3r/>), relativi all'anno idrologico 2010 - 2011.

Partendo dalle temperature giornaliere, è stato ricavato un valore medio di temperatura annuale per ogni stazione considerata (**Tabella 13**). Mediante la stessa tecnica di plottaggio dei valori noti di temperatura media annua di ogni stazione si è potuto ricavare, in modo indiretto e seguendo la linea di tendenza disegnata (**Fig. 46**), i valori di temperatura per le quote medie scelte per ciascuna fascia altimetrica individuata (sino alla vetta del M. Prinzerà, 735 m s.l.m.) come riportato in **Tabella 14**.

Stazioni meteo	Quota (m s.l.m.)	T media 10 - 11 (°C)
Calestano	381	14.09
Varano Marchesi	434	13.18
Bardi	597	12.12
Casaselvatica	834	10.70
T media		12.52

Tabella 13 - Elenco delle stazioni meteorologiche utilizzate per ricostruire la relazione temperatura-precipitazione (i nomi indicati sono quelli utilizzati nel database di ARPA Emilia-Romagna) con indicazione della relativa quota.

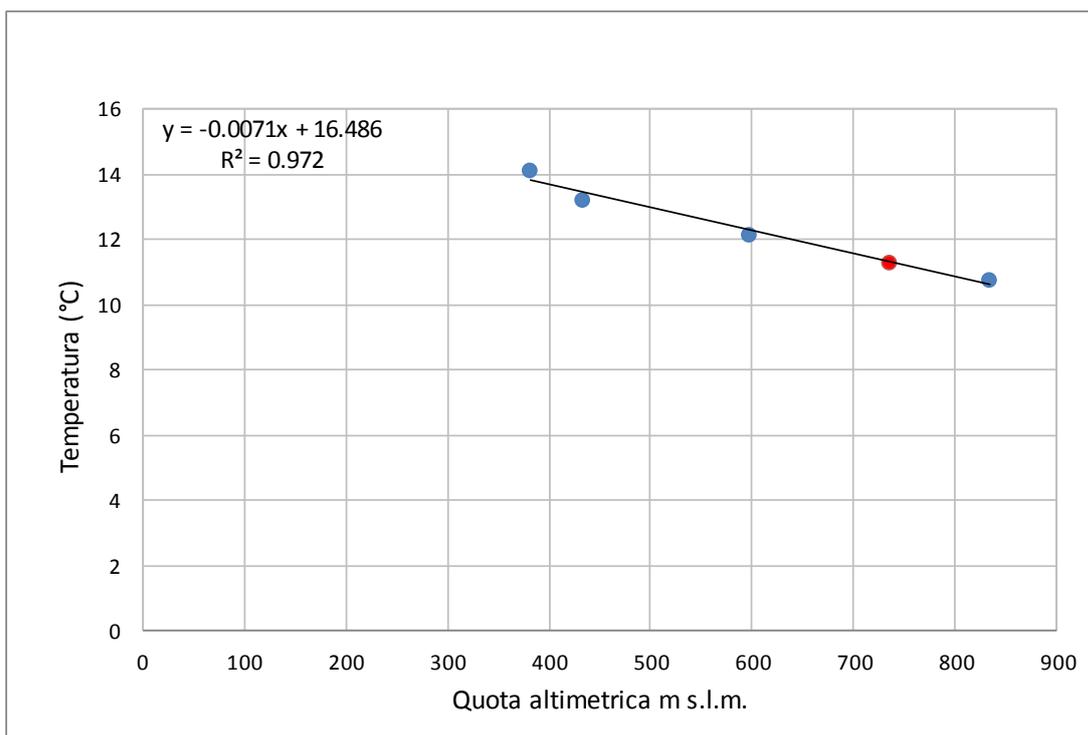


Figura 46 - Relazione tra temperatura annua media e quota topografica, ottenuta tramite fittaggio lineare dei dati relativi alle stazioni metereologiche considerate (pallino blu). Il pallino rosso indica il valore della temperatura ricavata per la placca del M. Prinzeria.

Q m s.l.m	T media annua °C
450	13.3
550	12.6
650	11.9
735	11.3
T media	12.3

Tabella 14 - Valore di temperatura riferito alla quota per l'anno idrologico ottobre 2010 – ottobre 2011.

Noti il valore di temperatura media annua di 12,3°C, e quello di precipitazione totale annua pari a 1199 mm, è stato possibile calcolare il dato finale di E_R andando a sostituire i termini incogniti all'equazione esposta nel paragrafo 3.3.2. Si è ottenuto un valore di 611 mm di acqua realmente evapotraspirata (**Tabella 15**).

P (mm)	T °C	L	E_r
1199	12.30	698	611

Tabella 15

3.3.3 Stima del Surplus o Precipitazione efficace

Avendo a disposizione, per l'ammasso ofiolitico in esame, il valore della precipitazione totale annua e dell'evapotraspirazione, si è proceduto alla stima del valore di precipitazione efficace ($P_{\text{eff}} = P - E_R$), ovvero la precipitazione totale diminuita dell'aliquota di evapotraspirazione reale.

Quindi sottraendo il dato di E_R al dato di precipitazione totale annua (P) si ricava il Surplus o precipitazione efficace (P_{eff}), ossia ciò che realmente è disponibile come acqua utile, per alimentare il ruscellamento superficiale e ricarica dell'acquifero roccioso. Si è ottenuto un valore di 588 mm.

3.3.4 Stima della Ricarica totale (R) del M. Prinzera

La stima della ricarica totale annua (R) si può calcolare semplicemente mediante il prodotto del tasso medio annuo di ricarica ($Q_m = 2,73$ l/s), stimato con il metodo di Gargini et al., (2008), per i secondi presenti nell'anno idrologico preso in considerazione. In questo modo si ottiene un valore di stima pari a 93405312 L erogati nell'anno idrologico, equivalenti a 93405,312 m³.

A questo punto, facendo il rapporto tra il volume stimato annuo ricavato in precedenza, e la superficie dell'intera placca ofiolitica (771478 m²), si riscontra un valore di 0,12107 m (121 mm), corrispondenti al valore di ricarica totale annua.

3.4 Il Coefficiente di Infiltrazione C_i ed il Coefficiente di infiltrazione potenziale (CIP)

I dati precedentemente stimati permettono di arrivare alla determinazione del parametro finale C_i pari al semplice rapporto tra ricarica totale annua R (121 mm) e precipitazioni totali annue P (1199 mm):

$$C_i = R/P$$

il valore di C_i caratteristico dell'ammasso ofiolitico del M.Prinzera è pari a 0,10 (10%). Analogamente il coefficiente di infiltrazione potenziale (CIP) è stato ottenuto mediante il rapporto fra ricarica totale annua (121 mm) e surplus (o P_{eff} , 588 mm):

$$CIP = R/\text{Surplus}$$

si ottiene un risultato di 0,21 (21%)

In **Tabella 16** vengono riportati i *range* di CIP a seconda delle differenti unità idrogeologiche (Civita, 2005). Il valore di CIP ottenuto (0,21) per l'ammasso ofiolitico del M. Prinzerza rientra nel range relativo al complesso idrogeologico delle plutoniti fessurate, confermando l'affidabilità del modello interpretativo adottato.

Complesso idrogeologico	Range CIP	Valore guida
Alluvioni grossolane	0,65 1,00	0,90
Sabbie pure sciolte	0,90 1,00	0,95
Formazioni sabbiose	0,75 0,90	0,80
Alluvioni medio-fini	0,15 0,45	0,30
Argille, limi, torbe	0,00 0,25	0,15
Morene prevalentemente grossolane	0,50 0,70	0,55
Morene prevalentemente fini	0,15 0,25	0,20
Marne, Argilliti	0,10 0,20	0,15
Alternanze, flysch calcareo marnoso	0,20 0,50	0,35
Alternanze, flysch marnoso arenaceo	0,20 0,45	0,25
Arenarie, conglomerati	0,30 0,50	0,40
Calcari carsificati	0,75 1,00	0,95
Calcari fessurati	0,50 0,85	0,75
Marmi s.s.	0,90 1,00	0,95
Dolomie fessurate	0,45 0,70	0,60
Vulcaniti fessurate acide	0,30 0,70	0,50
Vulcaniti fessurate basiche	0,75 1,00	0,85
Piroclastiti prevalentemente fini	0,15 0,25	0,20
Plutoniti fessurate	0,05 0,35	0,25
Metamorfiti fessurate (filladi)	0,05 0,30	0,10
Metamorfiti fessurate (gneiss)	0,15 0,35	0,25

Tabella 16 - Principali complessi idrogeologici e relativi intervalli di valori (*range*) del Coefficiente di Infiltrazione Potenziale (Civita 2005).

4) Conclusioni

Il presente studio ha avuto come scopo la determinazione sperimentale di un bilancio idrogeologico di un acquifero fratturato ospitato in un ammasso ofiolitico nell'Appennino settentrionale (Monte Prinzerza, comuni di Fornovo di Taro e Terenzo, provincia di Parma).

Caratteristica peculiare che rende questo luogo significativo rispetto ad altri contesti è che la placca ofiolitica è una unità idrogeologica ben definita rispetto a formazioni tamponanti circostanti e quindi ben si presta a questo tipo di analisi.

Sfruttando tale peculiarità abbiamo applicato un bilancio idrogeologico, relativo all'anno idrologico dal 04 ottobre 2010 al 25 ottobre 2011.

Il bilancio si è basato sull'applicazione del metodo dell'analisi dell'esaurimento estivo delle sorgenti secondo il metodo di Gargini et al., 2008 (non ci sono torrenti

perenni in uscita dal massiccio) che permette l'effettuazione di uno studio di campagna limitato al solo periodo estivo con evidente utilità logistica ed operativa.

I parametri trovati hanno permesso di classificare le sorgenti secondo il sistema di flusso a loro associato, a partire dalla determinazione sperimentale del coefficiente di esaurimento che rispecchia la velocità di svuotamento del bacino idrogeologico della sorgente, e, successivamente, di fare una stima del coefficiente d'infiltrazione legato alle unità geologiche costituenti l'ammasso roccioso acquifero.

Il valore di C_i caratteristico dell'ammasso ofiolitico del M. Prinzerà è pari a 0,10 (10%).

Il valore di CIP ottenuto 21% (0,21) per l'ammasso ofiolitico del M. Prinzerà rientra nel range relativo al complesso idrogeologico delle plutoniti fessurate (Tabella 16), confermando l'affidabilità del modello interpretativo adottato.

Nell'ambito del presente studio la stima di C_i per l'unità geologica entro cui si collocano le sorgenti del M. Prinzerà sarà di supporto alla gestione e protezione della risorsa nonché alla modellazione numerica dell'areale di studio, che richiede la conoscenza specifica del tasso di ricarica per l'idrostruttura studiata. Questo è particolarmente vero per le provincie di Parma e Piacenza dove gli acquiferi ofiolitici sono particolarmente diffusi e rappresentano, nel settore montano, spesso l'unica fonte di approvvigionamento di acqua potabile come accade per i seguenti comuni: Bobbio, Ferriere, Farini (per la Provincia di Piacenza); Borgo val di Taro, Bardi, Bedonia, Fornovo di Taro, Terenzo, Tornolo e Berceto (per la Provincia di Parma). Ciò ha indotto ad analizzare questa zona nel dettaglio per verificare le eventuali relazioni che possono esistere tra le scaturigini e le caratteristiche idrogeologiche del substrato.

Per il futuro l'obiettivo sarà quello di validare il metodo su un altro anno idrogeologico dove si dispone di un monitoraggio annuale.

Bibliografia

- AA.VV., 1979. Carta pedologica: fattori pedogenetici e associazioni di suoli in Emilia-Romagna (con carta dei suoli 1:200.000). Collana di Orientamenti Geomorfologici ed Agronomico Forestali, Regione Emilia-Romagna, Pitagora, Bologna.
- Argnani A.J., Ricci Lucchi F., 2001. Tertiary silicoclastic turbidite systems of the Northern Apennines. In: Vai, G.B. & Martini, I.P. (a cura di), *Anatomy of an orogen: the Apennines and adjacent Mediterranean basins* Kluwer Academic Publishers, 327-350.
- Artoni A., Papani G., Rizzini F., Calderoni M., Bernini M., Argnani A., Roveri M., Rossi M., Rogledi S., Gennari R., 2004. The Salsomaggiore structure (Northwestern Apennine foothills, Italy): a Messinian mountain front shaped by mass-wasting products. *Geoacta*, 3: 107-128.
- Boccaletti M., Coli M., 1982. Carta strutturale dell'Appennino settentrionale 1:250.000. CNR Progetto Finalizzato Geodinamica, SELCA, Firenze.
- Boccaletti M., Elter P., Guazzone G., 1971. Plate Tectonics models for the development of the Western Alps and Northern Apennines. *Nature* 234: 108-111.
- Boccaletti M., Calamita F., Deiana G. Gelati R., Massari F., Moratti G., Ricci Lucchi F., 1990. Migrating foredeep-thrust belt system in the northern Apennines and southern Alps. In: Boccaletti M., Moratti G. (a cura di), *Neogene paleogeography of the Perityrrhenian area*, *Palaeo-3*, 77-1 (spec.iss.), 3-14.
- Boni A., Braga G., Gelati R., Laureri S., Papani G., Petrucci F., Venzo S., 1971. Note illustrative della Carta Geologica d'Italia: Foglio 72-Fiorenzuola d'Arda. *Serv. Geol. d'It.*, 7-83.
- Boschetti T., 2003. Studio geochimico e geochimico-isotopico di acque a composizione estrema e termali dell'Appennino Settentrionale. Earth Sciences Dept. Univ., Parma, Italy.

- Boschetti T., Toscani L., 2008. Springs and streams of the Taro-Ceno Valleys (Northern Apennine, Italy): Reaction path modeling of waters interacting with serpentized ultramafic rocks. *Chemical Geology* 257: 76-91.
- Boschetti T., Etiope G., Pennisi M., Romain M., Toscani L., 2013. Boron, lithium and methane isotope composition of hyperalkaline waters (Northern Apennines, Italy): Terrestrial serpentization or mixing with brine?. *Applied Geochemistry* 32: 17-25.
- Castellarin A., Cantelli L., Fesce A.M., Mercier J.L., Picotti V., Pini G.A., Prosser G., Selli L., 1992. Alpine compressional tectonics in the Southern Alps. In: Relationship with the N-Apennines, *Annales Tectonicae* 6: 62-94.
- Celico P., 1986. *Prospezioni idrogeologiche. Volume I*, Liguori editore, Napoli, 736p.
- Cerrina Feroni A., Martelli L., Martinelli P., Ottria G., Catanzariti R., 2002. Carta geologico-strutturale dell'Appennino emiliano-romagnolo (1:250.000). Note illustrative. SELCA, Firenze, 23 p.
- Civita M., 1973. Schematizzazione idrogeologica delle sorgenti normali e delle relative opere di captazione. *Memorie e Note Istit. Geol. Appl.*, Napoli 12:1-34.
- Civita M., 2005. *Idrogeologia applicata ambientale*. Casa Editrice Ambrosiana, 794p.
- Dalla Casa G., Ghelardoni R., 1967. Note illustrative della Carta Geologica d'Italia: Foglio 84-Pontremoli e Foglio 85-Castelnuovo né Monti. *Serv. Geol. d'It.*, 83p.
- De Nardo M. T., 1991. Escursione tematica sulle "Unità caotiche" del medio Appennino parmense e reggiano. Ufficio Geologico Regione Emilia-Romagna.
- di Biase D., Mutti, E., 2002. The "proto adriatic basin". In: Mutti, E.; Ricci Lucchi, F. & Roveri, M. (a cura di), *Revisiting turbidites of the Marnoso-arenacea Formation and their basin-margin equivalents: problems with classic models*. Excursion Guidebook,

Università di Parma and Eni-Agip Division, 64th EAGE Conference and Exhibition, Florence (Italy), 120p.

Di Dio G., Martini A., Lasagna S., Zanzucchi G., 2005. Note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000, Foglio Parma Sud-Ovest. Servizio Geologico della Regione Emilia-Romagna, Servizio Geologica Nazionale, 180p.

Elter P., 1975. Introduction à la géologie de l'Apennin septentrional. Bull. Soc. Geol. France, 17: 956-962.

Elter P., 1994. Introduzione alla geologia dell'Appennino ligure-emiliano. In: G. Zanzucchi (a cura di), Appennino Ligure Emiliano, 10 itinerari. Guide Geologiche Regionali S.G.I.: 6, 17-24.

Elter P., Marroni M., 1991. Le Unità Liguri dell'Appennino Settentrionale: sintesi dei dati e nuove interpretazioni. Mem. Descr. Carta Geol. d'It.: 46, 121-138.

Elter P., Pertusati P., 1973. Considerazione sul limite Alpi-Appennino e sulle relazioni con l'arco delle Alpi occidentali. Mem. Soc. Geol. It., 12: 359-375.

Ermini L., Gargini, A., Piccinini, L., Vincenzi V., Martelli L., Canuti P., 2009. Le gallerie TAV attraverso l'Appennino Toscano: impatto idrogeologico e opere di mitigazione. Ermini L. (a cura di), EDIFIR edizioni, Firenze. ISBN 978-88-7970-411-3.

Freeze R.A., Cherry J.A., 1979. Groundwater, Prentice-Hall, Englewood Cliff, NJ.

Koppen W., 1936. Das geographische System der Klimate. In: Koppen, W., Geiger, G. (a cura di), Handbuch der klimatologie, 1 C. Gebr, Borntraeger, 1-44.

GARGINI A., VINCENZI V., PICCININI L., ZUPPI G.M., CANUTI P., 2008. Groundwater flow systems in turbidites of Northern Apennines (Italy): natural discharge and high speed railway tunnels drainage. Hydrogeology Journal 16: 1577-1599, versione elettronica con supplementary material: doi: 10.1007/s10040-008-0352-8.

- Gargini A., De Nardo M.T., Piccinini L., Segadelli S., Vincenzi V., 2014. Spring discharge and groundwater flow systems in sedimentary and ophiolitic hard rock aquifers: experiences from Northern Apennines (Italy). In: Sharp J.M. & Troegger U. (a cura di), *Fractured Rock Hydrogeology*, I.A.H. Selected Papers on Hydrogeology, 129-146.
- Giammetti F., 1964. Le serpentine del Monte Prinzera. *Memorie della Società Geologica Italiana* 4:283-303.
- Halford K.J., Mayer G.C., 2000. Problems Associated with Estimating Ground Water Discharge and Recharge from Stream-Discharge Records, 331-342. Version of Record online: 4 AUG 2005 | DOI: 10.1111/j.1745-6584.2000.tb00218.x
- Istituto di Geologia dell'Università di Parma (1966) - Carta Geologica e Sezioni geologiche della Provincia di Parma e zone limitrofe (1:100.000). Litografia Artistica Cartografica, Firenze.
- Lombini A., Dinelli E., Ferrari C., Simoni A., 1998. Plant-soil relationships in the serpentinite screes of Mt. Prinzera (Northern Apennines, Italy). *Journal of Geochemical Exploration* 64: 19-33.
- Maillet E., 1905. *Essai d'hydraulique souterraine et fluviale*. Lib. Scient. Herman, Paris, 218p.
- Marchiani C., Venturelli G., 2006. Studio pilota interdisciplinare per la valutazione e la gestione delle risorse idriche della Riserva Naturale Monte Prinzera. Ricerca realizzata nell'ambito del Programma Regionale di Investimenti nelle Aree Protette 2001-2003. www.parchi.parma.it/allegato.asp?ID=674960.
- Meinzer O.E., 1923. *Outline of Ground-Water Hydrology*. Geological Survey Water - Supply Paper 494, 93pp. Washington. Reprint 1965 O-765-456.

- Mutti E., Papani L., Di Biase D., Davoli G., Mora S., Segadelli S., Tinterri R. 1995. Il Bacino Terziario Epimesoalpino e le sue implicazioni sui rapporti tra Alpi ed Appennino. *Memorie di Scienze Geologiche di Padova* 47: 217 - 244.
- Mutti E., Ricci Lucchi F., Roveri M., 2002. Revisiting turbidites of the Marnosoarenacea Formation and their basin-margin equivalents: problems with classic models. *Excursion Guidebook, Workshop organized by Dipartimento di Scienze della Terra (Università di Parma) and Eni-Divisione Agip, 64th EAGE Conference and Exhibition, Florence (Italy), May 27-30, 120 p.*
- Panizza M., 1995. *Geomorfologia*. Pitagora editrice, II edizione, 397p.
- Pinna M., 1977. *Climatologia*. UTET, Torino, 442p.
- Plesi G., 1975. La giacitura del complesso Bratica-Petrignacola nella serie del Rio di Roccaferara (Val Parma) e dei flysch arenacei tipo Cervarola dell'Appennino settentrionale. *Boll. Soc. Geol. It.*, 94: 157-176.
- Principi G., Treves B., 1984. Il sistema corso-appenninico come prisma di accrezione. *Riflessi sul problema generale del limite Alpi-Appennini*. *Memorie dalla Società*
- Ricci Lucchi F., 1986. The Oligocene to recent foreland basins of the Northern Appennines. In: Allen, P.A. & Homewood, P. (a cura di), *Foreland Basins*. IAS Special Publication, Oxford: Blackwell Scientific 8: 105-139.
- Roveri M., Ricci Lucchi F., Lucente C.C., Manzi V., Mutti E., 2002. Stratigraphy, facies and basin fill history of the Marnoso-arenacea Formation. In: Mutti E., Ricci Lucchi F., Roveri M. (a cura di), *Revisiting turbidites of the Marnoso-arenacea Formation and their basin-margin equivalents: problems with classic models*. *Excursion Guidebook, Università di Parma and Eni-Agip Division, 64th EAGE Conference and Exhibition, Florence (Italy), 120p.*
- Saccani A., 1990. *Prinzera*. Comunità Montana delle Valli del Taro e del Ceno, Comune Forno Taro, Comune di Terenzo. Editoria Tipolitotecnica.

- Segadelli S., 2014. Funzionamento idrogeologico di acquiferi peridotitici: il caso del M. Prinzera (Appennino settentrionale, Italia). Ph. D. Thesis, Università degli Studi di Parma, Dipartimento di Scienze della Terra, 97p.
- Segadelli S., Vescovi P., Ogata K., Chelli A., Zanini A., Boschetti T., Petrella E, Toscani L., Gargini A., Celico F., 2017. A conceptual hydrogeological model of ophiolitic aquifers (serpentinized peridotite): The test example of Mt. Prinzera (northern Italy). *Hydrological Processes* 31:1058–1073. DOI: 10.1002/hyp.11090
- Servizio Geologico D'Italia, 1968. Carta Geologica d'Italia in scala 1:100.000, Foglio 85-Castelnuovo nè Monti. II Edizione, Roma.
- Servizio Geologico Nazionale, 2005. Carta Geologica d'Italia in scala 1:50.000, Foglio 199 Parma sudt. S.EL.CA, Firenze.
- Turc L., 1955. Le bilan d'eau des sols. Relations entre les precipitations, l'evaporation et l'ecoulement. *Ann. Agron.*, 6: 5-131.
- Vai G.B., Castellarin A., 1992. Correlazione sinottica delle unità strati grafiche nell'Appennino Settentrionale, *Studi Geologici Camerti Vol. Spec. (1992/2), CROP 1-1°*, 171-185.
- Venturelli G., 2002. Alterazione di rocce ultramafiche e geochimica delle acque. In: Sacconi A. (a cura di) - *Atti del Convegno Nazionale "Le Ofioliti: isole sulla terraferma. Per una rete di Aree Protette"*. Regione Emilia-Romagna, Comune di Fornovo Taro, Comune di Terenzo, Comunità Montana delle Valle del Taro e del Ceno. Graphital, Parma, 55-63.
- Venturelli G., Contini S., Bonazzi A. & Mangia A., 1977. Weathering of ultramafic rocks and element mobility at Mt. Prinzera, Northern Apennines, Italy. *Mineralogical Magazine* 61: 765-778.

Vescovi P., 1993. Schema evolutivo per le liguridi dell'Appennino settentrionale. Atti.Tic.Sc.Terra 36: 89-112.

Zanzucchi G., 1980. I lineamenti geologici dell'Appennino parmense. Note illustrative alla Carta geologica e Sezioni geologiche della Provincia di Parma e zone limitrofe (1:100.000). Volume dedicato a S.Venzo, STEP, Parma, 201-233.

Allegato 1 - Schede descrittive delle sorgenti monitorate

P01

Sezione A: Identificativo sorgente

Codice sorgente	Denominazione sorgente
P01	Fonte Lusore

Sezione B: Inquadramento territoriale amministrativo

Regione	Provincia	Comune	Località
Emilia Romagna	Parma	Fornovo di Taro	Monte Prinzera, versante ovest, località Belvedere
Gestore	Montagna 2000	Dato catastale	
Accessibilità al luogo della sorgente	<input checked="" type="checkbox"/> Alta	<input type="checkbox"/> Media	<input type="checkbox"/> Bassa
Note			

Sezione C: Inquadramento geografico

Bacino idrografico	Corso d'acqua principale
Fiume Taro	Fiume Taro

Sistema di riferimento

Coordinate geografiche

Latitudine:

Longitudine:

Origine dati

GPS Cartografia Triangolazione Interpretazione Altro

PDOP:

Coordinate chilometriche (UTM32*)

Km N 945067.74

Km E: 585990.62

Origine dati

GPS Cartografia Triangolazione Interpretazione Altro

PDOP:

Quota 470 m. s.l.m.

Latitudine:

Longitudine:

Origine dati

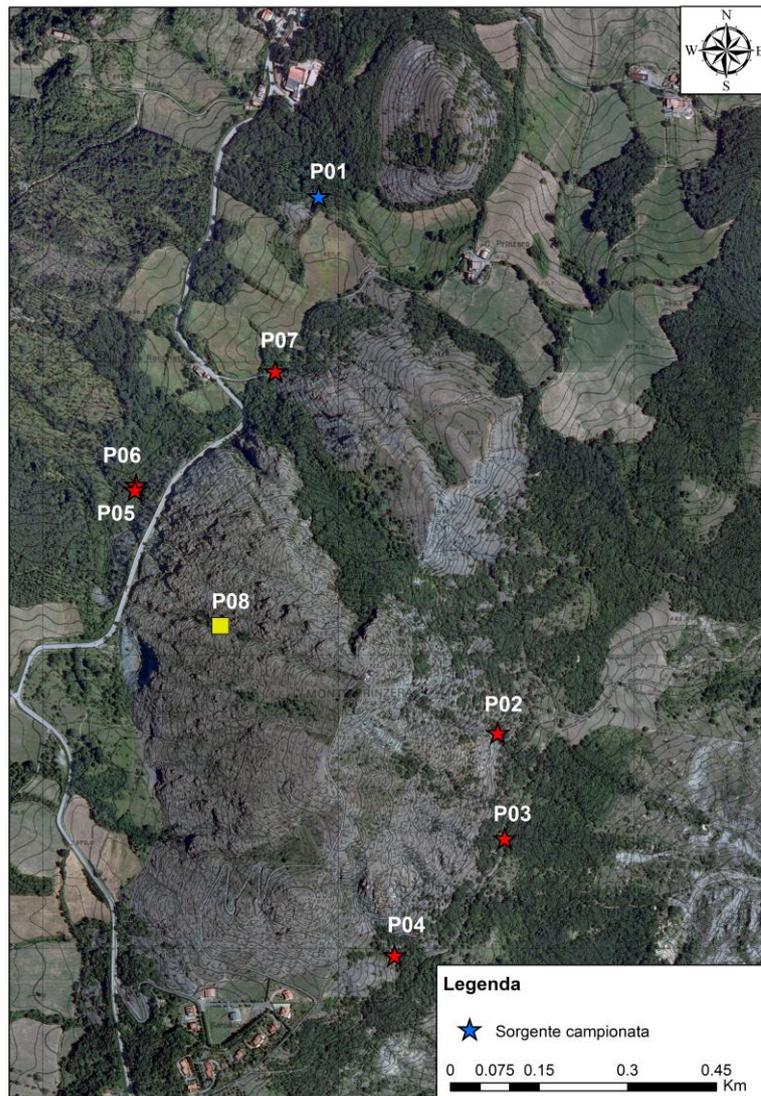
GPS Cartografia Livellazione Altimetro Altro

PDOP:

Immagine fotografica



Codice C.T.R. 1:10.000 199100



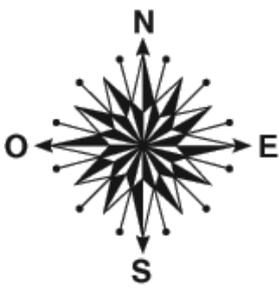
Sezione D: **Dati caratteristici della sorgente**

Tipo emergenza	<input checked="" type="checkbox"/> puntuale <input type="checkbox"/> diffusa <input type="checkbox"/> fronte sorgivo <input type="checkbox"/> altro		Origine dato	<input checked="" type="checkbox"/> rilevato sul terreno <input type="checkbox"/> altro
Regime	<input checked="" type="checkbox"/> perenne <input type="checkbox"/> secca stagionalmente <input type="checkbox"/> secca eccezionalmente <input type="checkbox"/> temporaneo <input type="checkbox"/> effimero		Origine dato	<input checked="" type="checkbox"/> monitoraggio <input type="checkbox"/> altro
Tipo sorgente	<input type="checkbox"/> per limite di permeabilità <input checked="" type="checkbox"/> per soglia di permeabilità <input type="checkbox"/> per affioramento della piezometrica <input type="checkbox"/> altro		Origine dato	<input checked="" type="checkbox"/> rilevato sul terreno <input checked="" type="checkbox"/> bibliografia <input type="checkbox"/> altro
Stato emergenza	Naturale <input type="checkbox"/> si <input type="checkbox"/> no	Captata <input checked="" type="checkbox"/> si <input type="checkbox"/> no	Uso <input checked="" type="checkbox"/> potabile/acquedotto <input type="checkbox"/> potabile/privato <input type="checkbox"/> potabile/altro <input type="checkbox"/> fontana <input type="checkbox"/> alpeggio <input type="checkbox"/> irriguo <input type="checkbox"/> zootecnico <input type="checkbox"/> industriale <input type="checkbox"/> igienico sanitario <input type="checkbox"/> dismessa <input type="checkbox"/> altro	Descrizione tipo presa - anno di costruzione: - rete acquedottistica servita: - località servite: Belvedere, Cà Moia e Lusore - numero abitanti serviti: - numero abitanti fluttuanti: - altro

Sezione E: **Inquadramento geologico**

Hard rock aquifers	Formazione Geologica Peridotiti serpentizzate	Carsica <input type="checkbox"/> si <input checked="" type="checkbox"/> no
Note idrogeologiche		

Sezione F: **Esposizione ed illuminazione**

Esposizione Nord-ovest	Illuminazione	
	<input type="checkbox"/>	Sorgente esposta
	<input type="checkbox"/>	Erbe alte, copertura <25%
	<input type="checkbox"/>	Arbusti, alberi o balze rocciose. Copertura 25-50%
	<input checked="" type="checkbox"/>	Ombreggiato; sottobosco. Copertura 50-75%
	<input type="checkbox"/>	Molto ombreggiato; sottobosco. Copertura >75%
	<input type="checkbox"/>	Costante tutto l'anno

Sezione I: **Zona tampone, vegetazione limitrofa, vertebrati avvistati**

Tipo di disturbo	Distanza (m)	Note
<input checked="" type="checkbox"/> Captazioni		
<input checked="" type="checkbox"/> Sentiero		
<input type="checkbox"/> Calpestio da bestiame		
<input type="checkbox"/> Modifiche dell'alveo		
<input type="checkbox"/> Edifici		
<input type="checkbox"/> Strade		
<input type="checkbox"/> Terreni agricoli		
<input type="checkbox"/> Altro		
<input type="checkbox"/> Nessuno		

Vegetazione limitrofa	Note
<input type="checkbox"/> Bosco di conifere	
<input checked="" type="checkbox"/> Bosco di latifoglie	
<input type="checkbox"/> Bosco misto	
<input checked="" type="checkbox"/> Cespugli	
<input type="checkbox"/> Prateria alpina	
<input type="checkbox"/> Pascoli	
<input type="checkbox"/> Terreni agricoli	
<input type="checkbox"/> Altro	

Sezione L: **Dati di laboratorio di nuova** acquisizione (4 ottobre 2011)

codice	UBICAZIONE	DATA	TIPO	COND	pH	Eh	TEMP	DUREZZA	TDS	Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺²	Mg ⁺²
				μS/cm		mV	°C	°f	g/L	ppm	ppm	ppm	ppm
P01	FONTE LUSORE	04/10/2011	S	336	8.1	250	11.4	19	0.27	2	0	19	35

codice	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ⁻²	F ⁻	Cl ⁻	NO ₂ ⁻	Br ⁻	NO ₃ ⁻	PO ₄ ⁻²	SO ₄ ⁻²	NH ₄ ⁺	HS ⁻	SI _{calcite}	SI _{dolomite}	log P _{CO2}
														-
														ppm
P01	201	0.0	0.00	3	0.012	bdl	4.85	bdl	13	bdl	nd	0.12	0.65	2.80

Sezione M: **Dati di monitoraggio in campagna** (parametri fisico-chimici, citazioni bibliografiche, ecc.)

Codice sorgente	Parametri	21/07/11	04/08/11	25/08/11	02/09/11	15/09/11	04/10/11	18/10/11	21/11/11
Fonte Lusore (P01)	Portata media	1.7	0.38	0.28	0.23	0.2	0.33	0.29	n.r.
	Conducibilità (μS/cm)	328	319	303	300	296	321	318	n.r.
	Temperatura acqua (°C)	14.6	15	16.6	17.1	16.2	14.5	12.8	n.r.
	pH	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	7.59	7.25	n.r.	n.r.

P02

Sezione A: **Identificativo sorgente**

Codice sorgente	Denominazione sorgente
P02	Sopra Piazza

Sezione B: **Inquadramento territoriale amministrativo**

Regione	Provincia	Comune	Località
Emilia Romagna	Parma	Fornovo di Taro	Monte Prinzerà, versante est, località Piazza
Gestore		Dato catastale	
Accessibilità al luogo della sorgente	<input checked="" type="checkbox"/> Alta	<input type="checkbox"/> Media	<input type="checkbox"/> Bassa
Note			

Sezione C: **Inquadramento geografico**

Bacino idrografico	Corso d'acqua principale
Fiume Taro	Sporzana

Sistema di riferimento

Coordinate geografiche

Latitudine:

Longitudine:

Origine dati

GPS Cartografia Triangolazione Interpretazione Altro

PDOP:

Coordinate chilometriche (UTM32*)

Km N 944064,45

Km E: 586360,32

Origine dati

GPS Cartografia Triangolazione Interpretazione Altro

PDOP:

Quota 570 m. s.l.m.

Latitudine:

Longitudine:

Origine dati

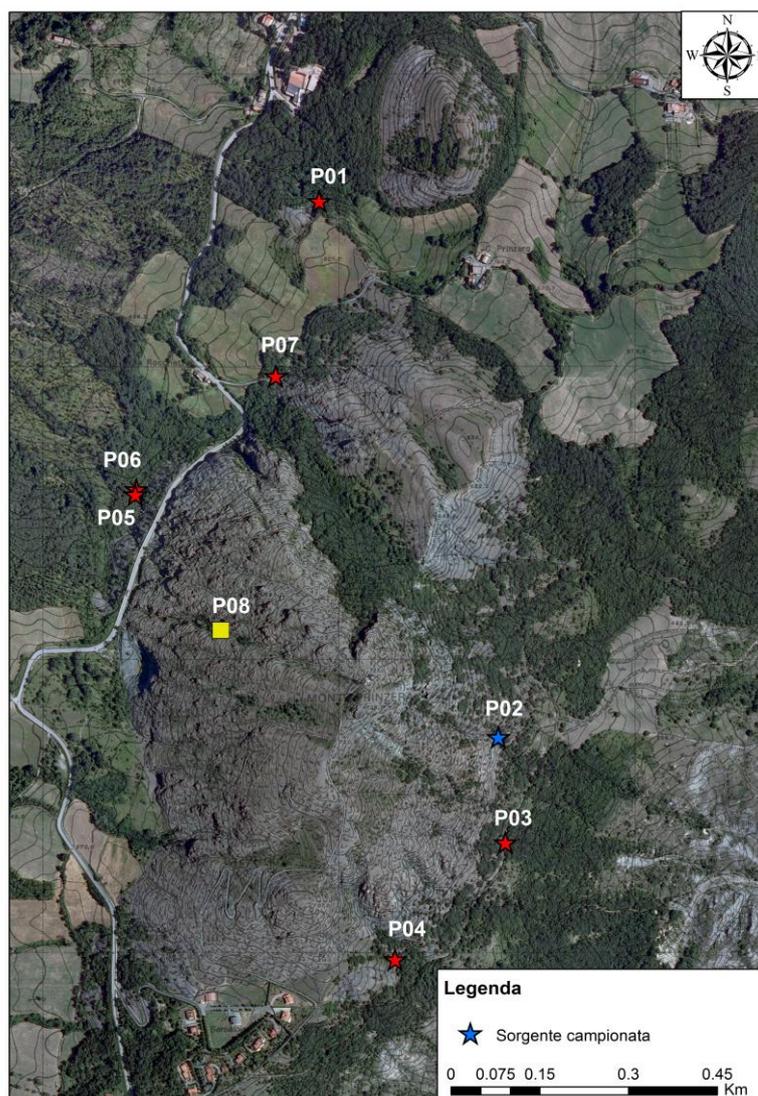
GPS Cartografia Livellazione Altimetro Altro

PDOP:

Immagine fotografica



Codice C.T.R. 1:10.000 199140



Sezione D: **Dati caratteristici della sorgente**

Tipo emergenza	<input checked="" type="checkbox"/> puntuale <input type="checkbox"/> diffusa <input type="checkbox"/> fronte sorgivo <input type="checkbox"/> altro		Origine dato	<input checked="" type="checkbox"/> rilevato sul terreno <input type="checkbox"/> altro
Regime	<input checked="" type="checkbox"/> perenne <input type="checkbox"/> secca stagionalmente <input type="checkbox"/> secca eccezionalmente <input type="checkbox"/> temporaneo <input type="checkbox"/> effimero		Origine dato	<input checked="" type="checkbox"/> monitoraggio <input type="checkbox"/> altro
Tipo sorgente	<input type="checkbox"/> per limite di permeabilità <input checked="" type="checkbox"/> per soglia di permeabilità <input type="checkbox"/> per affioramento della piezometrica <input type="checkbox"/> altro		Origine dato	<input checked="" type="checkbox"/> rilevato sul terreno <input type="checkbox"/> bibliografia <input type="checkbox"/> altro
Stato emergenza	Naturale <input type="checkbox"/> si <input type="checkbox"/> no	Captata <input checked="" type="checkbox"/> si <input type="checkbox"/> no	Uso <input checked="" type="checkbox"/> potabile/acquedotto <input type="checkbox"/> potabile/privato <input type="checkbox"/> potabile/altro <input type="checkbox"/> fontana <input type="checkbox"/> alpeggio <input type="checkbox"/> irriguo <input type="checkbox"/> zootecnico <input type="checkbox"/> industriale <input type="checkbox"/> igienico sanitario <input type="checkbox"/> dismessa <input type="checkbox"/> altro	Descrizione tipo presa - anno di costruzione: - rete acquedottistica servita: Località Piazza di sopra, Piazza di sotto e Case Borgheggiani - località servite: - numero abitanti serviti: - numero abitanti fluttuanti: - altro

Sezione E: **Inquadramento geologico**

Hard rock aquifers	Formazione Geologica Peridotiti serpentizzate	Carsica <input type="checkbox"/> si <input checked="" type="checkbox"/> no
Note idrogeologiche		

Sezione F: **Esposizione ed illuminazione**

Esposizione Est	Illuminazione	
	<input type="checkbox"/>	Sorgente esposta
	<input type="checkbox"/>	Erbe alte, copertura <25%
	<input checked="" type="checkbox"/>	Arbusti, alberi o balze rocciose. Copertura 25-50%
	<input type="checkbox"/>	Ombreggiato; sottobosco. Copertura 50-75%
	<input type="checkbox"/>	Molto ombreggiato; sottobosco. Copertura >75%
	<input type="checkbox"/>	Costante tutto l'anno

Sezione I: **Zona tampone, vegetazione limitrofa, vertebrati avvistati**

Tipo di disturbo	Distanza (m)	Note
<input checked="" type="checkbox"/> Captazione		
<input type="checkbox"/> Sentiero		
<input type="checkbox"/> Calpestio da bestiame		
<input type="checkbox"/> Modifiche dell'alveo		
<input type="checkbox"/> Edifici		
<input checked="" type="checkbox"/> Strada		
<input checked="" type="checkbox"/> Terreni agricoli		
<input type="checkbox"/> Altro		
<input type="checkbox"/> Nessuno		

Vegetazione limitrofa	Note
<input type="checkbox"/> Bosco di conifere	
<input type="checkbox"/> Bosco di latifoglie	
<input type="checkbox"/> Bosco misto	
<input checked="" type="checkbox"/> Cespugli	
<input type="checkbox"/> Prateria alpina	
<input type="checkbox"/> Pascoli	
<input checked="" type="checkbox"/> Terreni agricoli	
<input type="checkbox"/> Altro	

Sezione L: **Dati di laboratorio di nuova acquisizione** (4 ottobre 2011)

codice	UBICAZIONE	DATA	TIPO	COND	pH	Eh	TEMP	DUREZZA	TDS	Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺²	Mg ⁺²
				μS/cm		mV	°C	°f	g/L	ppm	ppm	ppm	ppm
P02	SOPRA PIAZZA	04/10/2011	S	344	8.1	90	11.7	20	0.31	3	0	23	35

codice	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ⁻²	F ⁻	Cl ⁻	NO ₂ ⁻	Br ⁻	NO ₃ ⁻	PO ₄ ⁻²	SO ₄ ⁻²	NH ₄ ⁺	HS ⁻	SI _{calcite}	SI _{dolomite}	log P _{C02}
														ppm
P02	198	0.0	0.09	3	0.006	0.022	0.05	bdl	44	bdl	nd	0.18	0.70	- 2.81

Sezione M: **Dati di monitoraggio in campagna** (parametri fisico-chimici, citazioni bibliografiche, ecc.)

Codice sorgente	Parametri	21/07/11	04/08/11	25/08/11	02/09/11	15/09/11	04/10/11	18/10/11	21/11/11
Sopra Piazza (P02)	Portata media	0.062	0.04	0.021	0.02	0.02	0.02	0.018	0.16
	Conducibilità (μS/cm)	370	372	362	355	371	385	379	335
	Temperatura acqua (°C)	12.7	12.6	13.3	14.5	15.6	15.6	12.6	11.8
	pH	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	7.17	7.15	n.r.	8.14

P03

Sezione A: **Identificativo sorgente**

Codice sorgente	Denominazione sorgente
P03	Piazza 2 arrivi

Sezione B: **Inquadramento territoriale amministrativo**

Regione	Provincia	Comune	Località
Emilia Romagna	Parma	Fornovo di Taro	Monte Prinzera, versante est
Gestore		Dato catastale	
Accessibilità al luogo della sorgente	<input checked="" type="checkbox"/> Alta	<input type="checkbox"/> Media	<input type="checkbox"/> Bassa
Note			

Sezione C: **Inquadramento geografico**

Bacino idrografico	Corso d'acqua principale
Fiume Taro	Torrente Sporzana

Sistema di riferimento

Coordinate geografiche

Latitudine:

Longitudine:

Origine dati

GPS Cartografia Triangolazione Interpretazione Altro

PDOP:

Coordinate chilometriche (UTM32*)

Km N 943912,48

Km E: 586358,09

Origine dati

GPS Cartografia Triangolazione Interpretazione Altro

PDOP:

Quota 535 m. s.l.m.

Latitudine:

Longitudine:

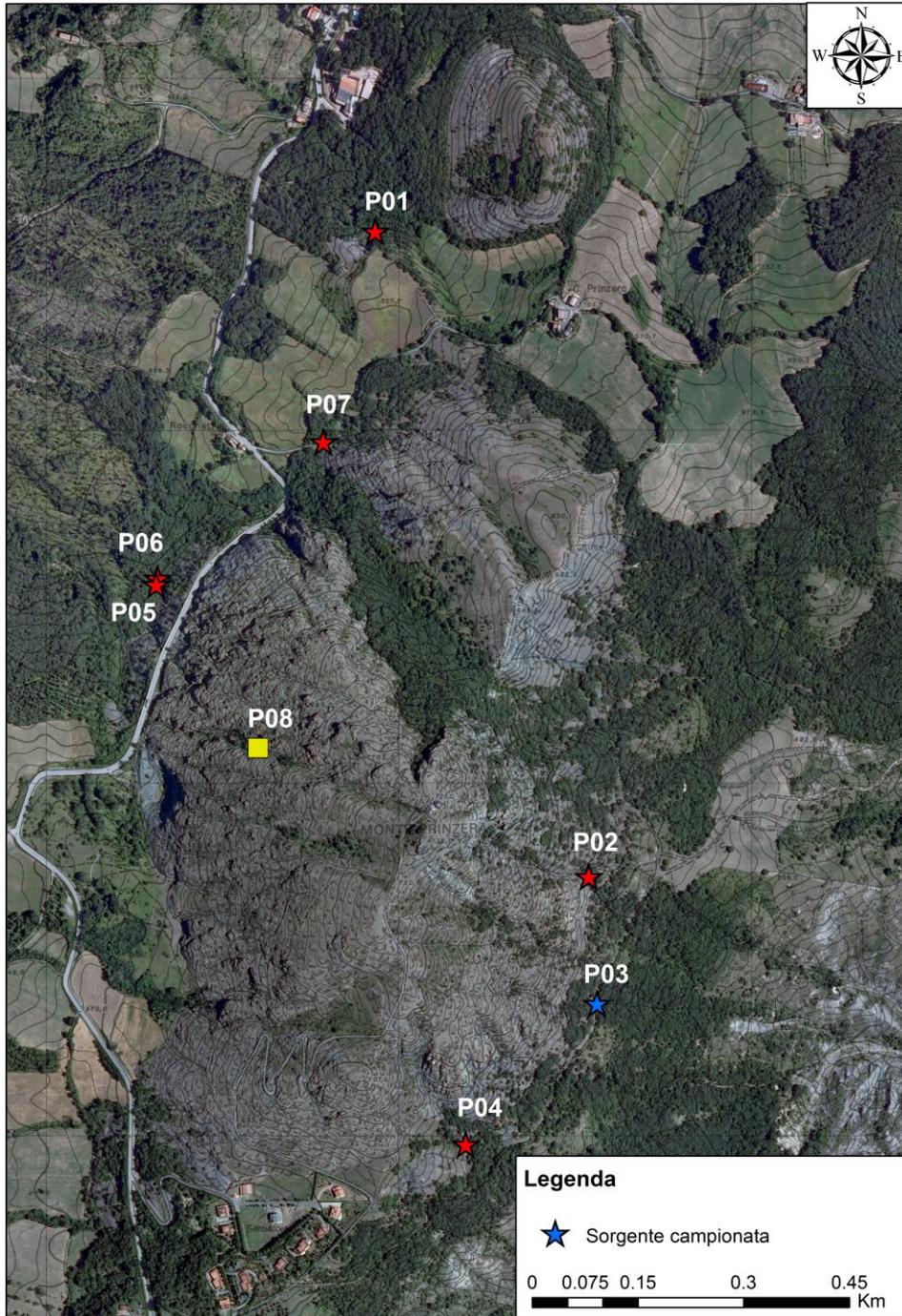
Origine dati

GPS Cartografia Livellazione Altimetro Altro

PDOP:

Immagine fotografica





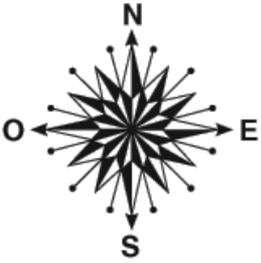
Sezione D: **Dati caratteristici della sorgente**

Tipo emergenza	<input checked="" type="checkbox"/> puntuale <input type="checkbox"/> diffusa <input type="checkbox"/> fronte sorgivo <input type="checkbox"/> altro		Origine dato	<input checked="" type="checkbox"/> rilevato sul terreno <input type="checkbox"/> altro
Regime	<input checked="" type="checkbox"/> perenne <input type="checkbox"/> secca stagionalmente <input type="checkbox"/> secca eccezionalmente <input type="checkbox"/> temporaneo <input type="checkbox"/> effimero		Origine dato	<input checked="" type="checkbox"/> monitoraggio <input type="checkbox"/> altro
Tipo sorgente	<input type="checkbox"/> per limite di permeabilità <input checked="" type="checkbox"/> per soglia di permeabilità <input type="checkbox"/> per affioramento della piezometrica <input type="checkbox"/> altro		Origine dato	<input checked="" type="checkbox"/> rilevato sul terreno <input type="checkbox"/> bibliografia <input type="checkbox"/> altro
Stato emergenza	Naturale <input type="checkbox"/> si <input type="checkbox"/> no	Captata <input checked="" type="checkbox"/> si <input type="checkbox"/> no	Uso <input checked="" type="checkbox"/> potabile/acquedotto <input type="checkbox"/> potabile/privato <input type="checkbox"/> potabile/altro <input type="checkbox"/> fontana <input type="checkbox"/> alpeggio <input type="checkbox"/> irriguo <input type="checkbox"/> zootecnico <input type="checkbox"/> industriale <input type="checkbox"/> igienico sanitario <input type="checkbox"/> dismessa <input type="checkbox"/> altro	Descrizione tipo presa - anno di costruzione: - rete acquedottistica servita: - località servite: Piazza di sopra, Piazza di sotto e case Borgheggiani - numero abitanti serviti: - numero abitanti fluttuanti: - altro

Sezione E: **Inquadramento geologico**

Hard rock aquifers	Formazione Geologica Peridotiti serpentizzate	Carsica <input type="checkbox"/> si <input checked="" type="checkbox"/> no
Note idrogeologiche		

Sezione F: **Esposizione ed illuminazione**

Esposizione Sud-est	Illuminazione	
	<input type="checkbox"/>	Sorgente esposta
	<input type="checkbox"/>	Erbe alte, copertura <25%
	<input type="checkbox"/>	Arbusti, alberi o balze rocciose. Copertura 25-50%
	<input checked="" type="checkbox"/>	Ombreggiato; sottobosco. Copertura 50-75%
	<input type="checkbox"/>	Molto ombreggiato; sottobosco. Copertura >75%
	<input type="checkbox"/>	Costante tutto l'anno

Sezione I: **Zona tampone, vegetazione limitrofa, vertebrati avvistati**

Tipo di disturbo	Distanza (m)	Note
<input checked="" type="checkbox"/> Captazioni		
<input type="checkbox"/> Sentiero		
<input type="checkbox"/> Calpestio da bestiame		
<input type="checkbox"/> Modifiche dell'alveo		
<input type="checkbox"/> Edifici		
<input checked="" type="checkbox"/> Strade		
<input type="checkbox"/> Terreni agricoli		
<input type="checkbox"/> Altro		
<input type="checkbox"/> Nessuno		

Vegetazione limitrofa	Note
<input type="checkbox"/> Bosco di conifere	
<input type="checkbox"/> Bosco di latifoglie	
<input type="checkbox"/> Bosco misto	
<input checked="" type="checkbox"/> Cespugli	
<input type="checkbox"/> Prateria alpina	
<input type="checkbox"/> Pascoli	
<input checked="" type="checkbox"/> Terreni agricoli	
<input type="checkbox"/> Altro	

Sezione L: **Dati di laboratorio di nuova acquisizione** (4 ottobre 2011)

codice	UBICAZIONE	DATA	TIPO	COND	pH	Eh	TEMP	DUREZZA	TDS	Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺²	Mg ⁺²
				μS/cm		mV	°C	°f	g/L	ppm	ppm	ppm	ppm
P03	PIAZZA 2 ARRIVI	04/10/2011	S	389	7.2	565	14.1	17	0.25	3	0	25	25

codice	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ⁻²	F ⁻	Cl ⁻	NO ₂ ⁻	Br ⁻	NO ₃ ⁻	PO ₄ ⁻²	SO ₄ ⁻²	NH ₄ ⁺	HS ⁻	SI _{calcite}	SI _{dolomite}	log P _{CO2}
														ppm
P03	177	0.0	0.18	3	0.005	0.009	3.18	bdl	18	bdl	nd	-0.66	-1.12	1.94

Sezione M: **Dati di monitoraggio in campagna** (parametri fisico-chimici, citazioni bibliografiche, ecc.)

Codice sorgente	Parametri	21/07/11	04/08/11	25/08/11	02/09/11	15/09/11	04/10/11	18/10/11	21/11/11
Piazza (P03)	Portata media	0.16	0.125	0.056	0.055	0.054	0.06	0.053	0.38
	Conducibilità (μS/cm)	388	381	380	375	373	389	388	381
	Temperatura acqua (°C)	13.1	13.6	15	14.8	14.5	14.1	13.6	12.5
	pH	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	7.38	7.21	n.r.	8.04

P04

Sezione A: **Identificativo sorgente**

Codice sorgente	Denominazione sorgente
P04	Libera

Sezione B: **Inquadramento territoriale amministrativo**

Regione	Provincia	Comune	Località
Emilia Romagna	Parma	Fornovo di Taro	Monte Prinzero, versante est
Gestore		Dato catastale	
Accessibilità al luogo della sorgente	<input checked="" type="checkbox"/> Alta	<input type="checkbox"/> Media	<input type="checkbox"/> Bassa
Note			

Sezione C: **Inquadramento geografico**

Bacino idrografico	Corso d'acqua principale
Fiume Taro	Torrente Sporzana

Sistema di riferimento

Coordinate geografiche

Latitudine:

Longitudine:

Origine dati

GPS Cartografia Triangolazione Interpretazione Altro

PDOP:

Coordinate chilometriche (UTM32*)

Km N 943572,58

Km E 586087,59

Origine dati

GPS Cartografia Triangolazione Interpretazione Altro

PDOP:

Quota 477 m. s.l.m.

Latitudine:

Longitudine:

Origine dati

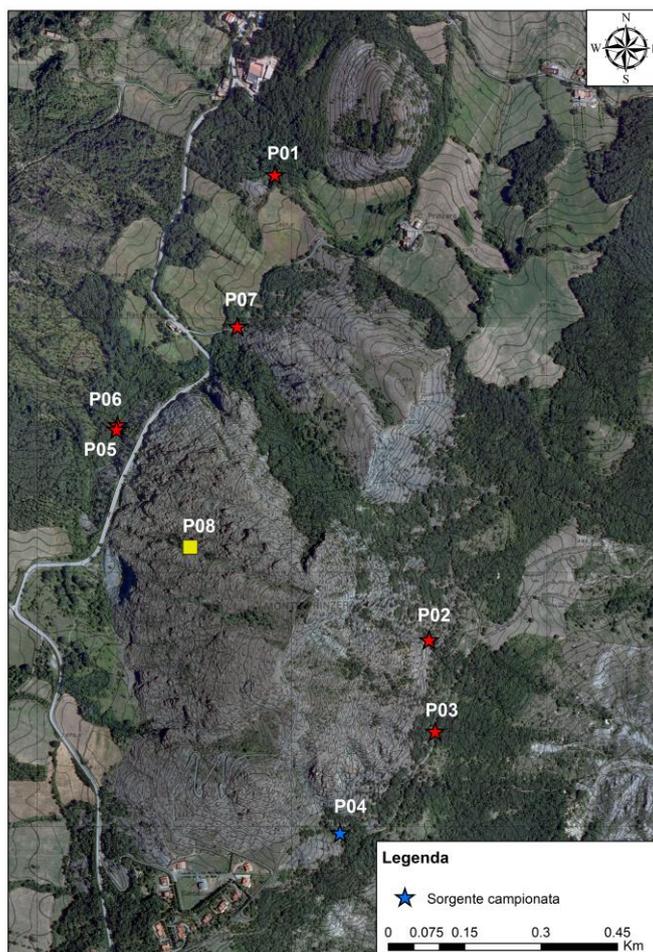
GPS Cartografia Livellazione Altimetro Altro

PDOP:

Immagine fotografica



Codice C.T.R. 1:10.000 199140



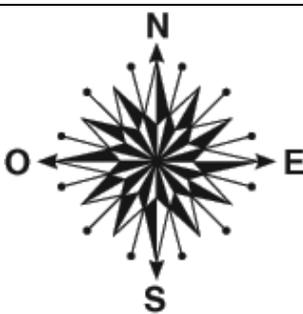
Sezione D: **Dati caratteristici della sorgente**

Tipo emergenza	<input checked="" type="checkbox"/> puntuale <input type="checkbox"/> diffusa <input type="checkbox"/> fronte sorgivo <input type="checkbox"/> altro		Origine dato	<input checked="" type="checkbox"/> rilevato sul terreno <input type="checkbox"/> altro
Regime	<input checked="" type="checkbox"/> perenne <input type="checkbox"/> secca stagionalmente <input type="checkbox"/> secca eccezionalmente <input type="checkbox"/> temporaneo <input type="checkbox"/> effimero		Origine dato	<input checked="" type="checkbox"/> monitoraggio <input type="checkbox"/> altro
Tipo sorgente	<input type="checkbox"/> per limite di permeabilità <input checked="" type="checkbox"/> per soglia di permeabilità <input type="checkbox"/> per affioramento della piezometrica <input type="checkbox"/> altro		Origine dato	<input checked="" type="checkbox"/> rilevato sul terreno <input type="checkbox"/> bibliografia <input type="checkbox"/> altro
Stato emergenza	Naturale <input type="checkbox"/> si <input type="checkbox"/> no	Captata <input type="checkbox"/> si <input checked="" type="checkbox"/> no	Uso <input type="checkbox"/> potabile/acquedotto <input type="checkbox"/> potabile/privato <input type="checkbox"/> potabile/altro <input type="checkbox"/> fontana <input type="checkbox"/> alpeggio <input type="checkbox"/> irriguo <input type="checkbox"/> zootecnico <input type="checkbox"/> industriale <input type="checkbox"/> igienico sanitario <input type="checkbox"/> dismessa <input type="checkbox"/> altro	Descrizione tipo presa - anno di costruzione: - rete acquedottistica servita: - località servite: - numero abitanti serviti: - numero abitanti fluttuanti: - altro

Sezione E: **Inquadramento geologico**

Hard rock aquifers	Formazione Geologica Peridotiti serpentizzate	Carsica <input type="checkbox"/> si <input checked="" type="checkbox"/> no
Note idrogeologiche		

Sezione F: **Esposizione ed illuminazione**

Esposizione Sud-Est	Illuminazione	
	<input type="checkbox"/>	Sorgente esposta
	<input checked="" type="checkbox"/>	Erbe alte, copertura <25%
	<input type="checkbox"/>	Arbusti, alberi o balze rocciose. Copertura 25-50%
	<input checked="" type="checkbox"/>	Ombreggiato; sottobosco. Copertura 50-75%
	<input type="checkbox"/>	Molto ombreggiato; sottobosco. Copertura >75%
	<input type="checkbox"/>	Costante tutto l'anno

Sezione I: **Zona tampone, vegetazione limitrofa, vertebrati avvistati**

Tipo di disturbo	Distanza (m)	Note
<input type="checkbox"/> Captazioni		
<input type="checkbox"/> Sentiero		
<input type="checkbox"/> Calpestio da bestiame		
<input type="checkbox"/> Modifiche dell'alveo		
<input type="checkbox"/> Edifici		
<input checked="" type="checkbox"/> Strade		
<input type="checkbox"/> Terreni agricoli		
<input checked="" type="checkbox"/> Altro		Calpestio, animali selvatici, ungulati (cinghiali)
<input type="checkbox"/> Nessuno		

Vegetazione limitrofa	Note
<input type="checkbox"/> Bosco di conifere	
<input type="checkbox"/> Bosco di latifoglie	
<input checked="" type="checkbox"/> Bosco misto	
<input type="checkbox"/> Cespugli	
<input type="checkbox"/> Prateria alpina	
<input type="checkbox"/> Pascoli	
<input type="checkbox"/> Terreni agricoli	
<input type="checkbox"/> Altro	

Sezione L: **Dati di laboratorio di nuova acquisizione** (4 ottobre 2011)

codice	UBICAZIONE	DATA	TIPO	COND	pH	Eh	TEMP	DUREZZA	TDS	Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺²	Mg ⁺²
				μS/cm		mV	°C	°f	g/L	ppm	ppm	ppm	ppm
P04	LIBERA	04/10/2011	S	539	8.3	129	14.2	28	0.42	7	0	44	40

codice	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ⁻²	F	Cl	NO ₂ ⁻	Br	NO ₃ ⁻	PO ₄ ⁻²	SO ₄ ⁻²	NH ₄ ⁺	HS	SI _{calcite}	SI _{dolomite}	log P _{CO2}
														ppm
P04	286	3.5	0.20	9	0.006	bdl	bdl	bdl	31	bdl	nd	0.82	1.81	2.85

Sezione M: **Dati di monitoraggio in campagna** (parametri fisico-chimici, citazioni bibliografiche, ecc.)

Codice sorgente	Parametri	21/07/11	04/08/11	25/08/11	02/09/11	15/09/11	04/10/11	18/10/11	21/11/11
Libera (P04)	Portata media	0.163	0.13	0.05	0.045	0.04	0.03	0.02	n.r.
	Conducibilità (μS/cm)	484	479	484	479	484	495	484	n.r.
	Temperatura acqua (°C)	12.9	13	14.6	16	17.2	14.2	11.7	n.r.
	pH	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	7.72	7.6	n.r.	n.r.

P05

Sezione A: **Identificativo sorgente**

Codice sorgente	Denominazione sorgente
P05	Trincea

Sezione B: **Inquadramento territoriale amministrativo**

Regione	Provincia	Comune	Località
Emilia Romagna	Parma	Fornovo di Taro	Monte Prinzero, versante ovest
Gestore		Dato catastale	
Accessibilità al luogo della sorgente	<input checked="" type="checkbox"/> Alta	<input type="checkbox"/> Media	<input type="checkbox"/> Bassa
Note			

Sezione C: **Inquadramento geografico**

Bacino idrografico	Corso d'acqua principale
Fiume Taro	Torrente Sporzana

Sistema di riferimento

Coordinate geografiche

Latitudine:

Longitudine:

Origine dati

GPS Cartografia Triangolazione Interpretazione Altro

PDOP:

Coordinate chilometriche (UTM32*)

Km N 944373.52

Km E: 585657.27

Origine dati

GPS Cartografia Triangolazione Interpretazione Altro

PDOP:

Quota 488 m. s.l.m.

Latitudine:

Longitudine:

Origine dati

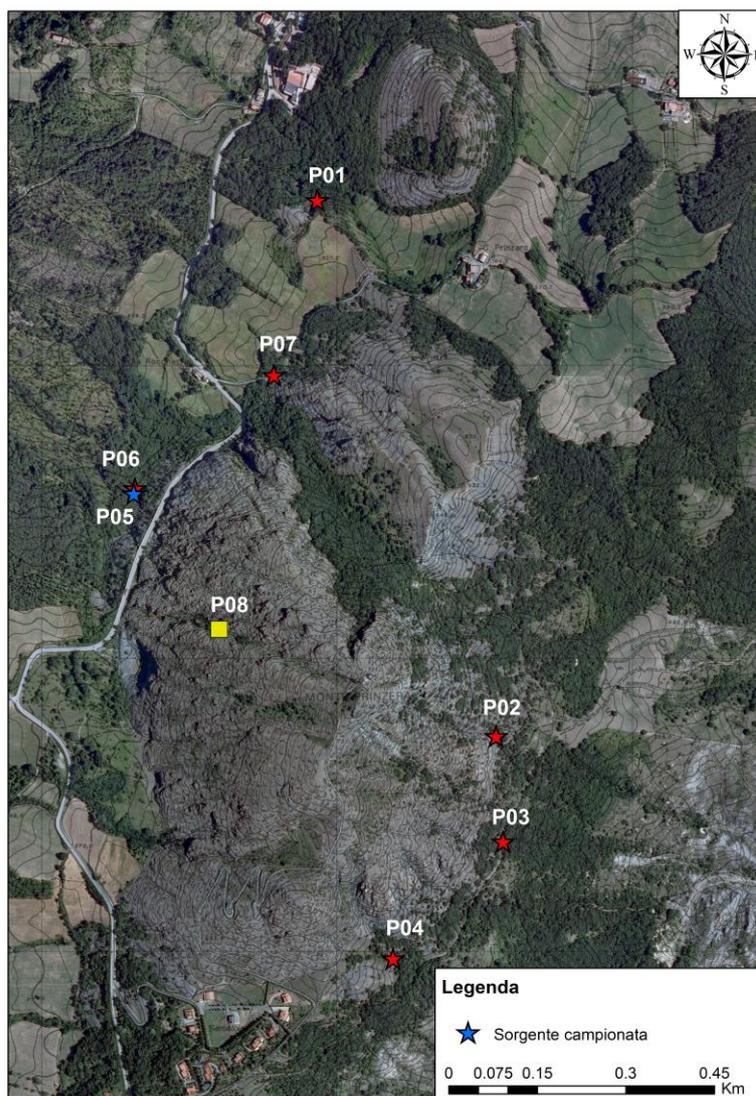
GPS Cartografia Livellazione Altimetro Altro

PDOP:

Immagine fotografica



Codice C.T.R. 1:10.000 199130



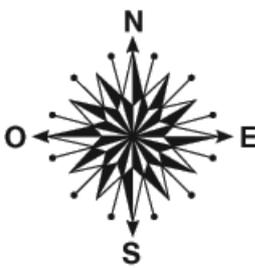
Sezione D: **Dati caratteristici della sorgente**

Tipo emergenza	<input checked="" type="checkbox"/> puntuale <input type="checkbox"/> diffusa <input type="checkbox"/> fronte sorgivo <input type="checkbox"/> altro		Origine dato	<input checked="" type="checkbox"/> rilevato sul terreno <input type="checkbox"/> altro
Regime	<input checked="" type="checkbox"/> perenne <input type="checkbox"/> secca stagionalmente <input type="checkbox"/> secca eccezionalmente <input type="checkbox"/> temporaneo <input type="checkbox"/> effimero		Origine dato	<input checked="" type="checkbox"/> monitoraggio <input type="checkbox"/> altro
Tipo sorgente	<input type="checkbox"/> per limite di permeabilità <input checked="" type="checkbox"/> per soglia di permeabilità <input type="checkbox"/> per affioramento della piezometrica <input type="checkbox"/> altro		Origine dato	<input checked="" type="checkbox"/> rilevato sul terreno <input type="checkbox"/> bibliografia <input type="checkbox"/> altro
Stato emergenza	Naturale <input type="checkbox"/> si <input type="checkbox"/> no	Captata <input type="checkbox"/> si <input checked="" type="checkbox"/> no	Uso <input type="checkbox"/> potabile/acquedotto <input type="checkbox"/> potabile/privato <input type="checkbox"/> potabile/altro <input type="checkbox"/> fontana <input type="checkbox"/> alpeggio <input type="checkbox"/> irriguo <input type="checkbox"/> zootecnico <input type="checkbox"/> industriale <input type="checkbox"/> igienico sanitario <input type="checkbox"/> dismessa <input type="checkbox"/> altro	Descrizione tipo presa - anno di costruzione: - rete acquedottistica servita: - località servite: - numero abitanti serviti: - numero abitanti fluttuanti: - altro

Sezione E: **Inquadramento geologico**

Hard rock aquifers	Formazione Geologica Peridotiti serpentizzate	Carsica <input type="checkbox"/> si <input checked="" type="checkbox"/> no
Note idrogeologiche		

Sezione F: **Esposizione ed illuminazione**

Esposizione Nord - Ovest	Illuminazione	
	<input type="checkbox"/>	Sorgente esposta
	<input type="checkbox"/>	Erbe alte, copertura <25%
	<input type="checkbox"/>	Arbusti, alberi o balze rocciose. Copertura 25-50%
	<input type="checkbox"/>	Ombreggiato; sottobosco. Copertura 50-75%
	<input checked="" type="checkbox"/>	Molto ombreggiato; sottobosco. Copertura >75%
	<input type="checkbox"/>	Costante tutto l'anno

Sezione I: **Zona tampone, vegetazione limitrofa, vertebrati avvistati**

Tipo di disturbo	Distanza (m)	Note
<input type="checkbox"/> Captazioni		
<input type="checkbox"/> Sentiero		
<input type="checkbox"/> Calpestio da bestiame		
<input type="checkbox"/> Modifiche dell'alveo		
<input type="checkbox"/> Edifici		
<input checked="" type="checkbox"/> Strade		
<input type="checkbox"/> Terreni agricoli		
<input type="checkbox"/> Altro		
<input type="checkbox"/> Nessuno		

Vegetazione limitrofa	Note
<input type="checkbox"/> Bosco di conifere	
<input type="checkbox"/> Bosco di latifoglie	
<input checked="" type="checkbox"/> Bosco misto	
<input type="checkbox"/> Cespugli	
<input type="checkbox"/> Prateria alpina	
<input type="checkbox"/> Pascoli	
<input checked="" type="checkbox"/> Terreni agricoli	
<input type="checkbox"/> Altro	

Sezione L: **Dati di laboratorio di nuova acquisizione** (4 ottobre 2011)

codice	UBICAZIONE	DATA	TIPO	COND	pH	Eh	TEMP	DUREZZA	TDS	Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺²	Mg ⁺²
				μS/cm		mV	°C	°f	g/L	ppm	ppm	ppm	ppm
P05	TRINCEA	04/10/2011	S	339	9.1	-160	11.1	6	0.13	14	1	11	9

codice	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ⁻²	F ⁻	Cl ⁻	NO ₂ ⁻	Br ⁻	NO ₃ ⁻	PO ₄ ⁻²	SO ₄ ⁻²	NH ₄ ⁺	HS ⁻	SI _{calcite}	SI _{dolomite}	log P _{CO2}
														ppm
P05	51	3.6	0.12	26	bdl	0.140	0.45	bdl	17	bdl	1.1	0.30	0.66	4.41

Sezione M: **Dati di monitoraggio in campagna** (parametri fisico-chimici, citazioni bibliografiche, ecc.)

Codice sorgente	Parametri	21/07/11	04/08/11	25/08/11	02/09/11	15/09/11	04/10/11	18/10/11	21/11/11
Trincea (P05)	Portata media	0.083	0.063	0.026	0.0245	0.0239	0.024	0.047	0.2417
	Conducibilità (μS/cm)	241	216	218	256	323	339	360	288
	Temperatura acqua (°C)	12.2	12.7	13.4	12.4	12.4	12.7	13.0	12.7
	pH	7.36	7.31	7.30	7.60	7.54	7.53	7.54	7.60

P06

Sezione A: Identificativo sorgente

Codice sorgente	Denominazione sorgente
P06	pH12

Sezione B: Inquadramento territoriale amministrativo

Regione	Provincia	Comune	Località
Emilia Romagna	Parma	Fornovo di Taro	Monte Prinzera, versante ovest
Gestore		Dato catastale	
Accessibilità al luogo della sorgente	<input checked="" type="checkbox"/> Alta	<input type="checkbox"/> Media	<input type="checkbox"/> Bassa
Note			

Sezione C: Inquadramento geografico

Bacino idrografico	Corso d'acqua principale
Fiume Taro	Torrente Rocchetta

Sistema di riferimento

Coordinate geografiche

Latitudine:

Longitudine:

Origine dati

GPS Cartografia Triangolazione Interpretazione Altro

PDOP:

Coordinate chilometriche (UTM32*)

Km N 944382.13

Km E: 585658.88

Origine dati

GPS Cartografia Triangolazione Interpretazione Altro

PDOP:

Quota 486 m. s.l.m.

Latitudine:

Longitudine:

Origine dati

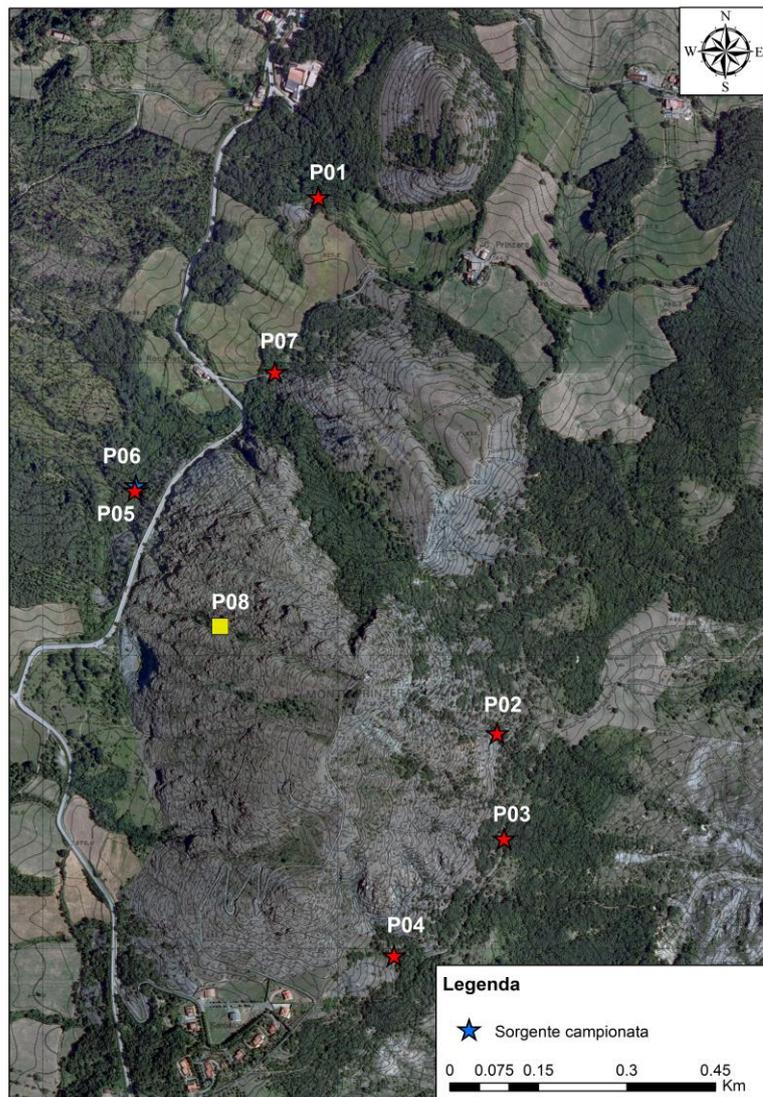
GPS Cartografia Livellazione Altimetro Altro

PDOP:

Immagine fotografica



Codice C.T.R. 1:10.000 199130



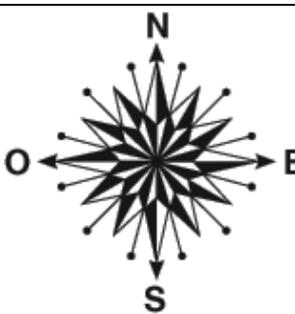
Sezione D: **Dati caratteristici della sorgente**

Tipo emergenza	<input checked="" type="checkbox"/> puntuale <input type="checkbox"/> diffusa <input type="checkbox"/> fronte sorgivo <input type="checkbox"/> altro		Origine dato	<input checked="" type="checkbox"/> rilevato sul terreno <input type="checkbox"/> altro
Regime	<input checked="" type="checkbox"/> perenne <input type="checkbox"/> secca stagionalmente <input type="checkbox"/> secca eccezionalmente <input type="checkbox"/> temporaneo <input type="checkbox"/> effimero		Origine dato	<input checked="" type="checkbox"/> monitoraggio <input type="checkbox"/> altro
Tipo sorgente	<input type="checkbox"/> per limite di permeabilità <input checked="" type="checkbox"/> per soglia di permeabilità <input type="checkbox"/> per affioramento della piezometrica <input type="checkbox"/> altro		Origine dato	<input checked="" type="checkbox"/> rilevato sul terreno <input type="checkbox"/> bibliografia <input type="checkbox"/> altro
Stato emergenza	Naturale <input type="checkbox"/> si <input type="checkbox"/> no	Captata <input type="checkbox"/> si <input checked="" type="checkbox"/> no	Uso <input type="checkbox"/> potabile/acquedotto <input type="checkbox"/> potabile/privato <input type="checkbox"/> potabile/altro <input checked="" type="checkbox"/> fontana <input type="checkbox"/> alpeggio <input type="checkbox"/> irriguo <input type="checkbox"/> zootecnico <input type="checkbox"/> industriale <input type="checkbox"/> igienico sanitario <input type="checkbox"/> dismessa <input type="checkbox"/> altro	Descrizione tipo presa - anno di costruzione: - rete acquedottistica servita: - località servite: - numero abitanti serviti: - numero abitanti fluttuanti: - altro

Sezione E: **Inquadramento geologico**

Hard rock aquifers	Formazione Geologica Peridotiti serpentizzate	Carsica <input type="checkbox"/> si <input checked="" type="checkbox"/> no
Note idrogeologiche		

Sezione F: **Esposizione ed illuminazione**

Esposizione Nord - Ovest	Illuminazione	
	<input type="checkbox"/>	Sorgente esposta
	<input type="checkbox"/>	Erbe alte, copertura <25%
	<input type="checkbox"/>	Arbusti, alberi o balze rocciose. Copertura 25-50%
	<input checked="" type="checkbox"/>	Ombreggiato; sottobosco. Copertura 50-75%
	<input type="checkbox"/>	Molto ombreggiato; sottobosco. Copertura >75%
	<input type="checkbox"/>	Costante tutto l'anno

Sezione I: **Zona tampone, vegetazione limitrofa, vertebrati avvistati**

Tipo di disturbo	Distanza (m)	Note
<input checked="" type="checkbox"/> Captazioni		
<input type="checkbox"/> Sentiero		
<input type="checkbox"/> Calpestio da bestiame		
<input type="checkbox"/> Modifiche dell'alveo		
<input type="checkbox"/> Edifici		
<input checked="" type="checkbox"/> Strade		
<input type="checkbox"/> Terreni agricoli		
<input type="checkbox"/> Altro		
<input type="checkbox"/> Nessuno		

Vegetazione limitrofa	Note
<input type="checkbox"/> Bosco di conifere	
<input type="checkbox"/> Bosco di latifoglie	
<input checked="" type="checkbox"/> Bosco misto	
<input checked="" type="checkbox"/> Cespugli	
<input type="checkbox"/> Prateria alpina	
<input type="checkbox"/> Pascoli	
<input checked="" type="checkbox"/> Terreni agricoli	
<input type="checkbox"/> Altro	

Sezione L: **Dati di laboratorio di nuova acquisizione** (4 ottobre 2011)

codice	UBICAZIONE	DATA	TIPO	COND	pH	Eh	TEMP	DUREZZA	TDS	Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺²	Mg ⁺²
				μS/cm		mV	°C	°f	g/L	ppm	ppm	ppm	ppm
P06	pH 12	04/10/2011	S	260	10.8	-282	12.1	4	0.10	17	0	15	0

codice	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ⁻²	F ⁻	Cl ⁻	NO ₂ ⁻	Br ⁻	NO ₃ ⁻	PO ₄ ⁻²	SO ₄ ⁻²	NH ₄ ⁺	HS ⁻	SI _{calcite}	SI _{dolomite}	log P _{CO2}
														ppm
P06	1	26.3	0.11	21	0.007	0.189	0.07	bdl	19	bdl	5.3	0.90	nd	7.33

Sezione M: **Dati di monitoraggio in campagna** (parametri fisico-chimici, citazioni bibliografiche, ecc.)

Codice sorgente	Parametri	21/07/11	04/08/11	25/08/11	02/09/11	15/09/11	04/10/11	18/10/11	21/11/11
pH12 (P06)	Portata media	0.0345	0.0295	0.0243	0.021	0.0261	0.036	0.033	n.r.
	Conducibilità (μS/cm)	304	297	287	282	285	299	301	n.r.
	Temperatura acqua (°C)	12.5	12.4	13.8	14.5	14.1	12.9	12.2	n.r.
	pH	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	9.64	9.74	n.r.	n.r.

P07

Sezione A: Identificativo sorgente

Codice sorgente	Denominazione sorgente
P07	Fontana pubblica denominata del Ciclista

Sezione B: Inquadramento territoriale amministrativo

Regione	Provincia	Comune	Località
Emilia Romagna	Parma	Fornovo di Taro	Monte Prinzero, versante ovest, località Rocchetta
Gestore		Dato catastale	
Accessibilità al luogo della sorgente	<input checked="" type="checkbox"/> Alta	<input type="checkbox"/> Media	<input type="checkbox"/> Bassa
Note			

Sezione C: Inquadramento geografico

Bacino idrografico	Corso d'acqua principale
Fiume Taro	Torrente Rocchetta

Sistema di riferimento

Coordinate geografiche

Latitudine:

Longitudine:

Origine dati

GPS Cartografia Triangolazione Interpretazione Altro

PDOP:

Coordinate chilometriche (UTM32*)

Km N 944680,79

Km E: 585835,296

Origine dati

GPS Cartografia Triangolazione Interpretazione Altro

PDOP:

Quota 505 m. s.l.m.

Latitudine:

Longitudine:

Origine dati

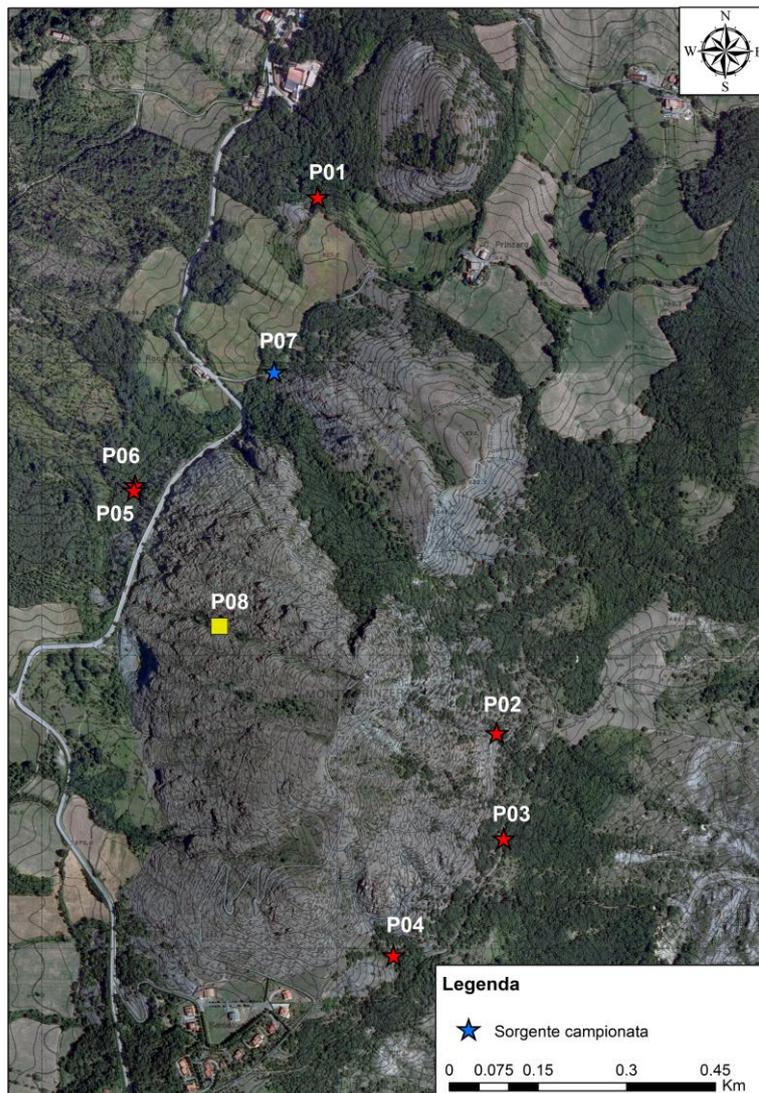
GPS Cartografia Livellazione Altimetro Altro

PDOP

Immagine fotografica



Codice C.T.R. 1:10.000 199130



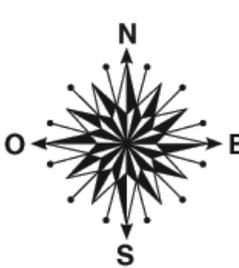
Sezione D: **Dati caratteristici della sorgente**

Tipo emergenza	<input checked="" type="checkbox"/> puntuale <input type="checkbox"/> diffusa <input type="checkbox"/> fronte sorgivo <input type="checkbox"/> altro		Origine dato	<input checked="" type="checkbox"/> rilevato sul terreno <input type="checkbox"/> altro
Regime	<input checked="" type="checkbox"/> perenne <input type="checkbox"/> secca stagionalmente <input type="checkbox"/> secca eccezionalmente <input type="checkbox"/> temporaneo <input type="checkbox"/> effimero		Origine dato	<input checked="" type="checkbox"/> monitoraggio <input type="checkbox"/> altro
Tipo sorgente	<input type="checkbox"/> per limite di permeabilità <input checked="" type="checkbox"/> per soglia di permeabilità <input type="checkbox"/> per affioramento della piezometrica <input type="checkbox"/> altro		Origine dato	<input checked="" type="checkbox"/> rilevato sul terreno <input type="checkbox"/> bibliografia <input type="checkbox"/> altro
Stato emergenza	Naturale <input checked="" type="checkbox"/> si <input type="checkbox"/> no	Captata <input checked="" type="checkbox"/> si <input type="checkbox"/> no	Uso <input type="checkbox"/> potabile/acquedotto <input type="checkbox"/> potabile/privato <input type="checkbox"/> potabile/altro <input checked="" type="checkbox"/> fontana <input type="checkbox"/> alpeggio <input type="checkbox"/> irriguo <input type="checkbox"/> zootecnico <input type="checkbox"/> industriale <input type="checkbox"/> igienico sanitario <input type="checkbox"/> dismessa <input type="checkbox"/> altro	Descrizione tipo presa - anno di costruzione: - rete acquedottistica servita: - località servite: - numero abitanti serviti: - numero abitanti fluttuanti: - altro

Sezione E: **Inquadramento geologico**

Hard rock aquifers	Formazione Geologica Peridotiti serpentizzate	Carsica <input type="checkbox"/> si <input checked="" type="checkbox"/> no
Note idrogeologiche		

Sezione F: **Esposizione ed illuminazione**

Esposizione Sud-ovest	Illuminazione	
	<input checked="" type="checkbox"/>	Sorgente esposta
	<input type="checkbox"/>	Erbe alte, copertura <25%
	<input type="checkbox"/>	Arbusti, alberi o balze rocciose. Copertura 25-50%
	<input type="checkbox"/>	Ombreggiato; sottobosco. Copertura 50-75%
	<input type="checkbox"/>	Molto ombreggiato; sottobosco. Copertura >75%
	<input type="checkbox"/>	Costante tutto l'anno

Sezione I: **Zona tampone, vegetazione limitrofa, vertebrati avvistati**

Tipo di disturbo	Distanza (m)	Note
<input checked="" type="checkbox"/> Captazioni		
<input type="checkbox"/> Sentiero		
<input type="checkbox"/> Calpestio da bestiame		
<input type="checkbox"/> Modifiche dell'alveo		
<input checked="" type="checkbox"/> Edifici		
<input checked="" type="checkbox"/> Strade		
<input checked="" type="checkbox"/> Terreni agricoli		
<input type="checkbox"/> Altro		
<input type="checkbox"/> Nessuno		

Vegetazione limitrofa	Note
<input type="checkbox"/> Bosco di conifere	
<input type="checkbox"/> Bosco di latifoglie	
<input type="checkbox"/> Bosco misto	
<input checked="" type="checkbox"/> Cespugli	
<input type="checkbox"/> Prateria alpina	
<input type="checkbox"/> Pascoli	
<input checked="" type="checkbox"/> Terreni agricoli	
<input type="checkbox"/> Altro	

Sezione L: **Dati di laboratorio di nuova acquisizione** (4 ottobre 2011)

codice	UBICAZIONE	DATA	TIPO	COND	pH	Eh	TEMP	DUREZZA	TDS	Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺²	Mg ⁺²
				μS/cm		mV	°C	°f	g/L	ppm	ppm	ppm	ppm
P07	FONTANA DEL CICLISTA	04/10/2011	S	318	8.7	105	15.3	16	0.24	2	0	6	35

codice	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ⁻²	F	Cl	NO ₂ ⁻	Br	NO ₃ ⁻	PO ₄ ⁻²	SO ₄ ⁻²	NH ₄ ⁺	HS	SI _{calcite}	SI _{dolomite}	log P _{CO2}
														ppm
P07	163	4.4	0.00	3	0.008	bdl	bdl	bdl	31	bdl	nd	0.16	1.31	3.49

Sezione M: **Dati di monitoraggio in campagna** (parametri fisico-chimici, citazioni bibliografiche, ecc.)

Codice sorgente	Parametri	21/07/11	04/08/11	25/08/11	02/09/11	15/09/11	04/10/11	18/10/11	21/11/11
Fontana del ciclista (P07)	Portata media	0.081	0.065	0.056	0.049	0.045	0.05	0.056	0.007
	Conducibilità (μS/cm)	314	310	299	293	299	304	304	n.r.
	Temperatura acqua (°C)	16.5	16.5	18.8	20.5	19.5	17.3	14.1	n.r.
	pH	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	7.92	7.9	n.r.	n.r.

P08

Sezione A: **Identificativo sorgente**

Codice sorgente	Denominazione sorgente
P08	Tenella

Sezione B: **Inquadramento territoriale amministrativo**

Regione	Provincia	Comune	Località
Emilia Romagna	Parma	Fornovo di Taro	Monte Prinzera,
Gestore		Dato catastale	
Accessibilità al luogo della sorgente	<input type="checkbox"/> Alta	<input type="checkbox"/> Media	<input checked="" type="checkbox"/> Bassa
Note			

Sezione C: **Inquadramento geografico**

Bacino idrografico	Corso d'acqua principale

Sistema di riferimento

Coordinate geografiche

Latitudine:

Longitudine:

Origine dati

GPS Cartografia Triangolazione Interpretazione Altro

PDOP:

Coordinate chilometriche (UTM32*)

Km N 944680,79

Km E: 585835,296

Origine dati

GPS Cartografia Triangolazione Interpretazione Altro

PDOP:

Quota 495 m. s.l.m.

Latitudine:

Longitudine:

Origine dati

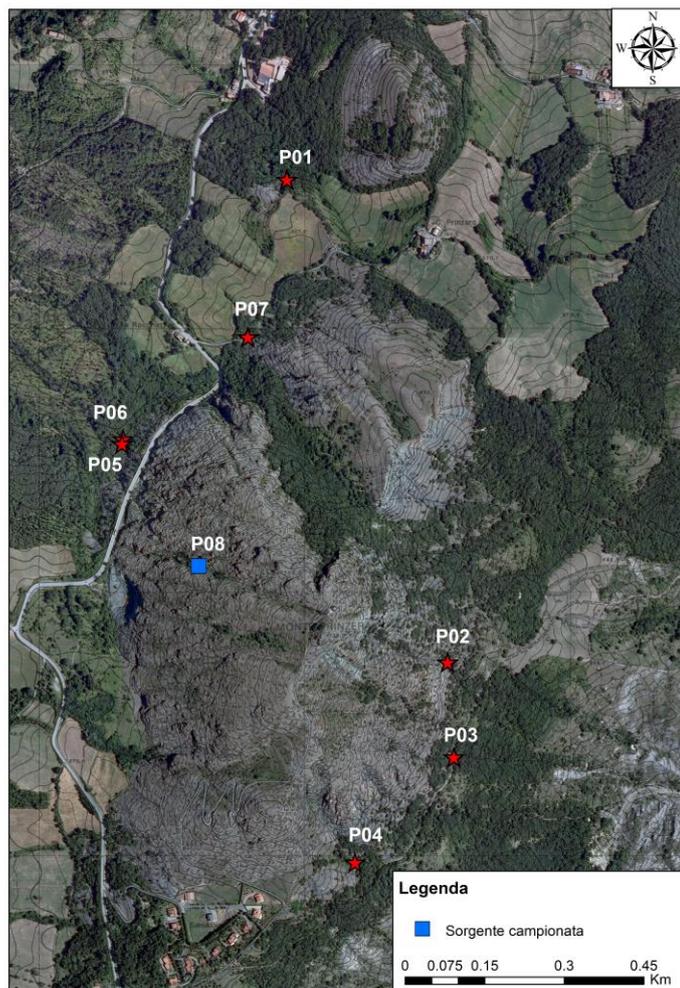
GPS Cartografia Livellazione Altimetro Altro

PDOP:

Immagine fotografica



Codice C.T.R. 1:10.000 199130



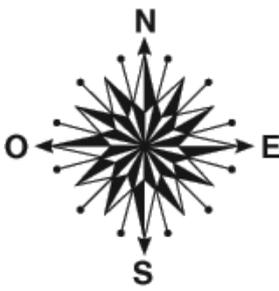
Sezione D: **Dati caratteristici della sorgente**

Tipo emergenza	<input checked="" type="checkbox"/> puntuale <input type="checkbox"/> diffusa <input type="checkbox"/> fronte sorgivo <input type="checkbox"/> altro		Origine dato	<input checked="" type="checkbox"/> rilevato sul terreno <input type="checkbox"/> altro
Regime	<input type="checkbox"/> perenne <input type="checkbox"/> secca stagionalmente <input type="checkbox"/> secca eccezionalmente <input checked="" type="checkbox"/> temporaneo <input type="checkbox"/> effimero		Origine dato	<input checked="" type="checkbox"/> monitoraggio <input type="checkbox"/> altro
Tipo sorgente	<input checked="" type="checkbox"/> per limite di permeabilità <input type="checkbox"/> per soglia di permeabilità <input type="checkbox"/> per affioramento della piezometrica <input type="checkbox"/> altro		Origine dato	<input checked="" type="checkbox"/> rilevato sul terreno <input type="checkbox"/> bibliografia <input type="checkbox"/> altro
Stato emergenza	Naturale <input type="checkbox"/> si <input type="checkbox"/> no	Captata <input type="checkbox"/> si <input checked="" type="checkbox"/> no	Uso <input type="checkbox"/> potabile/acquedotto <input type="checkbox"/> potabile/privato <input type="checkbox"/> potabile/altro <input type="checkbox"/> fontana <input type="checkbox"/> alpeggio <input type="checkbox"/> irriguo <input type="checkbox"/> zootecnico <input type="checkbox"/> industriale <input type="checkbox"/> igienico sanitario <input type="checkbox"/> dismessa <input type="checkbox"/> altro	Descrizione tipo presa - anno di costruzione: - rete acquedottistica servita: - località servite: - numero abitanti serviti: - numero abitanti fluttuanti: - altro

Sezione E: **Inquadramento geologico**

Hard rock aquifers	Formazione Geologica Peridotiti serpentizzate	Carsica <input type="checkbox"/> si X no
Note idrogeologiche		

Sezione F: **Esposizione ed illuminazione**

Esposizione	Illuminazione	
	<input checked="" type="checkbox"/>	Sorgente esposta
	<input type="checkbox"/>	Erbe alte, copertura <25%
	<input type="checkbox"/>	Arbusti, alberi o balze rocciose. Copertura 25-50%
	<input type="checkbox"/>	Ombreggiato; sottobosco. Copertura 50-75%
	<input type="checkbox"/>	Molto ombreggiato; sottobosco. Copertura >75%
	<input type="checkbox"/>	Costante tutto l'anno

Sezione I: **Zona tampone, vegetazione limitrofa, vertebrati avvistati**

Tipo di disturbo	Distanza (m)	Note
<input type="checkbox"/> Captazioni		
<input type="checkbox"/> Sentiero		
<input type="checkbox"/> Calpestio da bestiame		
<input type="checkbox"/> Modifiche dell'alveo		
<input type="checkbox"/> Edifici		
<input type="checkbox"/> Strade		
<input type="checkbox"/> Terreni agricoli		
<input type="checkbox"/> Altro		
<input type="checkbox"/> Nessuno		

Vegetazione limitrofa	Note
<input type="checkbox"/> Bosco di conifere	
<input type="checkbox"/> Bosco di latifoglie	
<input type="checkbox"/> Bosco misto	
<input type="checkbox"/> Cespugli	
<input type="checkbox"/> Prateria alpina	
<input type="checkbox"/> Pascoli	
<input type="checkbox"/> Terreni agricoli	
<input checked="" type="checkbox"/> Altro	

Sezione L: **Dati di laboratorio di nuova acquisizione** (4 ottobre 2011)

codice	UBICAZIONE	DATA	TIPO	COND	pH	Eh	TEMP	DUREZZA	TDS	Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺²	Mg ⁺²
				μS/cm		mV	°C	°f	g/L	ppm	ppm	ppm	ppm
P08	TENELLA	04/10/2011	S	180	7.8	67	14.6	11	0.17	2	0	4	24

codice	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ⁻²	F	Cl	NO ₂ ⁻	Br	NO ₃ ⁻	PO ₄ ⁻²	SO ₄ ⁻²	NH ₄ ⁺	HS	SI _{calcite}	SI _{dolomite}	log P _{CO2}
														ppm
P08	126	0.0	0.00	4	bdl	0.013	bdl	bdl	9	bdl	nd	-0.96	-0.95	2.68

Sezione M: **Dati di monitoraggio in campagna** (parametri fisico-chimici, citazioni bibliografiche, ecc.)

Codice sorgente	Parametri	27/10/2011	30/10/2011	02/11/2011	06/11/2011	09/11/2011	16/11/2011	24/11/2011
Tenella (P08)	Portata media	1.6	0.325	0.274	0.436	0.184	0.243	0.096
	Conducibilità (μS/cm)	111	125	138.1	129.5	153	140	165.4
	Temperatura acqua (°C)	11.3	12.5	11	12	10.8	9.7	5.6
	pH	7.5	7.48	7.84	7.78	7.85	7.84	7.86