



**Università degli Studi di Torino**  
Dipartimento di Scienze della Terra

**Tesi di Laurea Magistrale in Scienze Geologiche  
Applicate**

*“Studio geologico-ambientale della piana di  
Verrès-Issogne-Arnad (AO)”*

Candidato: Michel Borinatto

---

Relatore: Prof. Luciano Masciocco

---

Correlatore: Dott. Pietro Capodaglio

---

Correlatore: Dott. Fulvio Simonetto

---

**Anno Accademico  
2013 – 2014**

Un ringraziamento particolare va al Prof. Luciano Masciocco che mi ha seguito e assistito nella stesura di questa tesi. Grazie a lui ho potuto collaborare con ARPA Valle d'Aosta nella sezione ASSC (Acqua Suolo e Siti Contaminati) e ho potuto conoscere due persone molto disponibili come il Dott. Pietro Capodaglio e l'Ing. Fulvio Simonetto. Grazie Pietro per la tua disponibilità, i tuoi consigli e la tua pazienza nel seguirmi in questa impresa.

Grazie Fulvio per il tuo importante supporto grafico.

Grazie a tutti e due per quanto mi avete aiutato e insegnato.

Per ultimi, non per importanza, ringrazio i miei genitori che mi sono stati vicini nei momenti di sconforto e mi hanno sempre spinto ad andare avanti per raggiungere questo importante traguardo.

Infine, un BRAVO a me stesso

CE L'HO FATTA!!!

## INDICE

<b>1 – INTRODUZIONE</b>	<i>pag. 5</i>
<b>2 - INQUADRAMENTO DEL TERRITORIO</b>	<i>pag. 7</i>
<b>2.1 – Inquadramento geografico</b>	<i>pag. 7</i>
<b>2.2 – Inquadramento geologico</b>	<i>pag. 11</i>
<b>2.2.1 – Struttura</b>	<i>pag. 11</i>
<b>2.2.2 – Litologia del substrato</b>	<i>pag. 16</i>
<b>2.2.3 – Copertura quaternaria</b>	<i>pag. 19</i>
<b>2.3 – Inquadramento climatico</b>	<i>pag. 22</i>
<b>2.3.1 Precipitazioni</b>	<i>pag. 22</i>
<b>2.3.2 Temperature e ventosità</b>	<i>pag. 26</i>
<b>2.4 – Inquadramento idrografico</b>	<i>pag. 26</i>
<b>2.5 – Inquadramento geomorfologico</b>	<i>pag. 29</i>
<b>3 – STATO DELLE CONOSCENZE</b>	<i>pag. 32</i>
<b>3.1 – Analisi del quadro normativo</b>	<i>pag. 32</i>
<b>3.1.1 - Normativa Europea</b>	<i>pag. 32</i>
<b>3.1.2 - Normativa Nazionale</b>	<i>pag. 33</i>
<b>3.1.3 - Normativa Regionale</b>	<i>pag. 38</i>
<b>3.2 – Lavori pregressi</b>	<i>pag. 40</i>
<b>3.3 – Captazioni delle acque sotterranee</b>	<i>pag. 41</i>
<b>3.4 – Monitoraggio ambientale a cura di ARPA Valle d’Aosta</b>	<i>pag. 42</i>
<b>3.4.1 - Monitoraggio della piana di Verrès-Issogne-Arnad</b>	<i>pag. 44</i>
<b>3.5 – L’alluvione dell’ottobre 2000</b>	<i>pag. 47</i>
<b>4 – SPERIMENTAZIONE</b>	<i>pag. 52</i>
<b>4.1 – Indagini geognostiche</b>	<i>pag. 52</i>
<b>4.1.1 – Indagini dirette</b>	<i>pag. 53</i>
<b>4.1.2 - Indagini indirette</b>	<i>pag. 60</i>
<b>4.1.2.1 – Indagini con la tecnica <i>ERT</i></b>	<i>pag. 61</i>
<b>4.1.2.2 – Indagini con la tecnica <i>TDEM</i></b>	<i>pag. 63</i>
<b>4.1.2.3 – Indagini con la tecnica <i>HVSR</i></b>	<i>pag. 64</i>

4.1.2.4 – <i>Indagini con la tecnica Re.Mi.</i>	<i>pag. 65</i>
4.1.2.5 – <i>Risultati ottenuti</i>	<i>pag. 66</i>
<b>4.2 – Ricostruzione litostratigrafica e idrogeologica</b>	<i>pag. 77</i>
<b>4.3 – Soggiacenza e piezometria della falda a superficie libera</b>	<i>pag. 79</i>
4.3.1 – <i>Escursioni stagionali della falda</i>	<i>pag. 79</i>
4.3.2 – <i>Escursioni pluriennali della falda</i>	<i>pag. 81</i>
4.3.3 – <i>Correlazione soggiacenza - portate dei corsi d'acqua</i>	<i>pag. 83</i>
4.3.4 – <i>Correlazione soggiacenza - precipitazioni</i>	<i>pag. 84</i>
4.3.5 – <i>Correlazione soggiacenza – temperatura dell'aria</i>	<i>pag. 86</i>
4.3.6 – <i>Campagna di misure piezometriche</i>	<i>pag. 89</i>
4.3.7 – <i>Rapporti tra acque sotterranee e superficiali</i>	<i>pag. 90</i>
4.3.8 – <i>Carta piezometrica relativa a gennaio 2014</i>	<i>pag. 92</i>
<b>4.4 – Idrochimica e qualità delle acque</b>	<i>pag. 94</i>
4.4.1 – <i>Principali ioni presenti nelle acque</i>	<i>pag. 94</i>
4.4.2 – <i>Campionamento delle acque superficiali</i>	<i>pag. 96</i>
4.4.3 – <i>Analisi delle acque superficiali</i>	<i>pag. 103</i>
4.4.4 – <i>Elaborazione delle analisi delle acque superficiali</i>	<i>pag. 107</i>
4.4.5 – <i>Campionamento delle acque sotterranee</i>	<i>pag. 109</i>
4.4.6 – <i>Analisi delle acque sotterranee</i>	<i>pag. 111</i>
4.4.7 – <i>Elaborazione delle analisi delle acque sotterranee</i>	<i>pag. 112</i>
4.4.8 – <i>Sintesi sul chimismo delle acque sotterranee</i>	<i>pag. 116</i>
4.4.9 – <i>Qualità delle acque sotterranee</i>	<i>pag. 116</i>
<b>4.5 – Centri di pericolo</b>	<i>pag. 118</i>
<b>4.6 – Vulnerabilità dell'acquifero superficiale</b>	<i>pag. 122</i>
<b>5 – CONCLUSIONI</b>	<i>pag. 134</i>
<b>BIBLIOGRAFIA</b>	<i>pag. 136</i>
<b>RIFERIMENTI WEB</b>	<i>pag. 138</i>
<b>ALLEGATO A - Stratigrafie</b>	<i>pag. 139</i>

## 1 – INTRODUZIONE

La Regione Valle d'Aosta presenta una conformazione morfologica spiccatamente montana su pressoché tutto il territorio; le aree pianeggianti - ove insistono i più importanti centri abitati e, di conseguenza, le maggiori pressioni antropiche - sono ben identificabili in corrispondenza del fondovalle principale, sede di significativi acquiferi di origine alluvionale sfruttati da numerosi pozzi, anche ad uso idropotabile.

Tali aree rivestono pertanto un ruolo di primaria importanza dal punto di vista ambientale, anche se sovente risultano di fatto ancora piuttosto poco conosciute dal punto di vista geologico ed idrogeologico, dal momento che la maggior parte delle perforazioni esistenti ha profondità modeste (poche decine di metri) a fronte di una profondità attesa del substrato roccioso dell'ordine di qualche centinaio di metri.

Il presente lavoro è stato svolto in stretta collaborazione con la Sezione ASSC (Acqua Suolo e Siti Contaminati) di ARPA Valle d'Aosta che, nell'ambito dei propri compiti istituzionali, svolge sulle suddette aree di fondovalle il monitoraggio delle acque sotterranee ai sensi delle vigenti normative nazionali (REPUBBLICA ITALIANA 2009) ed europee (COMUNITÀ EUROPEA, 2000, 2006).

In particolare, il presente studio riguarda la piana di Verrès-Issogne-Arnad, situata nella media valle d'Aosta, nella quale è presente un ricco acquifero sul quale tuttavia non sono noti lavori pregressi di rilievo.

Al fine di integrare le conoscenze geologiche ed idrogeologiche sul territorio, nell'autunno 2013 ARPA Valle d'Aosta ha eseguito indagini geognostiche dirette ed indirette, finalizzate a ricostruire le caratteristiche del sottosuolo per uno spessore di almeno 170 m, interamente seguite in campo dallo scrivente.

Lo studio è nel prosieguo così articolato:

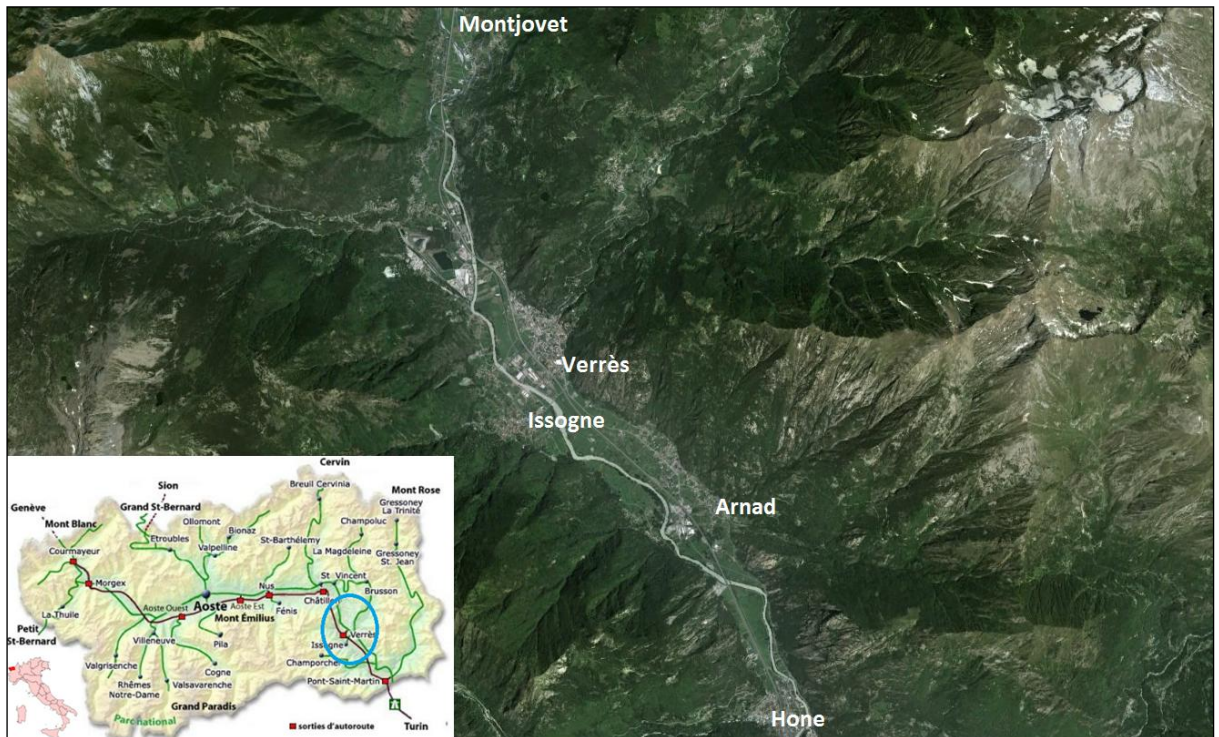
- inquadramento territoriale (Cap. 2): descrizione dell'area di indagine dal punto di vista geografico, geologico, climatico, idrografico e geomorfologico;
- stato delle conoscenze (Cap. 3): analisi del quadro normativo europeo, nazionale e regionale in materia di tutela delle risorse idriche; ricerca bibliografica su lavori preesistenti attinenti l'area di studio; individuazione delle captazioni delle acque sotterranee presenti nella piana di Verrès-Issogne-Arnad; analisi dei dissesti provocati dall'alluvione dell'ottobre 2000 nel territorio d'indagine, sulla base dei dati forniti dal Centro Funzionale Regionale (Assessorato Opere Pubbliche);

- sperimentazione (Cap. 4): grazie ai dati sperimentali ottenuti dalla campagna geognostica e alle stratigrafie disponibili, si è effettuata una ricostruzione litostratigrafica e idrogeologica della piana di Verrès-Issogne-Arnad; tramite apposite misure dei livelli dei corpi idrici sotterranei e superficiali, si è ricostruito l'andamento della falda a superficie libera; si sono individuati i principali centri di pericolo ed infine si è valutata la vulnerabilità dell'acquifero superficiale secondo il metodo GOD di FOSTER *et al.* (2002);
- nell'ultimo capitolo (Cap. 5) si traggono alcune considerazioni conclusive.

## 2 - INQUADRAMENTO DEL TERRITORIO

### 2.1 Inquadramento geografico

La piana di Verrès-Issogne-Arnad, area oggetto di studio, è interamente situata nella Regione Autonoma Valle d'Aosta, ubicata all'estremità nord-occidentale del territorio italiano dove la catena delle Alpi assume un andamento NE-SW (Fig. 2.1).



**Figura 2.1** – Immagine satellitare della piana Verrès-Issogne-Arnad; in basso a sinistra la localizzazione dell'area di studio nel contesto nazionale e regionale.

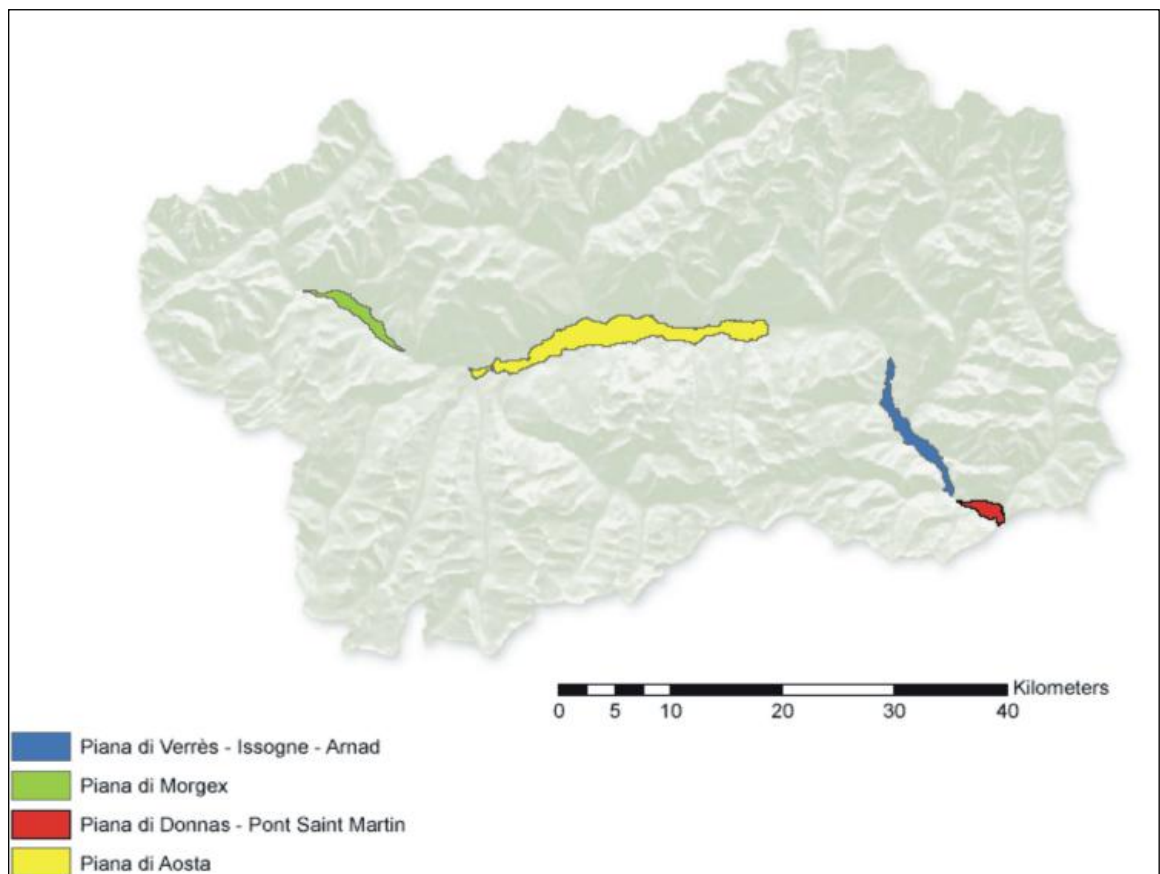
Il territorio regionale è nel complesso quasi esclusivamente montuoso, con un'altitudine che varia dai 345 m s.l.m. (Pont-Saint-Martin, al confine con la regione Piemonte) ai 4810 m s.l.m. del Monte Bianco (massima elevazione alpina) ed una quota media di circa 2100 m s.l.m..

Il fondovalle principale, avente una lunghezza totale di circa 90 km, è attraversato dal fiume Dora Baltea e può essere suddiviso - sulla base della sua diversa orientazione, dell'altimetria nonché delle caratteristiche climatiche - in tre zone; da monte verso valle si distinguono (Fig. 2.2):

- l'alta valle (Valdigne), che si sviluppa da Courmayeur (ai piedi del M. Bianco; 1200 m s.l.m.) fino alla stretta dell'Equilivaz (a valle di La Salle, 780 m s.l.m.) con

orientazione NW-SE e lunghezza di circa 30 km; in tale settore è presente la piana di Morgex;

- la media valle, che si estende dalla stretta dell'Equilivaz alla stretta di Montjovet (a valle di Saint-Vincent, 575 m s.l.m.) con orientazione E-W e lunghezza di 35 km; tale settore comprende la piana di Aosta;
- la bassa valle, tra il paese di Montjovet (406 m s.l.m.) e quello di Pont-Saint-Martin (350 m s.l.m., al confine col Piemonte), con orientamento NNW-SSE e lunghezza di circa 20 Km. In quest'ultimo settore si distinguono due zone di fondovalle piuttosto ampie: la piana di Verrès-Issogne-Arnad (oggetto del presente lavoro) e quella di Pont-Saint-Martin, separate tra loro dalla stretta di Bard.



**Figura 2.2** – Piane del fondovalle principale della Regione Valle d'Aosta; area oggetto di studio in blu (elaborazione ARPA Valle d'Aosta).

La piana di Verrès-Issogne-Arnad, oggetto della presente tesi, si sviluppa dalla stretta di Montjovet (406 m s.l.m.) alla stretta di Hône-Bard (350 m s.l.m.) con andamento NNW-SSE e una lunghezza complessiva di circa 13 km. La larghezza della valle in questo settore varia da un minimo di circa 400 m a un massimo di circa 1200 m (in corrispondenza della sezione Verrès-Issogne); la superficie totale della zona di piana è di circa 10,8 km<sup>2</sup>.

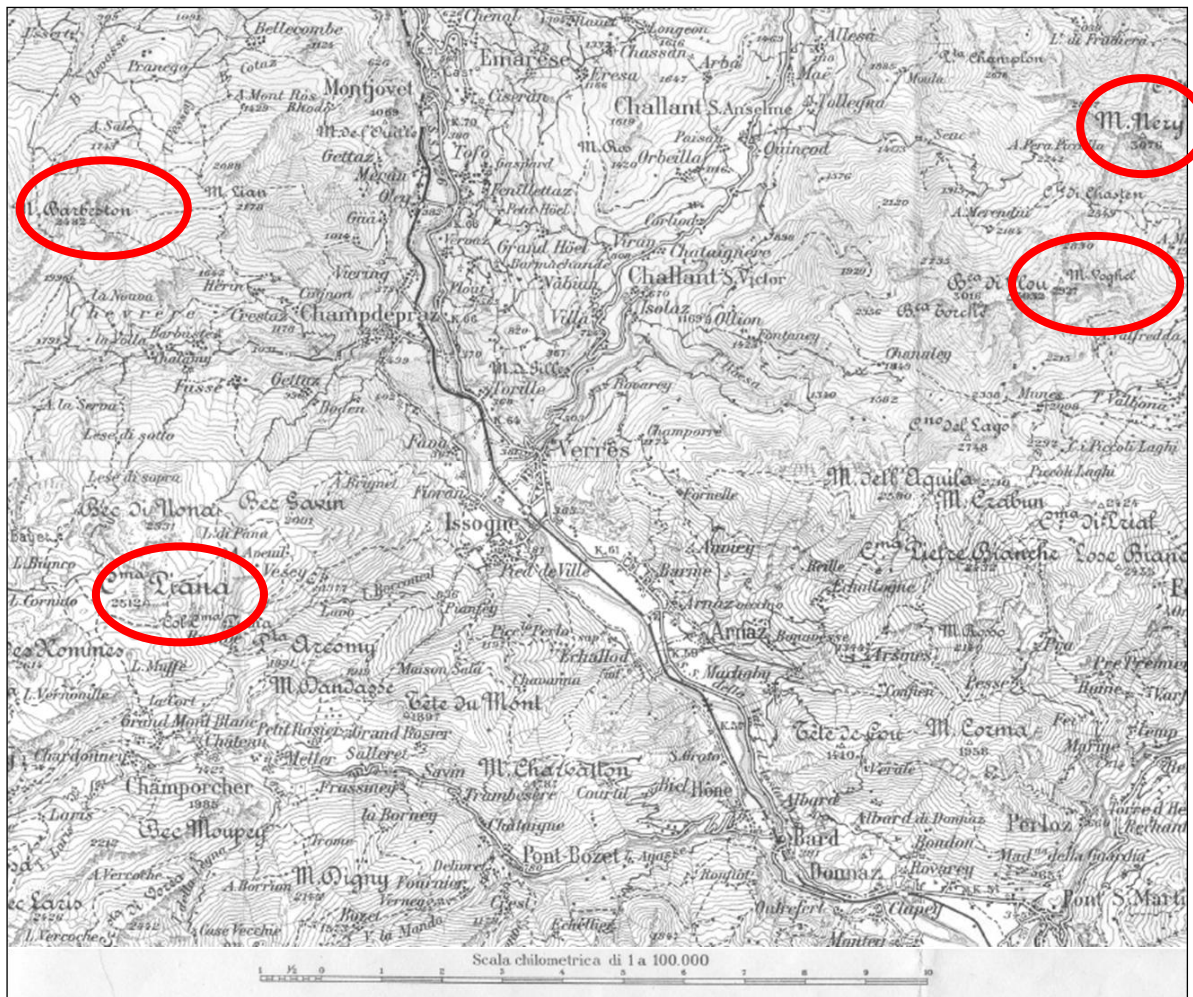


La piana è caratterizzata su ambo i versanti da ampi conoidi, in corrispondenza dei quali risultano situati i principali centri abitati: Verrès, Arnad e Bard in sinistra idrografica della Dora Baltea, Issogne e Hône in destra idrografica. Inoltre, come facilmente osservabile in Figura 2.3, essa è delimitata da pareti rocciose, a tratti con giacitura subverticale.



**Figura 2.3** – Pareti rocciose con giacitura subverticale nei pressi della frazione Prouve nel comune di Arnad (foto Borinatto).

I principali rilievi prospicienti sulla piana sono: il Mont Barbeston (2483 m s.l.m.) e il Mont de Panaz (Cima Piana 2512 m s.l.m.) in destra orografica; in sinistra orografica il Mont Nery (3075 m s.l.m.) e il Mont Voghel (3032 m s.l.m.) come si osserva in Figura 2.4. Dal punto di vista sismico, l'area di studio, come tutti i comuni della Regione Autonoma della Valle d'Aosta, è classificata in zona 3, stabilito dalla legge regionale 23/2012 (REGIONE VALLE D'AOSTA, 2012).



**Figura 2.4** – Stralcio dei Fogli 29 “Monte Rosa e 42 “Ivrea” della Carta Topografica d’Italia alla scala 1:100.000 (ISTITUTO GEOGRAFICO MILITARE, 1937a, 1937b). con gli ovali rossi sono indicate le principali cime prospicienti la piana di Verrès-Issogne-Arnad.

## 2.2 Inquadramento geologico

La Valle d'Aosta è situata nella catena alpina occidentale, che rappresenta un segmento del grande sistema orogenetico alpino-himalayano originatosi a seguito della chiusura di un oceano, che separava il paleocontinente euro-asiatico da quello africano-arabico-indiano, e la conseguente collisione fra le due placche. In estrema sintesi nel processo orogenetico si possono individuare le seguenti fasi:

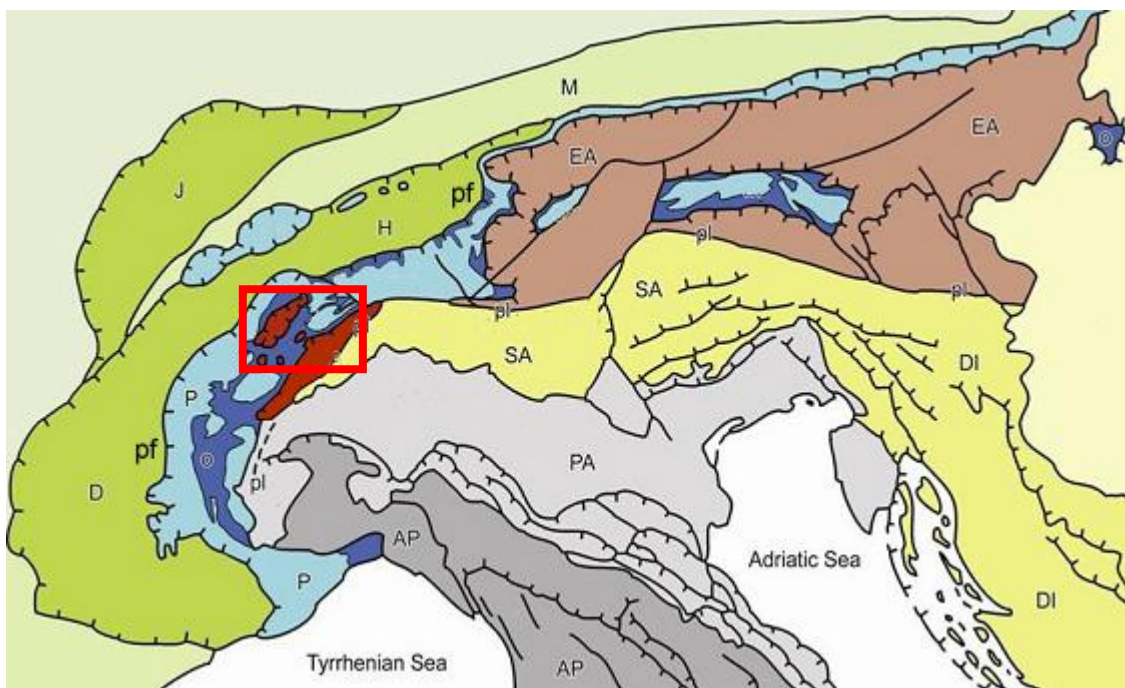
- nel Giurassico inferiore, la formazione del *rifting* ha come conseguenza l'apertura dell'Oceano Ligure-Piemontese;
- tra la fine del Giurassico e l'inizio del Cretaceo le placche sono interessate da nuove condizioni geodinamiche di tipo compressivo, che generano una rottura litosferica tra l'oceano Ligure-Piemontese ed il margine passivo adriatico;
- la storia precollisionale della catena, nel Cretaceo inferiore-medio, è contrassegnata dalla crescita di un prisma orogenetico, formatosi nella zona di subduzione, e dalla sua esumazione alla fronte del margine sudalpino (adriatico). Il prisma è un sistema multi falda comprendente scaglie di crosta continentale ("zona austroalpina") e molteplici unità ofiolitiche ("zona piemontese"), costituite da frammenti di litosfera oceanica e da sedimenti sinorogenici (*flysch*);
- nell'Eocene medio la Tetide viene completamente consunta dalla subduzione e si giunge alla collisione fra i due margini continentali;
- con l'Oligocene ha inizio la storia post collisionale della catena, che subisce nell'ordine sollevamento, emersione e smantellamento con conseguente deposizione di sedimenti in un bacino di avanfossa (molassa alpina) che si estende al bordo nordalpino dalla Svizzera all'Austria;
- la catena subì arcature (Alpi Occidentali) e frammentazioni (Corsica) durante l'evoluzione degli Appennini a partire dal Neogene.

### 2.2.1 – Struttura

La catena alpina, come risulta dalle Figure 2.5 e 2.6, è caratterizzata da una struttura crostale a doppia vergenza, tagliata longitudinalmente da una linea tettonica: la Linea Insubrica o Linea Periadriatica (pl):

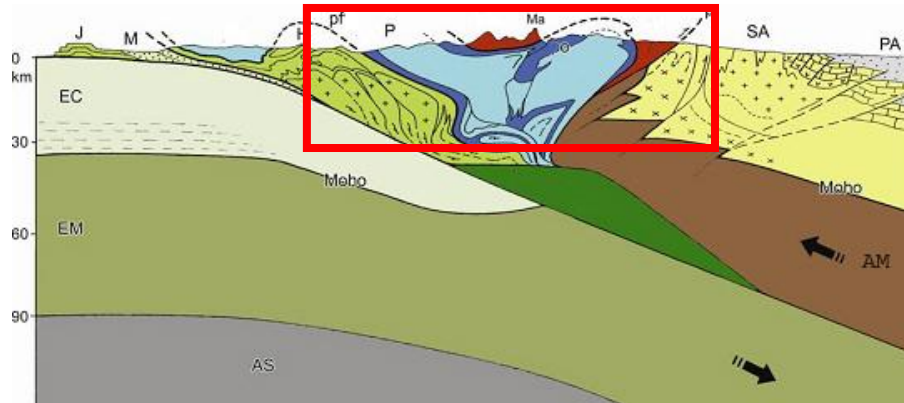
- a nord della Linea Insubrica si ha vergenza "europea", ovvero il trasporto tettonico delle falde è avvenuto verso l'Europa (avampaese). Tale settore delle Alpi è formato da un'imponente pila di falde molto metamorfosate. A grandi linee, dall'alto verso il basso si distinguono tre domini:

- Austroalpino, derivante dal margine continentale adriatico (paleoafricano);
  - Pennidico, derivante dall'oceano Tetide;
  - Elvetico-Delfinese, derivante dal margine continentale europeo (falda europea).
- a sud della Linea Insubrica la catena ha invece vergenza “africana”, ovvero il trasporto tettonico è avvenuto verso l’Africa, ed è rappresentata dalle Alpi Meridionali, sostanzialmente indeformate.



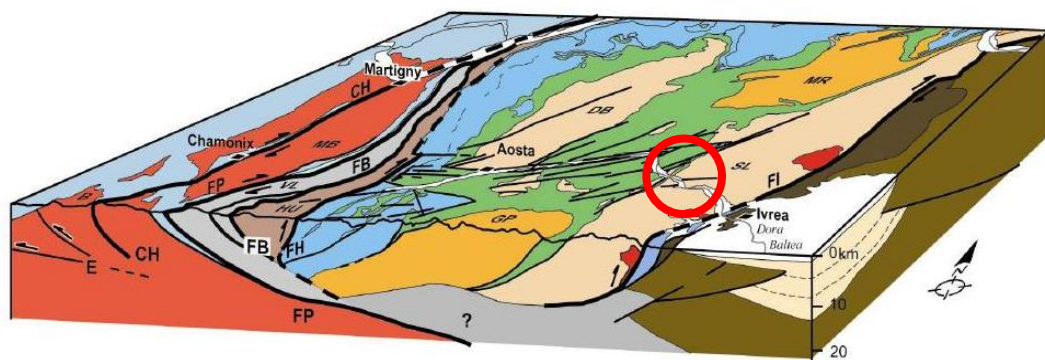
**Figura 2.5** – Carta geologico-strutturale dell’arco alpino (rif. Web n.1). *Legenda.* **M** (Molasse): bacino sedimentario esterno. **J, D, H** (Giura, Delfinese, Elvetico): zone superficiali deformate ma ancora stabili sulla placca europea. **pf**: Fronte Pennidico che separa le falde rimaste in superficie da quelle subdotte. **P** (Pennidi, azzurro): falde continentali subdotte ed esumate. **O** (Ofioliti, blu scuro): falda oceanica subdotta ed esumata. In **marrone**: falda adriatica subdotta (Sesia Lanzo e Dent Blanche). **EA** (Austroalpino): falde continentali adriatiche (“africane”). **pl**: linea periadriatica che separa le falde subdotte dalle terre adriatiche fisse. **SA, DI** (Sudalpino, Dinaridi): placca adriatica deformata. **PA**: placca adriatica “indeformata”, bacino sedimentario interno. **AP**: Appennini. Il riquadro in rosso segna la posizione approssimativa della Valle d’Aosta.

Il territorio valdostano (Fig. 2.5) è situato a nord-ovest della Linea Insubrica (che in questo settore delle Alpi prende il nome di Linea del Canavese) ed è quindi interamente compreso nella catena nord-vergente.



**Figura 2.6** - Interpretazione in sezione (rif. Web n.1). *Legenda.* **M, J, H, pf, P, pl, SA, PA:** come figura precedente. **Ma:** Cervino. **EC:** crosta europea. **Moho:** limite crosta-mantello. **EM:** mantello europeo. **AM:** mantello adriatico. **AS:** mantello astenosferico. Il riquadro in rosso segna la posizione approssimativa della Valle d'Aosta.

Più in particolare l'area oggetto di studio, il fondovalle della piana di Verrès-Issogne-Arnad, si sviluppa per lo più nei domini Pennidico e Austroalpino, caratterizzati da strutture fortemente piegate con marcato metamorfismo e associate a grandi sovrascorrimenti. Come si osserva in Figura 2.7, la zona è interessata dal sovrascorrimento della Zona Sesia-Lanzo (Austroalpino), in rosa, sulla Zona Piemontese (Pennidico), in verde.



**Figura 2.7** – Stereogramma tettonico attraverso le alpi valdostane (POLINO *et al.* 2009). *Legenda* **B:** Belledonne; **DB:** Dent Blanche; **GP:** Gran Paradiso; **HU:** Zone Houillère; **MB:** Monte Bianco; **MR:** Monte Rosa; **SL:** Sesia Lanzo; **VL:** Unità Vallesane; **?:** Unità pennidiche inferiori e/o mantello. **CH:** Faglia di Chamonix; **FB:** Fronte brianzone; **FH:** Fronte interno houiller; **FI:** Fronte insubrico; **FP:** Fronte pennidico. Nel cerchio rosso: la piana di Verrès-Issogne-Arnad. Polino R. *et al.* (2009) - Carta geologica d'Italia alla scala 1:50.000, foglio 90 Aosta, Agenzia per la Protezione dell'Ambiente e per i Serv. Tec., Org. Cartogr. dello Stato, Roma, 2009.

Il Dominio Pennidico, corrispondente alla porzione di catena maggiormente deformata e metamorfosata, è un sistema composito che include sia unità di derivazione:

- a) continentale: sistema multi falda del Grand San Bernardo (Zona Brianzonese), massicci cristallini interni del Monte Rosa, del Gran Paradiso e del Dora-Maira (finestre tettoniche all'interno della zona Piemontese). Tali unità non affiorano nell'area di studio del presente lavoro.
- b) oceanica (Zona Piemontese o Zona dei calcescisti con pietre verdi): sistema multi falda ampiamente affiorante nella media-bassa valle d'Aosta, che separa con continuità le sovrastanti unità austroalpine (Zona Sesia-Lanzo e Sistema della Dent Blanche) dalle sottostanti e più esterne falde pennidiche del Monte Rosa, del Gran Paradiso (Massicci cristallini interni) e del Gran San Bernardo (DAL PIAZ, 1992). Le rocce appartengono al "Complesso dei Calcescisti con Pietre Verdi" dell'era mesozoica.

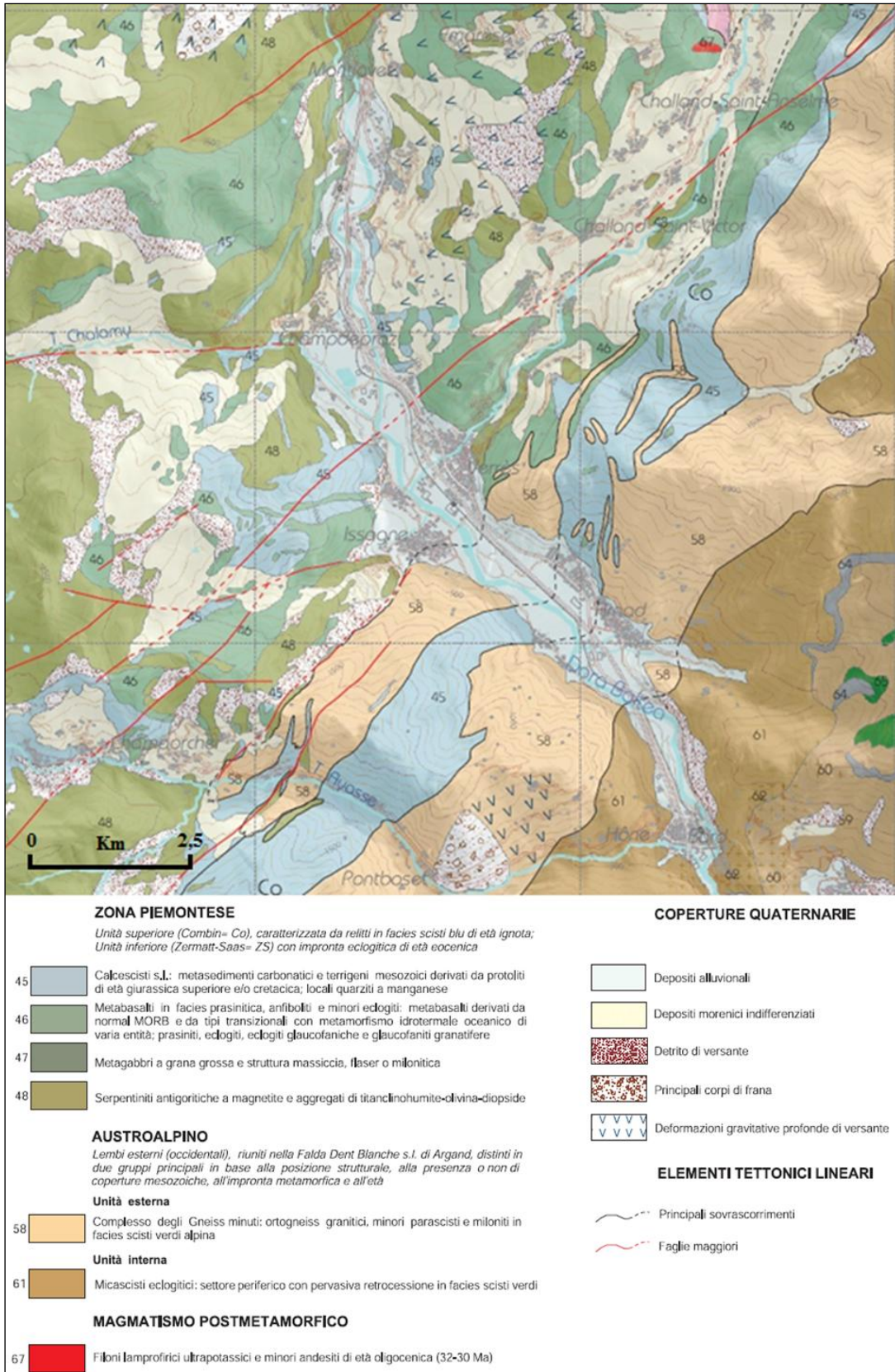
La Zona Piemontese, nella nostra area, è caratterizzata da due unità ofiolitiche: l'unità superiore non è eclogitica (Combin) mentre quella inferiore (Zermatt-Saas) ha una classica impronta eclogitica di età eocenica e deriva da protoliti giurassici (DAL PIAZ, 1992).

Il Dominio Austroalpino, relativamente poco diffuso nel settore occidentale della catena alpina, ne rappresenta l'elemento strutturale più elevato. Nel settore valdostano la sue Unità Tettoniche sono la Zona Sesia Lanzo e la Falda Dent Blanche (Unità di crosta continentale eclogitizzata).

Gli elementi inferiore e superiore della Zona Sesia Lanzo affiorano in tutta la bassa valle, da Pont-Saint-Martin a Verrès, e sono qui rappresentati da due principali unità tettonico-metamorfiche:

- a) Complesso dei Micascisti eclogitici (elemento inferiore), rappresentato da micascisti a grana grossa a quarzo fengite granato, pirosseno sodico e glaucofane  $\pm$  cloritoide, che derivano dalla completa trasformazione metamorfica alpina da scisti di medio alto grado pre-alpini (BORGHI, 2012);
- b) Complesso degli Gneiss minuti (elemento inferiore) che ha avuto una storia metamorfica simile al precedente, ma ha subito nell'Eocene superiore una ricristallizzazione pervasiva in condizioni P-T della facies scisti verdi legata alla esumazione delle ofioliti e del Gran Paradiso (BORGHI, 2012).

In Figura 2.8 si riporta lo stralcio della carta geologica dell'area di studio.



**Figura 2.8** – Stralcio della carta geologica della Valle d'Aosta alla scala 1:100.000 (ELTER, 1987; aggiornamento BONETTO-DAL PIAZ-DE GIUSTI, 2010).

### 2.2.2 – *Litologia del substrato*

Come detto precedentemente, i litotipi predominanti che affiorano su entrambi i versanti dell'area in esame appartengono essenzialmente a due domini geologico-strutturali: nel tratto di valle della piana (da Hône a Verrès) al dominio Austroalpino (Zona Sesia-Lanzo), in quello di monte (da Verrès a Montjovet) al dominio Pennidico (Zona Piemontese).

La Zona Sesia-Lanzo è rappresentata tipicamente dai “micascisti eclogitici” a Bard, e più a monte dagli “gneiss minuti”.

I micascisti eclogitici (figura 2.9) sono caratterizzati, anche a distanza, da aspetto massivo, morfologia irregolare e tinta di alterazione bruno-ruggine. Costano in particolare di micascisti a granato e giadeite (eventualmente glaucofane e Mg-cloritoide), all'interno dei quali le eclogiti formano dei corpi lenticolari di varie dimensioni (da qualche metro di spessore sino a *boudins* centimetrici). (PRINETTI, 2010)



**Figura 2.9** – Micascisti eclogitici associati a svariati prodotti di retrocessione in *facies* in scisti verdi diffusi nella zona di passaggio al complesso degli Gneiss minuti affioranti nei pressi della stretta di Hône-Bard (foto Borinatto).

Gli gneiss minuti, derivanti dalla trasformazione in *facies* scisti verdi dei suddetti micascisti eclogitici, sono rocce tabulari grigio-verdoline, fittamente ripiegate e spesso a bande, ricche in albite porfiroblastica, con mica bianca, epidoto, biotite e talora anfiboli; anche in questo caso possono essere presenti relitti eclogitici, oltre che a filoni di gneiss aplitici (Fig. 2.10).





**Figura 2.10** – Gneiss minuti albitico-fengitico a epidoto con diffusa sovraimpronta metamorfica in *facies* scisti verdi. Affioramento nei pressi della frazione Prouve del comune di Arnad (foto Borinatto).

Il passaggio dai micascisti eclogitici agli gneiss minuti è reso evidente dalla mutata morfologia dei versanti, in quanto a monte della stretta di Bard (impostata su micascisti eclogitici) i versanti sono caratterizzati da una scistosità planare molto inclinata.

La zona Piemontese, che da Verrès si estende nel fondovalle sino a monte di Aosta (Villeneuve), è rappresentata principalmente da calcescisti (Fig. 2.11), serpentiniti e da oficalci, oltre che da metabasalti in *facies* prasinitica, anfiboliti e minori eclogiti (Fig. 2.12).



**Figura 2.11** – Calcescisti affioranti sul versante orografico sinistro tra il comune di Arnad e quello di Verrès (foto Borinatto).



**Figura 2.12** – Metabasalti in *facies* prasinitica, affioranti lungo il taglio stradale Verrès-Ayas (secondo tornante sopra l’abitato di Verrès) (foto Borinato).

I calcescisti, sono rocce metamorfiche che corrispondono agli antichi sedimenti depositi sul fondo dell’oceano Ligure-Piemontese. Essi variano molto da zona a zona a seconda del materiale sedimentato, dai luoghi di deposizione, dalla profondità del fondale oceanico e dalle variazioni di pressione e temperatura del metamorfismo, ma sono inconfondibili nel loro contesto: un mix di calcare e mica in masse associate a metabasalti. Hanno struttura scistosa indotta dalle miche, sovente pieghettata, con alternanze di lenti lamellari e granulari. Il colore varia da grigio argenteo, beige, marroncino e bruno, infine sono friabili e facilmente alterabili (dissoluzione dei carbonati).

Le serpentiniti, composte essenzialmente da serpentino (antigorite) e magnetite (ossido di ferro), sono il prodotto dell’idratazione in ambiente oceanico di originarie peridotiti di mantello e inseguito dalla rielaborazione tettono-metamorfica alpina. Si presentano con strutture massicce, tessitura lamellare, facilmente riconoscibili in quanto sono untuose al tatto e hanno una colorazione che varia da verde a bluastro a nero. Talora possono assumere tonalità chiare, come gli originari componenti della peridotite (olivina e clinopirosseno) da cui derivano, come nel caso delle serpentiniti presenti nei monti Barbeston a Champdepraz.

Le oficalci sono breccie a frammenti angolosi o subrotondeggianti di serpentinite in matrice carbonatica. I frammenti hanno dimensioni molto variabili, da centimetriche a plurimetriche, e sono solcati da vari sistemi di vene carbonatiche. Rappresentano rinomate pietre ornamentali ampiamente cavate ad esempio nella zona di Champdepraz. (PRINETTI, 2010)

### 2.2.3 – Copertura quaternaria

Lungo i settori pianeggianti più prossimi alla Dora Baltea e lungo i tratti terminali degli alvei dei torrenti laterali, sono presenti dei depositi alluvionali recenti (Fig. 2.13), costituiti da orizzonti sabbiosi-ghiaiosi e ciottolosi allungati nel senso della corrente ed intercalati a sedimenti sabbioso-limosi, originati dalle esondazioni della Dora Baltea.

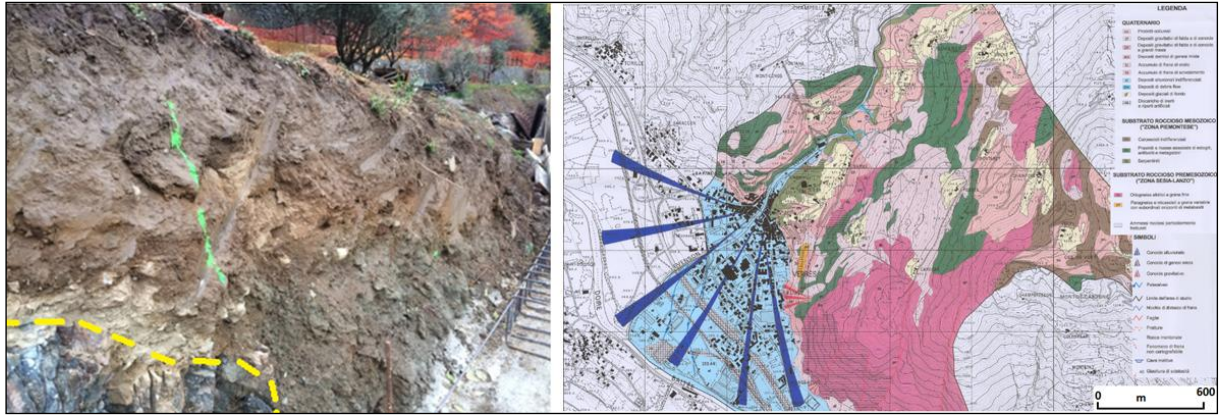


**Figura 2.13** – Depositi alluvionali recenti nei pressi del comune di Champdepraz allo sbocco del T. Chalamy nella Dora Baltea (foto Borinatto).

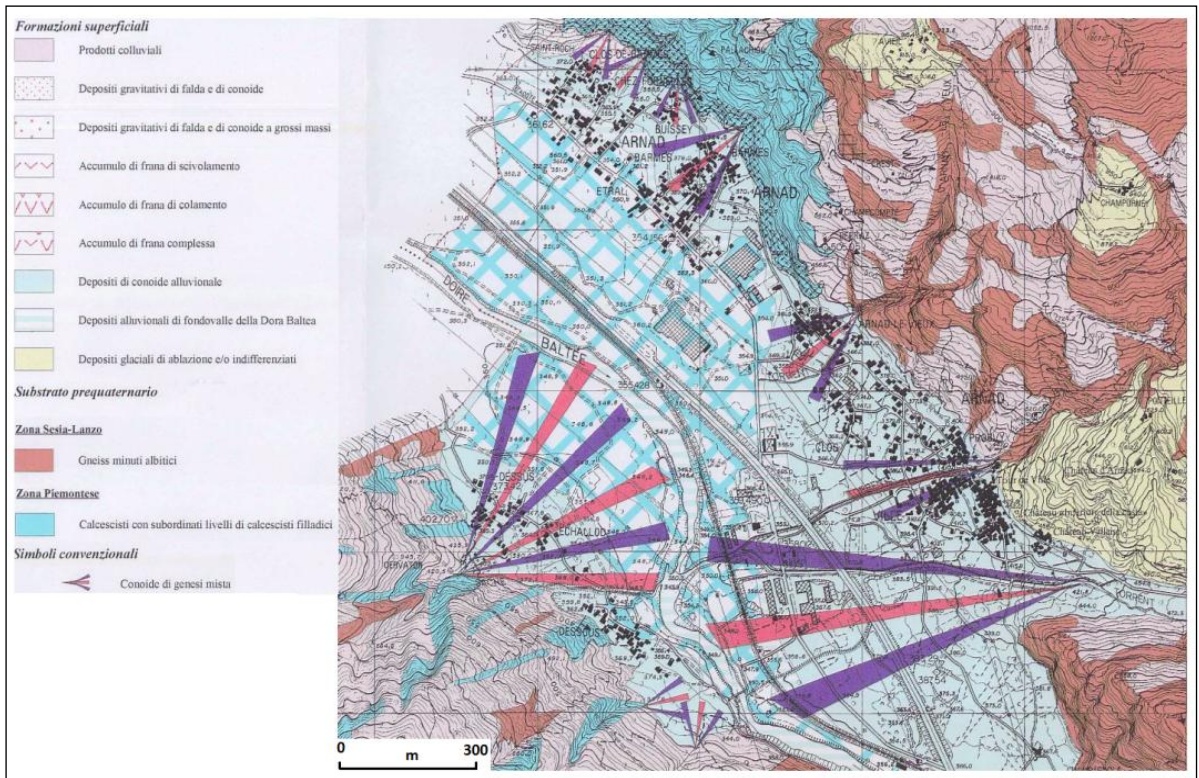
I depositi alluvionali di conoide, legati al reticolo affluente, sono costituiti da ghiaie sabbiose e ciottolose immerse in una abbondante matrice sabbiosa; un esempio di dimensioni significative, come si può vedere nella carta in figura, è quello su cui sorge il centro abitato di Verrès generato dal T. Evançon (Fig. 2.14).

Sono inoltre presenti numerosi conoidi di genesi mista, a differenza dei precedenti, essi risultano costituiti – oltre che da depositi alluvionali – anche da accumuli gravitativi di maggiori dimensioni; di fatto la distinzione in campo tra queste due tipologie non è sempre agevole. Essi sono localizzati principalmente nel comune di Arnad (Fig. 2.15) ma presenti anche a Montjovet, Verrès e Issogne.

Localmente si osservano accumuli di blocchi spigolosi di dimensioni da decimetriche a metriche, ubicati alla base di pareti rocciose, che rappresentano dei depositi gravitativi di crollo (Fig. 2.16-2.17).



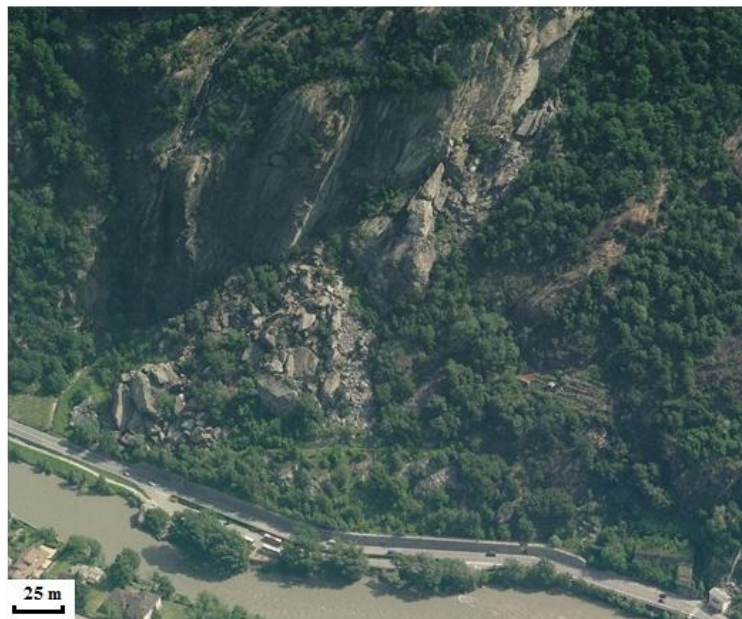
**Figura 2.14** – A sinistra depositi di conoide alluvionale costituiti da ghiaie sabbiose e ciottolose immerse in una abbondante matrice sabbiosa, affiorante lungo il ciglio della strada Verrès-Ayas: in basso a sinistra si osserva il contatto con il substrato (Zona Piemontese) (foto Borinatto); a destra, stralcio della carta geologica del comune di Verrès (GREGORI, 2004).



**Figura 2.15** – Stralcio della carta della classificazione dei terreni sedi di frana del comune di Arnad (GAUDIO & VUILLERMOZ, 2004).



**Figura 2.16** – Deposito gravitativo costituito da accumuli di blocchi spigolosi di dimensioni da decimetriche a metriche, ubicati sulla sinistra orografica alla base della parete rocciosa in fraz. Torille nel comune di Verrès (rif. Web n.2).



**Figura 2.17** – Deposito gravitativo costituito da accumuli di blocchi spigolosi di dimensioni da decimetriche a metriche, ubicati sulla sinistra orografica al ciglio della SS26 nel tratto che collega il comune di Arnad e Bard (rif. Web n.2).

In particolare sul versante destro si osserva una fascia continua di depositi gravitativi rivegetati che raccorda il versante con la zona pianeggiante; sulla strada statale 26, più precisamente al confine tra il comune di Arnad e quello di Bard, si può osservare la presenza di massi ciclopici come quello riportato in figura 2.18.



**Figura 2.18** – Masso ciclopico sulla strada statale 26 al confine tra Arnad e Bard (foto Borinatto).

Infine, non presenti nell'area di studio in quanto affioranti a quote superiori rispetto alla piana, su ambedue i versanti sono presenti depositi morenici indifferenziati (giallo chiaro senza numerazione in Figura 2.8) caratterizzati da clasti eterogenei a molto eterogenei, spesso con strie glaciali, immersi in abbondante matrice limoso-sabbiosa.

### **2.3 – Inquadramento climatico**

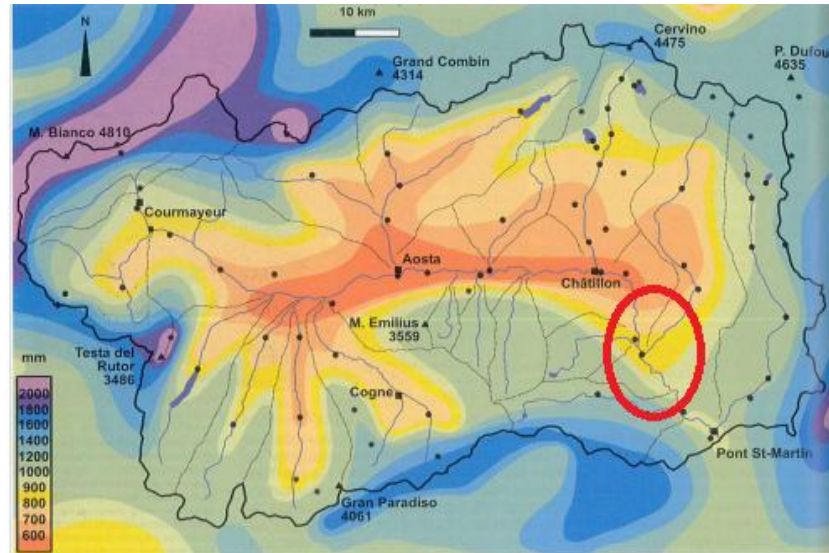
La possente orografia (l'altitudine media del territorio è di 2106 m s.l.m.) influenza profondamente il clima del territorio valdostano riducendone l'insolazione, esaltando il potere della radiazione solare nei pendii esposti a sud (*adret*) rispetto a quelli esposti a settentrione (*envers*), producendo un'isola di scarsa piovosità (xericità intralpina) che culmina nel settore centrale del fondo valle. In sostanza, il clima valdostano, nel suo insieme, può essere considerato semi-continentale di montagna di tipo temperato freddo, con precipitazioni scarse, specialmente in autunno e in inverno. (MERCALLI *et al.*, 2003)

Basandosi sulle medie mensili delle precipitazioni, delle temperature e sul regime anemologico è possibile avere un inquadramento delle caratteristiche climatiche del comprensorio.

#### **2.3.1 Precipitazioni**

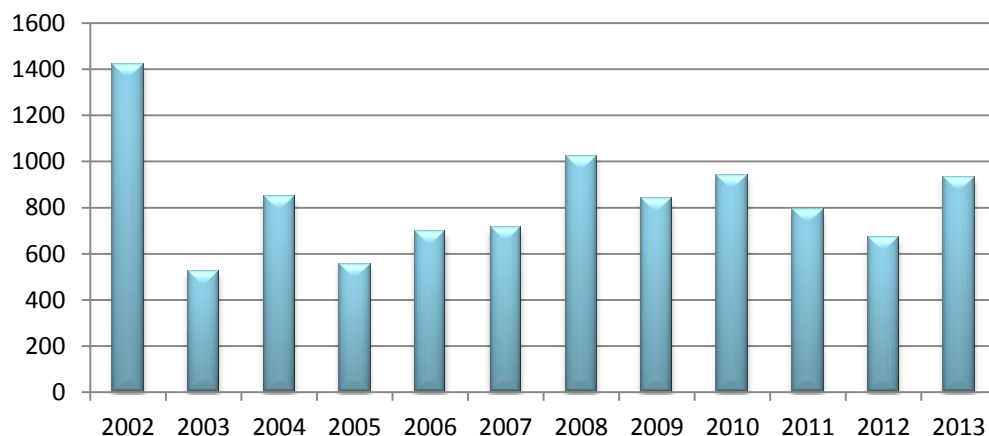
Come si osserva in Figura 2.19, i valori più bassi di precipitazione vengono raggiunti nel tratto della valle centrale compreso tra Villeneuve, Aosta e Châtillon (isola di xericità intralpina). Da questa zona di minimo, le precipitazioni aumentano a mano a mano che dal centro ci si sposta verso i confini regionali.

La piana di Verrès-Issogne-Arnad è caratterizzata da precipitazioni scarse concentrate in circa 70-80 giorni di pioggia all'anno e il territorio riceve, mediamente, meno di 1000 mm all'anno d'acqua.

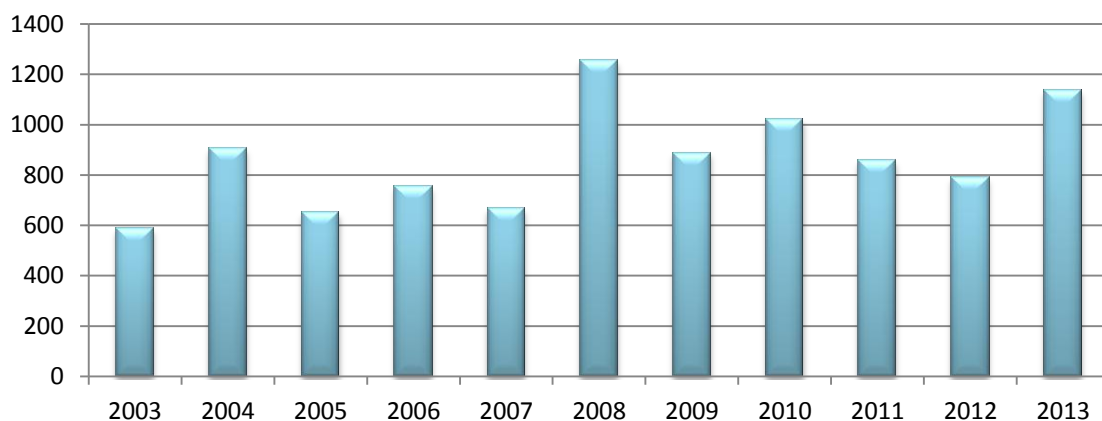


**Figura 2.19** – Carta delle isoiete in mm di pioggia e neve fusa (MERCALLI *et al.*, 2003). Si nota come l'area di studio (cerchiata in rosso) sia compresa in parte nella fascia meno piovosa che caratterizza buona parte della valle centrale.

A testimonianza di quanto detto precedentemente, vengono di seguito riportati i dati delle precipitazioni annue in mm registrate dalla stazione di Verrès capoluogo (Fig. 2.20) ubicata nella piana e dalla stazione di Chevrère nel comune di Champdepraz, situata a 1200 m s.l.m. (Fig. 2.21).

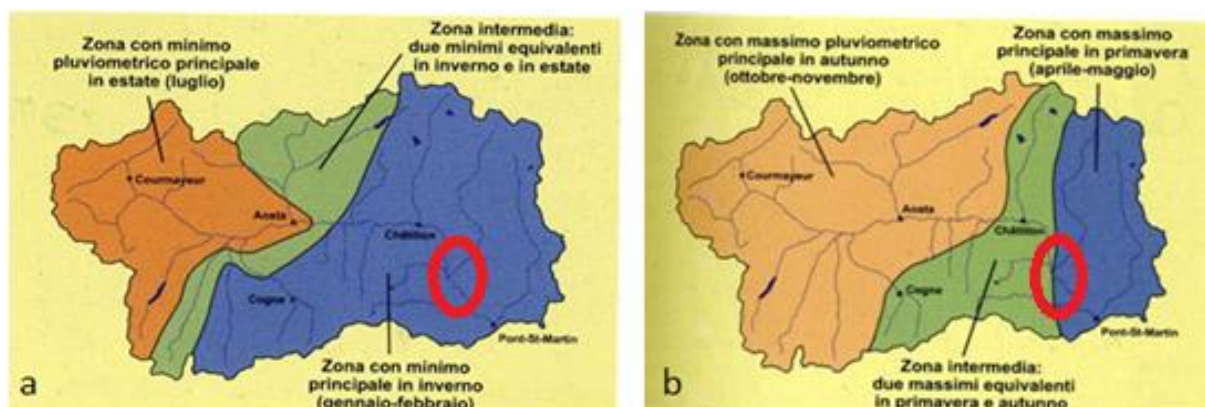


**Figura 2.20** – Precipitazioni annue in mm del periodo 2002-2013 (stazione di Verrès capoluogo - dati Centro Funzionale Regionale).



**Figura 2.21** – Precipitazioni annue in mm del periodo 2003-2013 (stazione di Chevrère, comune di Champdepraz - dati Centro Funzionale Regionale).

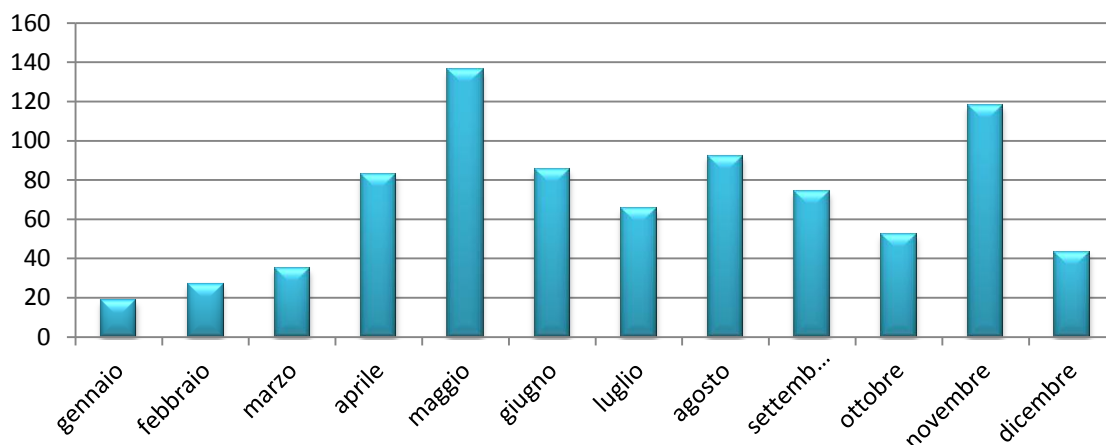
Il regime pluviometrico è di tipo sub-litoraneo alpino (Fig. 2.22), caratterizzato da due massimi nelle stagioni intermedie (autunno e primavera) per lo più sotto forma di pioggia e da due minimi nella stagione invernale (gennaio e febbraio).



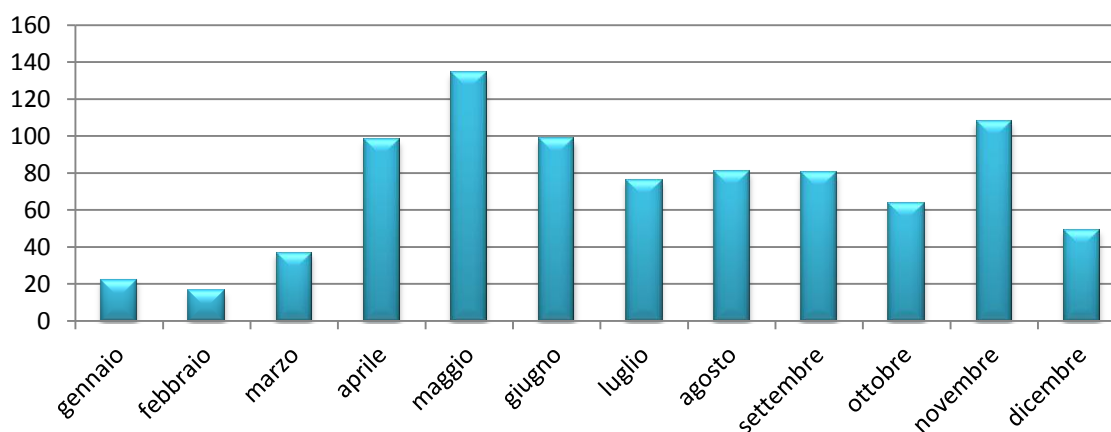
**Figura 2.22** – Rappresentazione schematica dei regimi pluviometrici in Valle d’Aosta; a) zone con minimi pluviometrici, l’area di studio, cerchiata in rosso, ricade nell’area blu, b) zone con massimi pluviometrici, l’aria di studio, cerchiata in rosso, ricade sia nell’area verde che in quella blu.

Le precipitazioni medie mensili, relative al periodo 2002-2013 raccolte dalla stazione di Verrès capoluogo (Fig. 2.23) e quelle del periodo 2003-2013 relative alla stazione di Chevrère nel comune di Champdepraz a 1200 m s.l.m. (Fig. 2.24), evidenziano che i mesi più piovosi risultano essere maggio (136,1 mm Verrès; 134,1 mm Chevrère) e novembre (118,0 mm Verrès; 108,0 mm Chevrère), mentre il periodo più secco è rappresentato dai primi mesi dell’anno.





**Figura 2.23** – Precipitazioni medie mensili relative al periodo 2002-2013 (Verrès capoluogo), dati Centro Funzionale Regionale.



**Figura 2.24** – Precipitazioni medie mensili relative al periodo 2003-2013 (Chevrère, frazione del comune di Champdepraz 1200 m s.l.m.), dati Centro Funzionale Regionale.

Eventi meteorologici eccezionali possono far registrare valori di piovosità anomali come quelli misurati tra il 14 e il 16 ottobre del 2000 dove si sono registrati 300,8 mm di pioggia alla centrale idroelettrica di Verrès (dati forniti dal Centro Funzionale regionale) con conseguente fenomeno alluvionale del medesimo anno.

Nella zona d'indagine la frequenza delle nevicate è relativamente bassa, in media da 5 a 10 giorni all'anno, con una quantità media annua di neve fresca prossima o inferiore ai 50 cm (misurazioni effettuate nel periodo 1920-2000).

### **2.3.2 Temperature e ventosità**

Per quanto riguarda la temperatura, il comprensorio ha un regime termico di tipo continentale con una notevole escursione termica tra estate e inverno. Le temperature minime tra novembre e marzo sono sotto lo 0°C mentre tra dicembre e febbraio si registrano le temperature minime estreme inferiori a 10°C (rilevate nel trentennio). Le temperature massime raramente raggiungono i 5°C da metà dicembre a metà gennaio, mentre a fine luglio non arrivano a sfiorare i 30°C. In sostanza, la temperatura media annua è prossima o superiore ai 10° C (MERCALLI *et al.*, 2003).

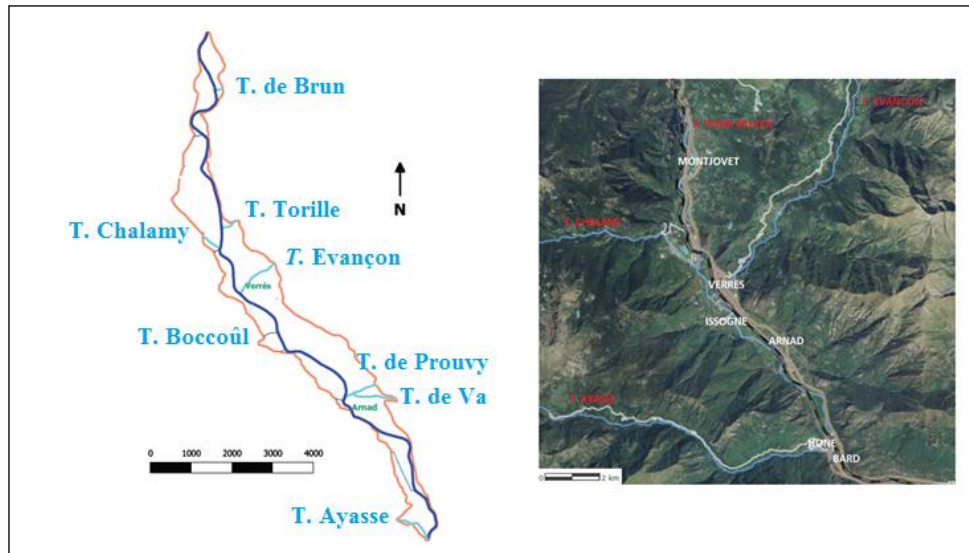
Il comportamento termico associato alla scarsità di precipitazioni producono una notevole siccità accentuata dalla frequente presenza del vento. Nel tratto di valle centrale di interesse prevalgono venti a periodicità diurna: brezze di valle e di monte. Il regime giornaliero della brezza di Verrès è caratterizzato da un'intensità della brezza diurna (fino a 10 m/s) maggiore rispetto a quella notturna (non va oltre i 2-3 m/s). Le direzioni prevalenti sono est e ovest: il vento da est prevale nelle ore diurne (h.9-17) e quello da ovest nelle ore notturne (h.18-08). La denominazione di brezza non deve trarre in inganno in quanto si tratta di un vero e proprio vento che nei pomeriggi tardo-primaverili ed estivi può soffiare fino a 40 km/h con punte di 60-70 km/h.

Durante il periodo invernale, quando le brezze sono pressoché assenti a causa del ritardo del riscaldamento diurno, compare il *föhn* (vento di gradiente dovuto alla netta differenza di pressione tra i due versanti alpini). Il suo effetto genera nel fondovalle un rialzo termico capace di elevare la temperatura di 10-15 °C in poche ore e una drastica diminuzione dell'umidità relativa dell'aria. Rispetto alle brezze è più turbolento con raffiche violente (MERCALLI *et al.*, 2003).

## **2.4 – Inquadramento idrografico**

La piana di Verrès-Issogne-Arnad è attraversata dal fiume Dora Baltea, la quale dapprima raccoglie le acque dal T. de Brun e dal T. Torille in sinistra orografica e successivamente dal T. Chalamy in destra orografica per poi raggiungere Verrès ricevendo da sinistra il T. Evançon. Quest'ultimo è il principale affluente: lungo 31 km, esso ha origine dal Grande Ghiacciaio di Verraz nell'alta val d'Ayas; dopo aver percorso tutta la valle confluisce nella Dora Baltea nel comune di Verrès, in prossimità del ponte di Fleuran, formando un possente conoide alluvionale. Successivamente la Dora Baltea raccoglie le acque del T. Boccoûl ad Issogne in destra orografica mentre in sinistra, prima di giungere all'abitato di Arnad, accoglie il T. de Prouvy e il T. de Va. All'altezza di Hône riceve il T. Ayasse sulla

destra orografica, per poi raggiungere Pont-Saint-Martin (ultimo comune valdostano bagnato dal fiume) e unirsi con l'ultimo affluente sulla sinistra orografica ed infine entrare nella regione Piemonte (Fig. 2.25).



**Figura 2.25** – Idrografia della piana di Verrès-Issogne-Arnad.

La Dora Baltea attraversa longitudinalmente tutta la piana con larghezza media di circa 60 m e con un massimo ad Issogne di circa 120 m. Essa risulta arginata in corrispondenza di centri abitati ed insediamenti industriali e lungo i tratti che costeggiano la SS 26, mentre nei restanti settori scorre in sponde naturali di modesta altezza (Fig. 2.26); di conseguenza la piana è inondabile in occasione di eventi meteorici importanti (cfr par. 3.5).

I corsi d'acqua che interessano la piana Verrès-Issogne-Arnad, come tutti quelli valdostani, sono alimentati principalmente dall'acqua di fusione delle nevi e dai ghiacciai, quindi si possono distinguere principalmente due tipi di regime:

1. glaciale, nelle porzioni a quote più elevate, caratterizzato da corsi d'acqua che hanno portate praticamente nulle o quasi nella stagione invernale, e massime durante quella estiva, in concomitanza con lo scioglimento dei ghiacciai;
2. nivo-glaciale nelle regioni più a valle quali l'area di studio. In inverno le precipitazioni sono principalmente sotto forma nevosa e i torrenti valdostani sono poco alimentati. Con la fusione delle nevi, nel mese di marzo, si gonfiano a vista d'occhio e diventano sempre più rapidi e tumultuosi. Successivamente, quando le nevi delle alte latitudini fondono (maggio e giugno) questi torrenti hanno portata massima che può essere dieci volte superiore a quella dei mesi invernali. La quantità d'acqua trasportata è notevole in giugno e agosto quando essi sono

alimentati dall'acqua di fusione dei ghiacciai. In autunno la portata dei corsi d'acqua diminuisce con il ritorno del freddo considerando che il ghiaccio fonde solo per poche ore al giorno quando le temperature sono più clementi.



**Figura 2.26** – A sinistra tratto arginato in corrispondenza del polo industriale e del centro abitato di Verrès (foto Borinatto, scattata dal ponte sulla strada regionale n°4 nei pressi della Fraz. Les Garines, vista verso monte); a destra sponde naturali (foto Borinatto, scattata dal ponte sulla strada regionale n°4 nei pressi della Fraz. Les Garines di Verrès, vista verso valle).

Il fondo è prevalentemente non plateato ad accezione dei tratti al di sotto dei ponti, cementati per la stabilità e la sicurezza delle opere (Fig. 2.27).



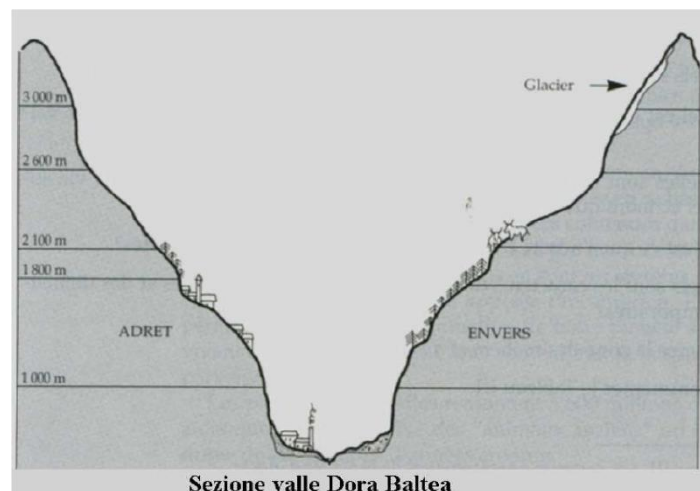
**Figura 2.27** – Tratti di fondo non plateato e plateato al ponte sulla strada regionale n°4 nei pressi della Fraz. Les Garines di Verrès (foto Borinatto).

## 2.5 – Inquadramento geomorfologico

La morfologia è conseguente innanzitutto al modellamento glaciale, soprattutto in relazione alle fasi glaciali pleistoceniche, secondariamente all'azione fluviale (Dora Baltea e tributari) ed ai processi gravitativi lungo i versanti.

La valle principale della Dora, dove è situata la piana di Verrès-Issogne-Arnad, è caratterizzata dal tipico profilo ad U (Fig. 2.28) conseguente allo stazionamento per lungo tempo del ghiacciaio balteo.

I due versanti - localmente indicati con il termine *adret* (esposto a sud) e *envers* (esposto a nord) - risultano spesso interessati da fenomeni gravitativi (specie crolli in roccia) anche importanti, descritti al paragrafo 2.2.3.



**Figura 2.28** - Valle principale della Dora con tipico profilo ad U di origine glaciale (CERUTTI, 2006).

Come detto precedentemente, la piana di Verrès-Issogne-Arnad è delimitata da due caratteristici restringimenti della valle principale: a monte quella di Montjovet e a valle quella di Bard.

In corrispondenza della stretta di Bard (Fig. 2.29) i versanti opposti raggiungono una distanza minima di 150 m circa, costituendo una stretta forra di origine glaciale; sono ancora visibili sui due versanti le originarie forme di erosione glaciale e subglaciale (dossi montonati). Essa rappresenta una soglia impostata in rocce particolarmente resistenti, ove è stato riconosciuto un primo stadio di stazionamento del ghiacciaio balteo durante la sua ritirata, dopo aver raggiunto - in corrispondenza di Ivrea - la sua massima espansione.



**Figura 2.29** – La stretta di Bard (vista da monte, in basso, verso valle, in alto) rappresenta la chiusura dell'area di studio. Il fondovalle, molto stretto (circa 150 m) è delimitato da versanti in roccia con giacitura sub verticale. Sul versante orografico sinistro è presente il borgo di Bard dove è ben visibile il famoso Forte (rif. Web n.2).

Un successivo stadio di stazionamento del ghiacciaio balteo è stato riconosciuto molto più a monte (a Fénis, nella media valle d'Aosta).

In questo quadro, per la piana di Verrès-Issogne-Arnad può essere ipotizzata una genesi connessa al riempimento di un antico lago generato da uno sbarramento nei pressi di Bard - ovvero del tutto analoga a quella, ben documentata da diversi studi, della piana di Aosta - che si estendeva per tutta la piana, alimentato dalle acque di fusione del ghiacciaio; il lago è stato poi riempito da apporti sedimentari nel corso del periodo tardo glaciale e dell'Olocene. (AMELOT & BOLOGNINI, 2008)

Tale ipotesi è peraltro pienamente confermata dai risultati dell'indagine geofisica (cfr par. 4.1.2) che ha individuato, al di sotto dei depositi alluvionali di potenza compresa tra 40 e 50 m, depositi lacustri (sabbie fini e limi) e fluvio-glaciali e glaciali (ghiaie e sabbie con limo), al di sotto dei quali sono presenti depositi glaciali; il substrato lapideo è stato individuato ad una profondità stimata di circa 400÷450 m da piano campagna, ad indicare una notevole esarazione glaciale (si consideri che per la piana di Aosta tale valore è di circa la metà).

Gli apporti sedimentari che hanno progressivamente colmato la piana provenivano dunque principalmente dalla Dora Baltea e secondariamente dai torrenti laterali, i quali hanno edificato i coni di deiezione. Quest'ultimi pertanto possono rappresentare, nei casi maggiori (es. conoide di Verrès) la parte sommitale e subaerea di delta lacustri ben sviluppati in profondità, che raccordavano le vallate laterali sospese rispetto al fondovalle principale.

Inoltre il glacialismo influisce anche in modo indiretto sulla dinamica dei versanti attuali, per l'effetto dilazionato nel tempo del rilascio della pressione delle masse glaciali conseguente al loro ritiro. Ciò causa una serie di fratture di decompressione all'interno del massiccio roccioso che si possono tradurre, causa anche le pendenze considerevoli dei versanti, in frane di crollo con la formazione, nell'area di interesse, di coni di detrito quali quelli illustrati nelle Figure 2.16 e 2.17.

Successivamente l'opera dei corsi d'acqua ha modellato fortemente il territorio, soprattutto attraverso il progressivo approfondimento del fondovalle glaciale; le principali forme di deposito legate ai corsi d'acqua sono illustrate al precedente paragrafo 2.2.3 (conoidi alluvionali, conoidi ad alimentazione mista, depositi ghiaioso-sabbiosi).

Anche i fenomeni alluvionali causati da precipitazioni intense e persistenti - come quello avvenuto nell'ottobre 2000 che ha interessato, oltre l'area di studio, gran parte del territorio regionale - sono in grado di modificare il paesaggio, provocando fenomeni di *debris flow* e gravi danni alle infrastrutture, allagamenti e frane (cfr par. 3.5).

Infine importante è anche l'azione dell'uomo che ha contribuito a modificare il fondovalle e la parte inferiore del versante per uso agricolo (terrazzamenti e rete idrica), urbanistico (case, strade, industrie, discariche ecc...) e per l'estrazione di inerti o pietrame; sul versante particolarmente impattanti a livello visivo risultano essere le cave per pietre ornamentali (Fig. 2.30).



**Figura 2.30** – Cava per pietre ornamentali ben visibile dal fondovalle, sul versante esposto a sud nel comune di Issogne; in basso a destra il fondovalle principale (rif. Web n.2).

### **3 – STATO DELLE CONOSCENZE**

Nel presente capitolo si analizzerà l'evoluzione della normativa per la tutela delle risorse idriche a livello europeo, nazionale e regionale, per poi proseguire con un'esposizione dei lavori pregressi nell'area di studio. In seguito si esamineranno le captazioni idropotabili presenti nella piana di Verrès-Issogne-Arnad, si illustrerà la rete di monitoraggio utilizzata dall'ARPA Valle d'Aosta per il controllo delle acque sotterranee e, infine, si effettuerà un'analisi dell'alluvione dell'ottobre 2000 nel sito indagato.

#### **3.1 Analisi del quadro normativo**

Nel settore della tutela delle risorse idriche, soprattutto negli ultimi dieci anni, le disposizioni legislative sono state numerose, frammentarie e caratterizzate da successive sovrapposizioni e integrazioni che hanno reso notevolmente complessa la loro interpretazione e la loro applicazione a livello nazionale. Di seguito sono brevemente illustrate le principali normative comunitarie, nazionali e regionali sulle acque sotterranee e superficiali.

##### ***3.1.1 Normativa Europea***

**Direttiva 2000/60/CE** (COMUNITÀ EUROPEA, 2000), nota anche come Direttiva quadro sulle acque, si propone di istituire un quadro per la protezione delle acque superficiali, costiere e sotterranee che impedisca un ulteriore deterioramento, (proteggendo e migliorando lo stato degli ecosistemi acquatici, terrestri e delle zone umide che dipendono da quest'ultimi), agevoli un utilizzo idrico sostenibile (protezione a lungo termine delle risorse idriche disponibili), protegga e assicuri la graduale riduzione dell'inquinamento delle acque sotterranee e superficiali e ne impedisca l'aumento ed infine contribuisca a mitigare gli effetti delle inondazioni e della siccità. Il suo obiettivo è raggiungere un buono stato ecologico e chimico di tutte le acque comunitarie entro il 2015.

La Direttiva prevede che gli Stati membri individuino i singoli bacini idrografici (entro il 2003) presenti nel loro territorio e li assegnino a singoli distretti idrografici, (definiti come la principale unità per la gestione dei bacini idrografici) accorpando eventualmente i piccoli bacini idrografici in un unico distretto - inoltre gli Stati membri devono adottare disposizioni amministrative adeguate, compresa l'individuazione dell'autorità nazionale competente, per l'applicazione delle norme previste dalla direttiva in esame all'interno di ciascun distretto idrografico presente nel loro territorio (art.3).



La **Direttiva 2006/118/CE** (COMUNITÀ EUROPEA, 2006) è un'integrazione della Direttiva quadro che riguarda esclusivamente la protezione delle acque sotterranee dall'inquinamento. Essa definisce alcuni importanti concetti, ripresi in seguito dal D.Lgs. 30/09 (REPUBBLICA ITALIANA, 2009) di seguito elencati:

- norma di qualità delle acque sotterranee, rappresenta la concentrazione di un inquinante o gruppo di inquinanti presenti nelle acque sotterranee che non dovrebbe essere superato al fine di proteggere la salute umana e l'ambiente;
- valori soglia, sono le concentrazioni limite di quegli inquinanti che ogni stato membro identifica come caratterizzanti con il corpo idrico a rischio di non raggiungere gli obiettivi posti dalla Direttiva 2000/60/CE;
- tendenza significativa e durata dell'aumento degli inquinanti, rappresenta qualsiasi aumento significativo dal punto di vista ambientale e statistico della concentrazione di un inquinante o di un gruppo di inquinanti o di un indicatore di inquinamento delle acque sotterranee per il quale è individuata come necessaria l'inversione di tendenza;
- concentrazione di fondo, è la concentrazione di un inquinante o di un gruppo di inquinanti che corrispondono all'assenza o alla presenza di limitate alterazioni di origine antropica;
- livello di base, è la concentrazione media di un inquinante o di un gruppo di inquinanti (periodo di riferimento 2007/2008 con programma di monitoraggio previsto dall'Art. 8 della Direttiva 2000/60/CE).

Un corpo idrico sotterraneo è considerato in buono stato chimico nel momento in cui non sono presenti intrusioni saline o di altro tipo, non si superano gli standard di qualità applicabili, si rispettino le condizioni previste dalla Direttiva 2000/60/CE e nel momento in cui è assente, in ogni punto del monitoraggio, il superamento delle norme di qualità e dei valori soglia stabiliti per ciascun inquinante considerato.

### ***3.1.2 Normativa Nazionale***

A livello nazionale, come è tipico per tutta la normativa ambientale italiana, le disposizioni legislative per la tutela delle risorse idriche sono state numerose, spesso frammentarie e solo negli ultimi venti anni si è cominciato ad avere un particolare riguardo nei confronti delle acque.

La prima normativa in materia di qualità delle acque destinate a uso potabile è stato il **D.P.R. 236/88** (REPUBBLICA ITALIANA, 1988) che fissava i valori guida (VG) e la

concentrazione massima ammissibile (CMA) dei parametri chimico-fisici più importanti per definire la qualità delle acque sotterranee destinate al consumo umano. Molto significativo è il **D.Lgs. 152/99** (REPUBBLICA ITALIANA, 1999), che si basava su due obiettivi, uno a breve termine, che consisteva nella valutazione dello stato ambientale dei corpi idrici sotterranei e, uno a medio termine (o a regime), che si proponeva di tenere sotto controllo lo stato ambientale e di predisporre tutti gli strumenti necessari per la tutela e la salvaguardia delle risorse idriche.

Nonostante il D.Lgs. 152/99 sia stato abrogato dal Decreto Legislativo 3 aprile 2006, n. 152 (REPUBBLICA ITALIANA, 2006), le sue indicazioni tecniche e operative sono state tenute in considerazione fino all'emanazione del D.Lgs. 30/2009.

Il D.Lgs. 152/99 obbligava la pubblica amministrazione al monitoraggio delle acque sotterranee per valutare lo stato ambientale della falda a prescindere dalla destinazione d'uso (potabile, irrigua, industriale ecc...) e, a tal fine, prevedeva due monitoraggi uno qualitativo (stato chimico) e uno quantitativo. Il primo doveva accertare la qualità delle acque tramite prelievi annui a cadenza semestrale con la finalità di classificare l'acquifero in classi come si osserva nella Tabella 3.1.

**Tabella 3.1** – Caratteristiche delle classi che definiscono lo stato qualitativo dei corpi idrici sotterranei (D.Lgs. 152/99 – All. 1).

Classe 1	Impatto antropico nullo o trascurabile con pregiate caratteristiche idrochimiche.
Classe 2	Impatto antropico ridotto o sostenibile sul lungo periodo e con buone caratteristiche idrochimiche.
Classe 3	Impatto antropico significativo con caratteristiche idrochimiche generalmente buone ma con alcuni segnali di compromissione.
Classe 4	Impatto antropico rilevante con caratteristiche idrochimiche scadenti.
Classe 0	Impatto antropico nullo o trascurabile ma con particolari <i>facies</i> idrochimiche naturali in concentrazioni al di sopra della Classe 3 (per la valutazione dell'origine endogena delle specie idrochimiche presenti dovranno essere considerate anche le caratteristiche chimico-fisiche delle acque).

I criteri chimici su cui si basa questa classificazione tengono conto di sette parametri di base (conducibilità elettrica specifica a 20°C, cloruri, nitrati, solfati, ione ammonio, ferro e manganese) con i relativi valori limite per ogni classe e di una serie di parametri addizionali distinti in inquinanti inorganici (alluminio, antimonio, argento, arsenico, bario, berillio, boro, cadmio, cianuri, cromo tot, cromo VI, fluoruri, piombo, rame, selenio, zinco, mercurio, nichel, nitriti) e organici (solventi alifatici alogenati, solventi aromatici, pesticidi, IPA) con la relativa Concentrazione Massima Ammissibile (CMA). Quando uno o più di questi parametri addizionali ha una concentrazione superiore alla CMA, si rientra nella classe 4, se invece gli inquinanti inorganici sono di origine naturale verranno

attribuiti alla classe 0. Il secondo prevede misure di soggiacenza a cadenza mensile e tiene conto delle caratteristiche del corpo idrico sotterraneo (tipologia, permeabilità, coefficiente di immagazzinamento) e del regime di sfruttamento (tendenza piezometrica o delle portate, prelievi per vari usi). Per definire lo stato quantitativo si considera l'entità dell'impatto antropico sul corpo idrico in esame secondo lo schema riportato nella Tabella 3.2.

**Tabella 3.2** – Caratteristiche delle classi che definiscono lo stato quantitativo dei corpi idrici sotterranei (D.Lgs. 152/99 – All. 1).

Classe A	L'impatto antropico è nullo o trascurabile con condizioni di equilibrio idrogeologico. Le estrazioni di acqua o alterazioni della velocità naturale di ravvenamento sono sostenibili su lungo periodo.
Classe B	L'impatto antropico è ridotto, vi sono moderate condizioni di disequilibrio del bilancio idrico, senza che tuttavia ciò produca una condizione di sovrasfruttamento, consentendo un uso della risorsa sostenibile sul lungo periodo.
Classe C	Impatto antropico significativo con notevole incidenza dell'uso sulla disponibilità della risorsa evidenziata da rilevanti modificazioni agli indicatori generali sopraesposti (bisogna tener conto anche degli eventuali surplus incompatibili con la presenza di importanti strutture sotterranee preesistenti).
Classe D	Impatto antropico nullo o trascurabile, ma con presenza di complessi idrogeologici con intrinseche caratteristiche di scarsa potenzialità idrica.

Grazie allo stato qualitativo e quantitativo, per ogni corpo idrico, si può descrivere il suo stato ambientale sovrapponendo le classi chimiche (classe 1, 2, 3, 4, 0) con le quantitative (classe A, B, C, D). Si ottengono venti possibili combinazioni che a loro volta sono suddivise in cinque gruppi ai quali si assegna un giudizio quali-quantitativo dello stato ambientale (Tab. 3.3).

Nello stesso anno entra in vigore il **Decreto Ministeriale 471/99** (REPUBBLICA ITALIANA, 1999), ormai abrogato dal D.Lgs. 152/06, che contiene importanti indicazioni tecnico-normative necessarie per le indagini sulla risorsa idrica sotterranea. Esso stabilisce le modalità di collocazione e di realizzazione dei piezometri, i metodi di campionamento, l'analisi dei campioni (All. 2) e fornisce un elenco di limiti tabellari per le massime concentrazioni ammissibili nelle acque sotterranee, anche se non destinate ad uso potabile, per un vasto spettro di inquinanti e di elementi chimici. Per quanto riguarda la collocazione e la realizzazione dei piezometri stabilisce che i punti di prelievo si devono individuare in base alla caratterizzazione idrologica dell'area, del modello concettuale del sito e delle caratteristiche dell'acquifero che si deve indagare.

**Tabella 3.3** – Classificazione quali-quantitativa dello stato ambientale dei corpi idrici sotterranei (D.Lgs. 152/99 – All. 1).

STATO AMBIENTALE	CLASSI
STATO ELEVATO	1 – A
STATO BUONO	1 – B
	2 – A
	2 – B
STATO SUFFICIENTE	3 – A
	3 – B
STATO SCADENTE	1 – C
	2 – C
	3 – C
	4 – C
	4 – A
	4 – B
STATO PARTICOLARE	0 – A
	0 – B
	0 – C
	0 – D
	1 – D
	2 – D
	3 – D
	4 – D

Almeno un piezometro deve essere posto immediatamente a monte del sito per avere un valore di riferimento delle acque sotterranee in ingresso nell'area oggetto di studio ed uno a valle in modo da verificare le caratteristiche delle acque di falda in uscita. I piezometri devono essere realizzati a carotaggio continuo, costituiti da materiali compatibili con gli inquinanti presenti nel sito e avere filtri con apertura adeguata alla granulometria degli acquiferi da campionare. Il piezometro dovrà raggiungere almeno la base del primo acquifero individuato e comunque una profondità non inferiore ai due terzi dello spessore dell'acquifero stesso. Le falde sospese dovranno essere considerate individualmente, al fine di una completa ricostruzione idrogeologica dell'area. Infine, il numero e l'ubicazione dei piezometri dipenderà dalle analisi chimico-fisiche e dalla definizione dei focolai di contaminazione, ciò permetterà di controllare nel tempo l'effetto dei singoli focolai su tutti gli acquiferi potenzialmente interessati dai fenomeni di contaminazione.

Il **D.Lgs. 31/01** (REPUBBLICA ITALIANA, 2001) nasce con l'intento di disciplinare la qualità delle acque destinate al consumo umano (non si applica alle acque minerali naturali, art. 3) al fine di proteggere la salute umana dagli effetti negativi derivanti dalla contaminazione delle acque e garantendo i requisiti di salubrità e di pulizia delle acque potabili. Nell'art. 2 il decreto definisce le acque destinate a consumo umano:

1. *“le acque trattate o non trattate, destinate ad uso potabile, per la preparazione di cibi e bevande, o per altri usi domestici, a prescindere dalla loro origine, siano esse fornite tramite una rete di distribuzione, mediante cisterne, in bottiglie o in contenitori”;*

2. *“le acque utilizzate in un’impresa alimentare per la fabbricazione, il trattamento, la conservazione, o l’immissione sul mercato di prodotti o di sostanze destinate al consumo umano, (escluse alcune, individuate dallo stato, la cui qualità non può avere conseguenze sulla salute del prodotto alimentare finale)”*.

La normativa prevede una serie di controlli (art. 6 – 8) su dei punti particolari (art. 5) per verificare la salubrità e la pulizia della acque destinate al consumo umano.

In Italia la Direttiva 2000/60/CE è stata recepita tramite il **D.Lgs. 152/06** (REPUBBLICA ITALIANA, 2006), conosciuto come “Testo Unico Ambientale” o “Codice dell’Ambiente”. La normativa, all’articolo 64, ha ripartito il territorio nazionale in otto distretti idrografici, prevedendo per ogni distretto la stesura di un piano di gestione ed attribuendone la competenza alle autorità di distretto idrografico. Entro il 2015 si devono attuare le misure necessarie ad impedire il deterioramento di tutti i corpi idrici superficiali e sotterranei, proteggendo e migliorando tutti i corpi idrici artificiali, sotterranei e quelli fortemente modificati, al fine di raggiungere un buono stato delle acque.

Per quanto riguarda le acque sotterranee e superficiali si fa riferimento alla Parte terza – *“Norme in materia di difesa del suolo e lotta alla desertificazione, di tutela delle acque dall’inquinamento e di gestione della risorse idriche”*, Sezione II – *“Tutela delle acque dall’inquinamento”* che prefigge di:

1. *prevenire e ridurre l’inquinamento e attuare il risanamento dei corpi idrici inquinati;*
2. *conseguire il miglioramento dello stato delle acque ed adeguate protezioni di quelle destinate a particolari usi;*
3. *perseguire usi sostenibili e durevoli delle risorse idriche, con priorità per quelle potabili;*
4. *mantenere la capacità naturale di autodepurazione dei corpi idrici, nonché la capacità di sostenere comunità animali e vegetali ampie e ben diversificate;*
5. *mitigare gli effetti delle inondazioni e della siccità;*
6. *impedire un ulteriore deterioramento, proteggere e migliorare lo stato degli ecosistemi acquatici, degli ecosistemi terrestri e delle zone umide direttamente dipendenti dagli ecosistemi acquatici sotto il profilo del fabbisogno idrico.*

Le regioni devono redigere un apposito programma di monitoraggio dello stato quantitativo e qualitativo e, ai fini della classificazione qualitativa, sono tenute a calcolare la media dei risultati del monitoraggio ottenuti in ciascun punto del corpo idrico. La conformità al buono stato chimico è raggiunta quando il corpo idrico non presenta effetti di intrusioni saline o di altro tipo e, non superino gli standard di qualità applicabili ai sensi delle disposizioni nazionali o comunitarie vigenti. La classificazione dei corpi idrici secondo il loro stato chimico risulta semplificata in quanto contempla solo due classi (buona o scarsa), come previsto dalla Direttiva 2000/60/CE.

Il **D.Lgs. 30/09** (REPUBBLICA ITALIANA, 2009), recepimento della Direttiva 2006/118/CE, rappresenta la normativa nazionale di riferimento per il monitoraggio delle acque sotterranee che deve essere condotto dalla pubblica amministrazione. Essa stabilisce:

1. *criteri per l'identificazione e la caratterizzazione dei corpi idrici sotterranei;*
2. *standard di qualità e valori soglia per quei parametri chimici necessari alla valutazione del buono stato chimico delle acque sotterranee;*
3. *criteri per individuare e per invertire le tendenze all'aumento dell'inquinamento;*
4. *criteri per la classificazione dello stato quantitativo;*
5. *modalità per la definizione dei programmi di monitoraggio quali-quantitativo.*

Rispetto al D.Lgs. 152/99 non variano i criteri di classificazione del monitoraggio qualitativo (stato chimico) e quantitativo mentre cambiano i criteri di classificazione dello stato delle acque sotterranee che si riducono a “buono” e “scarso” (Tab. 3.4). Lo stato complessivo è “buono” quando lo stato chimico e quello quantitativo sono “buoni”; diversamente è “scarso”.

**Tabella 3.4** – Corrispondenza tra la classificazione dello stato delle acque sotterranee tra il D.Lgs. 152/99 e il D.Lgs. 30/09.

STATO CHIMICO		STATO QUANTITATIVO	
D.Lgs. 152/99	D.Lgs. 30/09	D.Lgs. 152/99	D.Lgs. 30/09
Classe 0, 1, 2 o 3	“buono”	Classe A, B e D	“buono”
Classe 4 (peggiore)	La valutazione globale dello stato chimico globale del corpo idrico viene fatta considerando la percentuale dei punti di monitoraggio in classe 4 (ovvero quelli in cui si verificano superamenti dei limiti normativi) rispetto al totale: - se < del 20%, ed influenza solo puntualmente lo stato del corpo idrico, senza rappresentare un rischio di non raggiungimento dell'obiettivo di “buono” al 2015, lo stato chimico è “buono”; - se > del 20% il corpo idrico è in stato “scarso”.	Classe C	“scarso”

### 3.1.3 Normativa Regionale

In Valle d'Aosta non esiste una vera e propria normativa specifica per le acque sotterranee, ma con la **deliberazione del Consiglio regionale n. 1788/XII dell'8 febbraio 2006** (REGIONE VALLE D'AOSTA, 2006) è stato approvato il Piano di Tutela delle Acque (**PTA**) che rappresenta il recepimento del decreto D.Lgs. 152/1999 (Art.44). Il Piano rappresenta il primo passo verso una nuova concezione dell'uso delle acque, definisce, quindi, il quadro delle azioni, degli interventi, delle regole e dei comportamenti per la tutela della qualità ambientale in generale connessa con i corpi idrici. Disciplina, inoltre, l'uso delle risorse

idriche in un'ottica di sostenibilità ambientale, cioè qualsiasi uso delle acque deve salvaguardare il diritto delle generazioni future a fruire di un integro patrimonio ambientale. Gli usi delle acque devono quindi essere indirizzati al risparmio e al rinnovo delle risorse per non pregiudicare il patrimonio idrico, la vivibilità dell'ambiente, l'agricoltura, la fauna e la flora acquatiche, i processi geomorfologici e gli equilibri idrologici.

La valutazione dei corsi idrici e il loro monitoraggio, previsto dal PTA, sono stati estesi, dall'Amministrazione regionale, a tutti i corsi d'acqua principali della regione, non solo sotto l'aspetto qualitativo-quantitativo, ma anche di quello inerente al contesto ambientale e naturalistico in cui il corso d'acqua è inserito. A tal fine il Piano prevede una raccolta analitica di dati, che sono stati elaborati per fornire indicatori che caratterizzano da un lato gli aspetti quali-quantitativi della risorsa idrica e dall'altro siano rappresentativi del valore ecosistemico dei corpi idrici. Si è potuto in questo modo analizzare la situazione attuale dello stato delle acque superficiali e sotterranee regionali, definendo:

- *gli interventi di tutela e di risanamento dei corpi idrici regionali e l'uso sostenibile delle risorse idriche attraverso misure integrate di tutela qualitativa e quantitativa della risorsa stessa;*
- *che le misure di tutela qualitativa delle risorse idriche devono garantire la naturale autodepurazione dei corpi idrici e la loro capacità di sostenere comunità animali e vegetali ampie e diversificate;*
- *che le misure di tutela quantitativa devono garantire la conservazione, il risparmio e il riutilizzo delle risorse idriche per non compromettere il patrimonio idrico regionale e consentirne l'uso, con priorità per l'uso idropotabile prima e di quello agricolo poi, nel rispetto delle condizioni ambientali dei corpi idrici.*
- *una strategia di intervento che ha come obiettivi la qualità ambientale, la tutela e la riqualificazione dell'ecosistema fluviale e la tutela quantitativa.*

### 3.2 Lavori pregressi

Di seguito si sintetizzano i risultati delle indagini di maggior rilievo, intraprese da soggetti privati, che hanno permesso di ottenere nuove conoscenze sulle caratteristiche geologiche ed idrogeologiche nella piana di Verrès-Issogne-Arnad.

#### RIVOIRA (2007)

Nel febbraio del 2007 è stata commissionata una campagna di indagini geognostiche e geofisiche dalla Rivoira S.p.A. per la realizzazione di nuovi impianti tecnologici presso il proprio stabilimento produttivo sito nel comune di Verrès. L'indagine geognostica ha comportato la realizzazione di due sondaggi a carotaggio continuo, uno dei quali attrezzato a piezometro a tubo aperto. Sono state eseguite, inoltre, sedici prove SPT (*Standard Penetration Test*) in foro, con campionatore a punta chiusa a causa della granulometria grossolana dei terreni. Le indagini geofisiche si sono basate sulla propagazione di onde sismiche rifratte di compressione ( $V_p$ ) e di taglio ( $V_{sh}$ ) per individuare i litotipi presenti nell'area e definire la geometria di sviluppo nel sottosuolo. Tale studio ha portato alla definizione di tre unità geosismiche differenti, così definibili a partire dal piano di campagna:

1. materiali poco consolidati grossolani con prevalenza di matrice sabbiosa, caratterizzati da basse velocità sismiche (inferiori a 800 m/s) con andamento suborizzontale e una potenza di circa 20-25 m;
2. depositi grossolani in prevalente matrice sabbiosa con velocità sismica attorno ai 1800 m/s e potenza variabile tra i 3-6 m;
3. possibile cappellaccio alterato che probabilmente ricopre il substrato roccioso basale. In quest'unità la velocità sismica supera i 1800 m/s.

Pertanto tale studio individua, lungo l'asse del conoide alluvionale di Verrès (direzione NE-SW), il contatto tra l'unità 2 (depositi alluvionali e di conoide) e l'unità 3 (substrato roccioso) localizzato ad una profondità di circa 20-25 m in prossimità dello spigolo nord-est dello stabilimento. Il contatto immerge poi decisamente verso sud-ovest con un'inclinazione massima di 25°-30° e inclinazione media di circa 20°.

#### ITALFERR (2011)

Nel 2011 Italferr (Gruppo Ferrovie dello Stato) ha effettuato uno studio geognostico per la progettazione preliminare delle opere relative alla variante di tracciato della tratta Verrès-Châtillon, per l'ammodernamento della linea ferroviaria Chivasso-Aosta. A tal fine è stata eseguita una campagna di indagini geognostiche a carotaggio continuo, profonde sino a 30 m dal piano campagna, che hanno tra l'altro incluso – oltre all'effettuazione di diverse



\*prove (SPT, Lefranc e Lugeon) - la realizzazione di n. 5 piezometri a tubo aperto successivamente utilizzati da ARPA nell'ambito della propria rete di monitoraggio delle acque sotterranee; i dati derivanti da tale indagine (stratigrafie, misure freaticometriche, determinazioni della permeabilità con prove Lefranc) sono stati ampiamente utilizzati nel presente lavoro. In sintesi l'indagine Italferr ha evidenziato l'esistenza, sino alle profondità investigate, di un unico acquifero non confinato.

### **3.3 – Captazioni delle acque sotterranee**

Per quanto riguarda la captazione delle acque sotterranee nei comuni della piana, i maggiori consumi provengono per lo più da pozzi ad uso industriale. Sulla base dei dati disponibili, gentilmente forniti a ARPA Valle d'Aosta dalle principali industrie, è possibile effettuare una stima di massima (in difetto, dal momento che ARPA non dispone del catasto ufficiale dei pozzi) dei volumi di acqua sotterranea ad uso industriale captata nell'area in esame, che risulta pari a circa 7 milioni di metri cubi annui nel 2013; si tratta peraltro di un valore in progressivo calo negli ultimi anni a seguito della crisi economica.

I prelievi idropotabili in falda risultano di entità molto minore, dal momento che la maggior parte degli approvvigionamenti derivano da sorgenti. In pratica l'unico pozzo ad esclusivo uso potabile è quello della Società Acque Potabili nel comune di Verrès (codice ARPA Vè1), i cui emungimenti negli ultimi anni si attestano attorno ai 25÷50.000 m<sup>3</sup>/annui; i restanti quantitativi del consumo idropotabile (complessivamente attorno ai 400.000 m<sup>3</sup>/annui) sono garantiti da sorgenti situate nella bassa val d'Ayas (loc. Fobe, comune di Challant St.Victor) e in comune di Champdepraz.

Infine risultano non quantificabili e trascurabili – anche perché a carattere stagionale - i prelievi ad uso irriguo, dal momento che a tale scopo sono utilizzati soprattutto corsi d'acqua superficiali presenti sui versanti (localmente detti *rû*); gli emungimenti da falda possono riguardare in questo caso tutt'al più pozzi privati con consumi modesti.

### **3.4 – Monitoraggio ambientale a cura di ARPA Valle d’Aosta**

Nella piana di Verrès-Issogne-Arnad, come sui restanti acquiferi del territorio regionale, il controllo delle acque sotterranee viene effettuato da ARPA Valle d’Aosta in ottemperanza agli obblighi istituzionali previsti dalla vigente normativa D.Lgs. 30/09 (cfr par. 3.1.2).

Il monitoraggio della risorsa idrica sotterranea e la valutazione generale dello stato ambientale degli acquiferi constano di due aspetti: qualitativo, basato sulle caratteristiche idrochimiche delle acque sotterranee, e quantitativo, basato invece sulla misura dei livelli piezometrici. Pertanto in ogni punto di monitoraggio ci deve essere la possibilità di prelevare campioni di acqua rappresentativi delle condizioni della falda (rete qualitativa) e/o di misurare il livello statico della falda (rete quantitativa). Il numero e la densità dei punti delle reti di monitoraggio istituzionali non è stabilito a priori dalla normativa, in quanto dipende da molte variabili come caratteristiche geomorfologiche, logistiche, finanziarie, etc..

I punti di monitoraggio - dei quali devono essere note le caratteristiche tecniche (profondità, stratigrafia, lunghezza e posizione dei filtri) - sono rappresentati da piezometri - espressamente dedicati al monitoraggio, la cui costruzione è descritta al par. 4.1.1 - o da pozzi. Questi ultimi, destinati all’emungimento dell’acqua per diversi scopi (idropotabile, industriale, agricolo, irriguo o altro), si possono distinguere in attivi (con pompa sommergibile in funzione) e inattivi (con pompa spenta, o assente): in linea generale i primi possono essere idonei solo per l’aspetto qualitativo (prelievo), mentre i secondi possono viceversa essere idonei per le misure del livello statico della falda (rete quantitativa).

Il monitoraggio quantitativo (Fig. 3.1) si attua ricavando il livello statico della falda, a partire dalla misura della soggiacenza nei pozzi e nei piezometri tramite un’apposita sonda piezometrica; i dati così acquisiti permettono di:

- a. conoscere l’andamento nel tempo e l’escursione stagionale/pluriennale della falda, al fine di controllare che non vi sia un sovrasfruttamento della risorsa;
- b. ricostruire l’andamento e la morfologia della superficie piezometrica nonché (per differenza con la superficie topografica) lo spessore della zona insatura (carte delle isopieze e della soggiacenza relative alla data della campagna di misure).



**Figura 3.1** – Misura manuale della soggiacenza tramite sondino piezometrico: a sinistra, in un piezometro; a destra, in un pozzo.

Per determinare l'indicatore qualitativo si prelevano campioni d'acqua di falda rappresentativi delle condizioni dell'acquifero (Fig. 3.2) e successivamente si effettua la loro analisi chimica in laboratorio. I risultati ottenuti sono utilizzati per la classificazione di tutto il corpo idrico secondo i criteri della normativa vigente (D.Lgs. 30/09).



**Figura 3.2** – Prelievo di campioni di acqua di falda rappresentativi delle condizioni dell'acquifero per determinare l'indicatore qualitativo. A destra: misura in sito dei parametri di campo (pH, temperatura, conducibilità elettrica e ossigeno disciolto) (foto Borinatto).

Tale indicatore, a lungo termine, permette di ottenere informazioni sulla qualità delle acque sotterranee, effettuare un confronto con situazioni precedenti, controllare qualitativamente le risorse idriche disponibili ed infine prevedere o controllare gli episodi di contaminazione degli acquiferi.

### 3.4.1 Monitoraggio della piana di Verrès-Issogne-Arnad

La rete di monitoraggio della piana di Verrès-Issogne-Arnad è operativa dal 2005 ed ha subito un progressivo miglioramento nel tempo a seguito della realizzazione di nuovi piezometri; in particolare dall'autunno 2011 si dispone di cinque piezometri realizzati da Italferr (codice ARPA Ar6, Is7, Cp1, Vè11 e Vè12) nonché di tre piezometri realizzati per il monitoraggio della futura discarica di Champdepraz (codice ARPA Is3÷5). Nell'autunno 2013 ARPA Valle d'Aosta ha realizzato un nuovo piezometro nel comune di Verrès (codice ARPA Vè14) la cui realizzazione è stata descritta nel par. 4.1.1.

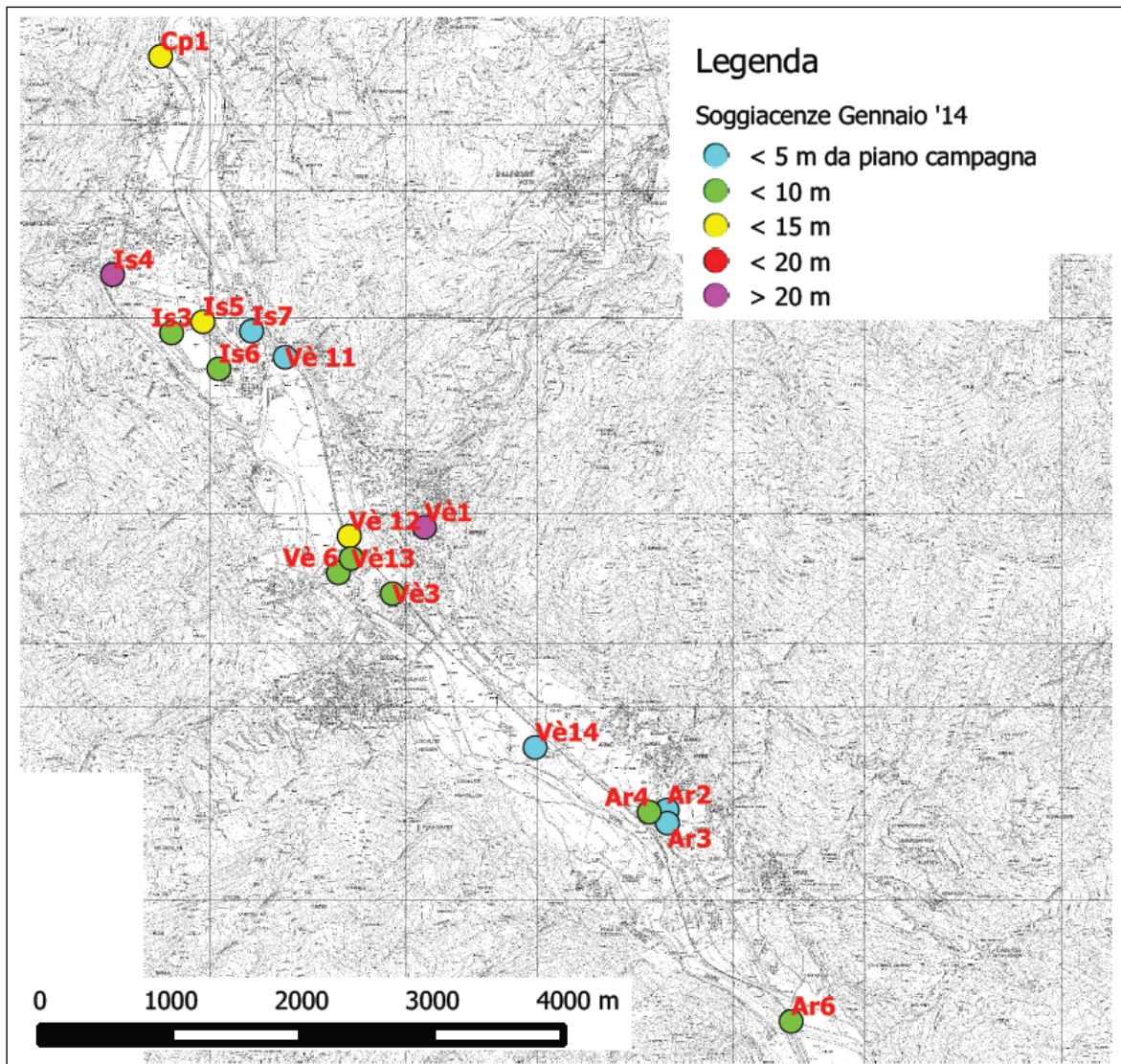
In Tabella 3.5 sono riportate le informazioni generali dei punti di monitoraggio quantitativo e qualitativo.

**Tabella 3.5** – Informazioni generali dei punti di monitoraggio.

UTM_X*	UTM_Y*	Cod. ARPA	Tipo	Comune	Quota (m s.l.m.)	Proprietario	Strat.	Prof. (m)
399989	5055697	Ar2	piez	Arnad	351,27	Olivetti	no	/
399992	5055595	Ar3	piez	Arnad	350,49	Olivetti	no	/
399853	5055680	Ar4	piez	Arnad	353,184	Olivetti	no	/
400937	5054060	Ar6	piez	Arnad	345,758	Italferr	sì	30
396121	5061533	Cp1	piez	Montjovet	380,921	Italferr	sì	25
397562	5057817	Vè12	piez	Verrès	368,762	Italferr	sì	30
396816	5059405	Is7	piez	Issogne	367,257	Italferr	sì	30
395755	5059842	Is4	piez	Issogne	434,656	CAPE	no	36
396445	5059477	Is5	piez	Issogne	375,941	CAPE	no	20
396205	5059391	Is3	piez	Issogne	369,407	CAPE	no	20
396566	5059113	Is6	pozzo	Issogne	368,097	CAPE	no	/
398141	5057885	Vè1	pozzo	Verrès	382,263	Acque Potabili Spa	no	41
397891	5057372	Vè3	piez	Verrès	364,395	Brabant Alucast	sì	13
397487	5057536	Vè6	pozzo	Verrès	365,11	IPZS	sì	39
398982	5056181	Vè14	piez	Verrès	352,38	ARPA	sì	30
397072	5059203	Vè11	piez	Verrès	365,92	Italferr	si	30
397545	5057645	Vè13	piez	Verrès	363,20	Rivoira	si	30

\* Coordinate espresse nel sistema UTM ED50

Le misure di soggiacenza vengono effettuate con cadenza mensile su 8 punti (Cp1, Is7, Vè11, Vè12, Vè6, Vè1, Vè14 e Ar6); i restanti punti visualizzati in Figura 3.3 sono stati misurati espressamente per l'elaborazione della presente tesi.

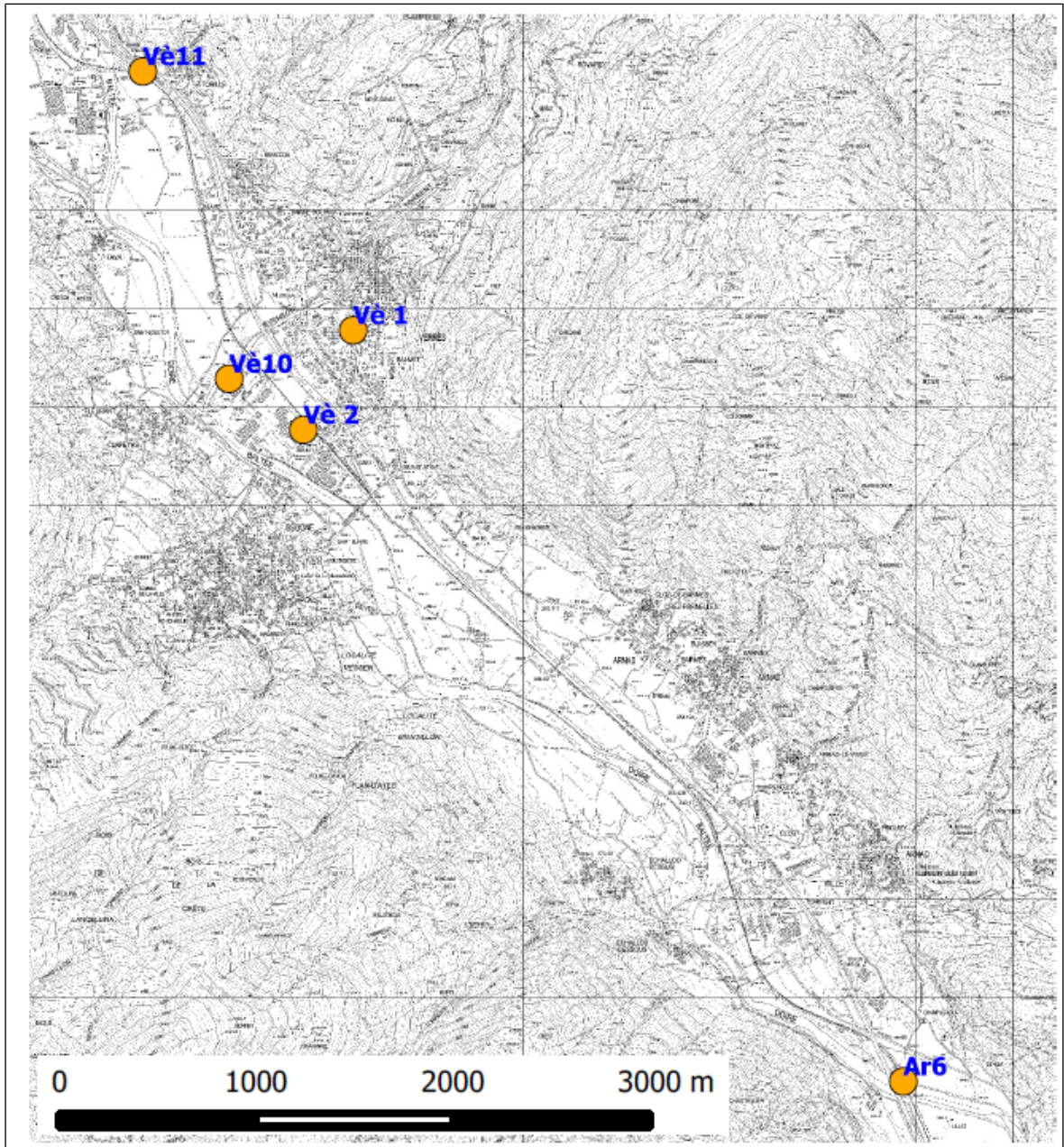


**Figura 3.3** – Ubicazione dei punti d’indagine quantitativa e soggiacenza misurata a gennaio 2014.

La soggiacenza come si vede in Figura 3.3 varia nel mese di gennaio 2014 da un minimo inferiore ai 5 m, in corrispondenza di punti situati nella piana vera e propria in prossimità del F. Dora Baltea, ad un massimo superiore ai 20 m in corrispondenza dei punti di misura Vè1 e Is4, ubicati sui conoidi alluvionali rispettivamente dei T. Evançon e Chalamy.

Considerazioni più approfondite sulla soggiacenza e sullo stato quantitativo sono illustrate al par. 4.3.

Per quanto riguarda il monitoraggio qualitativo, esso è effettuato con cadenza semestrale su cinque punti (Fig. 3.4).



**Figura 3.4** – Ubicazione dei punti d'indagine qualitativa.

Di seguito, nella Tabella 3.6, sono riportati gli analiti ricercati nella piana di Verrès-Issogne-Arnad; tale protocollo è stato stabilito sia sulla base di quanto prescritto dalla normativa vigente sia sulla base delle pressioni antropiche e tipologie di industrie esistenti nel territorio.

I restanti metalli, contemplati dalla normativa (Antimonio, Cadmio, Cromo tot, ect.) sono stati ricercati solo nel primo biennio di monitoraggio e poi tralasciati in quanto risultati sempre assenti (inferiori ai limiti di rilevabilità analitica). I metalli attualmente contemplati dal protocollo analitico risultano presenti in concentrazioni comunque sempre inferiori ai

massimi valori previsti dalla normativa, per cause naturali e non dovute a inquinamento antropico.

**Tabella 3.6** – Analiti ricercati nel monitoraggio qualitativo.

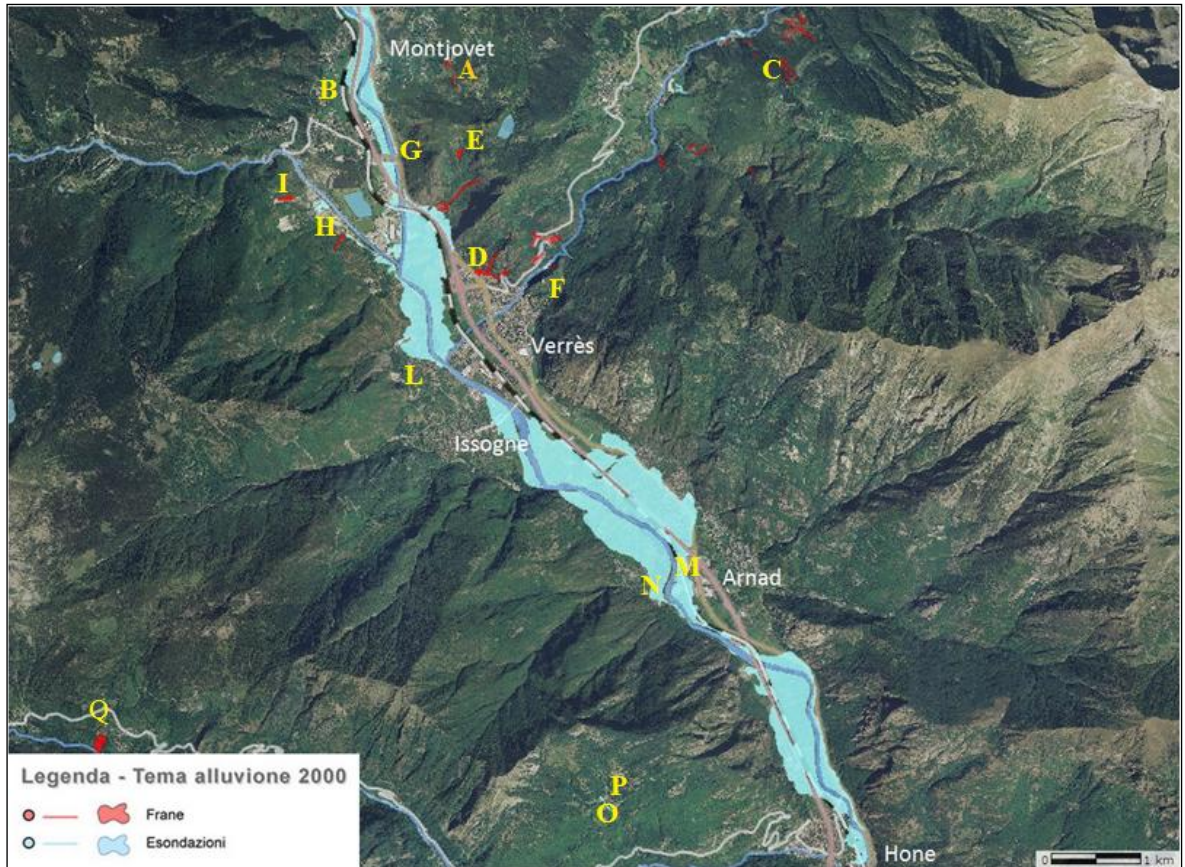
Parametri “di base”		Parametri addizionali	
		Metalli (µg/l)	Inquinanti organici (µg/l)
Durezza	mg/l	Arsenico	Solventi clorurati
Conducibilità*	µS/cm	Cromo VI+	Solventi aromatici
pH*		Ferro	IPA °
Temperatura*	°C	Manganese	Pesticidi °
Ossigeno disciolto *	mg/l	Nichel	
Bicarbonati	mg/l		
Calcio	mg/l		
Cloruri	mg/l		
Ione ammonio	mg/l		
Magnesio	mg/l		
Nitrati	mg/l		
Potassio	mg/l		
Sodio	mg/l		
Solfati	mg/l		

\* misura eseguita in campo contestualmente al prelievo

° parametri ricercati sul 20% dei campioni prelevati

### 3.5 – L’alluvione dell’ottobre 2000

Le eccezionali e prolungate precipitazioni dell’ottobre del 2000 in Valle d’Aosta hanno provocato, nell’area di studio, come d’altronde in tutta la regione, numerosi dissesti (Fig. 3.5). Di seguito verranno esaminati per ogni comune della piana di Verrès-Issogne-Arnad, grazie alle informazioni fornite dal Centro Funzionale Regionale, i fenomeni e i danni legati a tale fenomeno alluvionale. Si precisa che questi eventi sono localizzati non esclusivamente nell’area in esame, sui versanti afferenti il fondovalle principale, ma talora anche a quote più elevate nelle vallate laterali, come si può vedere dalla Figura 3.5.



**Figura 3.5** – Carta dei dissesti legata all’evento alluvionale dell’ottobre del 2000 in Valle d’Aosta; le lettere indicano l’ubicazione delle località citate nel testo (rif. Web n.3).

Nel **comune di Montjovet**, in loc. Grand-Hoel (A), si è verificata una frana, rappresentata da uno scivolamento di detrito che si è evoluto in colata. La causa è da attribuirsi all’infiltrazione tra la roccia a monte della sede stradale e il corpo della strada, in quanto la carreggiata ha convogliato grandi quantità d’acqua. In corrispondenza dei torrenti e lungo il tratto della Dora Baltea che attraversano il comune, numerose sono state le esondazioni. La Dora Baltea ha esondato lungo tutto il tratto inerente al territorio comunale erodendo in parte gli argini, allagando zone dedite all’agricoltura e all’industriale e portando detriti, materiale limoso, ghiaioso e vegetale su tutta la zona circostante.

Per quanto riguarda il **comune di Champdepraz**, gli eventi gravitativi si sono osservati in loc. Le Sale (B), con sviluppo di una colata di materiale detritico che dopo aver percorso il settore di versante ha lambito le abitazioni sottostanti. L’esondazione della Dora Baltea, lungo tutto il suo percorso sul territorio comunale, ha eroso gli argini e ha allagato zone dedite all’agricoltura e all’industria portando detriti e materiale limoso, ghiaioso e vegetale su tutta la zona circostante.

Sulla strada Verrès-Omens (loc. Omens C), nel **comune di Verrès**, numerose sono state le interruzioni dovute sia a scivolamenti del pendio a monte sia ad erosioni dei paramenti a



valle. In loc. Barme Solan (D) si è osservato uno scivolamento su un fronte di circa 50 m, dove i detriti si sono scaricati nei prati andando a lambire il cantiere di costruzione della caserma dei Vigili del Fuoco. Alla quota di circa 680 m s.l.m. a SE della loc. Nache (E) si sono innescati due scollamenti, causati dall'incanalamento delle acque lungo un impluvio naturale che scorre a SE del T.Torille, trascinando detriti e provocando nuovi distacchi. Nell'area si sono verificati crolli in loc. Casset (F) dove i detriti sono caduti sulla strada comunale per il castello e crolli a poche decine di metri a nord di Villa Agosti (G) sulla S.S. 26. L'Esondazione della Dora Baltea a Verrès ha eroso gli argini, ha allagato zone dedite all'agricoltura portando detriti e materiale limoso, ghiaioso e vegetale su tutta la zona circostante ed ha alluvionato il depuratore comunale. Per quanto riguarda il T. Evançon, esso ha esondato nel tratto terminale dividendosi in due ramificazioni alla confluenza con la Dora Baltea e danneggiando gli argini.

In loc. Mure (H), nel **comune di Issogne**, in direzione delle cave (attualmente inattive) ubicate lungo il versante a valle di località Chantéry (I) (verso il confine amministrativo con il Comune di Champdepraz), si è sviluppata una frana che ha coinvolto una grande quantità di materiale detritico sciolto (nicchia di distacco a 700 m s.l.m.) ed ha invaso il piazzale dell'impianto per inerti esistente a valle. La forte imbibizione dei termini più fini e del conseguente superamento dell'equilibrio limite, in loc. Chantéry, ha provocato lo scollamento del materiale di copertura del substrato roccioso e il conseguente scivolamento portando via la rete di canalizzazione dell'acquedotto consortile e sradicando numerose piante presenti sul versante. Un'ulteriore frana, costituita in massima parte da terreno vegetale, con relativa copertura arborata, ha coinvolto un'area piuttosto estesa della stessa frazione. Infine, l'abitato di Fleurant (L) è stato lambito da una frana evolutasi successivamente in debris flow. Il materiale solido si è accumulato a monte del villaggio investendo gli edifici (danni non gravi) e in parte il flusso si è diretto verso la vicina cava. La Dora Baltea, esondando lungo tutto il suo percorso sul territorio comunale, ha eroso in parte gli argini, ha allagato zone dedite all'agricoltura, una segheria, il depuratore comunale e alcune abitazioni private portando detriti e materiale limoso, ghiaioso e vegetale su tutta la zona circostante. Il T. Chalamy non ha esondato ma ha creato una forte erosione lungo gli argini artificiali asportando interamente anche le briglie.

Il **comune di Arnad** è stato interessato esclusivamente dall'esondazione della Dora Baltea (Fig. 3.6). Essa, lungo tutto il suo percorso sul territorio comunale, ha allagato la zona industriale (Baltea Disk, il panificio, la concessionaria Citroen), inondato alcune stalle, portato detriti e materiale limoso, ghiaioso e vegetale su tutta la zona circostante ed ha

danneggiato anche il depuratore comunale. Il sottopasso, in Loc. Glair (M), sotto la ferrovia per accedere al ponte sulla Dora Baltea, è stato completamente allagato interrompendo il collegamento con Echallod (N).



**Figura 3.6** – Esondazione della Dora Baltea nel comune di Arnad nei pressi dell’Olivetti I-Jet (Centro Funzionale Regionale).

Nel **comune di Hône**, invece, si sono verificati principalmente fenomeni gravitativi di modeste dimensioni e caduta di massi in diversi settori. La frana più significativa è avvenuta immediatamente a ovest delle case di Verney (O) (l’ultima riattivazione risale all’evento alluvionale dell’estate del 1978) dove si è sviluppato uno scivolamento evoluto successivamente in colata che ha coinvolto un settore di scarpata interessato da preesistenti sintomi di instabilità. In quest’area, prima dell’alluvione, è stata realizzata una gabbionata e una scogliera in grossi massi cementati posta in sponda destra del T. Maison Blanche, responsabile con il suo scalzamento dello stato di disequilibrio del pendio. Il forte innalzamento della falda e i fenomeni di ruscellamento provenienti da monte, che hanno caratterizzato l’evento alluvionale dell’ottobre 2000, hanno provocato l’ampliamento delle scarpate a monte e il rigonfiamento della porzione inferiore non protetta dalla scogliera e dalla gabbionata, soggetta all’erosione del torrente. Le opere presenti non hanno subito danni e hanno impedito alla frana di evolvere più gravemente dando luogo a pericolose colate che avrebbero potuto occludere il torrente e dar luogo a *debris flow* lungo il ripido impluvio che interseca la strada comunale per Courtil (fraz. Courtil P) e la strada regionale per Champorcher (Q). L’esonazione della Dora Baltea, come nei comuni precedenti, ha eroso gli argini allagato zone dedite all’agricoltura portando detriti e materiale limoso, ghiaioso e vegetale su tutta la zona circostante ed ha sommerso in diversi tratti l’autostrada A5 e la strada statale 26 (Fig. 3.7).



**Figura 3.7** – Esondazione della Dora Baltea nel comune di Hône. A sinistra tratto dell'autostrada A5, a destra parte della strada statale 26 completamente sommersi dalle acque (Centro Funzionale Regionale).

In tutti i comuni della piana di Verrès-Issogne-Arnad, si sono riscontrati danni alle strade interpoderali, tagliafuoco e forestali dovuti alla corrivazione e al ruscellamento dell'acqua, alla viabilità rurale pedonale (sentieri e mulattiere), lesioni varie alle arginature lungo la Dora Baltea e molti sono i terreni agricoli completamente danneggiati. Numerosi sono, inoltre, i danni alla rete viaria principale, alla ferrovia Aosta-Chivasso nelle gole della Mongiovetta (Montjovet) e crepe di notevoli dimensioni sul ponte della strada regionale sulla Dora Baltea nel comune di Issogne. Inoltre, l'erosione spondale della Dora Baltea ad Issogne, per un tratto di circa 25 m, ha asportato parte della carreggiata della SS26 facendo affiorare un tratto del gasdotto, ad Arnad, in loc. Echallod, ha distrutto parte della struttura del vecchio ponte sulla Dora Baltea ed ha eroso la carreggiata della strada di collegamento sul lato verso Arnad ed infine, ad Hône, si sono verificati danni all'acquedotto.

## **4 – SPERIMENTAZIONE**

Nella parte sperimentale del lavoro si è ricostruito l'assetto litostratigrafico e idrogeologico della piana di Verrès-Issogne-Arnad anche grazie alle nuove conoscenze geologiche ed idrogeologiche ottenute dalla campagna di indagini geognostiche, commissionate da ARPA Valle d'Aosta e seguite (e in alcuni casi svolte) in campo dallo scrivente nell'autunno 2013. Successivamente, sono state analizzate le risorse idriche della piana sia dal punto di vista quantitativo che qualitativo ed infine si è valutata la vulnerabilità dell'acquifero superficiale mediante il metodo GOD (FOSTER *et al.* 2002). I dati utilizzati sono stati resi disponibili da ARPA Valle d'Aosta e dal Centro Funzionale Regionale (Assessorato alle Opere Pubbliche).

### **4.1 – Indagini geognostiche**

ARPA Valle d'Aosta ha intrapreso nell'autunno 2013 una campagna di indagini geologiche, interamente seguita e in alcuni casi svolta in campo dallo scrivente, nei comuni di Verrès, Issogne e Hône. Tali indagini miravano a:

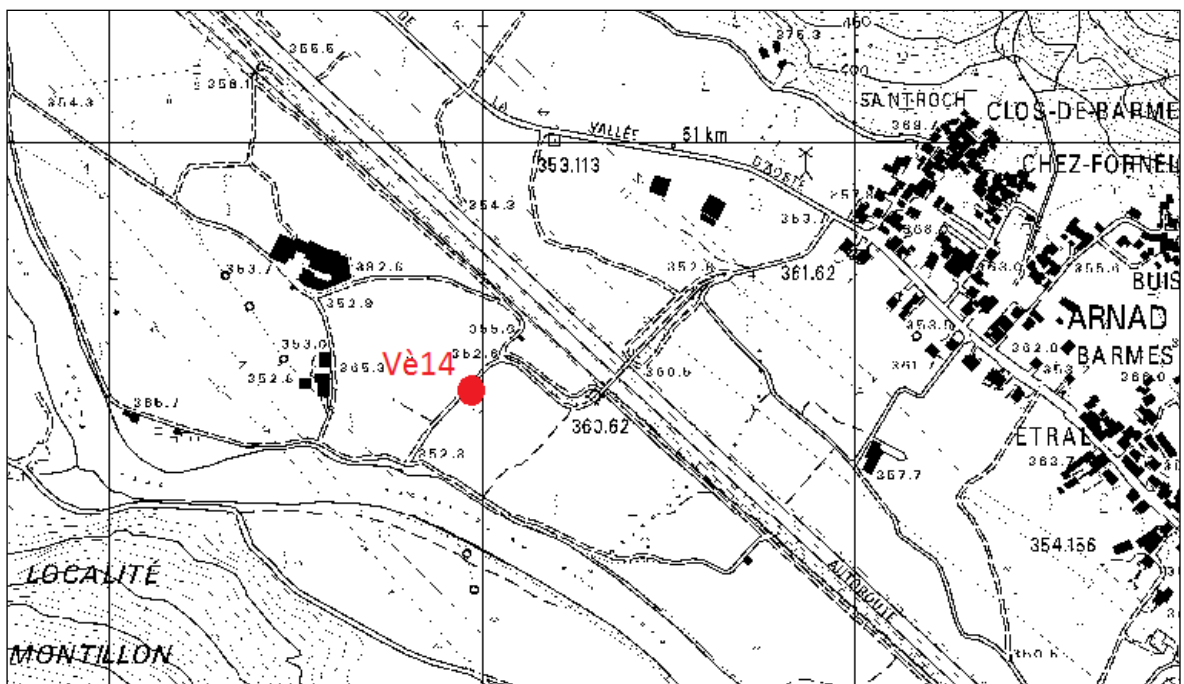
- realizzare, ad integrazione dell'esistente rete di monitoraggio della falda, un nuovo punto di monitoraggio delle acque sotterranee (piezometro), rispondente alle caratteristiche tecniche richieste dalle normative citate al paragrafo 3.1;
- acquisire informazioni sulla presenza di eventuali acquiferi profondi al momento non noti. L'acquifero monitorato ha infatti carattere di acquifero non confinato e, vista la modesta profondità dei sondaggi esistenti, non si disponeva di alcuna informazione circa l'eventuale esistenza di acquiferi confinati non ancora captati;
- cercare di ottenere indicazioni sull'ubicazione del basamento roccioso alla base dei depositi costituenti il fondovalle indagato.

La campagna geognostica ha previsto l'esecuzione sia di indagini dirette (perforazione di un sondaggio profondo 30 m e suo allestimento a piezometro a tubo aperto) sia di indagini indirette (realizzazione di quattro stendimenti geofisici lunghi circa 1 km ciascuno, finalizzati a ricostruire le caratteristiche del sottosuolo per uno spessore di almeno 170 m).

#### 4.1.1 Indagini dirette

Il sondaggio è stato effettuato dalla ditta SOMITER S.r.l. in posizione centrale della piana, nel comune di Verrès (Fig. 4.1). E' stata scelta la metodologia di perforazione a carotaggio continuo, invece della più veloce nonché economica metodologia “a distruzione di nucleo”, per poter disporre di una accurata descrizione stratigrafica del sottosuolo.

L'ubicazione è stata individuata da ARPA Valle d'Aosta sulla base dell'assenza di altri punti di monitoraggio nelle immediate vicinanze e del posizionamento a valle del polo industriale di Verrès, che costituisce il maggior centro di pericolo per le acque sotterranee nel territorio in esame.



**Figura 4.1** – Ubicazione del sondaggio Vè14 (codice ARPA) nel comune di Verrès. Scala 1:10.000.

Di seguito si descrivono le principali fasi di realizzazione del sondaggio e del suo allestimento a piezometro.

Per la perforazione è stata utilizzata una sonda idraulica cingolata (Casagrande C6) in grado di mantenere la batteria di aste in posizione verticale, di farle ruotare e penetrare nel terreno, di inserire i tubi di rivestimento provvisori e di permettere la circolazione di fluidi all'interno del foro (circolazione diretta). In superficie due treppiedi servivano da appoggio alle aste e ai tubi prima del loro inserimento. L'acqua pulita (fluido di circolazione) veniva captata da un condotto irriguo nelle vicinanze e portata tramite una tubazione alla sonda. Le operazioni erano svolte da tre operai specializzati, diretti dal geologo di cantiere (Fig. 4.2).



**Figura 4.2** – Cantiere di perforazione del sondaggio nel comune di Verrès (foto Borinatto).

I lavori si sono articolati in tre fasi:

1. la perforazione del sondaggio, necessaria per creare un vuoto cilindrico verticale nel sottosuolo;
2. l'allestimento del piezometro (inserimento dei tubi, realizzazione del dreno, cementazione, tamponamento dei livelli fini attraversati);
3. ed infine lo sviluppo del piezometro (tramite pompa elettrosommersa) per renderlo efficiente.

Una volta posizionata e messa “in bolla” la sonda nel punto di interesse, la perforazione è avvenuta tramite rotazione di una batteria di aste, di lunghezza 1,5 m e diametro esterno 101 mm, avvitali tra loro per mezzo di segmenti filettati alle estremità; al fondo della batteria di aste era posto un carotiere semplice, anch'esso lungo 1,5 m e filettato, a sua volta collegato alla corona in *widia* (carburo di Tungsteno) che rappresenta il vero e proprio elemento di perforazione (Fig. 4.3).



**Figura 4.3** – Da sinistra: posizionamento e messa in bolla della sonda; segmenti della batteria di aste e della colonna di rivestimento; corona in *widia* (foto Borinato).

Trattandosi di una perforazione destinata al monitoraggio ambientale, e quindi a verificare l'eventuale presenza di inquinanti nel sottosuolo, prima di essere assemblati, i diversi componenti sono stati lubrificati con appositi grassi vegetali (Fig. 4.4).



**Figura 4.4** – Assemblaggio dei vari componenti (batteria di aste, carotiere e corona in *widia*) e relativa lubrificazione tramite grassi vegetali (foto Borinato).

Dal momento che la perforazione interessava terreni alluvionali incoerenti, durante l'avanzamento, sono stati utilizzati tubi in acciaio costituenti la colonna di rivestimento provvisoria (o tubazione di manovra). Essa era costituita da una colonna di tubi con più segmenti - lunghi come le aste 1,5 m ma con diametro maggiore (178 mm), filettati e avvitati tra loro - spinti gradualmente nel sottosuolo man mano che si procedeva nella perforazione. A tale scopo un utensile tagliente, detto “scarpa” (Fig. 4.5), è avvitato nella parte terminale della colonna di rivestimento.

Lo scavo nel sottosuolo è avvenuto quindi progressivamente mediante successive “manovre”, ognuna delle quali prevedeva dapprima l’estrazione della batteria di aste, con carotiere e corona, e in un secondo tempo l’introduzione, sempre per rotazione, della tubazione di rivestimento necessaria per rivestire via via i vari tratti di scavo non ancora protetti (Fig. 4.5).



**Figura 4.5** – A sinistra: scarpa; in centro: inserimento della colonna di rivestimento; a destra: colonna di rivestimento inserita nel foro (foto Borinatto).

Al termine di ogni manovra di avanzamento e carotaggio, si è proceduto con l’estrazione del campione, sfilando la batteria di aste e facendo fuoriuscire il materiale dal carotiere tramite battitura con martello (Fig. 4.6 sx). Le carote estruse sono state riposte all’interno di cassette porta campione, munite di scomparti metrici con indicazioni relative alle quote di scavo rispetto al piano di campagna (Fig. 4.6 dx).



**Figura 4.6** – A sinistra: estrazione della carota; a destra: materiale all’interno della cassetta porta campione (foto Borinatto).

Al fine di consentire nel contempo perforazione, sostegno delle pareti del foro e raffreddamento dell’attrezzo di perforazione è stato necessario utilizzare un fluido di



circolazione (acqua pulita, talora miscelata con polimeri biodegradabili) immesso all'interno del sondaggio attraverso le aste interne ("circolazione diretta"); lo svantaggio di tale metodo è quello di ottenere un campione di sottosuolo disturbato dal punto di vista geotecnico, in quanto la frazione più fine viene dilavata.

A fine perforazione il geologo di cantiere ha redatto la descrizione stratigrafica (Fig. 4.7). Emerge una situazione piuttosto omogenea in linea con quanto già noto dalle precedenti indagini (ITALFERR, 2011) su settori limitrofi della piana. Infatti si denota la prevalenza di livelli ghiaiosi eterogenei in matrice sabbiosa, ad eccezione dei primi 2,5 m (non considerando i 50 cm di terreno di riporto) dove è presente sabbia limosa e degli ultimi 70 cm composti da sabbia fine debolmente limosa. La falda è stata rinvenuta a 3,50 m di profondità.

Le operazioni di perforazione sono durate complessivamente tre giorni, evidenziando una velocità di avanzamento nei terreni alluvionali di circa 10 m al giorno nelle 8 ore lavorative. In generale tali velocità possono però essere rallentate dalle condizioni meteorologiche, quali intense precipitazioni o nevicate, e dalla presenza di trovanti (eventualità comunque non verificatasi nel caso in esame); in quest'ultimo caso è necessario sostituire la corona in *widia* con quella diamantata (manovra che richiede molto tempo) per facilitare la perforazione.

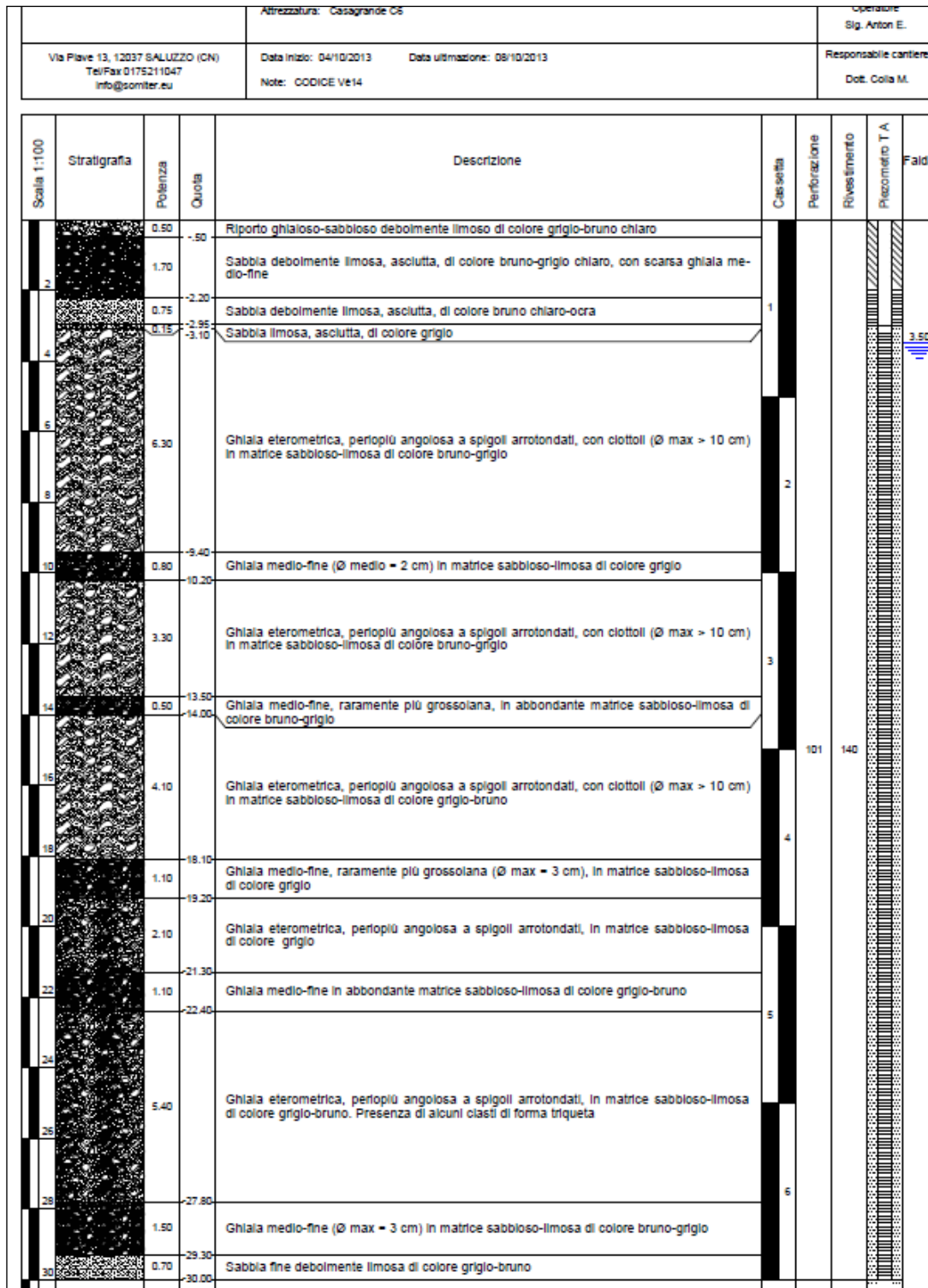


Figura 4.7 – Stratigrafia ottenuta nella realizzazione del piezometro nel comune di Verrès.

Una volta terminata, la perforazione è stata attrezzata con una colonna tubolare in PVC (materiale atossico) diametro 3", composta da segmenti di 3 m di lunghezza. Nei primi 3 m dal piano campagna, il piezometro è costituito da tratte cieche mentre, per i restanti 27 m, esso è composto da tratte finestrate con aperture da 1 mm (Fig. 4.8). La parte inferiore

della colonna è chiusa sul fondo da un tappo conico mentre la parte superiore è protetta da un tappo a calotta in PVC.



**Figura 4.8** – A sinistra segmenti di lunghezza 3 m della colonna tubolare in PVC; in centro parte del tratto finestrato con fessure di 1 mm e tappo conico che chiude la parte inferiore della colonna in PVC; a destra inserimento della colonna in PVC nel foro (foto Borinatto).

Tra il piezometro in PVC e il terreno, da fondo foro sino alla quota di un metro sopra il filtro (ovvero sino a -2 m rispetto al piano campagna), è stato posto un dreno artificiale costituito da ghiaietto siliceo calibrato, avente granulometria compresa tra 2 e 4 mm, con forma arrotondata e non frantumato. Tra -1 e -2 m dal piano campagna, l'intercapedine è stata riempita con sabbia fine vagliata (tampone in sabbia). L'ultimo metro di intercapedine (tra il tampone e il piano campagna) è stato cementato mediante getto di calcestruzzo.

Infine il piezometro è stato protetto con un pozzetto completo di chiusino metallico (Fig. 4.9).



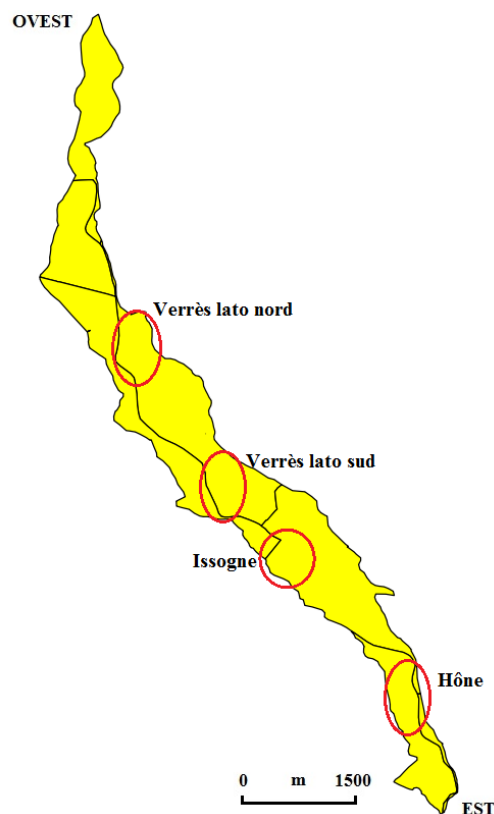
**Figura 4.9** – Pozzetto e chiusino metallico a protezione del piezometro (foto Borinatto).

Lo sviluppo del piezometro è avvenuto mediante spurgo prolungato per circa un'ora con pompa elettrosommersa sino ad ottenere acqua chiara, esente da sabbia o limo. Lo scopo

dello spurgo è anche quello di riportare le condizioni originarie attorno al filtro, rimuovendo le modifiche locali arrecate con la perforazione.

#### 4.1.2 Indagini indirette

Le indagini, realizzate dalla ditta Techgea srl, sono state svolte su quattro siti (Verrès lato nord, Verrès lato sud, Issogne e Hône; Fig. 4.10), individuati principalmente in base all'assenza di strutture antropiche per consentire la posa degli stendimenti, ricadenti in pratica interamente su prati ad uso agricolo o di pascolo.



**Figura 4.10** – Ubicazione dei siti sui quali si sono svolte le indagini indirette.

Sono state utilizzate le seguenti tecniche di indagine tra loro complementari:

1. metodo geoelettrico multielettrodo **ERT** (*Electrical Resistivity Tomography*, o “tomografia di resistività elettrica di superficie”), con stendimenti di lunghezza massima pari a circa 1 km e profondità massima teorica raggiungibile pari a circa 1/6 della lunghezza dello stendimento;
2. sondaggi elettromagnetici **TDEM** (*Time Domain Electro Magnetic*) con profondità teorica massima raggiungibile di 300-400 m utilizzando un “loop” trasmittente di 40 x 40 m e un “loop” ricevente centrale;

3. sondaggi di sismica passiva di due tipi: **HVSR** (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio*) con profondità teorica massima raggiungibile di 300-400 m e, solo sul sito di Hône, **Re.Mi.** (*Refraction Microtremor*), finalizzata ad ottenere una stratigrafia delle onde S e quindi fornire un valore per il parametro Vs30.

In linea generale, le prime due tecniche d'indagine, TDEM e ERT, permettono di determinare le caratteristiche di resistività elettrica nel sottosuolo, evidenziando sia le variazioni stratigrafiche verticali (attribuibili a cambi litologici o di proprietà fisiche dell'ammasso roccioso, quali fratturazione o contenuto d'acqua) che quelle laterali (dovute a variazioni sedimentarie o di discontinuità tettoniche).

Le tecniche HVSR e Re.Mi. si basano invece sulla sismica passiva. La prima assume che i microtremori (il cosiddetto "rumore di fondo", registrabile in qualunque momento posizionando un sensore sismico sul terreno) consistano principalmente di un tipo di onde superficiali, le onde di *Rayleigh*, che si propagano in un singolo strato superficiale sofficie e che la presenza di questo strato sia la causa dell'amplificazione al sito. La seconda studia le proprietà dispersive delle onde superficiali (onde di Rayleigh) sfruttando i microtremori ambientali provenienti da sorgenti ignote e lontane con lo scopo di ottenere una stratigrafia delle onde S (parametro Vs30).

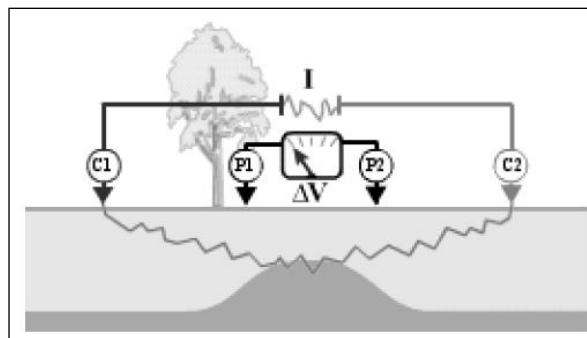
E' opportuno premettere che le indagini TDEM, HVSR e Re.Mi. possono risentire fortemente dell'attività antropica; nel caso specifico esse hanno fornito valori utili solo in due siti (Hône e Verrès nord) in quanto negli altri siti il disturbo elettromagnetico ed acustico - dovuto alla presenza di tralicci dell'alta tensione, di tubazioni interrate dell'oleodotto, alla vicinanza dell'autostrada, della Strada Statale e della ferrovia - non ha consentito di ottenere dati affidabili.

Di seguito si descrivono in dettaglio le tecniche di indagine utilizzate e i risultati ottenuti.

#### 4.1.2.1 – Indagini con la tecnica **ERT**

ERT: la tecnica ERT si basa sullo studio della distribuzione nel sottosuolo di un campo elettrico creato artificialmente immettendo corrente continua o alternata tra due elettrodi infissi nel terreno. La sua distribuzione viene desunta dal valore della corrente immessa e da misure di potenziale eseguite in punti diversi della superficie. Da ciò è possibile risalire a una distribuzione della resistività nel sottosuolo definendo un modello delle caratteristiche elettriche. Se agli estremi di un conduttore si applica una differenza di potenziale  $\Delta\Phi$ , nel conduttore si ha il passaggio di una corrente  $I$  legata al valore della differenza di potenziale della legge di Ohm ( $J=\sigma E$  dove  $\sigma$  è la conducibilità elettrica in

Siemens/m del mezzo e  $\underline{E}$  è l'intensità del campo elettrico applicato in V/m). Nella pratica la corrente viene immessa ed emessa tramite due elettrodi di corrente (C1 e C2) e la differenza di potenziale viene misurata da due elettrodi di potenziale (P1 e P2), come è stato rappresentato in Figura 4.11. La configurazione elettrodica utilizzata (quadripolo di misura) è quella di Wenner-Schlumberger in quanto è il più utilizzato in geofisica ambientale poiché è sensibile sia a variazioni orizzontali che verticali della resistività e quindi ha una capacità nel discriminare strutture orizzontali che verticali, ha una buona profondità di investigazione, una buona copertura orizzontale e una buona stabilità del segnale.



**Figura 4.11** – Schema di base usato per le indagini elettriche; gli elettrodi C1 e C2 sono le sorgenti di corrente elettrica mentre P1 e P2 sono gli elettrodi di misura del potenziale.

Nell'area di studio si sono realizzati quattro profili geoelettrici (Verrès lato nord, Verrès lato sud, Issogne e Hône), tutti eseguiti con 96 elettrodi posizionati ad una interdistanza di 10 m (950 m di lunghezza effettiva di stendimento), utilizzando un georesistivimetro (Syscal PRO) a 96 canali e con configurazione di acquisizione mista Wenner-Schlumberger.

Dal punto di vista pratico, dopo aver steso e collegato i cavi multipolari (100 m di lunghezza ciascuno) per raggiungere la lunghezza desiderata, si è proceduto nell'unire i connettori (posti a 10 m di distanza sui cavi) a dei picchetti metallici infissi nel terreno tramite delle fascette in rame per favorire il passaggio della corrente (Fig. 4.12).



**Figura 4.12** – Elementi necessari per la realizzazione dello stendimento geoelettrico, da sinistra verso destra si può osservare: lo stendimento dei cavi multipolari, i connettori, i picchetti metallici, le fascette in rame e l'accoppiamento dei tre elementi precedenti (foto Borinatto).

Gli elettrodi di corrente e di potenziale, mediante cavi multipolari, sono stati collegati al georesistivimetro (Fig. 4.13) posto a metà dello stendimento, per l'acquisizione e registrazione dei dati.



**Figura 4.13** – A sinistra georesistivimetro (Syscal PRO 72-96 canali) collegato ai cavi multipolari e alla batteria; a destra scaricamento dei dati acquisiti sul personal computer (foto Borinatto).

Quest'ultimo, collegato ad una batteria esterna, è stato precedentemente programmato impostando: tipo di quadripolo utilizzato, parametri di acquisizione e intensità di corrente immessa. Una volta terminata l'acquisizione e la registrazione dei dati in campo, i dati sono stati in seguito elaborati per ottenere il modello tomografico della sezione geoelettrica.

#### 4.1.2.2 – Indagini con la tecnica **TDEM**

Le misure con tecniche TDEM (*Time Domain Electromagnetic*) si basano sulla stima del valore di resistività “apparente” del sottosuolo in seguito alla valutazione del transiente di un campo magnetico secondario, prodotto dalla circolazione in profondità di deboli correnti elettriche, artificialmente indotte dalla propagazione di un campo elettromagnetico primario. Il risultato finale delle indagini elettromagnetiche TDEM è solitamente costituito da una elettrostratigrafia del sottosuolo, simile a quanto viene prodotto dalla elaborazione di sondaggi geoelettrici (tomografia elettrica). La propagazione del campo elettromagnetico primario viene ottenuta per induzione in seguito alla circolazione di corrente alternata in una bobina, costituita da un cavo elettrico, disposta in forma circolare o a quadrato (come nel nostro caso) sul terreno. Una seconda bobina con caratteristiche simili alla bobina trasmittente funge da ricevitore: è possibile utilizzare la stessa bobina come trasmittente e ricevente. La profondità di indagine dipende dalla configurazione

strumentale prescelta, dalle dimensioni della bobina trasmittente e dalle caratteristiche di resistività elettrica del sottosuolo. Il campo elettromagnetico primario si diffonde in profondità e interagisce per induzione con le strutture elettricamente conduttive. Si interrompe il passaggio di corrente e si valuta al dispositivo ricevente un transiente di forza elettromotrice indotta dal campo magnetico secondario. L'andamento del segnale elettrico associato al transiente di un campo magnetico secondario consente di elaborare delle elettrostratigrafie di resistività apparente in funzione della profondità. Per interpolazione dei risultati di diversi sondaggi eseguiti traslando la bobina trasmittente - ricevente di una spaziatura adeguata, è possibile ricostruire delle sezioni verticali della resistività apparente (espressa in Ohm·m) in funzione della profondità. Tali sezioni sono spesso immediatamente confrontabili con le sezioni geologiche.

Come detto in precedenza, tale metodo è stato utilizzabile solo in due siti su quattro (Verrès lato nord e Hône), a causa di un forte disturbo prevalentemente elettromagnetico data la vicinanza di sorgenti di “rumore” (tralicci dell’alta tensione, ferrovia, autostrada). I sondaggi TDEM sono stati eseguiti con un “loop” trasmittente di 40 x 40 m e “loop” ricevente centrale, utilizzando un acquirente in grado di erogare fino a 20 A di intensità di corrente (Fig. 4.14).



**Figura 4.14** – Acquisitore Walk TEM prodotto da ABEM (foto Borinato).

#### 4.1.2.3 – Indagini con la tecnica **HVSR**

La tecnica di indagine HVSR (meglio nota come tecnica di Nakamura) consente di determinare la frequenza fondamentale di vibrazione del terreno (o frequenza di risonanza), a partire da registrazioni di microtremore sismico. La tecnica proposta da Nakamura assume che i microtremori (il cosiddetto rumore di fondo registrabile in qualunque momento posizionando un sensore sismico sul terreno) consistano



principalmente di un tipo di onde superficiali, le onde di Rayleigh, che si propagano in un singolo strato sovrastante su semispazio e che la presenza di questo strato sia la causa dell'amplificazione al sito. La funzione di amplificazione è determinabile come il rapporto tra le componenti spettrali orizzontale (H) e quella verticale (V) di una stessa registrazione in superficie. Tale funzione è propriamente indicata come curva H/V (per questo spesso si parla di tecnica HVSR – Horizontal to Vertical Spectral Ratio technique) ed esprime la variazione dell'amplificazione del terreno in funzione della frequenza. Il picco di frequenza naturale è legato ad una semplice funzione che mette in relazione la profondità (H) e la velocità media delle onde di taglio ( $V_s$ ):  $f_0 = V_s/4H$ . A partire dalla frequenza  $f_0$ , per stimare la profondità del substrato è necessario conoscere la velocità media delle onde di taglio ( $V_s$ ) dei depositi sciolti sul substrato. La profondità (H) è infatti determinabile con la funzione:  $H = V_s/4f_0$ .

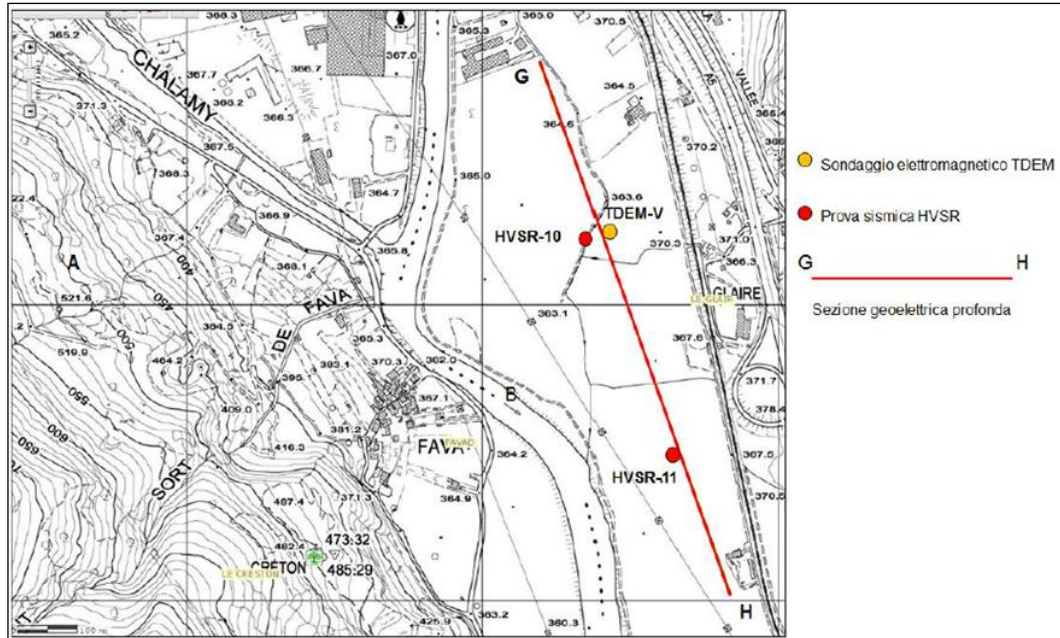
#### *4.1.2.4 – Indagini con la tecnica **Re.Mi**.*

Per determinare la velocità di propagazione delle onde di taglio ( $V_s$ ) è stata eseguita una prova Re.Mi. a configurazione areale (circolare) con raggio di 50 m e utilizzo simultaneo di 48 geofoni da 4.5 Hz. Durante la prova si è registrato, senza utilizzo di alcun strumento di energizzazione del terreno, il microtremore sismico ambientale nel dominio del tempo, sulle tre componenti dello spazio attraverso il posizionamento di adeguati strumenti sismometrici costituiti da sensori tridimensionali. Lo strumento di misura è stato orientato secondo le direzioni geografiche est e ovest, è stato messo in bolla e assicurato al terreno con piedini o puntazze. La presenza di radici, sottoservizi, vicinanza agli edifici, vento ecc., possono creare disturbo nel segnale H/V inducendo una forte perturbazione a bassa frequenza. Si sono effettuate tre misure per punto, in tempi diversi durante la giornata, da cui è derivato il valore di frequenza di risonanza.

#### 4.1.2.5 – Risultati ottenuti

I risultati delle indagini indirette sono riportati qui di seguito:

#### Verrès lato nord (Fig. 4.15)

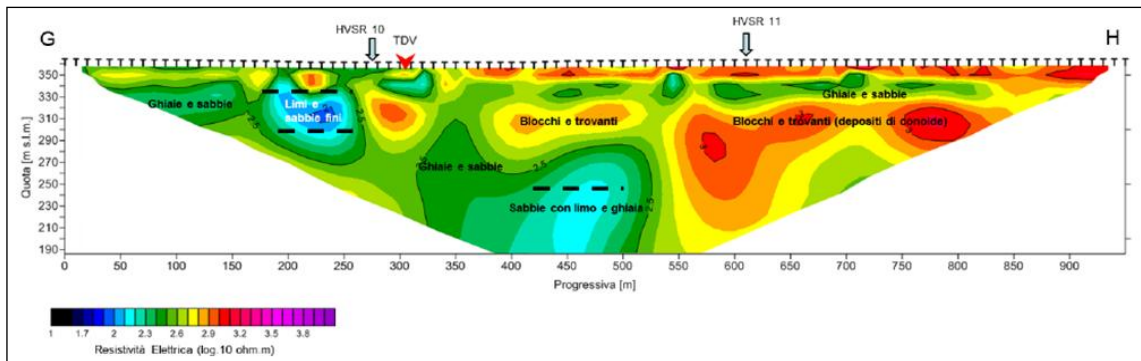


**Figura 4.15** – Ubicazione prove del sito di Verrès lato nord.

I risultati del **modello tomografico di resistività elettrica**, riportati in Figura 4.16, evidenziano quanto segue:

- un primo livello superficiale con ghiaie e sabbie a elevata resistività elettrica ( $\rho > 500 \Omega.m$ , colori da giallo-verde a rosso). Tale orizzonte ha una forma irregolare, con lenti più resistenti e coincidenti con accumuli di depositi più grossolani (ghiaie e ciottoli prevalenti). Lo spessore dell'orizzonte superficiale è compreso tra 50 e 60 m;
- un orizzonte intermedio costituito da depositi di sabbia con limo e ghiaia a resistività elettrica media ( $120 < \rho < 500 \Omega.m$ , colori da azzurro a verde), intercalate a lenti a elevata resistività ( $\rho = 1000-2000 \Omega.m$ , colore rosso) molto estese lateralmente e corrispondente con depositi a prevalente scheletro grossolano (depositi di conoide). La forma dell'orizzonte intermedio è molto irregolare, con una forte variabilità laterale legata agli apporti detritici degli scaricatori torrentizi (T. Evançon);

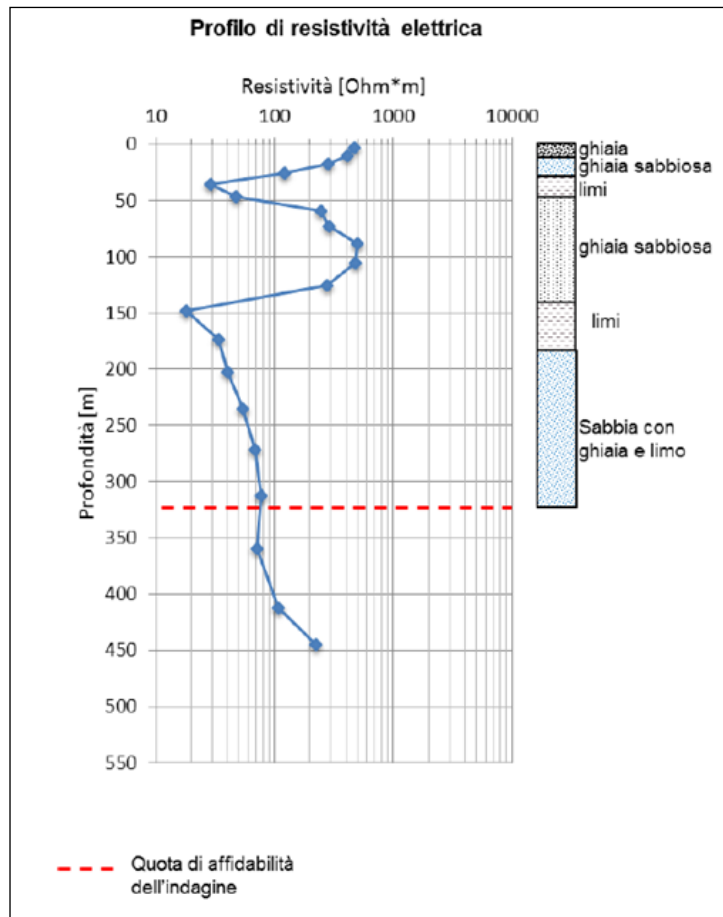
- un deposito basale costituito da sabbie con limo e ghiaia di probabile origine glaciale (depositi morenici), caratterizzato da valori di resistività elettrica medio - bassi ( $100 < \rho < 200 \Omega.m$ , colore da azzurro a verde).



**Figura 4.16** – Modello tomografico sezione geoelettrica di Verrès lato nord.

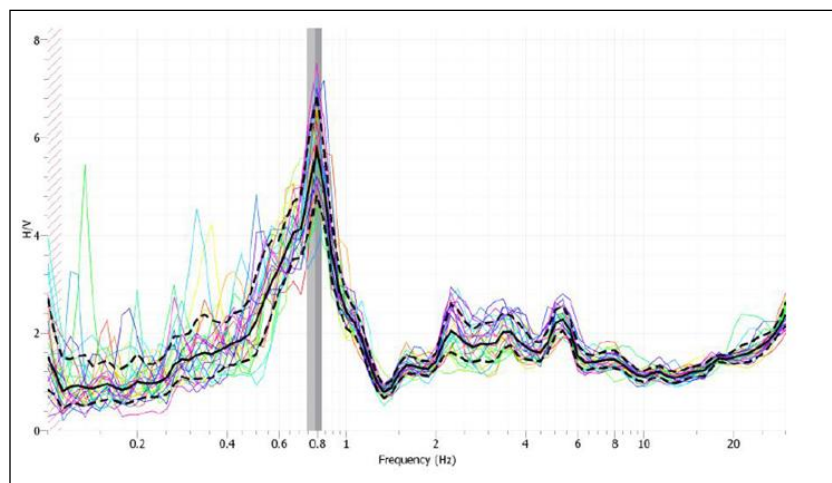
I risultati della **prova TDEM** sono relativi ad un solo sondaggio in quanto le condizioni di disturbo elettromagnetico presenti in zona hanno fortemente limitato l'efficacia del metodo, e si è quindi utilizzato il solo sondaggio con dati attendibili. I risultati del sondaggio TDEM sono illustrati nel profilo verticale con distribuzione della resistività elettrica di Figura 4.17. Tale profilo evidenzia dei valori di resistività elettrica compatibili con quelli ottenuti con la sezione geoelettrica G-H:

- Un primo livello di ghiaie e sabbie fino a circa 120-130 m di profondità ( $\rho = 300-400 \Omega.m$ ) con un livello limoso a circa 30 m di profondità ( $\rho = 30 \Omega.m$ );
- un livello con matrice fine (sabbie e limi) da 130 m fino a circa 200 m di profondità ( $\rho = 20-40 \Omega.m$ );
- sabbie con limo e subordinata ghiaia fino a circa 320 m di profondità ( $\rho = 70-80 \Omega.m$ ). La profondità di 320 m rappresenta l'ultimo dato attendibile;
- non è stato raggiunto il substrato lapideo (i cui valori di resistività attesi sono almeno pari o superiori a  $1000 \Omega.m$ ).



**Figura 4.17** – Sondaggio TDEM, resistività in scala logaritmica.

Per la **prova HVSR** si è utilizzato il solo profilo HVSR11, in quanto il profilo HVSR10 ha subito numerose interferenze e disturbi che hanno reso impossibile il riconoscimento del contrasto di impedenza principale (tra la copertura e il “substrato” sismico). Nel caso in esame si è identificato nettamente un picco di frequenza a circa 0.8 Hz come si osserva in Figura 4.18.



**Figura 4.18** – Prova HVSR11, riconoscimento del picco di frequenza fondamentale di risonanza del sito.

## Verrès lato sud (Fig. 4.19)

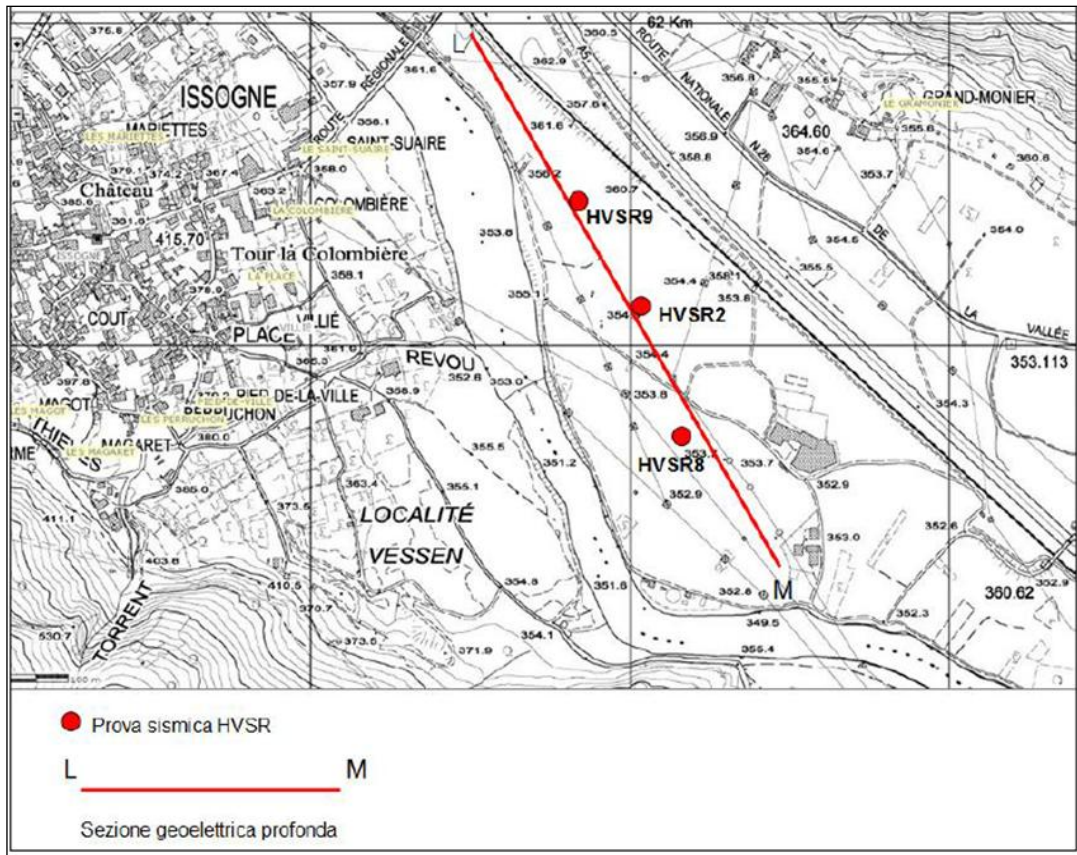
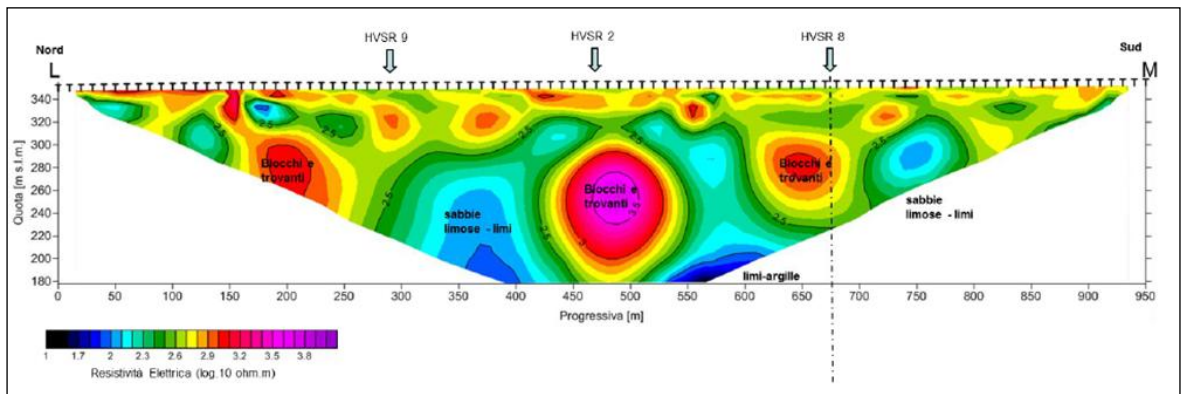


Figura 4.19 – Ubicazione prove del sito Verrès lato sud.

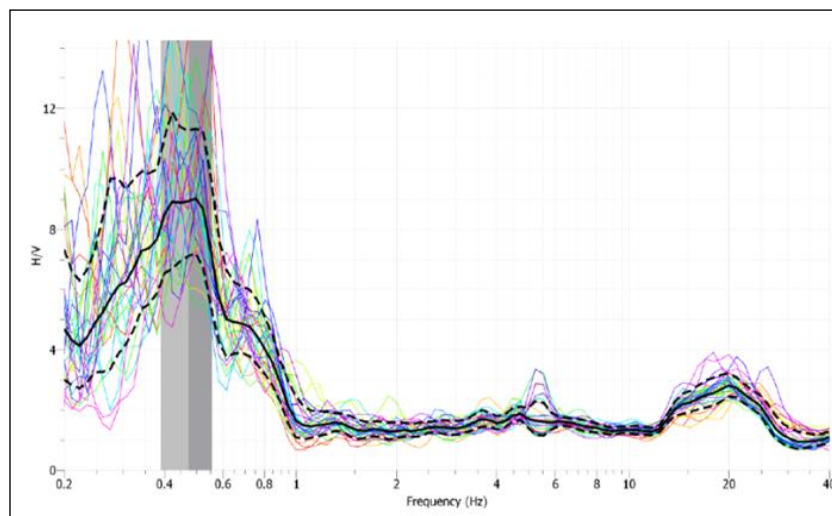
I risultati del **modello tomografico di resistività elettrica**, riportati in Figura 4.20, evidenziano quanto segue:

- un primo livello superficiale molto sottile (20-30 m) costituito da ghiaie e sabbie a elevata resistività elettrica ( $\rho > 1000 \Omega.m$ , colore rosso). Tale orizzonte coincide con i depositi alluvionali recenti a scheletro grossolano;
- un secondo orizzonte costituito da probabili limi e sabbie limose di probabile origine “fluvio-lacustre”, caratterizzato da valori di resistività elettrica molto bassi ( $10 < \rho < 100 \Omega.m$ , colori da blu a azzurro) con lenti sub circolari a elevata resistività elettrica ( $\rho > 1000 \Omega.m$ , colore rosso) assimilabili a depositi molto grossolani (ghiaie e ciottoli di grandi dimensioni) legati agli afflussi laterali di carattere fluvio-torrentizio. Tali depositi grossolani, interdigerati nei depositi fini fluvio-lacustri, causano una marcata irregolarità stratigrafica.



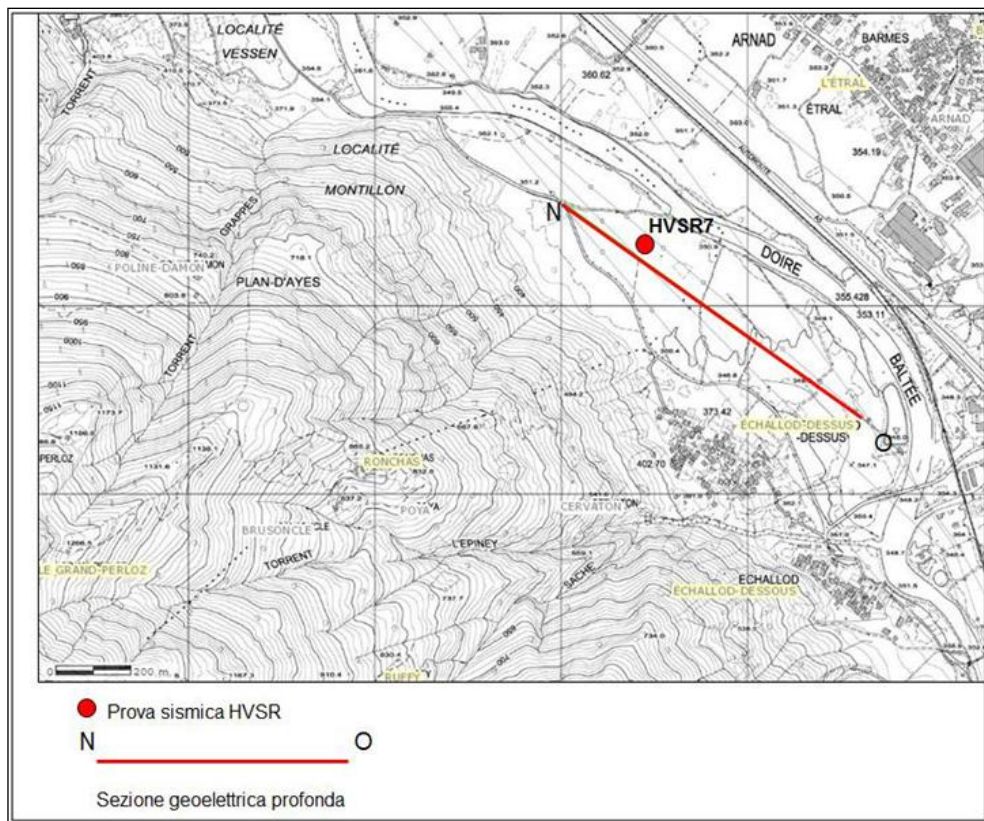
**Figura 4.20** – Modello tomografico sezione geoelettrica di Verrès lato sud.

Per la **prova HVSR** si è utilizzato il solo profilo HVSR8 (Fig. 4.21), che ha fornito un contrasto di impedenza compreso tra 0.4 e 0.6 Hz (dato medio = 0.47 Hz).



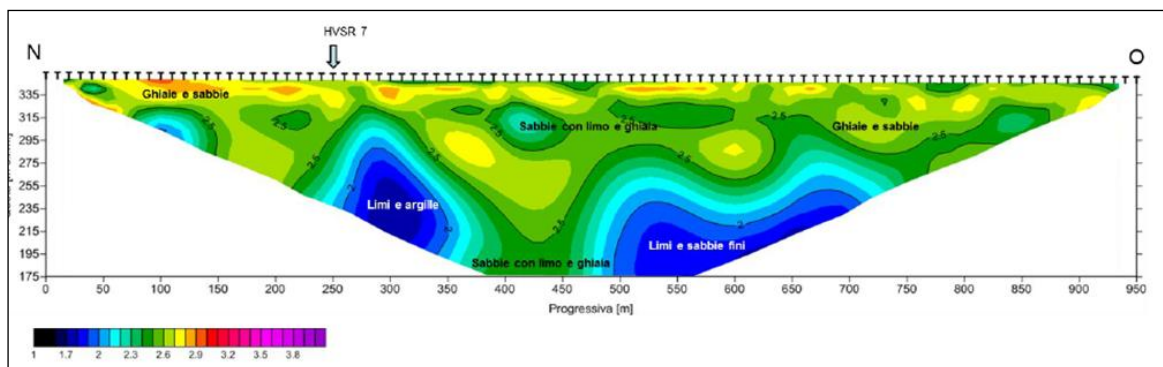
**Figura 4.21** – Prova HVSR8, riconoscimento del picco di frequenza fondamentale di risonanza del sito.

**Issogne (Fig. 4.22)**



**Figura 4.22** – Ubicazione prove del sito Issogne.

I risultati del **modello tomografico di resistività elettrica**, riportati in Figura 4.23, evidenziano quanto segue:

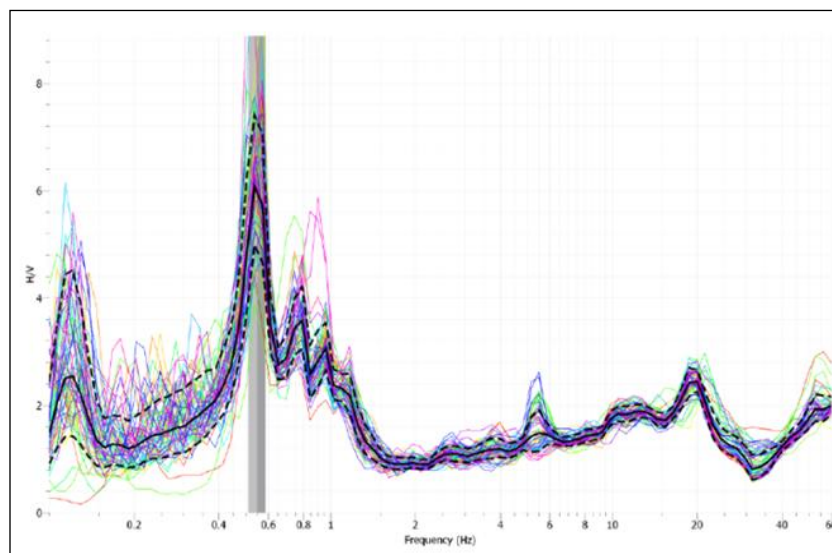


**Figura 4.23** – Modello tomografico sezione geoelettrica di Issogne.

- un primo livello superficiale molto sottile (20-30 m) costituito da ghiaie e sabbie a elevata resistività elettrica ( $\rho > 1000 \Omega.m$ , colore rosso). Tale deposito coincide con i depositi alluvionali recenti a scheletro grossolano;

- un secondo orizzonte costituito da probabili limi e sabbie limose di probabile origine “fluvio-lacustre”, caratterizzato da valori di resistività elettrica molto bassi ( $10 < \rho < 100 \Omega.m$ , colori da blu a azzurro) con lenti sub circolari a elevata resistività elettrica ( $\rho > 1000 \Omega.m$ , colore rosso) assimilabili a depositi molto grossolani (ghiaie e ciottoli di grandi dimensioni) legati agli afflussi laterali di carattere fluvio-torrentizio. Tali depositi grossolani, interdigitati nei depositi fini fluvio-lacustri, causano una marcata irregolarità stratigrafica.

Per la **prova HVSR** si è utilizzato il profilo HVSR7 (Fig. 4.24), che ha fornito un contrasto di impedenza compreso tra 0.5 e 0.6 Hz (dato medio = 0.56 Hz).



**Figura 4.24** – Prova HVSR7, riconoscimento del picco di frequenza fondamentale di risonanza del sito.



Hône (Fig. 4.25)

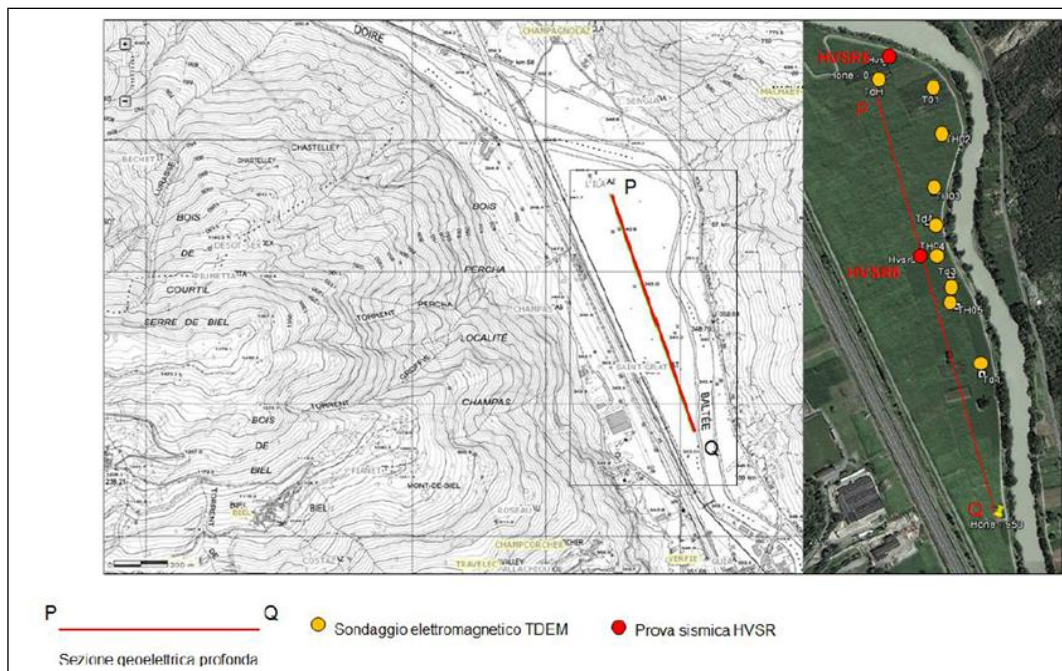


Figura 4.25 – Ubicazione prove del sito Hône.

I risultati del **modello tomografico di resistività elettrica**, riportati in Figura 4.26, evidenziano quanto segue:

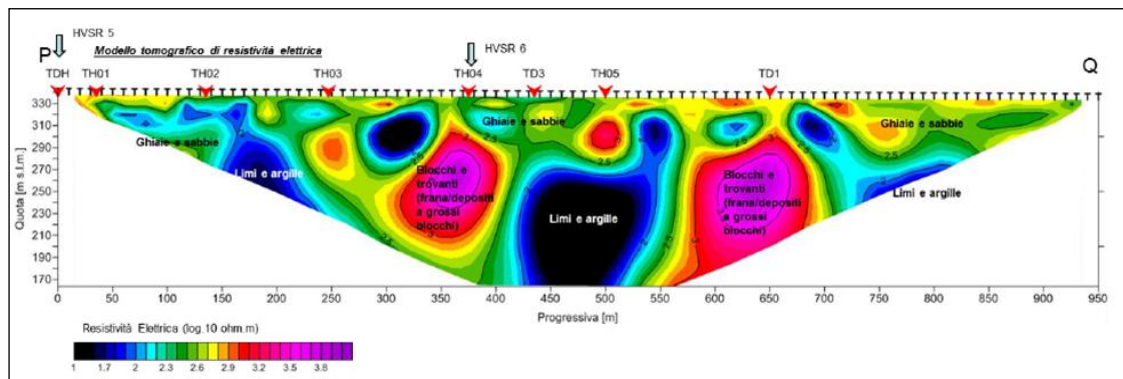
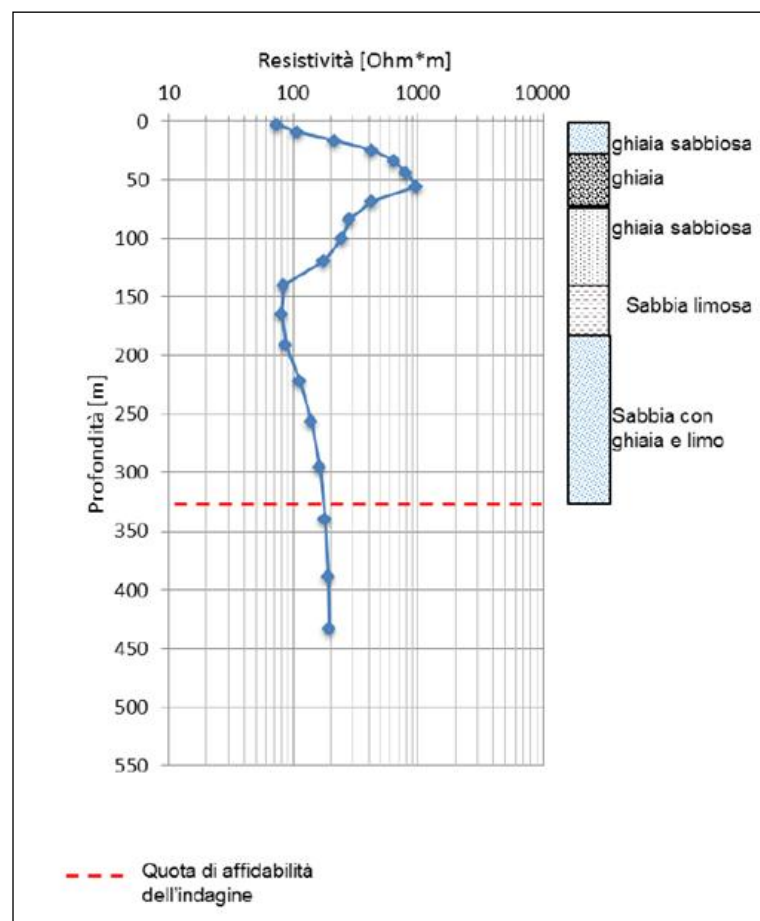


Figura 4.26 – Modello tomografico sezione geoelettrica di Hône.

- un sottile livello superficiale con ghiaie e sabbie a elevata resistività elettrica ( $\rho > 500 \Omega.m$ , colori da giallo-verde a rosso). Lo spessore dell'orizzonte superficiale è compreso tra 15 e 25 m;
- una stratificazione irregolare caratterizzata da depositi di prevalentemente limoso-argillosi a resistività elettrica bassa ( $10 < \rho < 50 \Omega.m$ , colori da blu ad azzurro), con due intercalazioni lenticolari a elevata resistività elettrica

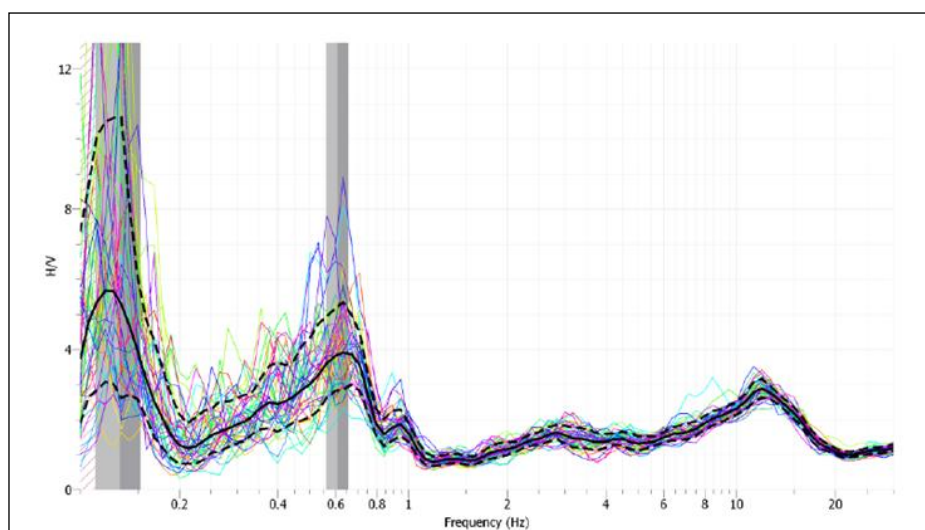
( $\rho = 1000-2000 \text{ } \Omega \cdot \text{m}$ , colore rosso) molto estese lateralmente e corrispondente con depositi a prevalente scheletro grossolano (probabili depositi di frana).

Nel sito di Hône sono stati eseguiti numerosi **sondaggi TDEM**. Il più significativo è risultato il sondaggio TH04 posizionato centralmente rispetto alla sezione geoelettrica P-Q (Fig. 4.27), in quanto ha subito un disturbo elettromagnetico minore rispetto agli altri sondaggio che sono stati fortemente limitati nella loro efficacia da tale fenomeno. Il profilo evidenzia molto bene l'esteso accumulo di detrito grossolano fino ad una profondità di almeno 100-120 m, al di sotto del quale si rileva la presenza di depositi limoso-sabbiosi e sabbioso-limosi fino alla massima profondità raggiunta (320 m). Il substrato lapideo non è stato intercettato.



**Figura 4.27** – Sondaggio TDEM, resistività in scala logaritmica.

Per la **prova HVSR** si è utilizzato il profilo HVSR6 (Fig. 4.28), che ha fornito un contrasto di impedenza compreso tra 0.58 e 0.62 Hz (dato medio = 0.6 Hz).



**Figura 4.28** – Prova HVSR6, riconoscimento del picco di frequenza fondamentale di risonanza del sito.

La **prova Re.Mi** è stata applicata unicamente su questo sito in quanto solo in questa zona si disponeva di un'ampia superficie libera (100 m di diametro) ed ha fornito il profilo di velocità riportato in Tabella 4.1.

**Tabella 4.1** – Velocità delle onde di taglio determinate con prova Re.Mi nel sito di Hône.

<b>MODELLO PROFILO Vs A 10 STRATI</b>			
<b>Strato</b>	<b>da (m)</b>	<b>a (ma)</b>	<b>Vs (m/s)</b>
<b>1</b>	0	-2.359	171.506
<b>2</b>	-2.359	-5.308	215.245
<b>3</b>	-5.308	-8.994	431.683
<b>4</b>	-8.994	-13.602	462.369
<b>5</b>	-13.602	-19.362	514.65
<b>6</b>	-19.362	-26.562	773.37
<b>7</b>	-26.562	-35.562	991.51
<b>8</b>	-35.562	-46.811	1148.649
<b>9</b>	-46.811	-60.873	1313.314
<b>10</b>	-60.873	-78.45	1428.391
<b>11</b>	-78.45	-100.422	1440.118
<b>12</b>	-100.422	-125	1514.255

Come si osserva, la velocità delle onde di taglio è decisamente elevata già a partire da circa 26 m ( $V_s = 991$  m/s) e cresce gradualmente a 1500 m/s fino a 125 m (massima profondità raggiunta). Tali valori sono caratteristici di depositi glaciali o fluvioglaciali sovra-

consolidati, la cui velocità media (velocità ponderata), secondo valori di letteratura, è pari a circa 900 m/s.

Sostituendo il dato di  $V_s$  (900 m/s) nella formula  $H = V_s/4f_0$ , per  $f_0 = 0.8$  Hz si ottiene una profondità del substrato roccioso di circa 300 m. Tale profondità non è coerente con il dato TDEM che, fino a 350 m di profondità, ha rilevato esclusivamente resistività elettriche compatibili con depositi glaciali e fluvioglaciali. Ciò indica che si tratta di un contrasto di impedenza determinato da depositi molto addensati (pseudo-litificati).

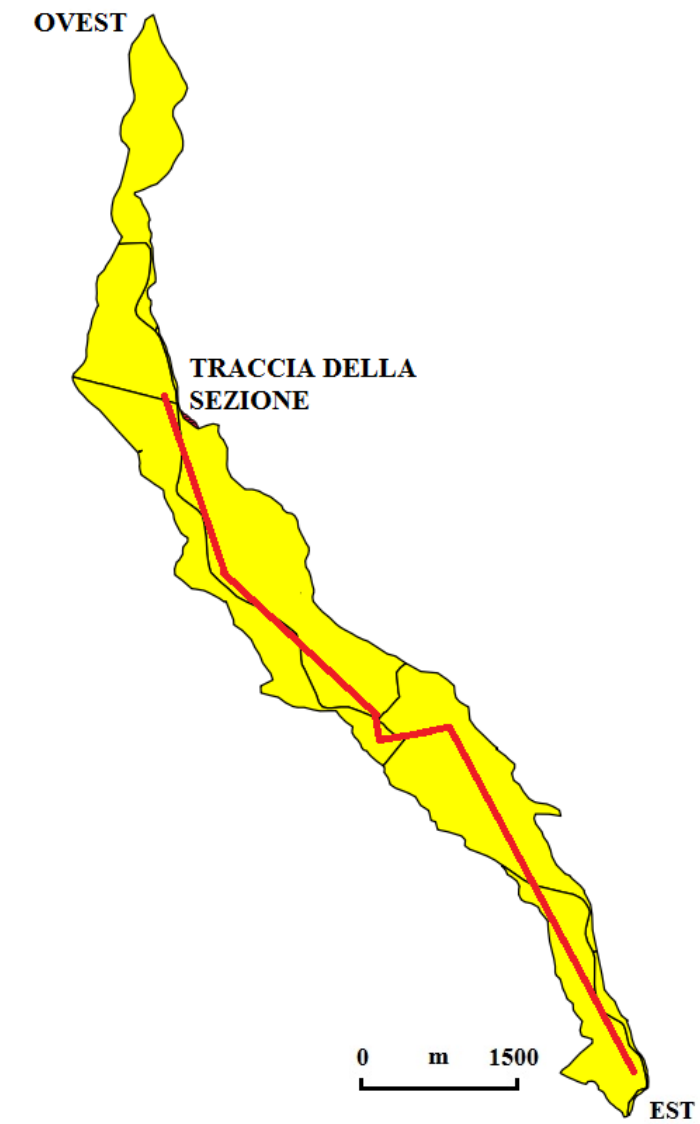
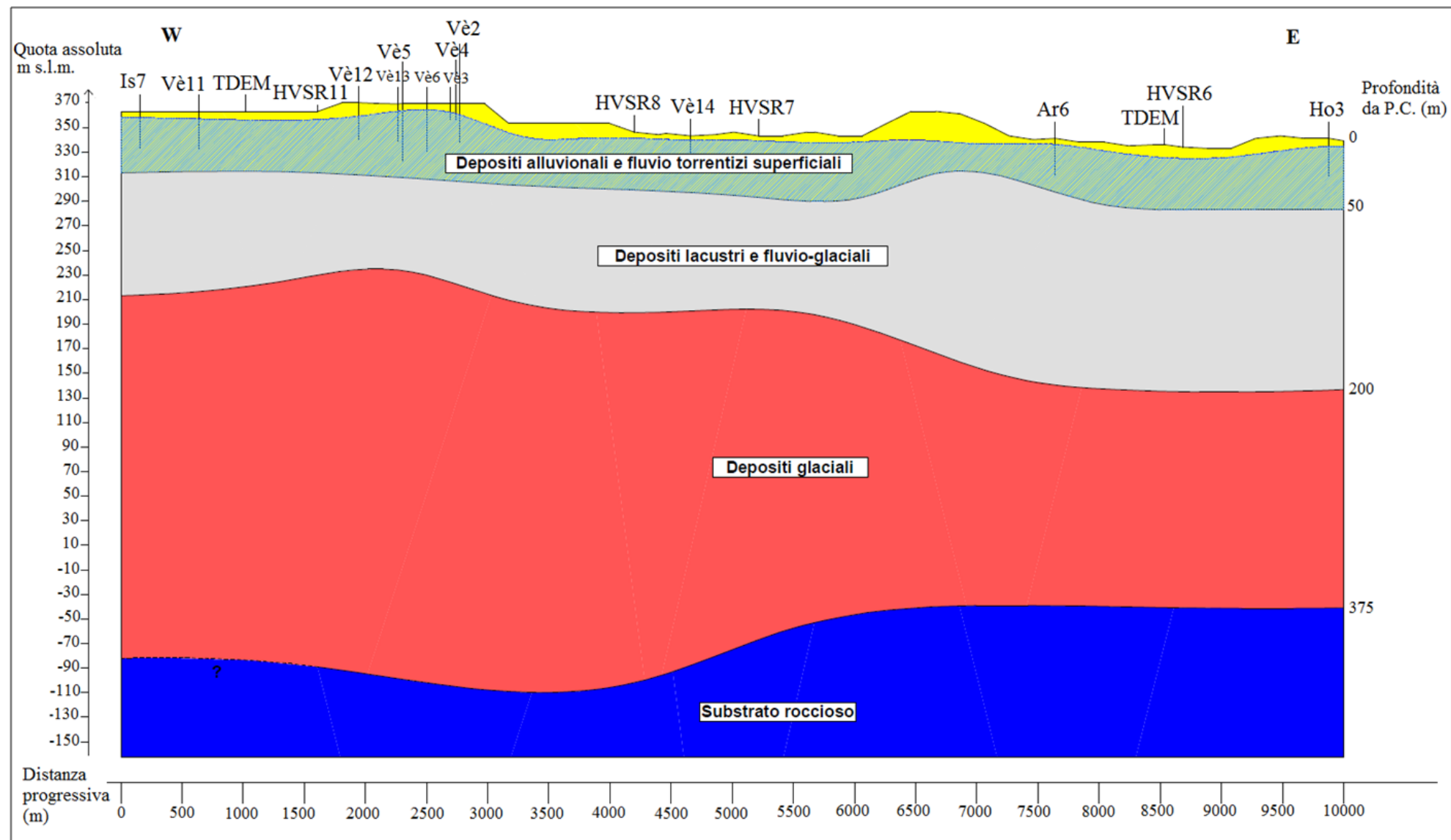
## 4.2 – Ricostruzione litostratigrafica e idrogeologica

L'esame complessivo delle stratigrafie disponibili e delle indagini geofisiche, tomografie elettriche, HVSR (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio technique*) e TDEM (*Time Domain Electromagnetic*), ha permesso di effettuare una ricostruzione litostratigrafica del sottosuolo della piana di Verrès-Issogne-Arnad (Fig. 4.29).

I primi 40-50 metri sono caratterizzati dalla presenza di depositi alluvionali e fluvio-torrentizi, composti da ghiaie e sabbie con accumuli di materiale più grossolano. Al di sotto, tra 50 e 200 metri di profondità, sono stati individuati depositi lacustri (sabbie fini e limi) interdigitati con depositi fluvio-glaciali a scheletro da mediamente a molto grossolano, derivanti da apporti torrentizi laterali o frane di crollo. Le indagini geoelettriche hanno messo in evidenza che questi depositi risultano più potenti e composti in prevalenza da materiale più fine man mano che ci si sposta verso il limite sud della piana (stretta di Hône-Bard), dove era presente lo sbarramento lacustre di Bard (paragrafo 2.5). Più in profondità è stato individuato, grazie alle indagini profonde TDEM effettuate nel sito di Verrès lato nord e a Hône, uno strato di depositi glaciali a probabile scheletro sabbioso con matrice fine, interposto tra i depositi lacustri e il substrato roccioso.

Grazie alle prove HVSR si è potuto rappresentare l'andamento del substrato roccioso che sembra essere collocato ad una profondità variabile a seconda del punto d'indagine: maggiore di 350 m nel punto HVSR11, 450 m nel punto HVSR8 , 400 m nel punto HVSR7 e 375 m nel punto HVSR6.

Dal punto di vista idrogeologico è stato possibile distinguere due tipologie di acquifero: un primo acquifero non confinato, ospitato nei depositi alluvionali e fluvio-torrentizi superficiali (primi 50 m di profondità) e, potenzialmente, un acquifero semi-confinato all'interno delle lenti ghiaiose negli orizzonti limosi intermedi e nella formazione sabbioso-ghiaiosa sottostante. Il primo acquifero è oggetto della caratterizzazione idrogeologica, quantitativa e qualitativa descritta nel paragrafo 3.4. Sul potenziale acquifero profondo, ad oggi non si dispone di alcun dato, non essendo mai stato raggiunto da alcuna perforazione né quindi sfruttato da alcun pozzo.



**Figura 4.29** – Sezione semplificata della piana di Verrès-Issogne-Arnad. Non sono rappresentati i potenziali acquiferi confinati o semiconfinati ospitati all'interno dei depositi glaciali mentre l'acquifero freatico è rappresentato da un tratteggio azzurro.

### **4.3 – Soggiacenza e piezometria della falda a superficie libera**

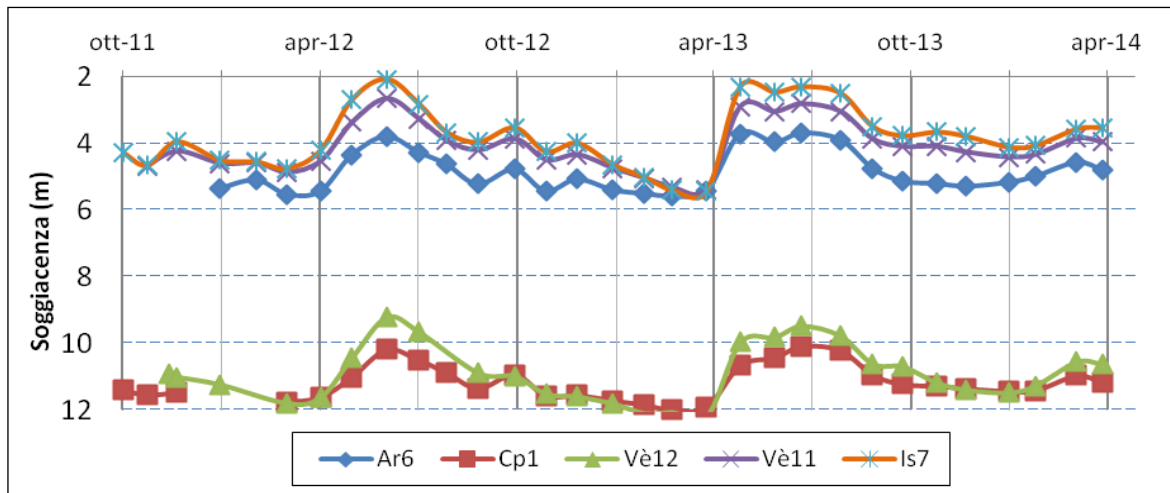
Nel presente paragrafo vengono analizzate soggiacenza e piezometria della falda a superficie libera dell'area di studio utilizzando il monitoraggio quantitativo delle acque sotterranee eseguito da ARPA Valle d'Aosta nell'ambito dei suoi compiti costituzionali e al quale ha partecipato lo scrivente nel periodo di svolgimento della tesi; esso consiste in misure di soggiacenza, effettuate con cadenza mensile tramite una rete di monitoraggio operativa dal 2005 e composta da otto punti di indagine nella piana di Verrès-Issogne-Arnad (Fig. 3.3).

Per l'analisi dello stato quantitativo delle acque sotterranee, sono state esaminate le escursioni piezometriche della falda a superficie libera, basandosi su dati pregressi. Nei diagrammi che verranno riportati di seguito sono stati considerati:

- ai fini della valutazione dell'escursione stagionale della falda, i dati di soggiacenza di 5 piezometri realizzati da Italferr per i quali si dispone di circa 2 anni e mezzo di misure nonché le misure acquisite in continuo per circa due anni, con cadenza giornaliera, da una sonda con *datalogger* installata all'interno del piezometro Vè3 (cfr ubicazione dei punti di misura in Figura 3.3) che, oltre alla soggiacenza, misurava anche la temperatura dell'acqua di falda;
- ai fini della valutazione dell'escursione extra-stagionale della falda, i dati di soggiacenza dei punti di misura (pozzi) Vè1 e Vè6 nel comune di Verrès per i quali si dispone di una serie storica significativa (nove anni). Entrambi i pozzi sono ubicati sul conoide del T. Evançon, Vè1 nella parte alta, mentre Vè6 nel settore più distale, all'interno del polo industriale e nelle vicinanze del F. Dora Baltea.

#### ***4.3.1 - Escursioni stagionali della falda***

Per ottenere una maggiore copertura dell'area d'indagine si sono presi in esame i cinque piezometri realizzati nel 2011 da Italferr (Cp1, Is7, Vè11, Vè12, Ar6) di cui si dispone di una serie storica di due anni e mezzo. Nella Figura 4.30 vengono rappresentati i dati delle misure manuali, con cadenza mensile, della soggiacenza nel periodo compreso tra ottobre 2011 e aprile 2014.

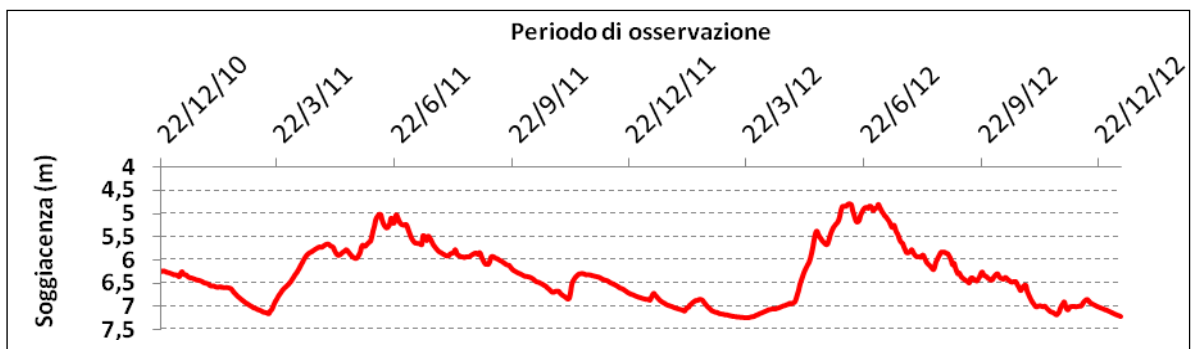


**Figura 4.30** – Andamento della soggiacenza misurata nei piezometri Italferr nel periodo compreso tra ottobre 2011 e aprile 2014 (misure manuali mensili).

Il diagramma mette in evidenza che:

- c'è una certa regolarità nelle variazioni stagionali del livello piezometrico, caratterizzato da un massimo innalzamento nel mese di giugno e da un minimo abbassamento nei mesi di marzo e aprile;
- l'escursione stagionale è di circa 2-3 m in ogni piezometro.

Per un'indagine più dettagliata si sono considerate anche le misure rilevate in automatico per due anni (da dicembre 2010 a dicembre 2012) con cadenza giornaliera, da una sonda con *datalogger* installata all'interno del piezometro Vè3, che acquisisce assieme alla soggiacenza la temperatura della falda. Di seguito viene riportato l'andamento della soggiacenza in questo intervallo di tempo (Fig. 4.31).

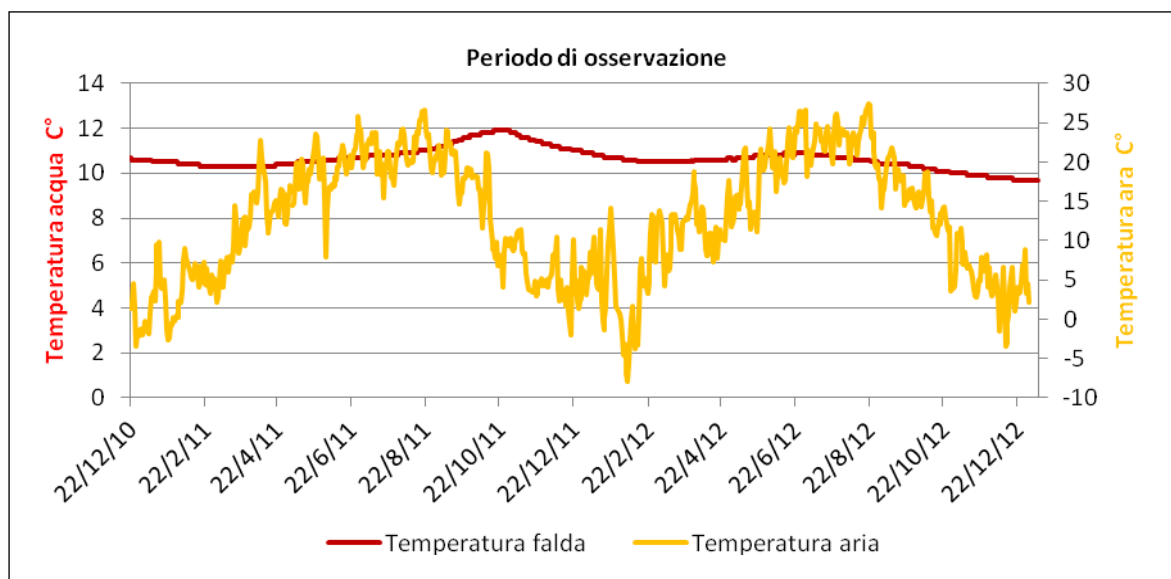


**Figura 4.31** – Andamento della soggiacenza misurata nel piezometro Vè3 nel periodo compreso tra il 22 dicembre 2010 e il 22 dicembre 2012 (dati *datalogger* con cadenza giornaliera).



L'andamento delle misure giornaliere conferma quello delle misure mensili in quanto sia il massimo innalzamento (giugno) che il massimo abbassamento (marzo e aprile) cadono nello stesso periodo.

Di seguito è stata correlata la temperatura dell'acqua di falda (dati *datalogger* del piezometro Vè3) con la temperatura dell'aria registrata alla stazione di Verrès capoluogo (Fig. 4.32).



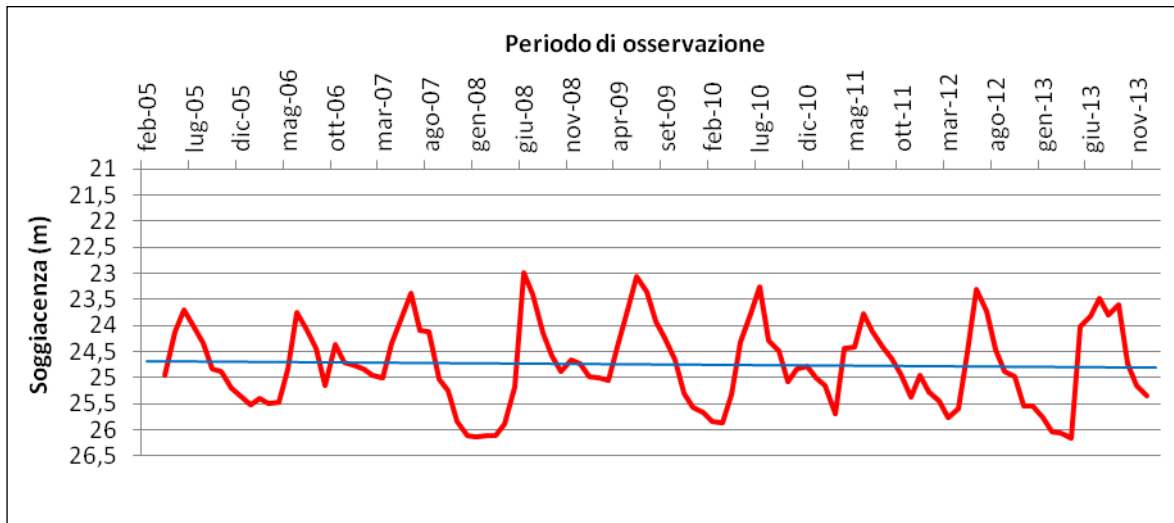
**Figura 4.32** – Correlazione tra la temperatura della falda e la temperatura dell'aria nel periodo compreso tra il 22 dicembre 2010 e il 22 dicembre 2012 (cadenza giornaliera).

Dal diagramma si osserva che l'andamento della temperatura della falda ha un'escursione minima nell'arco dell'anno con una variazione di pochi gradi centigradi (circa 2 – 3°C). Inoltre si nota che la massima temperatura in falda non si registra nei mesi estivi, in quanto in questo periodo la falda risente dell'alimentazione da parte del reticolo idrografico superficiale che ha una temperatura minore, dovuta alla fusioni delle nevi.

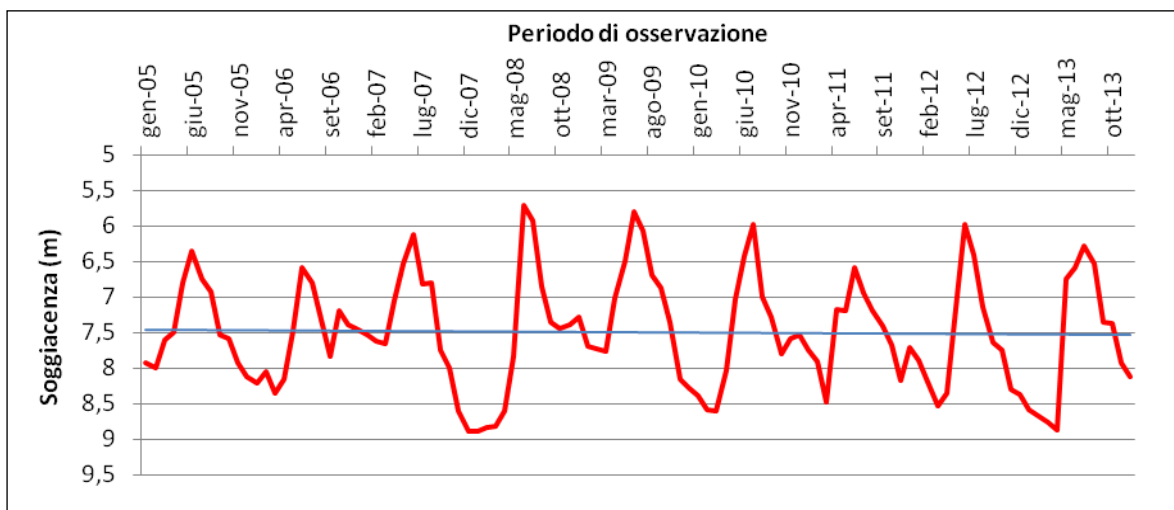
#### **4.3.2 - Escursioni pluriennali della falda**

Di seguito vengono riportate tramite diagrammi i dati della soggiacenza del punto di misura Vè1 e del punto di misura Vè6 che derivano dall'elaborazione di misure mensili effettuate con sondino piezometrico. Si precisa che, per misurare il livello statico, prima di ogni misura i due pozzi vengono spenti.

Per ogni punto sono stati effettuati grafici relativi alle variazioni a scala pluriennale della soggiacenza nel periodo compreso tra il 2005 e il 2013 (Fig. 4.33-4.34), dove viene evidenziata la linea di tendenza (regressione lineare).



**Figura 4.33** – Andamento pluriennale della soggiacenza misurata in corrispondenza del punto di misura Vè1 nel periodo 2005 – 2013.



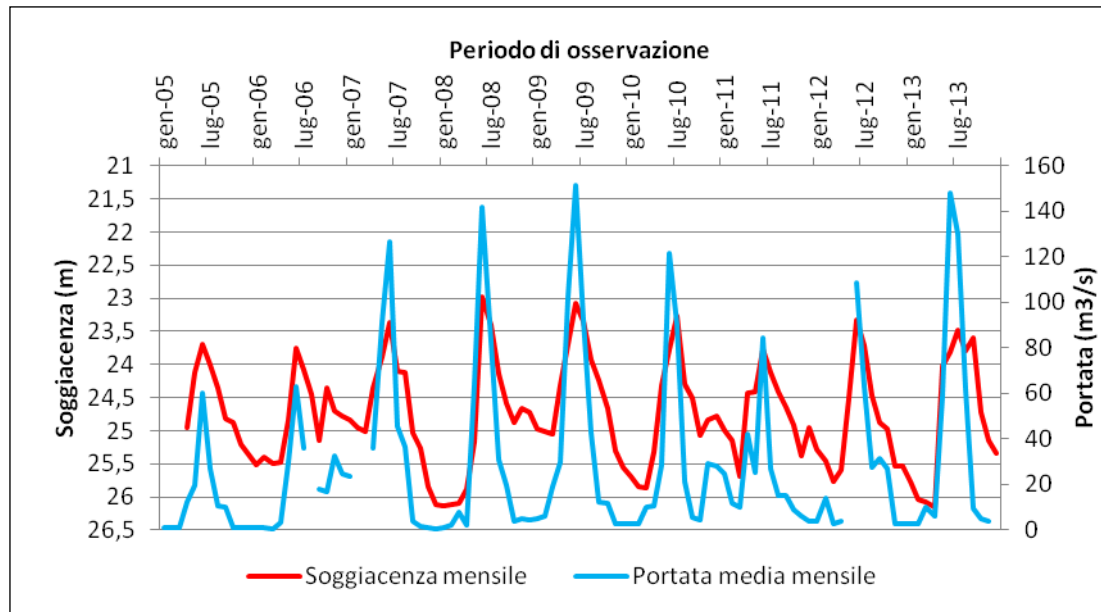
**Figura 4.34** – Andamento pluriennale della soggiacenza misurata in corrispondenza del punto di misura Vè6 nel periodo 2005 – 2013.

Osservando i grafici, si nota che le variazioni stagionali del livello piezometrico hanno un andamento ciclico molto regolare caratterizzato, analogamente a quanto visto nei piezometri Italferr (Fig. 4.30), da un massimo e da un minimo annuale; sia per il pozzo Vè1 (periodo da aprile 2005 a dicembre 2013) che per il pozzo Vè6 (periodo compreso tra gennaio 2005 e dicembre 2013) il massimo abbassamento stagionale avviene tra marzo e aprile, il massimo innalzamento stagionale si ha a giugno.

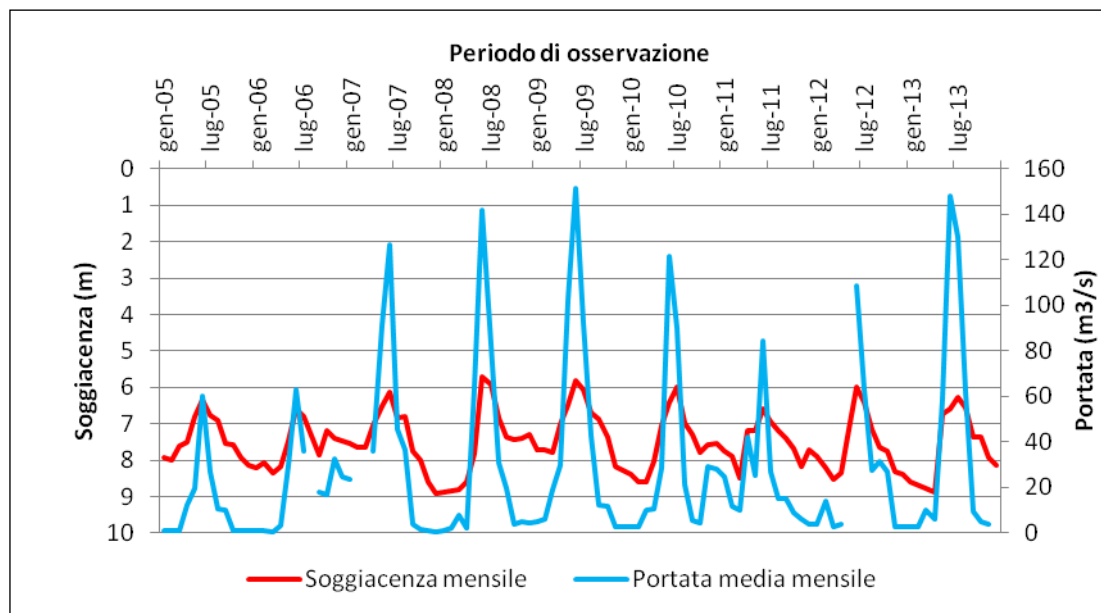
Il *trend* pluriennale è stabile, come si osserva dalla regressione lineare evidenziata nelle Figure 4.33 e 4.34, ad indicare che, per il periodo considerato, non si rileva un sovrasfruttamento della risorsa idrica sotterranea.

### 4.3.3 - Correlazione soggiacenza – portate dei corsi d'acqua

Di seguito viene esaminata la correlazione tra le variazioni piezometriche dei pozzi Vè1 e Vè6 con la portata del F. Dora Baltea registrata con cadenza oraria all'idrometro di Champdepraz (loc. Fabrique) per un periodo corrispondente a quello di monitoraggio della falda (2005-2013). I diagrammi si riferiscono all'intera serie storica disponibile (Fig. 4.35 e 4.36).



**Figura 4.35** – Correlazione tra la soggiacenza del punto di misura Vè1 e le portate del F. Dora Baltea registrate all'idrometro di Champdepraz nel periodo 2005 – 2013.

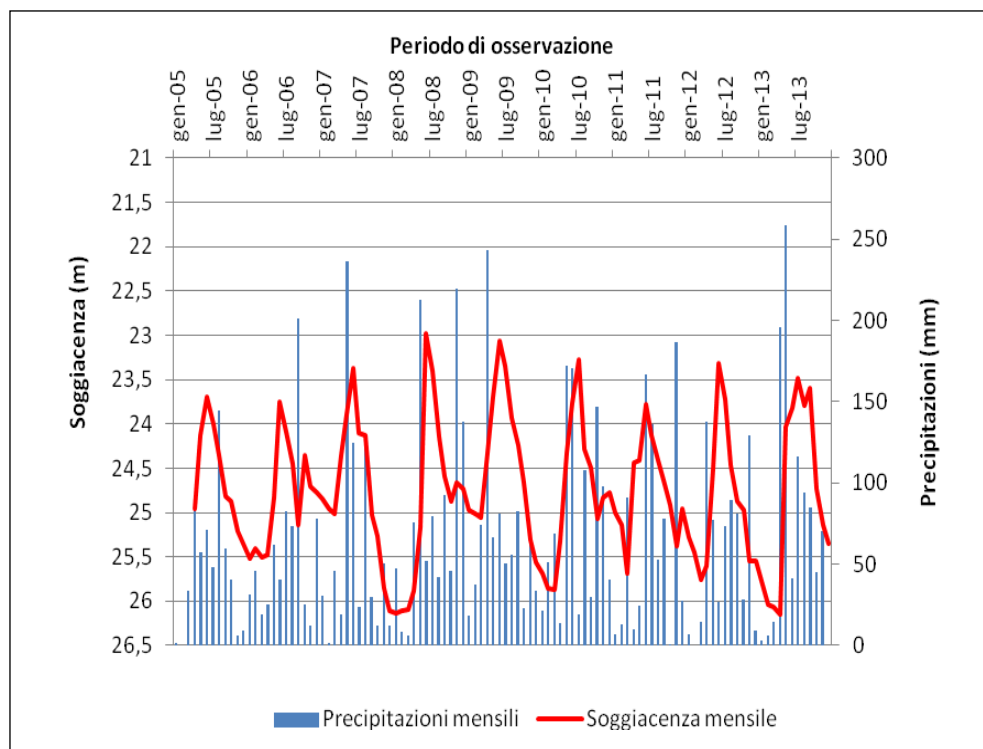


**Figura 4.36** – Correlazione tra la soggiacenza del punto di misura Vè6 e le portate del F. Dora Baltea registrate all'idrometro di Champdepraz nel periodo 2005 – 2013.

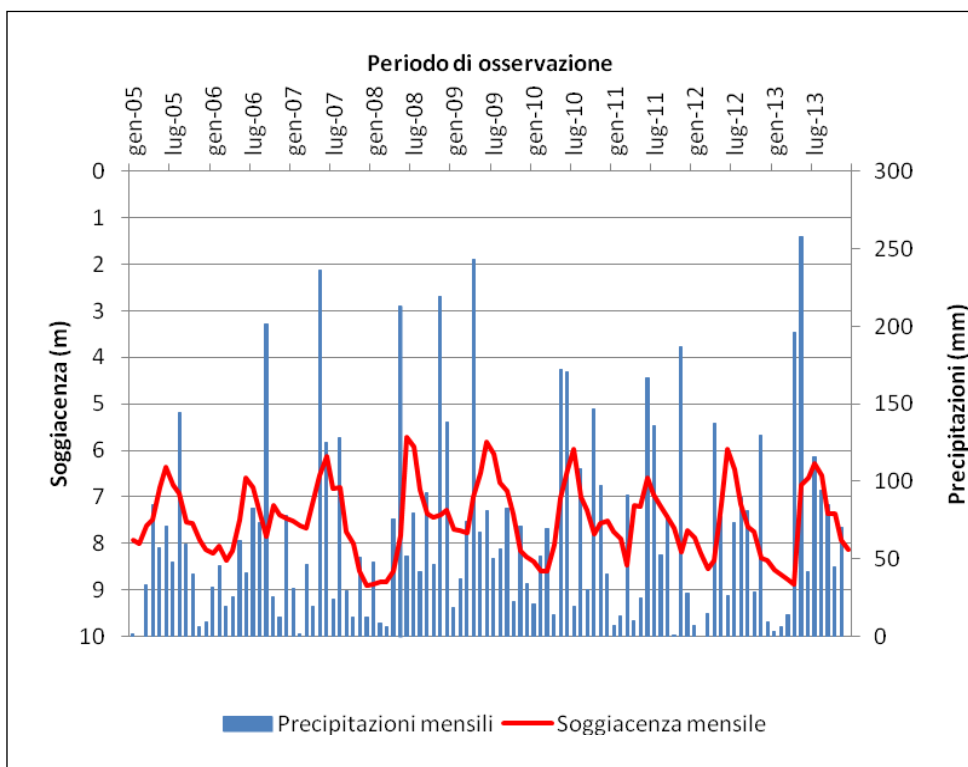
Le misure di soggiacenza variano in modo regolare con il variare della portata del F. Dora Baltea, infatti si ha un aumento della soggiacenza (marzo-aprile) con il diminuire del deflusso superficiale e un abbassamento (giugno) con l'aumentare del deflusso superficiale anche se con tempi di risposta differenti.

#### 4.3.4 - Correlazione soggiacenza – precipitazioni

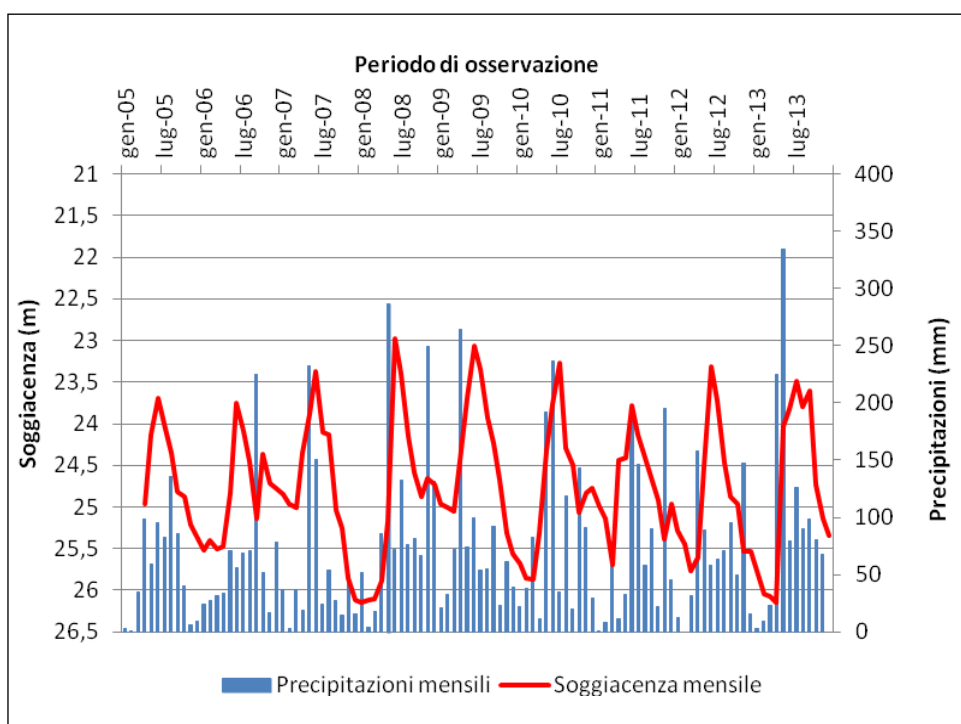
Per quanto riguarda la correlazione tra la soggiacenza e le precipitazioni, si sono tenute in considerazione le precipitazioni registrate nei pluviometri della stazione di Verrès capoluogo e della stazione di Chevrère nel comune di Champdepraz a 1200 m s.l.m. nel periodo corrispondente al periodo di monitoraggio della falda (2005-2013). Anche in questo caso, sono state elaborate rappresentazioni grafiche relative all'intero periodo di monitoraggio della falda (Fig. 4.37-4.38-4.39-4.40).



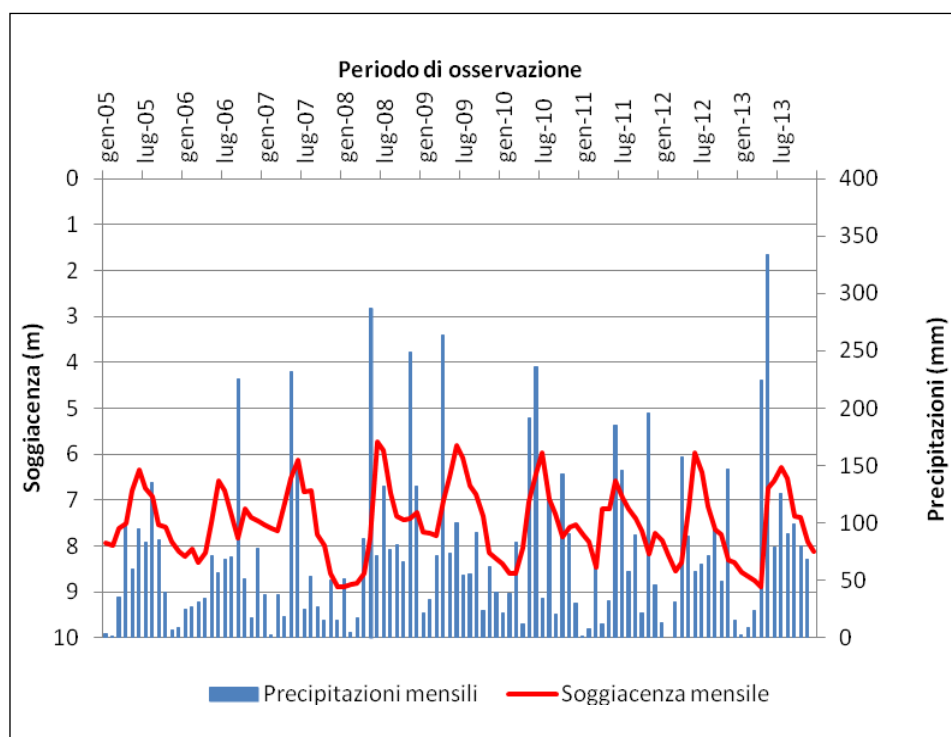
**Figura 4.37** – Correlazione tra la soggiacenza del punto di misura Vè1 e le precipitazioni di Verrès nel periodo 2005 – 2013.



**Figura 4.38** – Correlazione tra la soggiacenza del punto di misura Vè6 e le precipitazioni di Verrès nel periodo 2005 – 2013.



**Figura 4.39** – Correlazione tra la soggiacenza del punto di misura Vè1 e le precipitazioni di Chevrère frazione del comune di Champdepraz 1200 m s.l.m; periodo di osservazione 2005 – 2013.

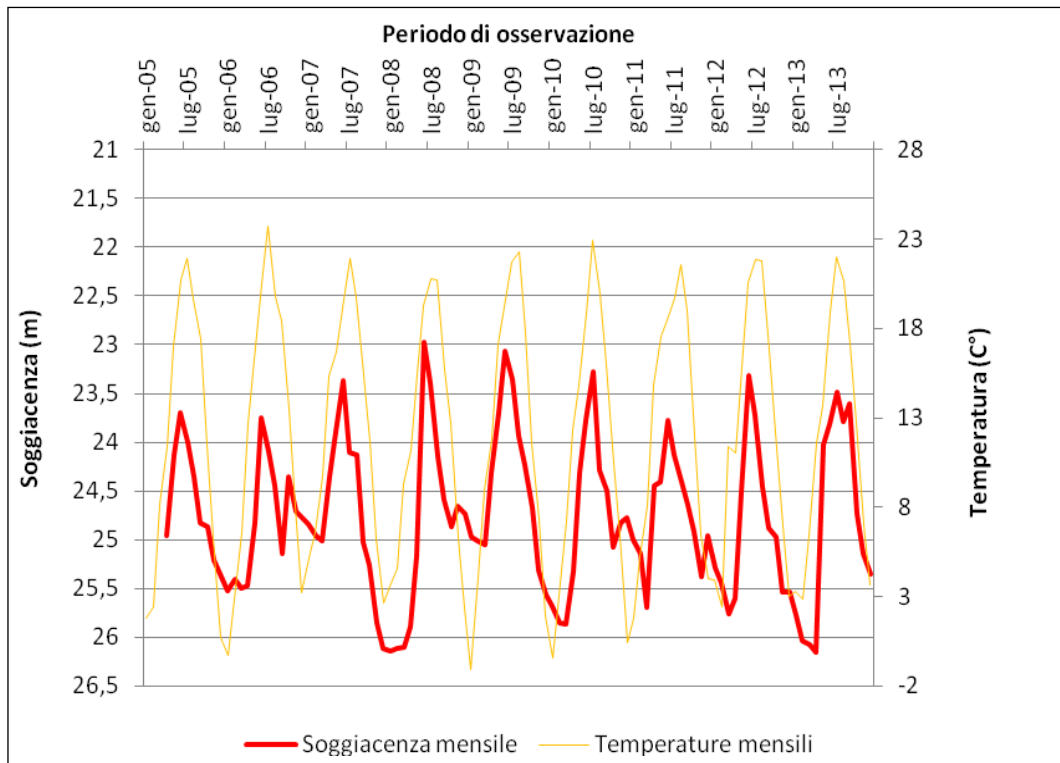


**Figura 4.40** – Correlazione tra la soggiacenza del punto di misura Vè6 e le precipitazioni di Chevrère frazione del comune di Champdepraz 1200 m s.l.m; periodo di osservazione 2005 – 2013.

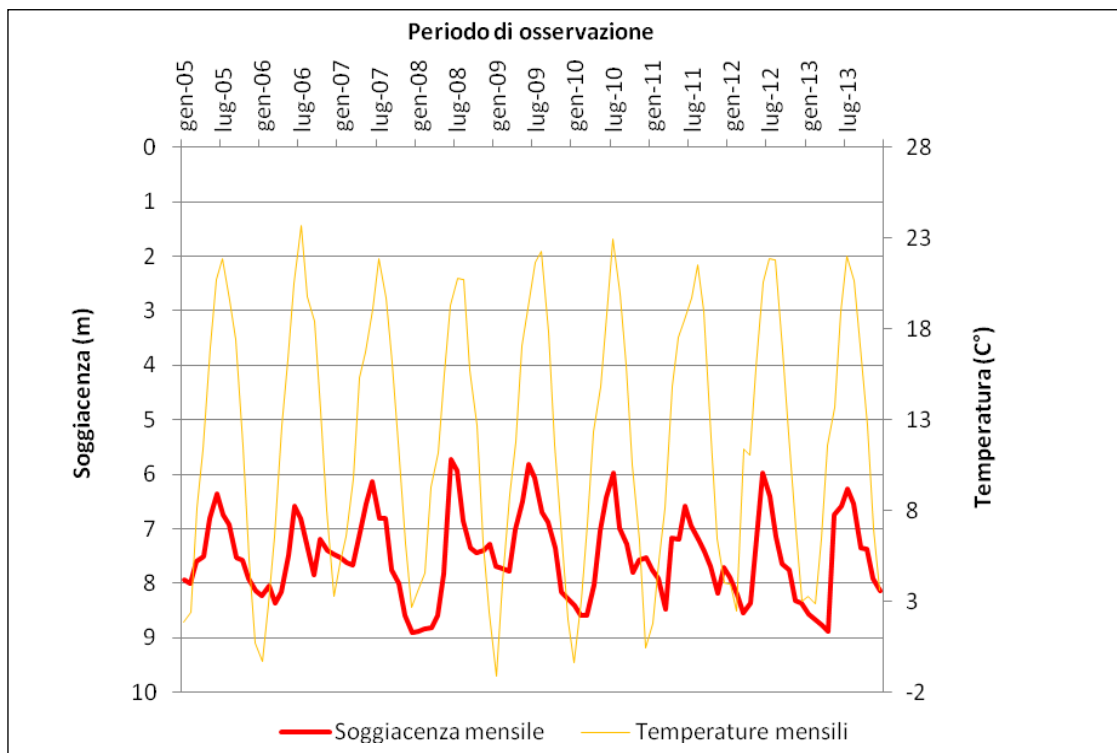
Come si è visto nel paragrafo 2.3, le precipitazioni non sono caratterizzate da una particolare regolarità nel corso dell’anno. Esse sono più frequenti in primavera, dove maggio risulta essere il mese più piovoso, mentre il periodo più secco è rappresentato dai primi mesi dell’anno. Pertanto non incidono in maniera significativa sull’innalzamento del livello piezometrico che ha un andamento ciclico regolare. Tuttavia precipitazioni più copiose nei mesi invernali permettono un maggior accumulo di neve in quota e, di conseguenza, una ricarica maggiore dell’acquifero in estate.

#### **4.3.5 - Correlazione soggiacenza – temperatura dell’aria**

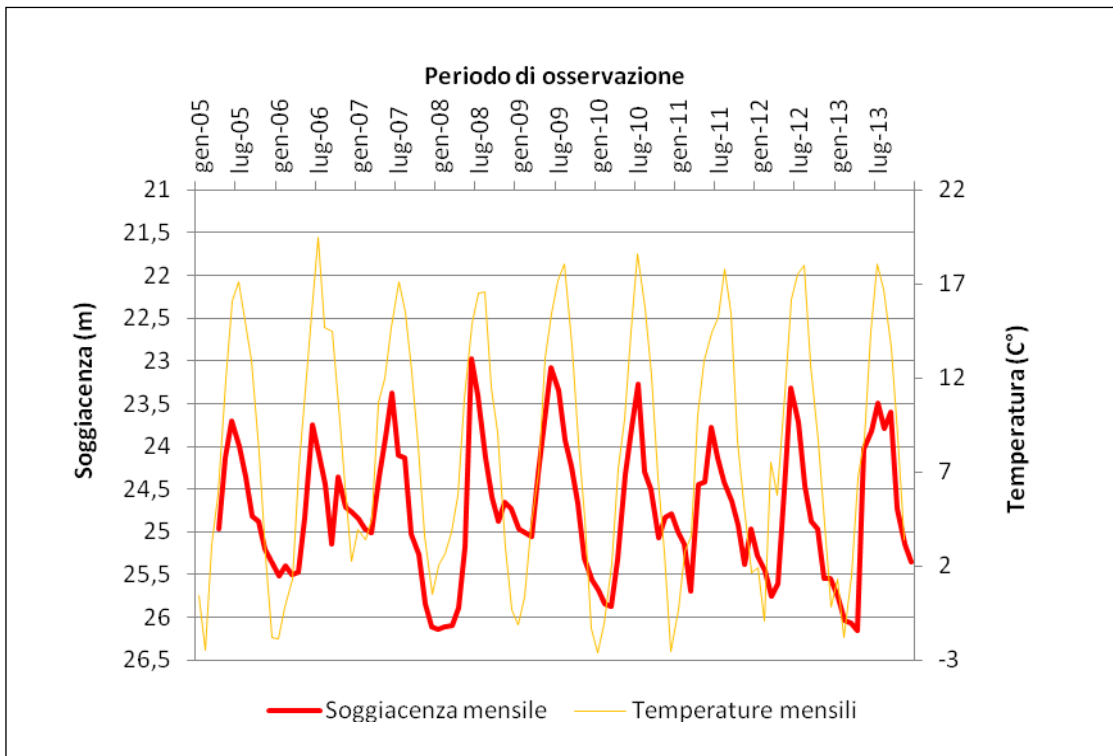
Come nella correlazione precedente, anche per le temperature si sono tenuti in considerazione i dati registrati alla stazione di Verrès capoluogo e della stazione di Chevrère nel comune di Champdepraz a 1200 m s.l.m. nel periodo corrispondente al periodo di monitoraggio della falda (2005-2013). Di seguito sono riportate le rappresentazioni grafiche dell’intero periodo di monitoraggio della falda (Fig. 4.41-4.42-4.43-4.44).



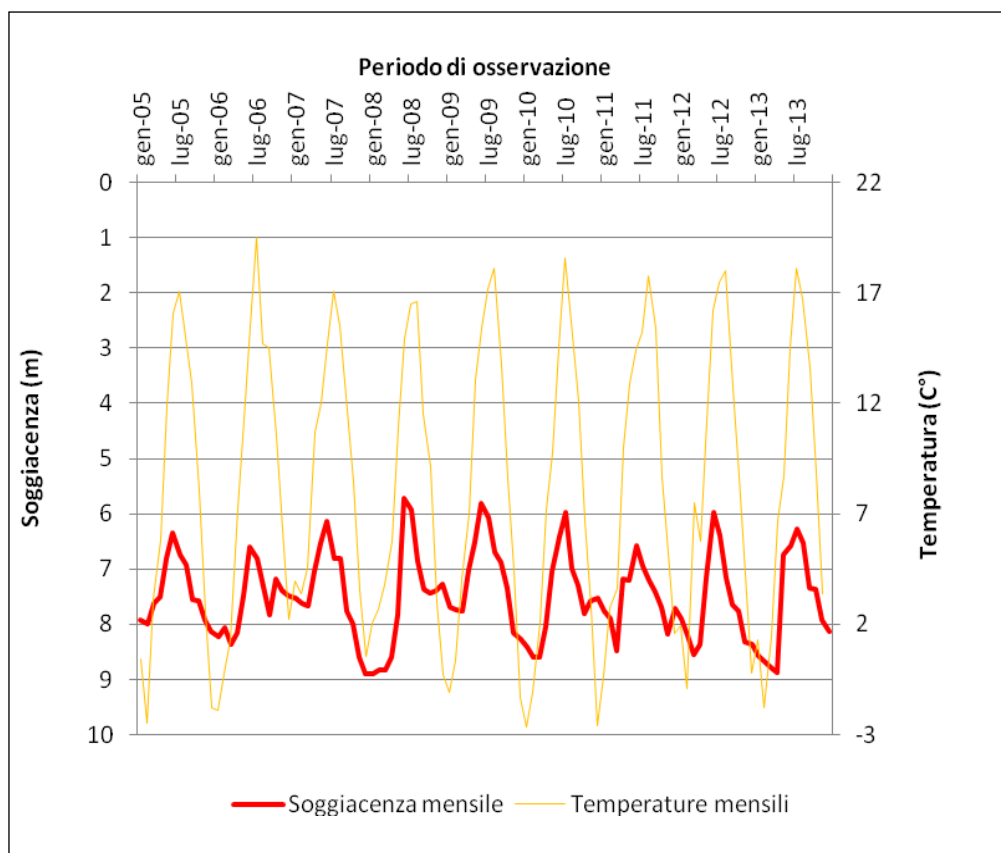
**Figura 4.41** – Correlazione tra la soggiacenza del punto di misura Vè1 e le temperature di Verrès nel periodo 2005 – 2013.



**Figura 4.42** – Correlazione tra la soggiacenza del punto di misura Vè6 e le temperature di Verrès nel periodo 2005 – 2013.



**Figura 4.43** – Correlazione tra la soggiacenza del punto di misura Vè1 e le temperature di Chevrère frazione del comune di Champdepraz 1200 m s.l.m; periodo di osservazione 2005 – 2013.



**Figura 4.44** – Correlazione tra la soggiacenza del punto di misura Vè6 e le temperature di Chevrère frazione del comune di Champdepraz 1200 m s.l.m; periodo di osservazione 2005 – 2013.



Le temperature hanno un andamento estremamente regolare con un massimo nella stagione estiva e un minimo in quella invernale, come si è visto nel paragrafo 2.3, e sono correlate alle escursione del livello piezometrico in quanto un innalzamento della temperatura corrisponde ad un innalzamento della falda. Importante è l'aumento della temperatura in quota che causa, a partire dal mese di maggio, un incremento della fusione delle nevi che si sono accumulate nel corso dell'inverno. Questo fenomeno, di conseguenza, comporta dapprima un aumento della portata d'acqua e successivamente un innalzamento della falda freatica. Nel fondovalle le precipitazioni sono prevalentemente allo stato liquido e se sono abbondanti possono andare direttamente ad alimentare l'acquifero. Tutto ciò dimostra che le temperature sono il principale fattore che influenza le variazioni piezometriche della falda.

#### **4.3.6 - Campagna di misure piezometriche**

Il 10 gennaio 2014, sul territorio della piana di Verrès-Issogne-Arnad, è stata svolta dallo scrivente una campagna piezometrica in collaborazione con Arpa Valle d'Aosta. Nei piezometri, e nei pozzi idonei al monitoraggio quantitativo, è stata misurata la soggiacenza della falda, cioè la distanza dalla superficie piezometrica al piano campagna. I dati ottenuti sono riportati in Tabella 4.2.

**Tabella 4.2** – Caratteristiche tecniche dei punti di monitoraggio e misure effettuate nella campagna piezometrica del 10/01/2014.

<b>Cod. ARPA</b>	<b>Soggiacenza (m)</b>	<b>Livello Piezometrico (m s.l.m.)</b>	<b>Cod. ARPA</b>	<b>Soggiacenza (m)</b>	<b>Livello Piezometrico (m s.l.m.)</b>
<b>Ar2</b>	4,79	346,48	<b>Is3</b>	5,96	363,45
<b>Ar3</b>	4,73	345,76	<b>Is6</b>	7,43	360,67
<b>Ar4</b>	6,47	346,71	<b>Vè1</b>	25,40	356,86
<b>Ar6</b>	5,17	340,59	<b>Vè3</b>	6,90	357,49
<b>Cp1</b>	11,44	369,48	<b>Vè6</b>	8,20	356,91
<b>Vè12</b>	11,48	357,28	<b>Vè14</b>	3,48	348,90
<b>Is7</b>	4,12	363,14	<b>Vè11</b>	4,42	361,50
<b>Is4</b>	23,58	411,08	<b>Vè13</b>	9,31	353,89
<b>Is5</b>	12,47	363,47			

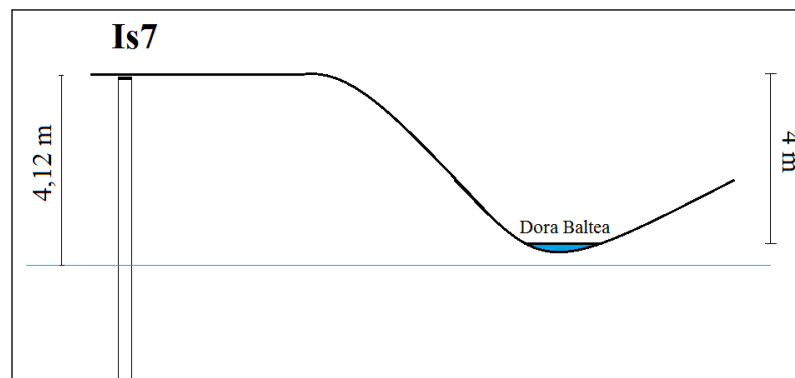
Le misure sono rappresentate nella carta della soggiacenza di Figura 3.3, mentre la loro elaborazione ha permesso di ricostruire la carta delle isofreatiche di Figura 4.49.

#### 4.3.7 Rapporti tra acque sotterranee e superficiali

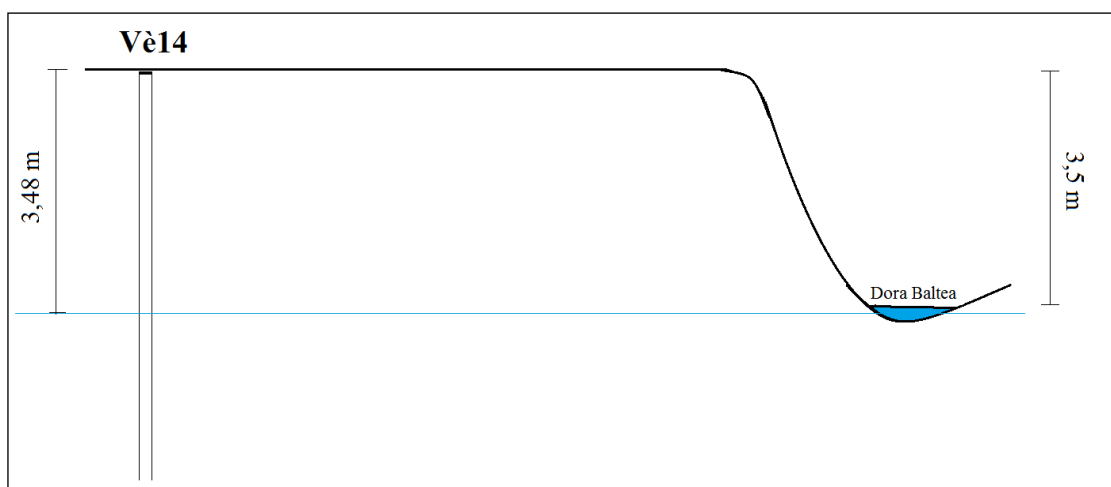
Per analizzare la correlazione tra le acque sotterranee e quelle superficiali, si sono presi in considerazione quattro piezometri (ubicazione in Figura 3.3) di cui tre nelle vicinanze del F. Dora Baltea (Is7, Vè14 e Ar6) e uno nei pressi del T. Evançon (Vè12). Le misure necessarie per la realizzazione delle Figure 4.45, 4.46, 4.47 e 4.48 sono state effettuate in campo dallo scrivente con freatimetro per quanto riguarda la soggiacenza e con rondella metrica per le distanze. Si specifica che nel periodo preso in considerazione (gennaio 2014) il livello della falda risulta essere basso, come osservato precedentemente nel paragrafo 4.3.2.

Sono emerse due situazioni differenti:

1. una di equilibrio, quando la falda soggiacente e il corpo idrico superficiale sono circa alla stessa quota e di conseguenza tra essi non avvengono scambi idrici significativi (Figg. 4.45 e 4.46);

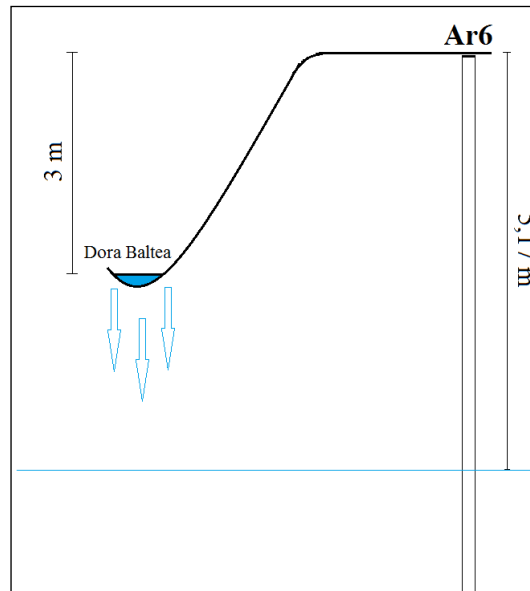


**Figura 4.45** – Falda e corso d'acqua nei pressi del piezometro Is7 sono in equilibrio (circa allo stesso livello); rappresentazione non in scala.

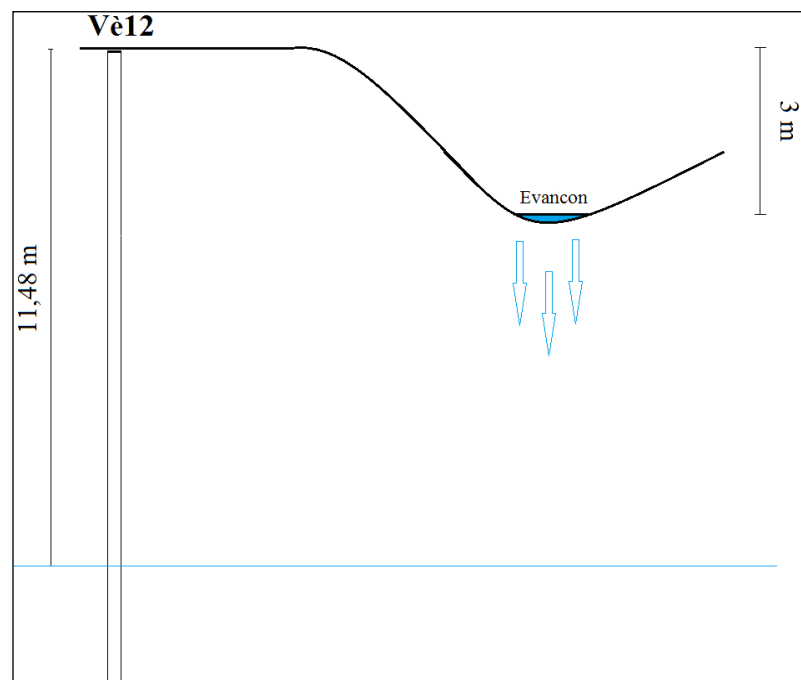


**Figura 4.46** – Falda e corso d'acqua nei pressi del piezometro Vè14 sono in equilibrio (circa allo stesso livello); rappresentazione non in scala.

2. l'altra con alimentazione diretta della falda da parte del corso d'acqua, quando la quota della falda risulta inferiore a quella del corpo idrico superficiale (Fig. 4.47 e 4.48).



**Figura 4.47** – Falda alimentata dal F. Dora Baltea nei pressi del piezometro Ar6; rappresentazione non in scala.

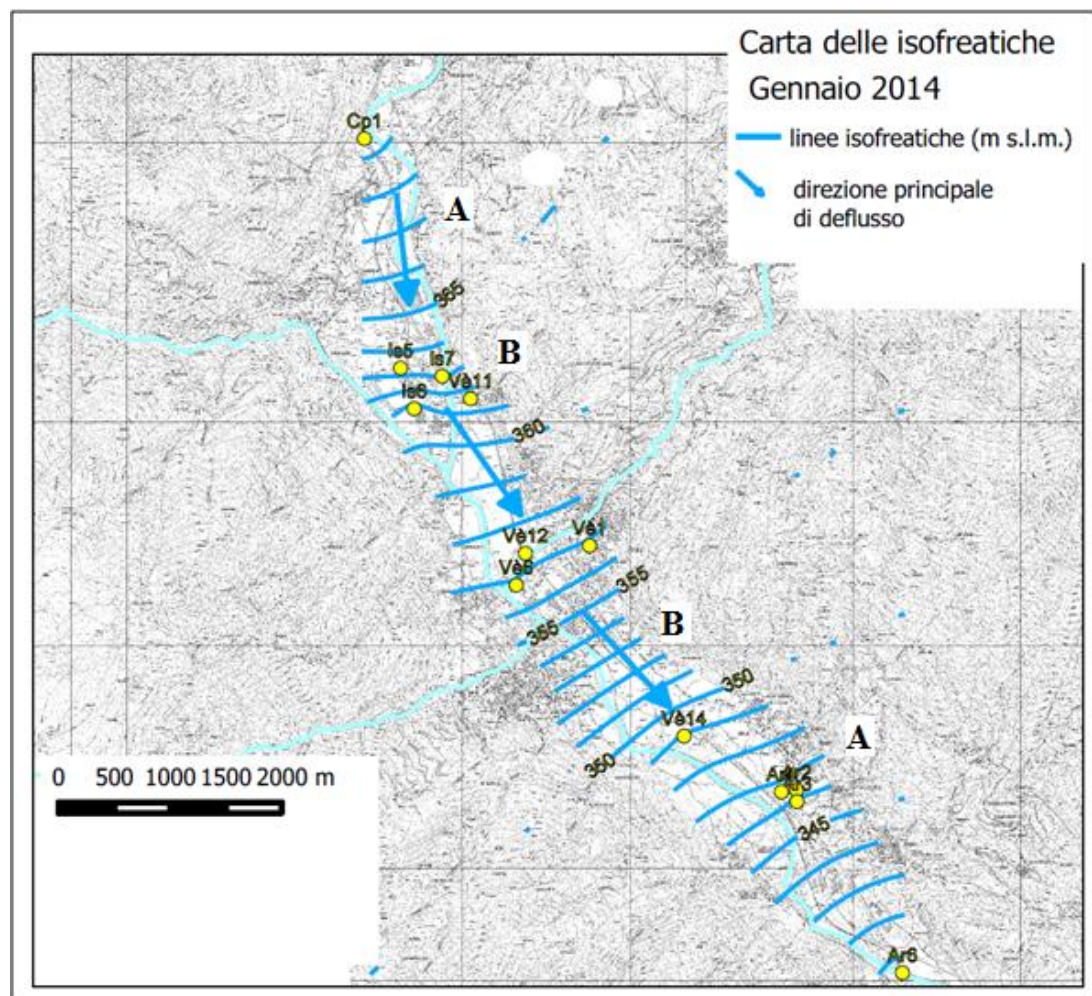


**Figura 4.48** – Falda alimentata dal T. Evançon nei pressi del piezometro Vè12; rappresentazione non in scala.

Nel periodo estivo, pur non disponendo di misure dirette, è ipotizzabile che i rapporti tra le acque sotterranee e quelle superficiali siano gli stessi del periodo invernale, dal momento che si riscontra un innalzamento del pelo libero del corso d'acqua di circa 2 m dovuto all'aumento della portata e un innalzamento del livello della falda inferiore a 2 m.

#### 4.3.8 Carta piezometrica relativa a gennaio 2014

In Figura 4.49 viene riportata la carta piezometrica della piana di Verrès-Issogne-Arnad, relativa a gennaio 2014.



**Figura 4.49** – Carta piezometrica della piana di Verrès-Issogne-Arnad relativa a gennaio 2014 (elaborazione ARPA).

Le linee rappresentate sulla carta delle isopiezometriche (isopieze o isopiezometriche) rappresentano il luogo dei punti aventi la stessa quota di livello piezometrico. Sulla carta sono state tracciate sia le isopieze sia le linee di flusso ad esse perpendicolari. La penuria

dei dati, distribuiti peraltro in modo disomogeneo, consente di fornire una rappresentazione a piccola scala e di delineare un andamento delle acque sotterranee da NW a SE, parallelo a quello del tratto di fondovalle studiato. Il valore medio del gradiente idraulico:

$$i = \Delta h / \Delta L$$

dove:

$\Delta h$  = differenza di quota piezometrica tra due isopieze;

$\Delta L$  = lunghezza della linea di flusso tra le stesse.

Per la piana di Verrès-Issogne-Arnad risulta essere di 0,005. Più in particolare, si possono distinguere due settori:

1. uno dove le isopiezometriche sono più distanziate (A) con gradiente idraulico pari a 0,003;
2. uno dove le isopiezometriche sono più vicine (B) con gradiente idraulico pari a 0,007.

#### 4.4 – Idrochimica e qualità delle acque

In questo paragrafo verrà analizzato l'aspetto qualitativo delle acque superficiali e sotterranee dell'area di studio, con le relative rappresentazioni grafiche. Per l'analisi qualitativa delle acque superficiali, sono stati prelevati n. 4 campioni dal F. Dora Baltea, n. 1 dal T. Chalamy e n. 1 dal T. Evançon. Successivamente le acque sono state analizzate presso i Laboratori di Idrochimica del Dipartimento di Scienze della Terra - Università degli Studi di Torino. Il prelievo dei campioni di falda è stato eseguito a cadenza semestrale in collaborazione con ARPA Valle d'Aosta nei cinque punti di indagine qualitativa (rete di monitoraggio operativa dal 2005) rappresentati in Figura 3.4. Le analisi chimiche di questi campioni sono state eseguite dal Laboratorio Chimico, Biologico e Microbiologico di ARPA Valle d'Aosta.

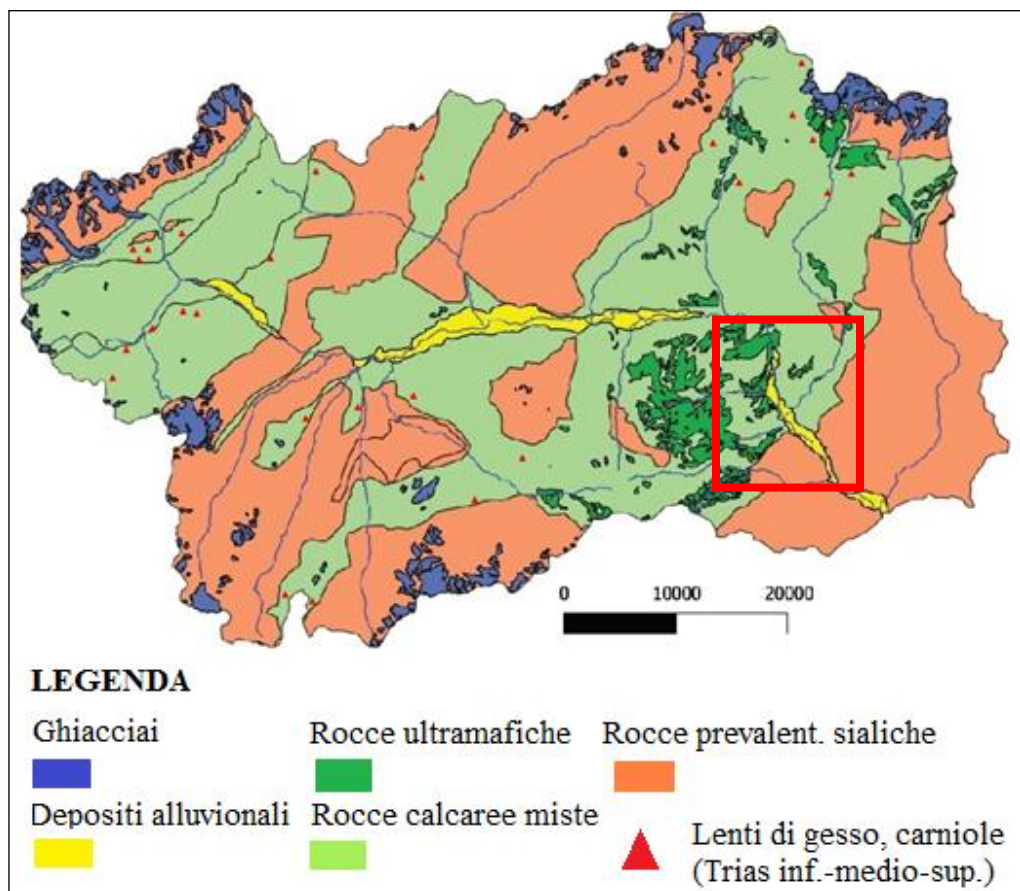
##### 4.4.1 Principali ioni presenti nelle acque

Prendiamo in considerazione i singoli ioni maggiori presenti nelle acque,  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{--}$ ,  $\text{NO}_3^-$  e risaliamo alla loro origine litologica (MASCIOCCO, 2012):

- $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$ : derivano da rocce carbonatiche (calcari rilasciano  $\text{Ca}^{++}$ ; dolomie  $\text{Ca}^{++}$  e  $\text{Mg}^{++}$ ) e da rocce evaporitiche gessose quali gessi e anidridi ( $\text{Ca}^{++}$ ) o saline ( $\text{Mg}^{++}$ ) e in minore quantità da rocce silicatiche tramite minerali quali anortite ( $\text{Ca}^{++}$ ) o olivina ( $\text{Mg}^{++}$ );
- $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ : derivano in quantità modesta, dalla dissoluzione di rocce silicatiche che contengono feldspato potassico, plagioclasio sodico, miche, ecc. e in quantità rilevanti dalla dissoluzione di rocce evaporitiche (salgemma, Sali potassici);
- $\text{Cl}^-$ : è presente nelle acque di pioggia e il suo tenore non aumenta nel sottosuolo a causa dell'apporto praticamente nullo da parte di quasi tutte le rocce ad eccezione delle rocce evaporitiche saline;
- $\text{HCO}_3^-$ : lo ione bicarbonato deriva sia dalla  $\text{CO}_2$  (anidride carbonica) atmosferica sia dalla dissoluzione dei carbonati;
- $\text{SO}_4^{--}$ : lo ione solfato deriva in quantità notevole dalla dissoluzione di rocce evaporitiche gessose (gesso e anidride), mentre in quantità minore dall'ossidazione dei solfuri;
- $\text{NO}_3^-$ : la sua origine non è naturale ma è legata all'uso di fertilizzanti sintetici e allo spandimento di liquami zootecnici.

Al fine di comprendere al meglio la composizione chimica delle acque dell'area in esame, in base alle litologie attraversate, nella Figura 4.50 si riporta la carta delle litologie

semplificate dell'intera Valle d'Aosta: gli affioramenti di gesso e carniolo (le litologie più solubili nel contesto valdostano) sono indicate da triangoli rossi essendo estremamente limitati e quindi non rappresentabili altrimenti alla scala della figura. Peraltro queste lenti non sono presenti nelle vicinanze dell'area di interesse e di conseguenza non possono influenzare la composizione chimica delle acque analizzate in questo paragrafo.



**Figura 4.50** – Carta delle litologie semplificate della Valle d'Aosta (elaborazione ARPA Valle d'Aosta modificata). Nel rettangolo rosso, l'area di studio.

#### ***4.4.2 Campionamento delle acque superficiali***

Il primo febbraio 2014 (in condizioni di magra dei corsi d'acqua) sono stati prelevati:

- n. 4 campioni di acqua dal F. Dora Baltea. I prelievi sono avvenuti dai ponti nei pressi: di frazione Berriaz Montjovet (campione S1), di frazione Clapeyas Issogne (campione S3), di frazione Garines Verrès (campione S5), della Via Stazione a Hône (campione S6);
- n. 1 campione di acqua dal T. Chalamy dal ponte che attraversa tale corso d'acqua nei pressi della frazione Favà Issogne (campione S2);
- n. 1 campione di acqua dal T. Evançon dal ponte che attraversa tale corso d'acqua lungo la Via XXVI Febbraio nel comune di Verrès (campione S4).

L'acqua è stata raccolta tramite un secchio legato ad una corda e successivamente travasata e chiusa ermeticamente in una bottiglia di polietilene da 500 cc, entrambi più volte risciacquati con l'acqua del corpo idrico. Ogni bottiglia è stata riempita fino all'orlo evitando un accumulo d'aria al suo interno.

Nelle pagine seguenti vengono riportate le schede identificative dei punti di prelievo.





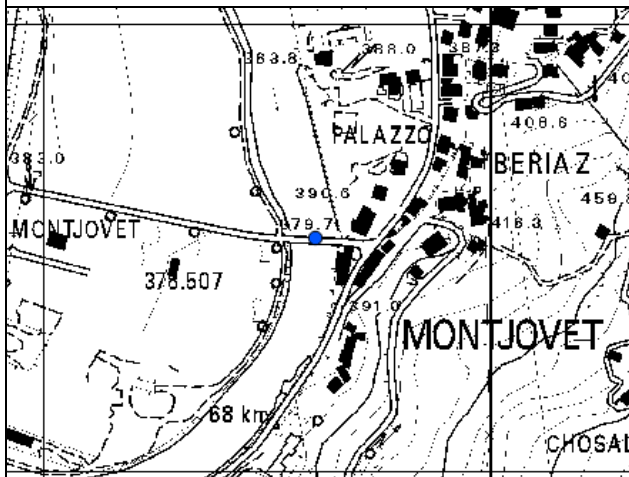
**CORSO DI IDROGEOLOGIA III**  
**ARCHIVIO PUNTI DI MONITORAGGIO**  
**(ACQUE SUPERFICIALI)**



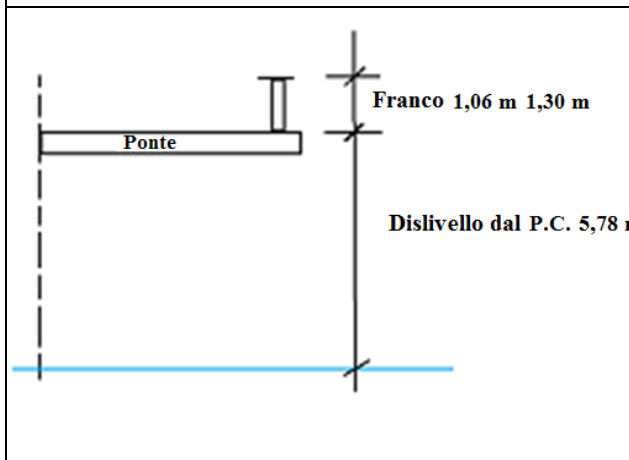
*Dipartimento Scienze della Terra - Università degli Studi di Torino*

<b>SIGLA: S1</b>		<b>Data sopralluogo: 01/02/2014</b>	
<b>DATI UBICAZIONE</b>		<b>DATI MISURE</b>	
<b>Coord. UTM X:</b>	<b>396800</b>	<b>Quota PC (m s.l.m.):</b>	<b>379,7</b>
<b>Coord. UTM Y:</b>	<b>5062259</b>	<b>Misura (m):</b>	<b>7,08</b>
<b>Provincia:</b>	<b>Aosta</b>	<b>Franco (m):</b>	<b>1,30</b>
<b>Comune:</b>	<b>Montjovet</b>	<b>Dislivello da PC = misura - franco (m):</b>	<b>5,78</b>
<b>Località:</b>	<b>Beriaz</b>	<b>Livello idrico = PC - dislivello (m s.l.m.):</b>	<b>373,92</b>
		<b>Campionamento</b>	<b>si x no <input type="checkbox"/></b>

**Stralcio C.T.R 1:10.000**



**Schema misura**



**Foto**





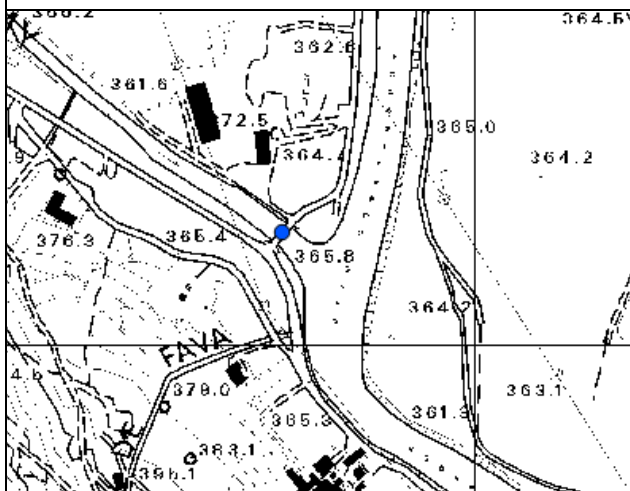
**CORSO DI IDROGEOLOGIA III  
ARCHIVIO PUNTI DI MONITORAGGIO  
(ACQUE SUPERFICIALI)**



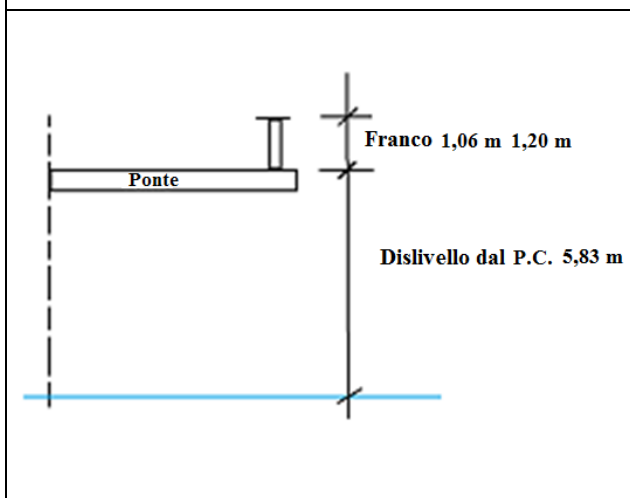
*Dipartimento Scienze della Terra - Università degli Studi di Torino*

<b>SIGLA: S2</b>		<b>Data sopralluogo: 01/02/2014</b>	
<b>DATI UBICAZIONE</b>		<b>DATI MISURE</b>	
<b>Coord. UTM X:</b>	<b>396800</b>	<b>Quota PC (m s.l.m.):</b>	<b>365,80</b>
<b>Coord. UTM Y:</b>	<b>5058612</b>	<b>Misura (m):</b>	<b>7,03</b>
<b>Provincia:</b>	<b>Aosta</b>	<b>Franco (m):</b>	<b>1,20</b>
<b>Comune:</b>	<b>Issogne</b>	<b>Dislivello da PC = misura - franco (m):</b>	<b>5,83</b>
<b>Località:</b>	<b>Fraz. Favà</b>	<b>Livello idrico = PC - dislivello (m s.l.m.):</b>	<b>359,97</b>
		<b>Campionamento</b>	<b>si x no <input type="checkbox"/></b>

**Stralcio C.T.R 1:10.000**



**Schema misura**



**Foto**





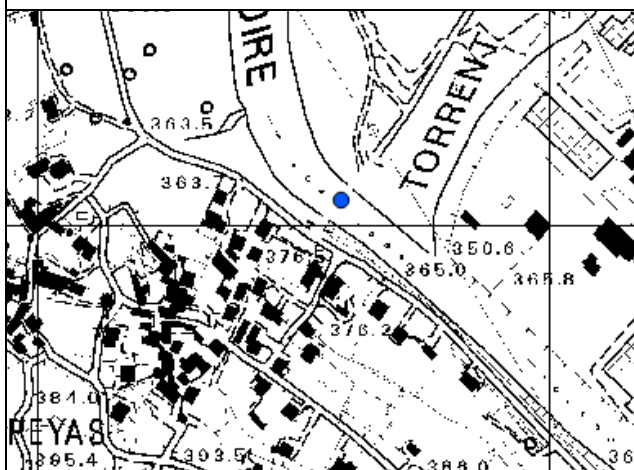
**CORSO DI IDROGEOLOGIA III**  
**ARCHIVIO PUNTI DI MONITORAGGIO**  
**(ACQUE SUPERFICIALI)**

*Dipartimento Scienze della Terra - Università degli Studi di Torino*

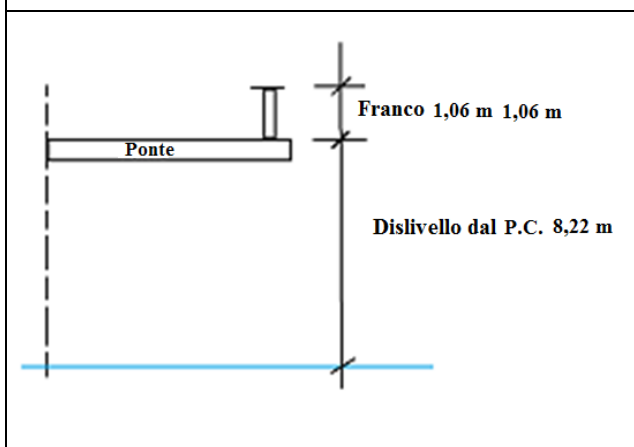


<b>SIGLA: S3</b>		<b>Data sopralluogo: 01/02/2014</b>	
<b>DATI UBICAZIONE</b>		<b>DATI MISURE</b>	
<b>Coord. UTM X:</b>	<b>397297</b>	<b>Quota PC (m s.l.m.):</b>	<b>366,90</b>
<b>Coord. UTM Y:</b>	<b>5057527</b>	<b>Misura (m):</b>	<b>9,28</b>
<b>Provincia:</b>	<b>Aosta</b>	<b>Franco (m):</b>	<b>1,06</b>
<b>Comune:</b>	<b>Issogne</b>	<b>Dislivello da PC = misura - franco (m):</b>	<b>8,22</b>
<b>Località:</b>	<b>Fraz. le Clapeyas</b>	<b>Livello idrico = PC - dislivello (m s.l.m.):</b>	<b>358,68</b>
		<b>Campionamento</b>	<b>si x no <input type="checkbox"/></b>

**Stralcio C.T.R 1:10.000**



**Schema misura**



**Foto**





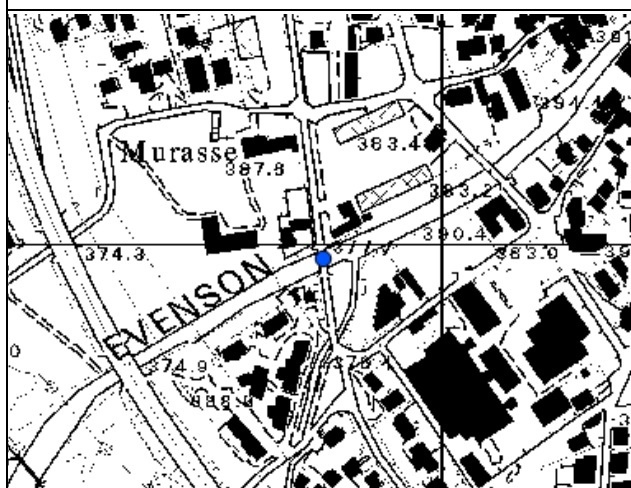
**CORSO DI IDROGEOLOGIA III**  
**ARCHIVIO PUNTI DI MONITORAGGIO**  
**(ACQUE SUPERFICIALI)**

*Dipartimento Scienze della Terra - Università degli Studi di Torino*

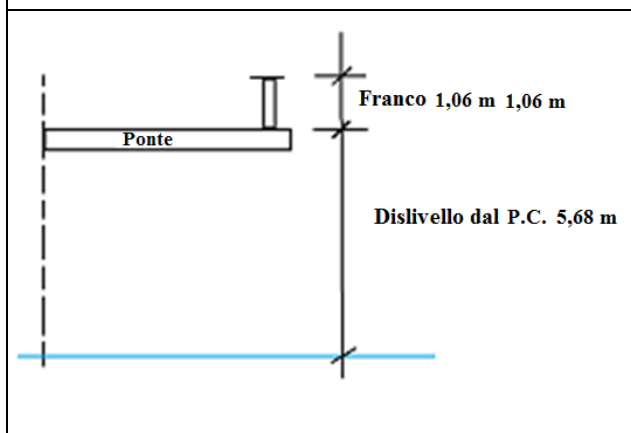


<b>SIGLA: S4</b>		<b>Data sopralluogo: 01/02/2014</b>	
<b>DATI UBICAZIONE</b>		<b>DATI MISURE</b>	
<b>Coord. UTM X:</b>	<b>397880</b>	<b>Quota PC (m s.l.m.):</b>	<b>383,5</b>
<b>Coord. UTM Y:</b>	<b>5057988</b>	<b>Misura (m):</b>	<b>6,74</b>
<b>Provincia:</b>	<b>Aosta</b>	<b>Franco (m):</b>	<b>1,06</b>
<b>Comune:</b>	<b>Verrès</b>	<b>Dislivello da PC = misura - franco (m):</b>	<b>5,68</b>
<b>Località:</b>	<b>Via Martorey</b>	<b>Livello idrico = PC - dislivello (m s.l.m.):</b>	<b>377,82</b>
		<b>Campionamento</b>	<b>si x no <input type="checkbox"/></b>

**Stralcio C.T.R 1:10.000**



**Schema misura**



**Foto**





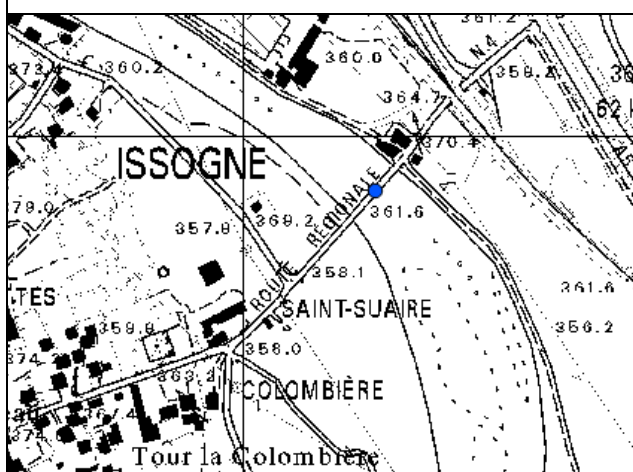
**CORSO DI IDROGEOLOGIA III**  
**ARCHIVIO PUNTI DI MONITORAGGIO**  
**(ACQUE SUPERFICIALI)**

*Dipartimento Scienze della Terra - Università degli Studi di Torino*

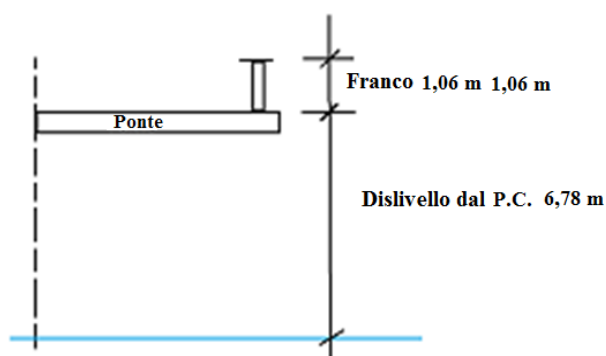


<b>SIGLA: S5</b>		<b>Data sopralluogo: 01/02/2014</b>	
<b>DATI UBICAZIONE</b>		<b>DATI MISURE</b>	
<b>Coord. UTM X:</b>	<b>398138</b>	<b>Quota PC (m s.l.m.):</b>	<b>361,6</b>
<b>Coord. UTM Y:</b>	<b>5056944</b>	<b>Misura (m):</b>	<b>7,84</b>
<b>Provincia:</b>	<b>Aosta</b>	<b>Franco (m):</b>	<b>1,06</b>
<b>Comune:</b>	<b>Verrès</b>	<b>Dislivello da PC = misura - franco (m):</b>	<b>6,78</b>
<b>Località:</b>	<b>Fraz. Les Garines</b>	<b>Livello idrico = PC - dislivello (m s.l.m.):</b>	<b>354,82</b>
		<b>Campionamento</b>	<b>si x no <input type="checkbox"/></b>

**Stralcio C.T.R 1:10.000**



**Schema misura**



**Foto**





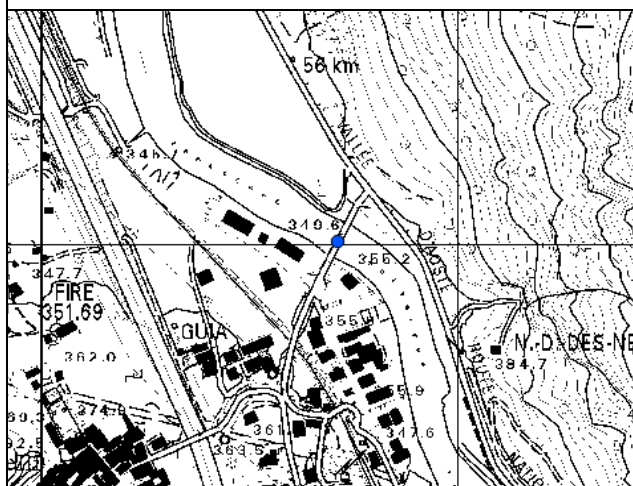
**CORSO DI IDROGEOLOGIA III**  
**ARCHIVIO PUNTI DI MONITORAGGIO**  
**(ACQUE SUPERFICIALI)**

*Dipartimento Scienze della Terra - Università degli Studi di Torino*

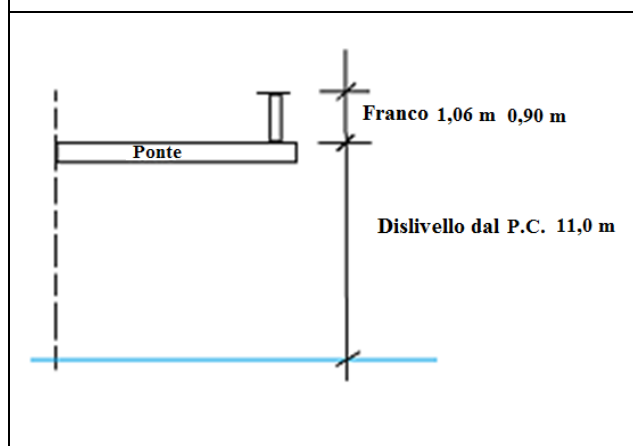


<b>SIGLA: S6</b>		<b>Data sopralluogo: 01/02/2014</b>	
<b>DATI UBICAZIONE</b>		<b>DATI MISURE</b>	
<b>Coord. UTM X:</b>	<b>401854</b>	<b>Quota PC (m s.l.m.):</b>	<b>349,6</b>
<b>Coord. UTM Y:</b>	<b>5052504</b>	<b>Misura (m):</b>	<b>11,90</b>
<b>Provincia:</b>	<b>Aosta</b>	<b>Franco (m):</b>	<b>0,90</b>
<b>Comune:</b>	<b>Bard</b>	<b>Dislivello da PC = misura - franco (m):</b>	<b>11,00</b>
		<b>Livello idrico = PC - dislivello (m s.l.m.):</b>	<b>338,60</b>
		<b>Campionamento</b>	<b>si x no <input type="checkbox"/></b>

**Stralcio C.T.R 1:10.000**



**Schema misura**



**Foto**



#### ***4.4.3 Analisi delle acque superficiali***

Di seguito si illustrano i risultati relativi alle analisi sulle acque superficiali.

##### **Conduttometria (Conducibilità Elettrolitica)**

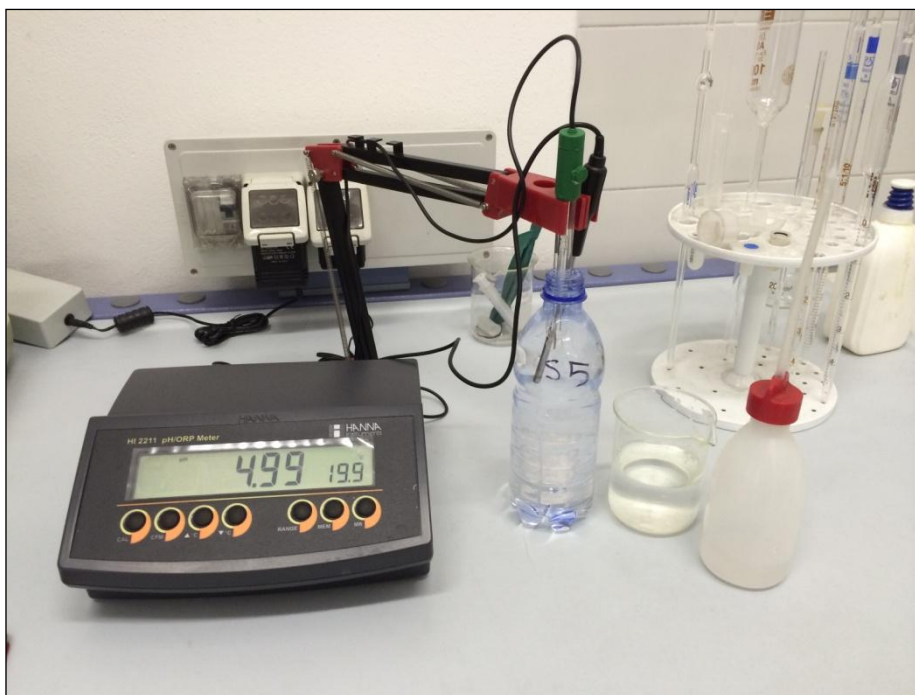
La conducibilità elettrolitica è la capacità di una soluzione acquosa a trasportare corrente elettrica. Essa dipende dalla presenza di ioni disciolti. La misura della conducibilità viene effettuata utilizzando un conducimetro (Fig. 4.51) costituito da due elettrodi inerti posti ad una distanza nota (ponte di Wheatstone). Si misura la resistenza che una soluzione elettrolitica oppone al passaggio di una corrente sotto l'applicazione di una differenza di potenziale (MASCIOCCO, 2012).



**Figura 4.51** – Conducimetro utilizzato (foto Borinatto).

##### **Potenziometria (pH)**

Il piaccametro (Fig. 4.52) misura il potenziale che si sviluppa in una cella elettrochimica immersa in una soluzione. La cella è costituita da due elettrodi che svolgono diverse funzioni. L'elettrodo di riferimento (a idrogeno o a calomelano) mantiene un potenziale costante mentre l'elettrodo di misura raggiunge la condizione di equilibrio con la soluzione. Quest'ultimo è costituito da una sfera sottilissima di vetro nel cui interno si pone una soluzione tampone a pH noto e un filo di platino. Esso viene immerso in una soluzione di un qualsiasi pH ed assume un potenziale che dipende dalla differenza del pH all'interno e all'esterno del bulbo di vetro (MASCIOCCO, 2012).



**Figura 4.52** – Piaccametro utilizzato (foto Borinatto).

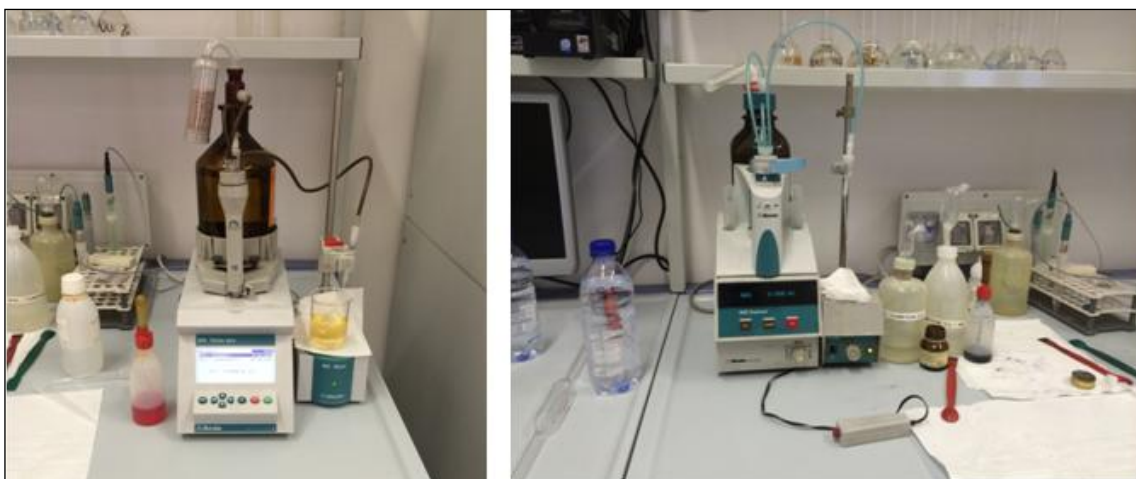
Volumetria ( $\text{HCO}_3^-$ , durezza:  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$ ) (Fig. 4.53)

Conoscendo il volume utilizzato di sostanza titolante è possibile ricavare la concentrazione della sostanza da analizzare. Si sono preparate tre aliquote di campione (50 ml), si è introdotta una soluzione a concentrazione nota (sostanza titolante) che reagisce con la sostanza di cui si vuole eseguire la titolazione. Quando la reazione (titolazione) è stechiometricamente completa un indicatore (colorante) cambia nettamente colore (MASCIOCCO, 2012).

Titolazione dell' $\text{HCO}_3^-$  (ione bicarbonato): la sostanza titolante è HCL 0,1 N e l'indicatore è il metilarancio.

Mediante due titolazioni si sono determinate la durezza totale (data cioè sia dal  $\text{Ca}^{2+}$  che dal  $\text{Mg}^{2+}$ ) e la durezza calcica, mentre la durezza magnesiacca si è determinata per differenza. Per determinare la durezza totale all'acqua in esame si è aggiunta una soluzione a pH 10 (ammoniacca), una punta di spatola di indicatore nero eriocromo e si è titolato con 0,02 M di EDTA fino al viraggio dal rosso all'azzurro. Per determinare la durezza calcica al campione si è aggiunto idrossido di sodio, una punta di spatola dell'indicatore muresside e si è titolato con EDTA 0,02 M a pH 12 fino al viraggio dal rosso al viola.

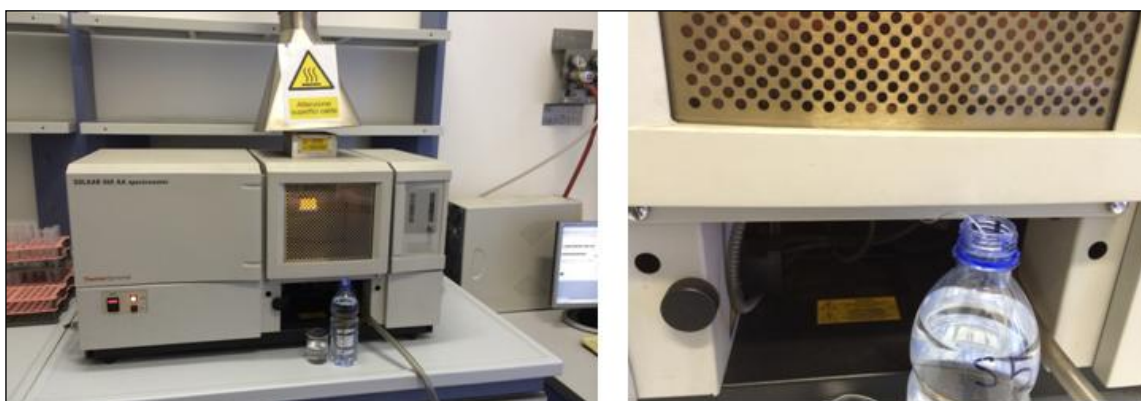




**Figura 4.53** – Strumentazione per volumetria ( $\text{HCO}_3^-$  e durezza:  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$ ) (foto Borinatto).

Spettrometria per emissione atomica ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ) (Fig. 4.54)

Il campione acquoso viene aspirato da un capillare, passa attraverso un nebulizzatore e un bruciatore, dove si raggiunge una temperatura di circa  $2000^\circ\text{C}$  grazie ad una fiamma aria-acetilene. In questo modo si provoca la dissociazione in atomi e l'eccitazione di quest'ultimi. In base alla lunghezza d'onda emessa è possibile risalire alla specie incognita, dato che gli spettri di ciascuna sostanza sono caratteristici, mentre misurando l'intensità dell'emissione si può effettuare anche l'analisi quantitativa (mg/l) (MASCIOCCO, 2012).



**Figura 4.54** – Strumentazione per spettrometria per emissione atomica ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ) (foto Borinatto).

Cromatografia ionica con soppressione chimica ( $\text{F}^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Br}^-$ ) (Fig.4.55)

Si utilizza come eluente il sale di un acido debole ( $\text{NaHCO}_3^-$ ) e lo scambiatore anionico è costituito da gruppi carichi positivamente impostati su una resina sintetica all'interno di una colonna di separazione. Su tali gruppi si situano gli anioni presenti nell'eluente e al passaggio del campione gli anioni dello stesso tendono ad essere ritardati in funzione della loro massa e della loro carica. La soppressione viene effettuata utilizzando una seconda

colonna dopo quella di separazione. Questa seconda colonna sarà di scambio cationico per la separazione degli anioni. Il soppressore cede  $H^+$  al posto di  $Na^+$  nell'eluente, trasformandolo in  $H_2CO_3$  che ha una dissociazione e una conducibilità residua molto bassa. Nel campione, cede  $H^+$  al posto dei cationi, formando acidi forti con  $Cl^-$ ,  $NO_3^-$ ,  $SO_4^-$ , con conducibilità notevolmente più alta. Si ottengono così dei picchi positivi con tempo di ritenzione fisso per ogni specie anionica e con area proporzionale alla concentrazione. Calibrando lo strumento con standard a concentrazione nota, si ottengono cromatogrammi con risultati analitici espressi in mg/l (MASCIOCCO, 2012).



**Figura 4.55** – Strumentazione per cromatografia ionica con soppressione chimica ( $F^-$ ,  $Cl^-$ ,  $NO_2^-$ ,  $NO_3^-$ ,  $SO_4^-$ ,  $Br^-$ ) (foto Borinatto).

Di seguito, nelle Tabelle 4.3 - 4.4, si riportano i risultati analitici dei campioni d'acqua superficiale.

**Tabella 4.3** – Dati analitici dei campioni di acqua superficiale.

	pH	Cond	$Ca^{++}$	$Mg^{++}$	$Na^+$	$K^+$	$Cl^-$	$NO_3^-$	$SO_4^{--}$	$HCO_3^-$
		$\mu S/cm$	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
<b>S1</b>	7,6	431	45,2	8,54	5,3	2,0	17,76	3,28	53,33	104,92
<b>S2</b>	7,3	141,7	15,4	7,44	1,3	0,6	2,25	3,05	9,79	68,32
<b>S3</b>	7,4	325	43,2	6,83	5,0	1,9	18,00	3,49	50,79	104,92
<b>S4</b>	7,5	306	43,2	7,81	3,5	2,1	11,21	3,75	40,28	118,34
<b>S5</b>	6,7	316	43,2	6,83	4,6	1,8	16,61	3,29	46,63	104,92
<b>S6</b>	7,9	343	48,0	7,81	4,5	2,0	15,64	3,68	50,78	119,56

**Tabella 4.4** – Dati chimici della tabella 4.3 espressi in meq/l e bilancio ionico delle analisi.  
L'errore è inferiore al 5% pertanto le analisi possono ritenersi attendibili.

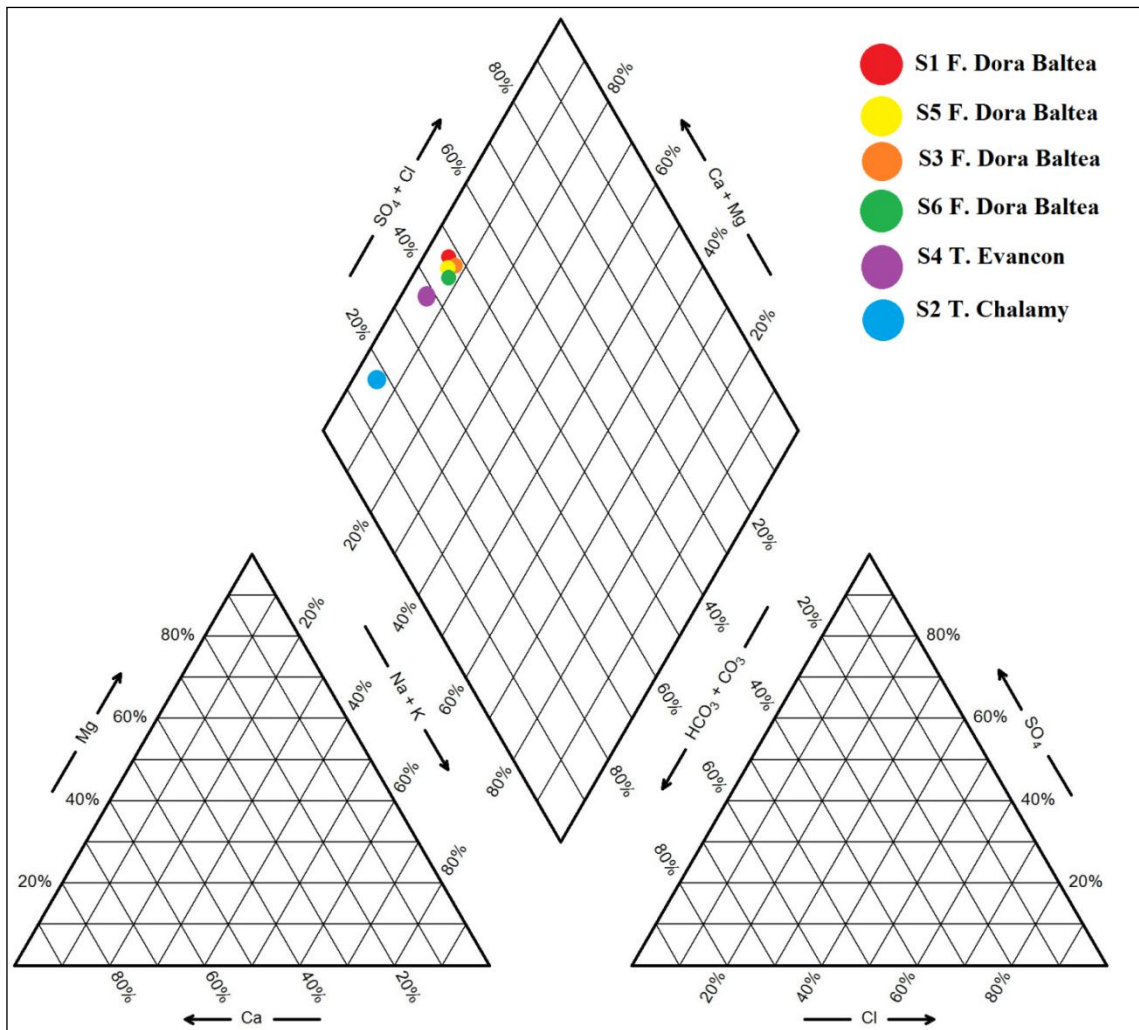
	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	somma cationi	somma anioni	err
	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	%
<b>S1</b>	2,46	0,67	0,23	0,05	0,50	0,05	1,11	1,72	3,41	3,38	0,4
<b>S2</b>	0,77	0,61	0,06	0,02	0,06	0,05	0,20	1,12	1,46	1,43	1,0
<b>S3</b>	2,41	0,68	0,22	0,05	0,51	0,06	1,06	1,72	3,36	3,35	0,1
<b>S4</b>	2,41	0,64	0,15	0,05	0,32	0,06	0,84	1,94	3,25	3,16	1,4
<b>S5</b>	2,41	0,68	0,20	0,05	0,47	0,05	0,97	1,72	3,34	3,31	0,5
<b>S6</b>	2,60	0,64	0,20	0,05	0,44	0,06	1,06	1,86	3,49	3,42	1,0

#### 4.4.4 - Elaborazione delle analisi delle acque superficiali

Il diagramma di Piper (figura 4.56) è composto da due diagrammi triangolari equilateri, che rappresentano le concentrazioni (sempre in meq/l) dei cationi il primo e degli anioni il secondo espresse come percentuali rispetto alle rispettive somme (Tab. 4.5), posti alla base di un diagramma rombico di sintesi. Unendo le mediane dei lati del rombo, si ottengono quattro campi di dominanza delle *facies* geochimiche delle acque: in alto cadono le solfato-calciche, a destra le cloruro-alcaline, in basso le bicarbonato-alcaline e a sinistra le bicarbonato-calcica e/o magnesiacca Per ogni coppia di punti rappresentativi di ciascun campione, dai due triangoli, seguendo le direttrici tracciate sul diagramma si raggiungono sulla losanga i punti di intersezione che rappresentano le composizioni di ogni singolo campione (CIVITA, 2005).

**Tabella 4.5** – Valori in % dei cationi e degli anioni.

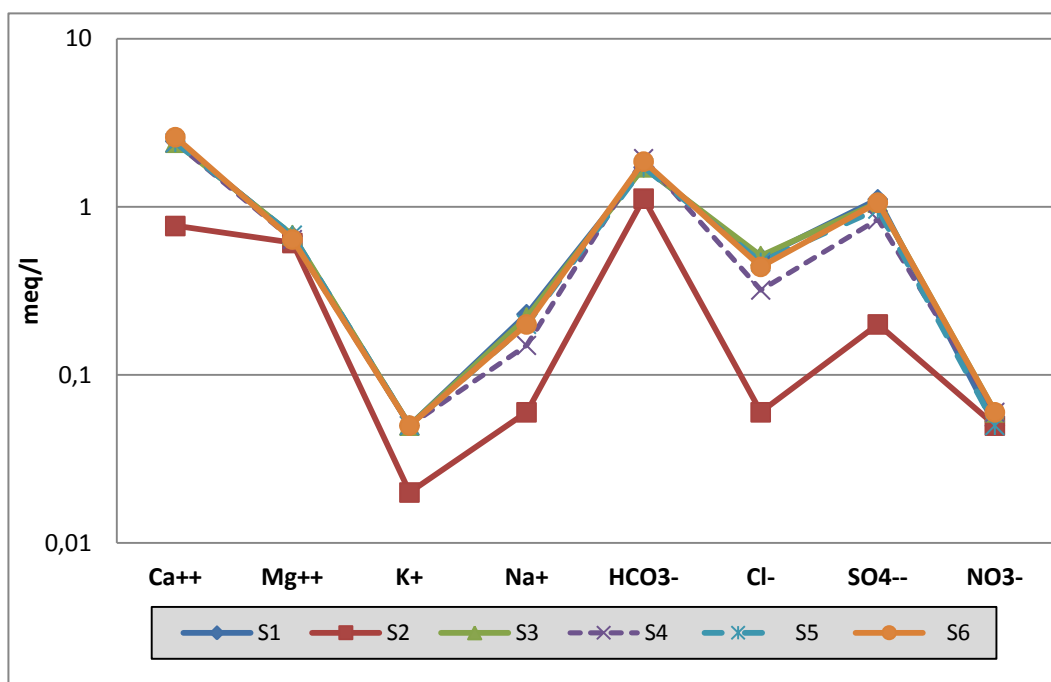
<b>Cationi</b>	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Na <sup>+</sup> +K <sup>+</sup>	<b>Anioni</b>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>
	%	%	%		%	%	%
<b>S1</b>	72,2	19,6	8,2	<b>S1</b>	51,7	33,3	15,0
<b>S2</b>	52,7	41,8	5,5	<b>S2</b>	81,2	14,5	4,3
<b>S3</b>	71,7	20,3	8,0	<b>S3</b>	52,3	32,2	15,5
<b>S4</b>	74,2	19,7	6,1	<b>S4</b>	62,6	27,1	10,3
<b>S5</b>	72,2	20,3	7,5	<b>S5</b>	54,4	30,7	14,9
<b>S6</b>	74,5	18,3	7,2	<b>S6</b>	55,4	31,5	13,1



**Figura 4.56** – Diagramma di Piper relativo ai campioni d'acqua superficiale analizzati.

Nel nostro caso tutti i campioni sono posizionati nel campo che corrisponde alla *facies* bicarbonato-calcica e/o magnesiacca. Vengono definite bicarbonato-calciche quelle acque dove prevale il contenuto di ione bicarbonato e ione calcio rispetto alla quantità globale degli altri ioni principali, invece le bicarbonato-calcico-magnesiacche sono quelle acque che hanno un contenuto in ione magnesio relativamente abbondante rispetto allo ione calcio (CIVITA, 2005). Nella Tabella 4.5 si nota che per tutti i campioni prevale lo ione calcio ( $\text{Ca}^{++}$ ) rispetto allo ione magnesio ( $\text{Mg}^{++}$ ), quindi le acque possono essere definite a chimismo dominante bicarbonato-calcico come si potrà osservare meglio nel diagramma di Schoeller.

Il diagramma di Scholler (Fig. 4.57) è una rappresentazione quantitativa; su assi logaritmici verticali si riportano le concentrazioni analitiche (meq/l) dei costituenti ionici principali. Otterremo delle spezzate dove l'interpretazione avviene partendo dall'alto, accoppiando il catione e l'anione prevalenti possiamo attribuire la *facies* idrochimica dominante dell'acqua (CIVITA, 2005).



**Figura 4.57** – Diagramma di Schoeller relativo ai campioni di acqua superficiale S1-S3-S5-S6 (F.Dora Baltea), S2 (T. Chalamy), S4 (T. Evançon); dati relativi alla Tabella 4.4.

Il diagramma di Schoeller conferma che tutti i campioni di acqua superficiale - del F. Dora Baltea, del T. Chalamy e del T. Evançon - appartengono alla famiglia delle acque bicarbonato calcica e/o magnesiacca, e più precisamente alla *facies* bicarbonato-calcica. Infatti, come si può osservare nel diagramma, il catione e l'anione prevalenti (Ca<sup>++</sup> e HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>) sono posizionati nei vertici più alti della spezzata. Inoltre, la spezzata del campione S2 (acque del T.Chalamy), posizionata più in basso rispetto alle altre, dimostra che tali acque sono meno mineralizzate (acqua glaciale), come peraltro dimostrato anche dalla conducibilità inferiore.

#### 4.4.5 Campionamento delle acque sotterranee

Per definire le caratteristiche idrochimiche delle acque sotterranee e valutarne eventuali variazioni stagionali, sono stati presi in considerazione due periodi, uno invernale (6 febbraio 2013) e uno estivo (7 agosto 2013). I dati relativi al monitoraggio qualitativo (periodo semestrale) nella piana di Verrès-Issogne-Arnad, resi disponibili da ARPA Valle d'Aosta, sono riassunti nelle Tabelle 4.7, 4.8, 4.9 e 4.10 per quanto riguardano gli ioni principali e, in Tabella 4.14 per i metalli e gli inquinanti. Si specifica che il prelievo dei campioni in tale periodo è stato eseguito dallo scrivente in collaborazione con l'ente preposto. Per quanto riguarda i pozzi in attività, ove non è presente acqua stagnante nelle

tubazioni, il campionamento è stato eseguito o direttamente dal rubinetto o in prossimità del boccapozzo. Nel caso di piezometri, invece, prima di eseguire il prelievo, si è proceduto con lo spurgo per eliminare l'acqua stagnante non rappresentativa delle condizioni dell'acquifero in quanto rimasta a contatto con l'aria atmosferica e con le pareti del tubo in PVC del piezometro. Questo procedimento deve assicurare la rimozione di circa 3-5 volumi d'acqua stagnante oppure la stabilizzazione dei principali parametri chimico-fisici dell'acqua misurati in campo per mezzo di sonde portatili (temperatura, Ph, conducibilità e O<sub>2</sub>). La sua durata dipende dalle caratteristiche tecniche del piezometro (diametro e profondità), dalla trasmissività dell'acquifero e dalla portata della pompa utilizzata, nel nostro caso lo spurgo ha avuto una durata di circa 15-20 minuti. Il prelievo è stato effettuato tramite una pompa idrosommersibile calata al di sotto del livello della falda. I campioni sono raccolti in contenitori di tipologia differente a seconda delle analisi che devono essere effettuate. (Figura 3.2)

I valori dei principali parametri chimico-fisici (temperatura, Ph, conducibilità) sono stati rilevati in campo durante il monitoraggio qualitativo; nel caso delle misure quantitative, si è utilizzato una particolare sonda multiparametrica in grado di rilevare oltre alla soggiacenza anche la temperatura e la conducibilità dell'acqua (Fig. 4.58).



**Figura 4.58** – Sonda multiparametrica in grado di misurare soggiacenza temperatura e conducibilità dell'acqua di falda (foto Borinatto).

Si è osservato che per i piezometri Is3, Is4, Is5 (monitoraggio della futura discarica del comune Champdepraz) i parametri temperatura e conducibilità risultano notevolmente inferiore rispetto a quelli registrati negli altri punti di misura (Tab. 4.6).

**Tabella 4.6** – Valori anomali di temperatura e conducibilità registrati ai piezometri Is3,Is4, Is5 il 10 gennaio 2014 circa alle ore 9.00.

	Is3	Is4	Is5	Range altri valori
<b>Temperatura °C</b>	2,6	6,2	3,9	~ 11
<b>Conducibilità µS/cm</b>	95	205	90	147÷371

Questa anomalia è dovuta alla circolazione dell'acqua non in terreni alluvionali bensì nel conoide formato da depositi grossolani del T.Chalamy, dove le acque sotterranee hanno tempi di circolazione molto ridotti e derivano direttamente dal torrente medesimo. Pertanto le misure dei suddetti piezometri non sono state utilizzate per l'elaborazione della carta delle isofreatiche (Fig. 4.49).

#### 4.4.6 Analisi delle acque sotterranee

Di seguito si riportano i risultati analitici delle due campagne di monitoraggio delle acque sotterranee nel periodo invernale (6 febbraio 2013) e nel periodo estivo (7 agosto 2013).

**Tabella 4.7** – Dati analitici, degli ioni principali, dei campioni di acqua sotterranea 6 febbraio 2013 (dati ARPA Valle d'Aosta).

	pH	Cond	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>--</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
		µS/cm	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
Vè11	7,86	371	56,4	10,5	5,3	1,8	10,5	4,3	59	141,6
Vè1	8,11	307	41,5	8,8	4	1,84	8,4	5,2	32,9	125,9
Vè2	8,64	294	40,1	11,7	3,69	1,12	7,6	5,8	27,7	136,6
Vè10	8,03	230	30,2	7,3	2,61	1,1	3,38	3,13	23,2	103,2
AR6	7,11	147	19,9	3,61	4,1	1,07	5	4,5	13,7	58

**Tabella 4.8** – Dati chimici della tabella 4.7 espressi in meq/l e bilancio ionico delle analisi. L'errore è inferiore al 5% pertanto le analisi possono ritenersi attendibili.

	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>--</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Somma cationi	Somma anioni	err
	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	%
Vè11	2,07	0,72	0,17	0,05	0,24	0,08	0,63	2,02	3,01	2,97	0,7
Vè1	2,00	0,96	0,16	0,03	0,21	0,09	0,58	2,24	3,15	3,12	0,5
Vè2	1,53	0,65	0,13	0,03	0,10	0,05	0,48	1,69	2,34	2,32	0,4
Vè10	0,99	0,30	0,18	0,03	0,14	0,07	0,29	0,95	1,50	1,45	1,7
AR6	2,81	0,86	0,23	0,05	0,30	0,07	1,23	2,32	3,95	3,92	0,4

**Tabella 4.9** – Dati analitici, degli ioni principali, dei campioni di acqua sotterranea 7 agosto 2013 (dati ARPA Valle d’Aosta).

	pH	Cond	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>--</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
		μS/cm	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
Vè11	8	336	48,2	10,6	6	1,57	7,1	3,5	41,8	137,1
Vè1	8,22	316	43,1	8,9	4,9	1,89	7,6	5,1	31,8	123,2
Vè2	8,25	305	41,1	11,7	4,1	1,18	6,9	5,9	28,1	132,9
Vè10	8,24	239	31,8	7,7	2,79	1,23	4,9	4,2	24,7	95
AR6	6,74	208,3	28,1	4,5	10,8	1,23	10,3	7,7	18,8	83,6

**Tabella 4.10** – Dati chimici della tabella 4.9 espressi in meq/l e bilancio ionico delle analisi. L’errore è inferiore al 5% pertanto le analisi possono ritenersi attendibili.

	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>--</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Somma cationi	Somma anioni	err
	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	%
Vè11	2,12	0,71	0,21	0,05	0,21	0,08	0,66	2,02	3,09	2,97	1,9
Vè1	2,05	0,93	0,15	0,03	0,19	0,09	0,59	2,18	3,16	3,05	1,8
Vè2	1,59	0,63	0,12	0,03	0,14	0,07	0,51	1,56	2,37	2,28	1,9
Vè10	1,40	0,37	0,47	0,03	0,29	0,12	0,39	1,37	2,27	2,17	2,2
AR6	2,41	0,85	0,23	0,04	0,20	0,09	0,88	2,29	3,53	3,46	1,0

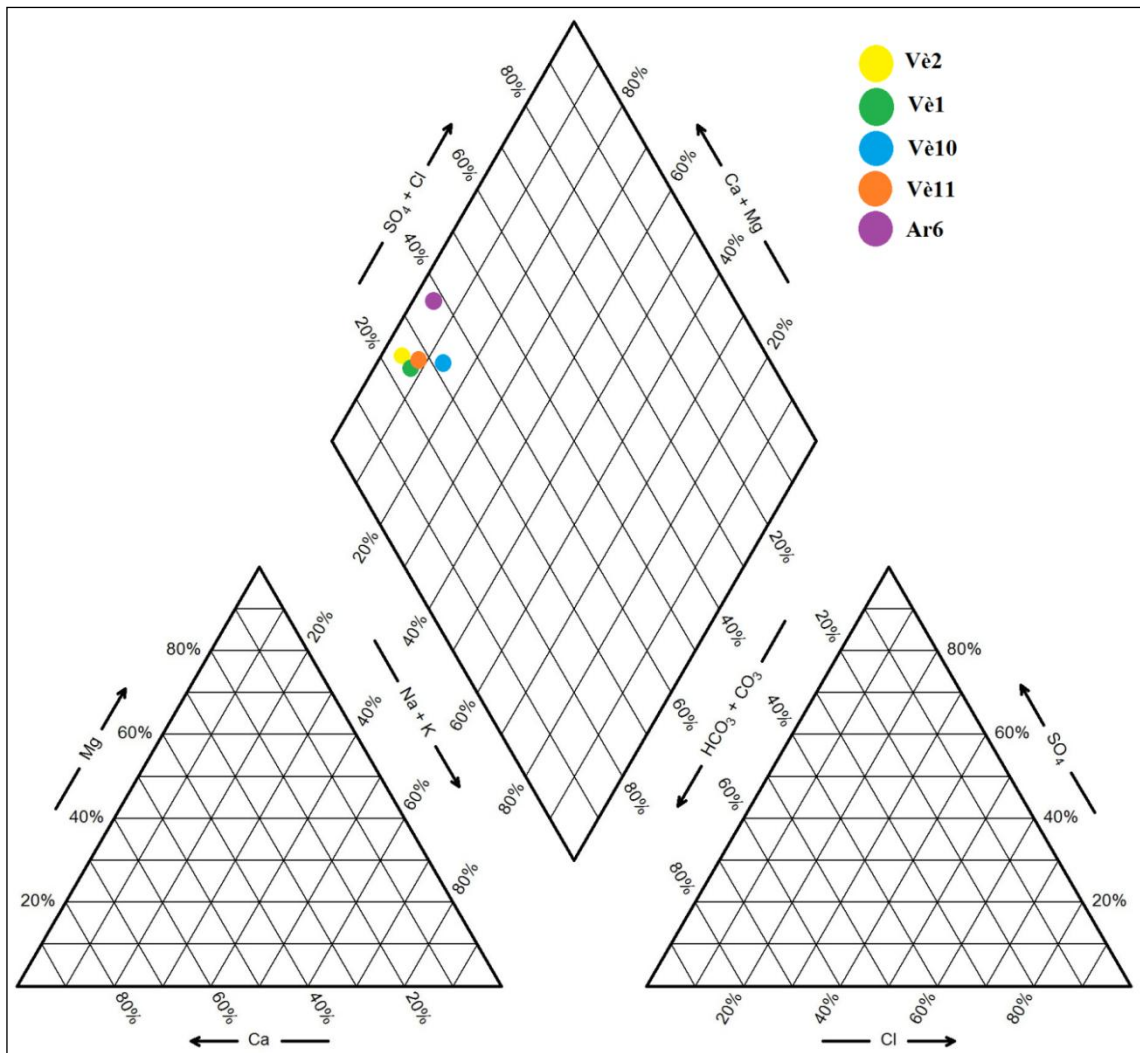
#### 4.4.7 – Elaborazione delle analisi delle acque sotterranee

Il chimismo delle acque sotterranee può essere meglio interpretato ricorrendo a dei diagrammi che consentono di confrontare le caratteristiche geochimiche salienti e di individuare univocamente la *facies* idrochimica dominante. A tal fine, separatamente per le due campagne (6 febbraio 2013 e 7 agosto 2013), si è proceduto con le elaborazioni nei diagrammi di Piper (Tab. 4.11 e 4.12; Fig. 4.59 e 4.61) e dei diagramma di Schoeller (Fig. 4.60 e 4.62).

**Tabella 4.11** – Valori in % dei cationi e degli anioni 6 febbraio 2013.

Cationi	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Na <sup>+</sup> +K <sup>+</sup>	Anioni	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>--</sup>	Cl <sup>-</sup>
	%	%	%		%	%	%
Vè11	68,8	23,9	7,3	Vè11	69,9	21,8	8,3
Vè1	63,5	30,5	6,0	Vè1	73,9	19,2	6,9
Vè2	65,4	27,8	6,8	Vè2	74,5	21,1	4,4
Vè10	66,0	20,0	14,0	Vè10	68,8	21,0	10,2
AR6	71,1	21,8	7,1	AR6	60,2	31,9	7,8

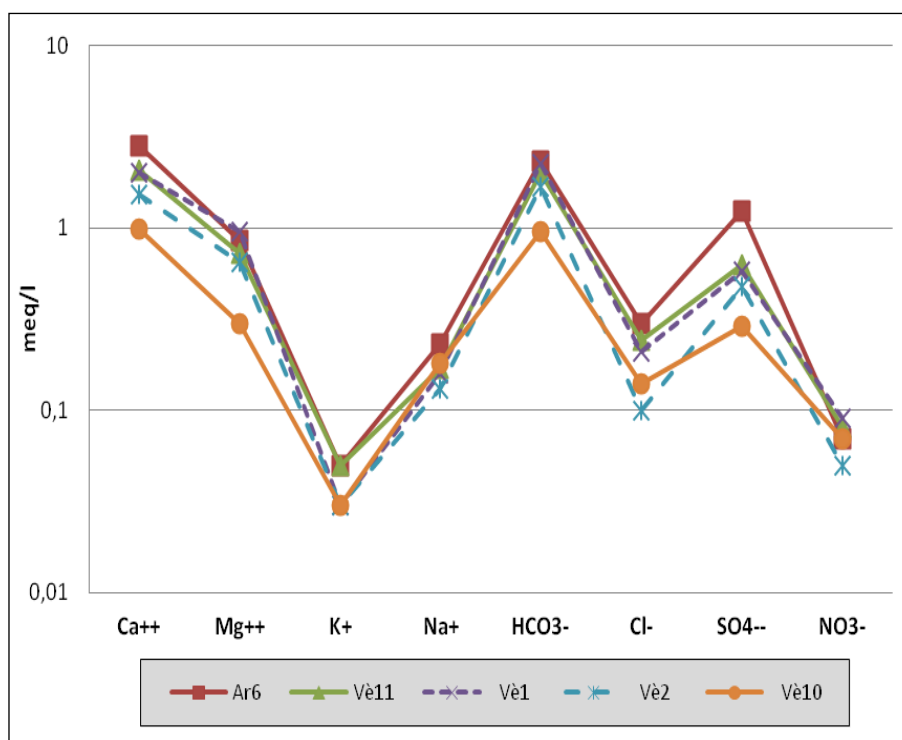




**Figura 4.59** – Diagramma di Piper relativo ai campioni d'acqua sotterranea analizzati nel periodo 6 febbraio 2013; dati relativi alla Tabella 4.11.

Tutti i campioni del 6 febbraio 2013 si posizionano nel campo che corrisponde alla facies bicarbonato-calcica e/o magnesiacca (come nel caso delle acque superficiali). La Tabella 4.11 mette in evidenza che in tutti i campioni prevale lo ione calcio (Ca<sup>++</sup>) rispetto allo ione magnesio (Mg<sup>++</sup>), quindi le acque possono essere definite a chimismo dominante bicarbonato-calcico come si potrà osservare meglio nel diagramma di Schoeller.

Il diagramma di Schoeller conferma che tutti i campioni di acqua sotterranea del 6 febbraio 2013 appartengono alla famiglia delle acque bicarbonato calcica e/o magnesiacca più precisamente alla *facies* bicarbonato-calcica. Infatti, come si può osservare nel diagramma, il catione e l'anione prevalenti (Ca<sup>++</sup> e HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>) sono posizionati nei vertici più alti della spezzata.

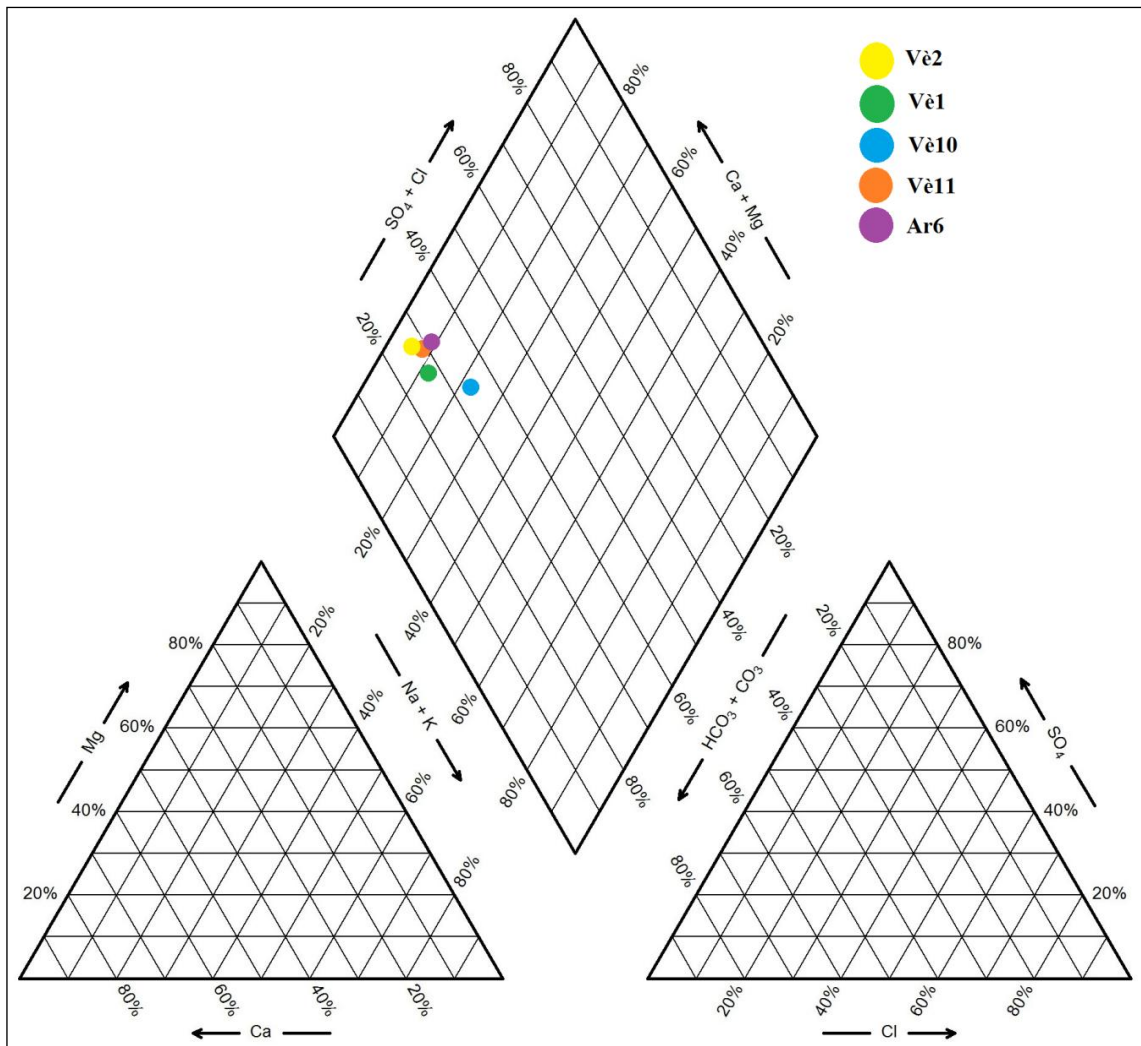


**Figura 4.60** – Diagramma di Schoeller relativo ai campioni di acqua sotterranea nel periodo 6 febbraio 2013; dati relativi alla Tabella 4.8.

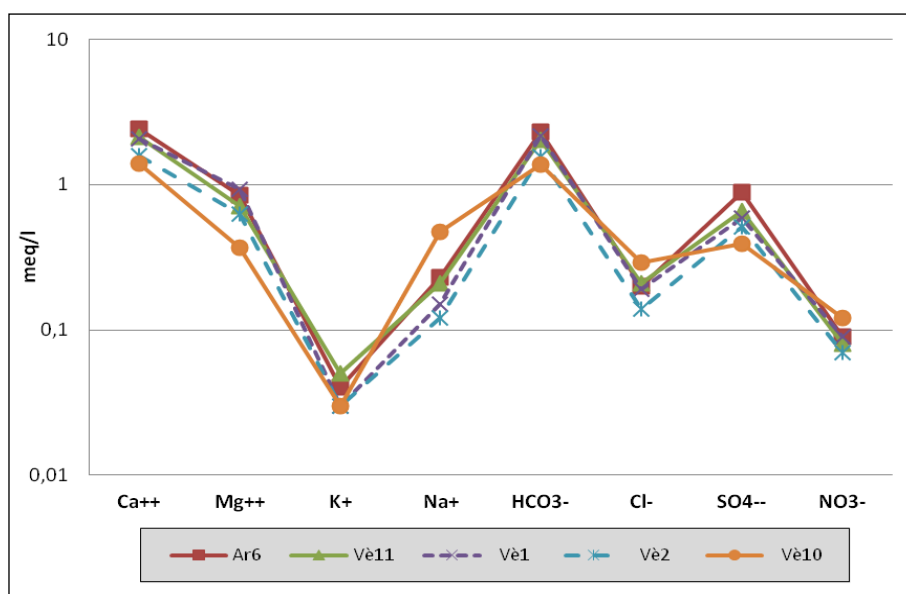
Per le acque campionate il 7 agosto 2013, il diagramma di Piper mette in evidenza una corrispondenza con il periodo invernale, infatti, anche in questo caso, tutti i campioni si concentrano nel campo che corrisponde alla *facies* bicarbonato-calcica e/o magnesiacca. In Tabella 4.12 si nota che prevale lo ione calcio (Ca<sup>++</sup>) rispetto allo ione magnesio (Mg<sup>++</sup>), quindi le acque possono essere definite a chimismo dominante bicarbonato-calcico come si potrà osservare meglio nel diagramma di Schoeller. Il diagramma di Schoeller, conferma che tutti i campioni di acqua sotterranea appartengono alla famiglia delle acque bicarbonato calcica e/o magnesiacca più precisamente alla *facies* bicarbonato-calcica. Infatti, come si può osservare nel diagramma, il catione e l'anione prevalenti (Ca<sup>++</sup> e HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>) sono posizionati nei vertici più alti della spezzata.

**Tabella 4.12** – Valori in % dei cationi e degli anioni 7 agosto 2013.

Cationi	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Na <sup>+</sup> +K <sup>+</sup>	Anioni	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>--</sup>	Cl <sup>-</sup>
	%	%	%		%	%	%
Vè11	68,6	23,0	8,4	Vè11	69,9	22,8	7,3
Vè1	64,9	29,4	5,7	Vè1	73,7	19,9	6,4
Vè2	67,1	26,6	6,3	Vè2	70,6	23,1	6,3
Vè10	61,7	16,3	22,0	Vè10	66,8	19,0	14,2
AR6	68,3	24,1	7,6	AR6	68,0	26,1	5,9



**Figura 4.61** – Diagramma di Piper relativo ai campioni d’acqua sotterranea analizzati nel periodo 7 agosto 2013; dati relativi alla Tabella 4.12.



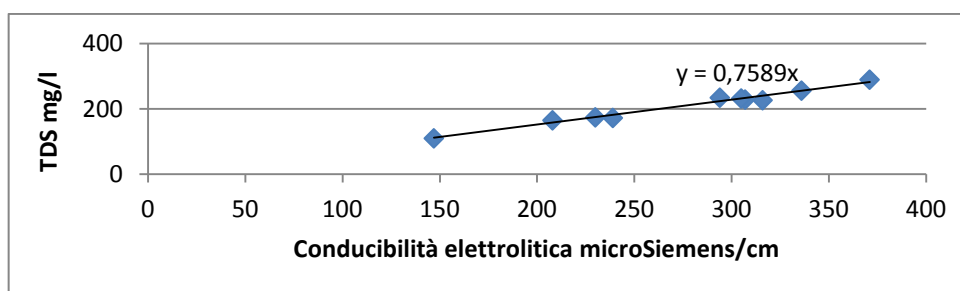
**Figura 4.62** – Diagramma di Schoeller relativo ai campioni di acqua sotterranea nel periodo 7 agosto 2013; dati relativi alla Tabella 4.10.

#### 4.4.8 – Sintesi sul chimismo delle acque sotterranee

In Tab. 4.13, si osserva che il piezometro Ar6 ha una conducibilità elettrolitica differente rispetto agli altri punti di misura. Anche in questo caso, come per i piezometri Is3, Is4 e Is5 (monitoraggio della futura discarica a Champdepraz), tale anomalia è riconducibile alla circolazione dell'acqua nei depositi grossolani del conoide di genesi mista di Arnad. Confrontando i valori di conducibilità delle acque sotterranee e di quelle superficiali non si sono riscontrate significative variazioni. Di seguito in Fig. 4.63 si riporta il diagramma conducibilità – TDS (*Total Dissolved Solids*) delle acque sotterranee (6/02 e 7/08 2013).

**Tabella 4.13** – Valori di conducibilità elettrolitica e TDS delle acque sotterranee.

Acque Sott. 6/02/2013	Cond μS/cm	TDS mg/l	Acque Sott. 7/08/2013	Cond μS/cm	TDS mg/l
Vè11	371	289,4	Vè11	336	255,87
Vè1	307	228,54	Vè1	316	226,49
Vè2	294	234,31	Vè2	305	231,88
Vè10	230	174,12	Vè10	239	172,32
Ar6	147	109,88	Ar6	208	165,03



$$TDS = a \cdot \text{Cond} \quad a = 0,76 \text{ (valore compreso tra } 0,75 \text{ e } 0,85)$$

**Figura 4.63** – Diagramma Conducibilità elettrolitica – TDS delle acque sotterranee.

#### 4.4.9 – Qualità delle acque sotterranee

Il risultato del monitoraggio qualitativo classifica la qualità delle acque sotterranee nella piana di Verrès-Issogne-Arnad, sempre nello stato “buono”. Si precisa che ciò non vale soltanto per quanto riguarda le analisi sopra riportate, relative all’anno 2013, ma anche per tutti gli anni precedenti di monitoraggio effettuato da ARPA Valle d’Aosta (iniziato nel 2005), durante i quali non si sono mai osservati superamenti delle massime concentrazioni previste dalla normativa in materia di siti contaminati (D.Lgs.152/06), tranne come detto per il pozzo Vè1 (lieve superamento del tetracloroetilene).

Nella Tabella 4.14 si riportano tutti i dati analitici, dei metalli e degli inquinanti, dei campioni di acqua sotterranea 6 febbraio 2013 e 7 agosto 2013 con i relativi valori limite previsti dal D. Lgl. 152/06 forniti dall’ ARPA Valle d’Aosta.

**Tabella 4.14** – Dati analitici, dei metalli e degli inquinanti, dei campioni di acqua sotterranea 6 febbraio 2013 e 7 agosto 2013 con i relativi valori limite previsti dal D. Lgl. 152/06 (dati ARPA Valle d’Aosta).

Punto di prelievo codice ARPA	Unità	Limiti D.Lgs. 152/06	Ct1		Vè11		Vè1		Vè2		Vè10		Ar6	
			06-feb-13	07-ago-13	06-feb-13	07-ago-13	06-feb-13	07-ago-13	06-feb-13	07-ago-13	06-feb-13	07-ago-13	06-feb-13	06-ago-13
	<i>U.d.M.</i>	Limiti D.Lgs. 152/06												
Ossigeno disciolto	mg/l		9,09	9,21	8,6	11,13	9,31	11,4	8,4	10,06	8,25	10,57	10,09	13,07
Conducibilità elettrica	µS/cm	2500*	479	513	371	336	307	316	294	305	230	239	147	208,3
pH			7,79	8,07	7,86	8	8,11	8,22	8,64	8,25	8,03	8,24	7,11	6,74
Temperatura	°C		12,1	14,3	11,6	8,8	8,9	12,2	9,3	12,5	9,8	12,2	11,1	11,6
Ammonio	mg/l	0,5*	0,03	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Nitrati	mg/l	50**	10,8	10,9	4,3	3,5	5,2	5,1	5,8	5,9	3,13	4,2	4,5	7,7
Bicarbonati	mg/l		211	203,2	141,6	137,1	125,9	123,2	136,6	132,9	103,2	95	58	83,6
Durezza	mg/l		233	238	184	164	140	145	148	150	106	111	65	89
Calcio	mg/l		56	58	56,4	48,2	41,5	43,1	40,1	41,1	30,2	31,8	19,9	28,1
Cloruri	mg/l	250*	15,4	17,8	10,5	7,1	8,4	7,6	7,6	6,9	3,38	4,9	5	10,3
Magnesio	mg/l		22,6	22,8	10,5	10,6	8,8	8,9	11,7	11,7	7,3	7,7	3,61	4,5
Potassio	mg/l		2,78	2,77	1,8	1,57	1,84	1,89	1,12	1,18	1,1	1,23	1,07	1,23
Sodio	mg/l	200**	7,1	7,3	5,3	6	4	4,9	3,69	4,1	2,61	2,79	4,1	10,8
Solfati	mg/l	250	42	41,6	59	41,8	32,9	31,8	27,7	28,1	23,2	24,7	13,7	18,8
Arsenico	µg/l	10	< 0,72	< 0,72	< 0,72	< 0,72	< 0,72	< 0,72	< 0,72	< 0,72	< 0,72	< 0,72	< 0,72	< 0,72
Cadmio	µg/l	5	< 0,14	< 0,14	< 0,14	< 0,14	< 0,14	< 0,14	< 0,14	< 0,14	< 0,14	< 0,14	< 0,14	< 0,14
Cromo tot	µg/l	50	5,41	5	0,62	0,57	0,98	0,98	0,76	0,74	0,78	0,97	0,80	0,7
CrVI	µg/l	5	4,54	4,07	< 0,82	0,55	0,95	0,82	< 0,82	< 0,82	< 0,82	0,87	< 0,82	0,67
Ferro	µg/l	200	< 0,98	1,1	< 0,98	1,66	< 0,98	< 0,98	2,62	1,11	< 0,98	< 0,98	2,03	< 0,98
Manganese	µg/l	50	< 0,35	1,97	< 0,35	0,72	< 0,35	0,4	0,64	0,38	< 0,35	< 0,35	< 0,35	< 0,35
Mercurio	µg/l	1	< 0,36	< 0,36	< 0,36	1	< 0,36	< 0,36	< 0,36	< 0,36	< 0,36	< 0,36	< 0,36	< 0,36
Nichel	µg/l	20	2,96	2,61	0,84	0,85	0,86	0,86	1,97	1,18	6,46	4,61	2,00	1,31
Piombo	µg/l	10	< 1,01	< 1,01	< 1,01	< 1,01	< 1,01	< 1,01	< 1,01	< 1,01	< 1,01	< 1,01	< 1,01	< 1,01
Vanadio	µg/l	50*	< 0,18	< 0,18	< 0,18	< 0,18	< 0,18	< 0,18	< 0,18	< 0,18	< 0,18	< 0,18	< 0,18	< 0,18
IPA	µg/l	s	n.e.	n.e.	N.R.	N.R.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	N.R.	n.e.
Pesticidi	µg/l	0,5 (sommatoria)	n.e.	n.e.	N.R.	N.R.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	N.R.	n.e.
<b>SOLVENTI CLORURATI</b>														
Diclorometano	µg/l		< 2,00	n.e.	< 2,00	n.e.	< 2,00	n.e.	< 2,00	n.e.	< 2,00	n.e.	< 2,00	n.e.
1,1-dicloroetilene	µg/l		< 0,30	n.e.	< 0,30	n.e.	< 0,30	n.e.	< 0,30	n.e.	< 0,30	n.e.	< 0,30	n.e.
Cloroformio	µg/l	0,15	< 0,30	n.e.	< 0,30	n.e.	< 0,30	n.e.	< 0,30	n.e.	< 0,30	n.e.	< 0,30	n.e.
1,1,1-tricloroetano	µg/l		< 0,10	n.e.	< 0,10	n.e.	< 0,10	n.e.	< 0,10	n.e.	< 0,10	n.e.	< 0,10	n.e.
Tricloroetilene	µg/l	1,5	< 0,10	n.e.	< 0,10	n.e.	< 0,10	n.e.	< 0,10	n.e.	< 0,10	n.e.	< 0,10	n.e.
Tetracloroetilene	µg/l	1,1	< 0,10	n.e.	< 0,10	n.e.	<b>1,4</b>	n.e.	< 0,10	n.e.	< 0,10	n.e.	< 0,10	n.e.
Bromoformio	µg/l	0,3	< 0,30	n.e.	< 0,30	n.e.	< 0,30	n.e.	< 0,30	n.e.	< 0,30	n.e.	< 0,30	n.e.
Dibromoclorometano	µg/l	0,13	< 0,10	n.e.	< 0,10	n.e.	< 0,10	n.e.	< 0,10	n.e.	< 0,10	n.e.	< 0,10	n.e.
Bromodichlorometano	µg/l	0,17	< 0,10	n.e.	< 0,10	n.e.	< 0,10	n.e.	< 0,10	n.e.	< 0,10	n.e.	< 0,10	n.e.
<b>SOLVENTI AROMATICI</b>														
benzene	µg/l	1	< 0,50	n.e.	< 0,50	n.e.	< 0,50	n.e.	< 0,50	n.e.	< 0,50	n.e.	< 0,50	n.e.
Toluene	µg/l	15	< 0,50	n.e.	< 0,50	n.e.	< 0,50	n.e.	< 0,50	n.e.	< 0,50	n.e.	< 0,50	n.e.
Etilbenzene	µg/l	50	< 0,50	n.e.	< 0,50	n.e.	< 0,50	n.e.	< 0,50	n.e.	< 0,50	n.e.	< 0,50	n.e.
o-Xilene	µg/l		< 0,50	n.e.	< 0,50	n.e.	< 0,50	n.e.	< 0,50	n.e.	< 0,50	n.e.	< 0,50	n.e.
m,p-Xilene	µg/l	10	< 0,50	n.e.	< 0,50	n.e.	< 0,50	n.e.	< 0,50	n.e.	< 0,50	n.e.	< 0,50	n.e.

\* limite previsto dal D. Lgs. 30/09 (monitoraggio della falda)

\*\*limite previsto dal D. Lgs. 31/01 (acque potabili)

n.e.: non eseguito

N.R.: non rilevato

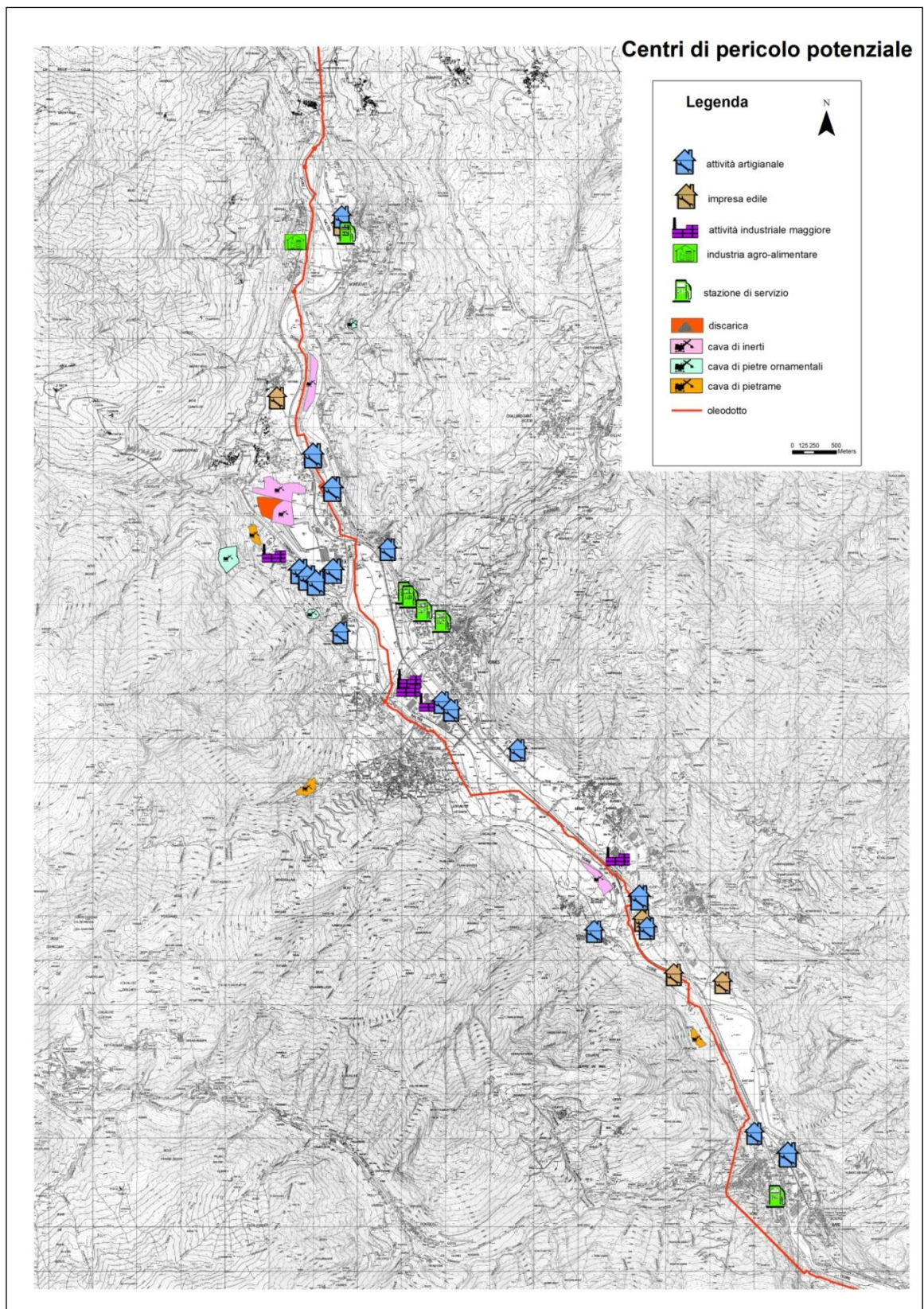
s.: esiste valore limite specifico per i diversi composti che formano la categoria

In rosso: evidenziato superamento dei limiti

#### **4.5 Centri di pericolo**

Sulla base dei dati in possesso di ARPA Valle d'Aosta e di appositi sopralluoghi è stato effettuato un censimento dei principali potenziali "centri di pericolo" (Fig. 4.64), intesi come edifici o strutture antropiche presenti sul territorio tali da potere generare un possibile inquinamento sul sottosuolo e sulla risorsa idrica sotterranea.

I principali centri di pericolo sono rappresentati dagli insediamenti industriali, raggruppati soprattutto nel polo industriale di Verrès in corrispondenza della confluenza del T. Evançon nel F. Dora Baltea, ove è situato l'Istituto Poligrafico Zecca dello Stato (monetazione), la Brabant Alucast (fusione metalli leggeri e componentistica) e la Rivoira (gas industriali). Altre industrie di un certo rilievo sono la Olivetti I-Jet (apparecchiature elettroniche), nel comune di Arnad, e la Eltek (stampaggio componenti plastici), nel comune di Hône.



**Figura 4.64** – Carta dei principali centri di pericolo nella piana di Verrès-Issogne-Arnad.

Nella carta di Figura 4.64 sono inoltre rappresentati:

- Insedimenti artigianali: tale tipologia, che comprende genericamente imprese edili, attività di lavorazione pietre ornamentali, piccole industrie, etc., è riportata in carta a mero titolo cautelativo, essendo possibile che alcune lavorazioni comportino l'utilizzo o lo stoccaggio di sostanze pericolose (es. idrocarburi, solventi);
- Stazioni di servizio: è noto che i serbatoi interrati per lo stoccaggio di idrocarburi rappresentano un potenziale impatto per il sottosuolo, in caso di perdite – anche apparentemente non significative, ma protratte per un lungo periodo di tempo - o da errate operazioni di riempimento.
- Oleodotto: attraversa il fondovalle valdostano da Pont St. Martin sino ad Aosta, da dove risale verso il Gran San Bernardo. Nel 1996 si è verificata un'importante perdita nel comune di Donnas, poco più a valle dell'area in esame, che ha comportato un intervento di bonifica.
- Cave: quelle per pietre ornamentali sono ubicate sui versanti e rappresentano soprattutto, un effettivo impatto paesaggistico negativo, essendo ben visibili dal fondovalle (cfr Fig. 2.30). Inoltre per le cave di pietre verdi va considerato il rischio sanitario derivante dalla possibile aerodispersione di fibre di amianto. Le cave di inerti o di pietrisco invece sono per lo più ubicate sul fondovalle e possono costituire un impatto negativo sul sottosuolo specie in caso di lavori di escavazione direttamente in falda, caso tuttavia non presente nel territorio in esame.
- Discariche: nell'area di interesse è presente una grossa area di cava autorizzata a discarica nel comune di Champdepraz, al momento tuttavia ancora inutilizzata (Fig. 4.65). Al fine di definirne il "bianco" ambientale, ovvero lo stato di qualità prima dell'inizio dei conferimenti dei rifiuti, è stato predisposto un sistema di monitoraggio delle acque sotterranee costituito da n. 3 piezometri (denominati con codice ARPA Is3÷5).





**Figura 4.65** – Cava autorizzata a discarica nel comune di Champdepraz (rif. Web n.2).

E' importante sottolineare che tutti i suddetti centri di pericolo non hanno di fatto dato luogo ad eventi di contaminazione, per lo meno noti: infatti, come descritto al paragrafo 3.4, sulla base del monitoraggio eseguito da ARPA Valle d'Aosta ai sensi del D.Lgs.30/09, lo stato ambientale della falda risulta essere "buono" su tutto il settore di fondovalle in esame; inoltre non è al momento aperto alcun procedimento per "sito contaminato" ai sensi del D.Lgs. 152/06.

#### 4.6 – Vulnerabilità dell’acquifero superficiale

Per la salvaguardia delle risorse idriche sotterranee bisogna tenere conto che i processi attraverso i quali un contaminante disperso sulla superficie del suolo giunge in falda e si propaga in essa possono avere un esito diverso in funzione delle caratteristiche fisiche del sistema costituito dal suolo, dal mezzo non saturo e dall’acquifero. A tal fine bisogna analizzare la vulnerabilità intrinseca dell’acquifero, che rappresenta la predisposizione o la propensione naturale di un acquifero a diventare un ricettore e un mezzo che può veicolare le sostanze inquinanti provenienti dall’ambiente esterno. Più alto è il grado di vulnerabilità più è facile che l’acquifero può essere contaminato da sostanze indesiderate.

Per realizzare la Carta della Vulnerabilità intrinseca dell’acquifero superficiale della piana di Verrès-Issogne-Arnad (nel seguito indicata più semplicemente come Carta della Vulnerabilità) si è utilizzato il metodo GOD (acronimo di *Groundwater confinement*, *Overlying strata*, *Depth to groundwater table*) rappresentato in Figura 4.66 (FOSTER *et al.*, 2002).

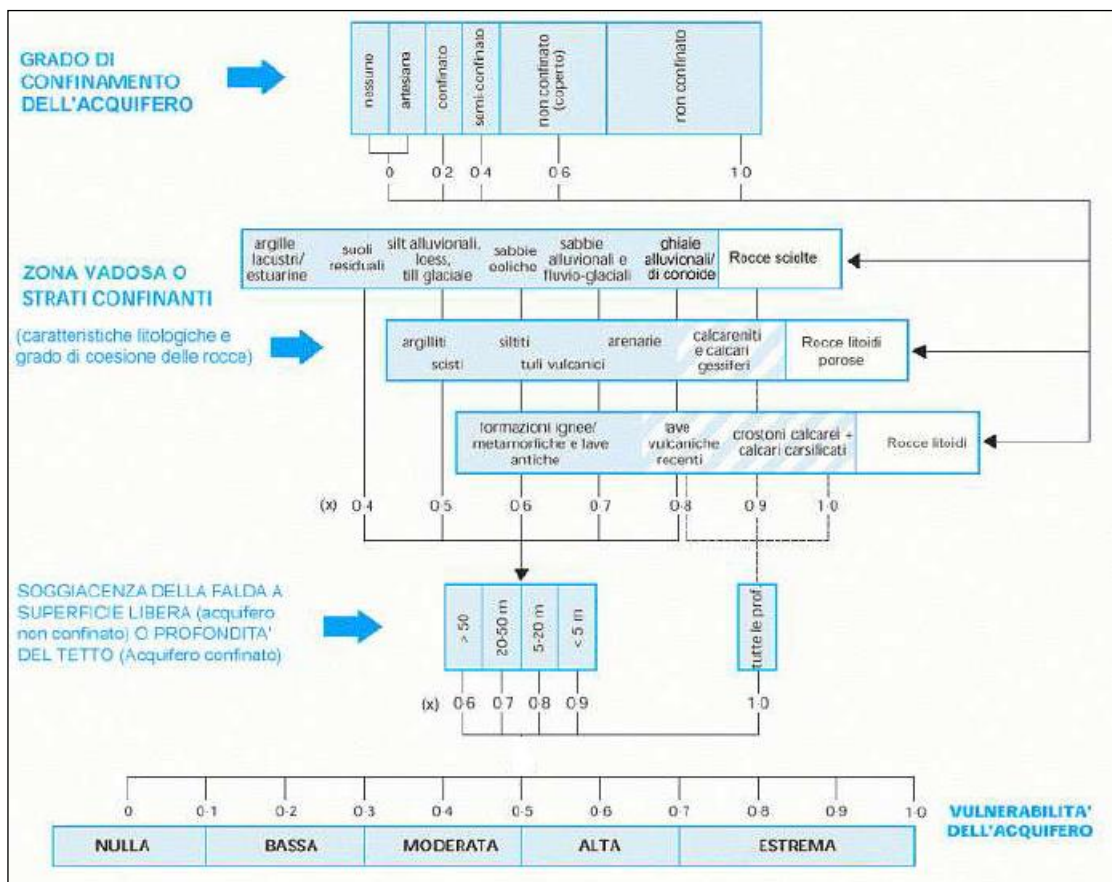


Figura 4.66 – Rappresentazione del metodo GOD (*Groundwater confinement*, *Overlying strata*, *Depth to groundwater table*).

L'insieme dei dati e delle informazioni litologiche relative alla zona non satura (ZNS) in un punto è stato indicato come *punto terra*. I dati puntuali utilizzati sono quelli riconducibili alle quindici stratigrafie riportate in allegato A. I terreni individuati da tali stratigrafie sono stati raggruppati in quattro classi litologiche semplificate descritte in Tabella 4.15. Le informazioni generali delle stratigrafie (coordinate UTM, codice, comune e profondità) sono state riassunte in Tabella 4.16, mentre lo spessore della zona non satura espressa in metri, la caratterizzazione litologica e gli spessori dei livelli incontrati nella ZNS sono indicati in Tabella 4.17.

**Tabella 4.15** – Classi litologiche semplificate dei quindici *punti terra*.

<b>CODICE</b>	<b>LITOLOGIA</b>
<b>G</b>	ghiaie/ghiaie sabbiose (compresi trovanti e ciottoli sovradecimetrici)
<b>S</b>	sabbie pulite/sabbie e ghiaie/sabbie limose
<b>L</b>	limi sabbiosi/limi con ghiaietto
<b>A</b>	argille

**Tabella 4.16** – Informazioni generali dei quindici *punti terra*.

<b>UTM_X*</b>	<b>UTM_Y*</b>	<b>CODICE</b>	<b>COMUNE</b>	<b>PROFONDITA' (m)</b>
396121	5061533	Cp1	Montjovet	25
397888	5057378	Vè2	Verrès	32
397891	5057372	Vè3	Verrès	13
397885	5057375	Vè4	Verrès	13
397483	5057537	Vè5	Verrès	47
397487	5057536	Vè6	Verrès	39
397072	5059203	Vè11	Verrès	30
397562	5057817	Vè12	Verrès	30
397577	5057645	Vè13	Verrès	30
398982	5056181	Vè14	Verrès	30
396816	5059405	Is7	Issogne	30
400020	5055583	Ar1	Arnad	72
399868	5055731	Ar5	Arnad	72
400937	5054060	Ar6	Arnad	30
399406	5056505	Ar7	Arnad	27

\* Coordinate espresse nel sistema UTM ED50

**Tabella 4.17** – Spessori delle ZNS e caratterizzazione litologica associata agli spessori dei livelli dei 15 punti terra.

<b>STRATIGRAFIA Cp1</b> ZNS = 11,62 m		<b>STRATIGRAFIA Vè2</b> ZNS = 6,5 m		<b>STRATIGRAFIA Vè3</b> ZNS = 6,6 m	
<b>Spessore (m)</b>	<b>Litologia semplificata</b>	<b>Spessore (m)</b>	<b>Litologia semplificata</b>	<b>Spessore (m)</b>	<b>Litologia semplificata</b>
0 – 0,45	S	0 – 1,7	L	0 – 1,5	S
0,45 – 7,10	G	1,7 – 6,5	S	1,5 – 5,5	G
7,10 – 10,10	S			5,5 – 6,6	L
10,10 – 11,62	G				

<b>STRATIGRAFIA Vè4</b> ZNS = 6,5 m		<b>STRATIGRAFIA Vè5</b> ZNS = 9,31 m		<b>STRATIGRAFIA Vè6</b> ZNS = 4,0 m	
<b>Spessore (m)</b>	<b>Litologia semplificata</b>	<b>Spessore (m)</b>	<b>Litologia semplificata</b>	<b>Spessore (m)</b>	<b>Litologia semplificata</b>
0 – 1,80	S	0 – 9,31	S	0 – 1,50	Terreno rip.
1,8 – 2,5	G			1,5 – 4,0	G
2,5 – 3,0	S				
3,0 – 4,0	G				
4,0 – 4,8	S				
4,8 – 5,5	G				
5,5 – 6,5	L				

<b>STRATIGRAFIA Vè11</b> ZNS = 4,35 m		<b>STRATIGRAFIA Vè12</b> ZNS = 11,55 m		<b>STRATIGRAFIA Vè13</b> ZNS = 6,00 m	
<b>Spessore (m)</b>	<b>Litologia semplificata</b>	<b>Spessore (m)</b>	<b>Litologia semplificata</b>	<b>Spessore (m)</b>	<b>Litologia semplificata</b>
0 – 1,80	S	0 – 11,55	G	0 – 6,00	S
1,80 – 4,35	G				

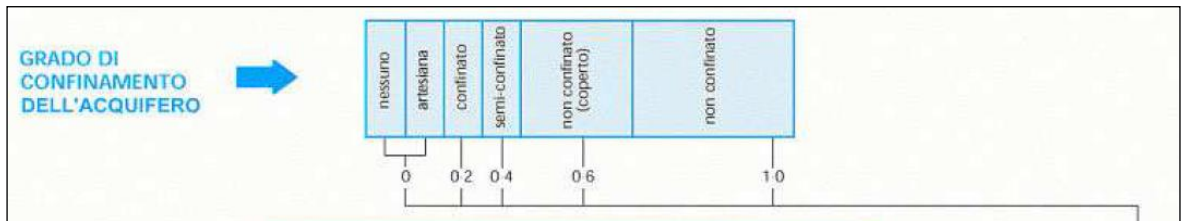
<b>STRATIGRAFIA Vè14</b> ZNS = 3,50 m		<b>STRATIGRAFIA Is7</b> ZNS = 5,08 m		<b>STRATIGRAFIA Ar1</b> ZNS = 1,90 m	
<b>Spessore (m)</b>	<b>Litologia semplificata</b>	<b>Spessore (m)</b>	<b>Litologia semplificata</b>	<b>Spessore (m)</b>	<b>Litologia semplificata</b>
0 – 0,50	Terreno rip.	0 – 5,08	G	0 – 1,90	A
0,50 – 3,50	S				

<b>STRATIGRAFIA Ar5</b> ZNS = 3,95 m		<b>STRATIGRAFIA Ar6</b> ZNS = 5,10 m		<b>STRATIGRAFIA Ar7</b> ZNS = 6,00 m	
<b>Spessore (m)</b>	<b>Litologia semplificata</b>	<b>Spessore (m)</b>	<b>Litologia semplificata</b>	<b>Spessore (m)</b>	<b>Litologia semplificata</b>
0 – 2,50	A	0 – 0,40	G	0 – 1,80	Terreno rip.
2,50 – 3,90	G	0,40 – 0,80	S	1,80 – 6,00	S
		0,80 – 1,10	G		
		1,10 – 3,00	S		
		3,00 – 3,30	G		
		3,30 – 3,75	S		
		3,75 – 5,10	G		

Il metodo GOD ha permesso di valutare la vulnerabilità dell'acquifero con il prodotto dei seguenti fattori:

**G** = rappresenta il grado di confinamento dell'acquifero; sono presenti sei classi alle quali vengono attribuiti punteggi variabili tra 0 e 1 (Fig. 4.67). L'acquifero è considerato *coperto* quando lo spessore del materiale fine nella zona non satura risulta maggiore o uguale a 3 m.

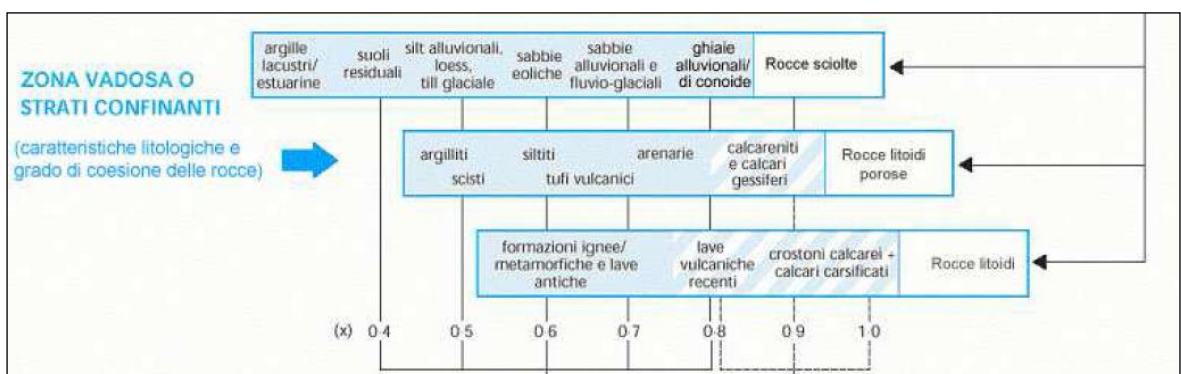


**Figura 4.67** – Grado di confinamento dell'acquifero (**G**).

Per tutti i 15 *punti terra*, relativi all'area di studio, il grado di confinamento dell'acquifero risulta essere “non confinato” con un parametro G pari a 1. Si specifica che nei punti Ar1 e Ar5 sono presenti lenti più o meno diffuse di argilla con spessore inferiore ai 3 m e, in quanto tali, si è mantenuto il grado di confinamento dell'acquifero pari a 1 come negli altri casi.

**Q** = caratteristiche litologiche e grado di coesione delle rocce della zona non satura (per gli acquiferi non confinati) e dei livelli confinati a tetto (per gli acquiferi confinati).

Alle caratteristiche litologiche e allo stato di coesione delle rocce della zona non satura (vadosa), per gli acquiferi non confinati, o degli strati confinati, per gli acquiferi in pressione, compete un punteggio variabile tra 0,4 e 1 (per le argille si considera un indice pari a 0,3) (Fig. 4.68).



**Figura 4.68** – Caratteristiche litologiche e grado di coesione delle rocce della zona non satura e dei livelli confinati a tetto (**Q**).

Per ciascun punto terra considerato è stato attribuito un valore sulla base della seguente relazione:

$$\underline{Q} = \Sigma (V*S)/S_{ZNS}$$

Dove :

V = valore del parametro  $\underline{Q}$  relativo ad ogni livello costituente la stratigrafia della zona non satura, sulla base dei valori previsti dal metodo GOD (2002) per le differenti litologie;

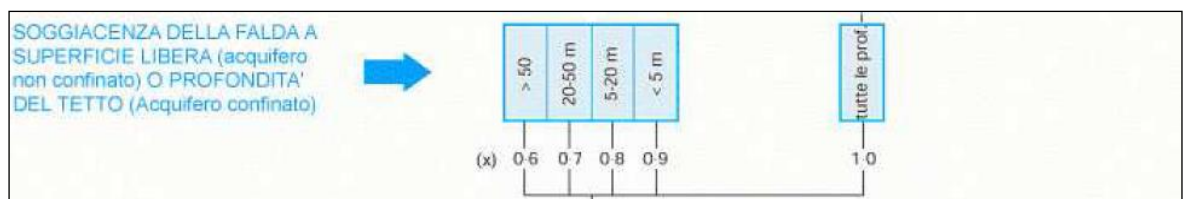
S = spessore del singolo livello;

$S_{ZNS}$  = spessore della zona non satura.

In Tabella 4.18 sono riportati i calcoli per l'individuazione del parametro  $\underline{Q}$ .

$\underline{D}$  = soggiacenza della falda a superficie libera nel caso di acquifero non confinato o tetto dell'acquifero per gli acquiferi confinati.

Al termine  $\underline{D}$  può essere assegnato un punteggio compreso tra 0,6 e 1 (Fig. 4.69)

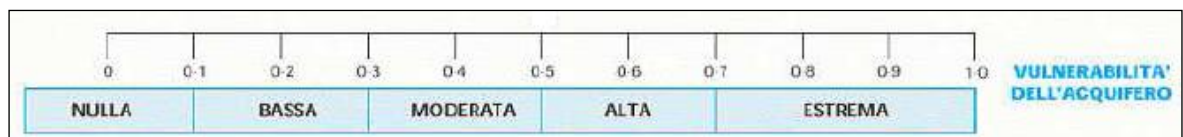


**Figura 4.69** – Soggiacenza della falda a superficie libera o profondità del tetto ( $\underline{D}$ ).

Per i punti terra Vè6, Vè11, Vè14, Ar1 e Ar5 il parametro  $\underline{Q}$  è pari a 0,9 (soggiacenza < 5 m) per i rimanenti risulta essere di 0,8 (soggiacenza tra 5-20 m). In corrispondenza di ciascuno dei 15 *punti terra* è stato infine calcolato il valore dell'indice GOD moltiplicando i tre parametri  $\underline{G}$ ,  $\underline{Q}$ ,  $\underline{D}$ :

$$\text{indice GOD} = \underline{G} * \underline{Q} * \underline{D}$$

Tale valore può essere compreso tra 0 e 1 e corrisponde a sei gradi di vulnerabilità (Fig. 4.70).



**Figura 4.70** – Gradi di vulnerabilità dell'acquifero.

Tabella 4.18 – Calcolo del parametro  $\underline{Q}$  nei quindici punti terra.

PUNTO	ZNS	It1		It2		It3		It4		It5		It6		It7	
		sp	value	sp	value	sp	value	sp	value	sp	value	sp	value	sp	value
Cp1	11,62	0,45	0,7	6,65	0,8	3	0,7	1,52	0,8						
Ve2	6,5	1,7	0,5	4,8	0,7										
Ve3	6,6	1,5	0,7	4	0,8	1,1	0,5								
Ve4	6,5	1,8	0,7	0,7	0,8	0,5	0,7	1	0,8	0,8	0,7	0,7	0,8	1	0,5
Ve5	9,31	9,31	0,7												
Ve6	4	1,5	0,4	2,5	0,8										
Ve11	4,35	1,8	0,7	2,55	0,8										
Ve12	11,55	11,55	0,8												
Ve13	6	6	0,7												
Ve14	3,5	0,5	0,4	3	0,7										
Is7	5,08	5,08	0,8												
Ar1	1,9	1,9	0,3												
Ar5	3,95	2,5	0,3	1,45	0,8										
Ar6	5,1	0,4	0,8	0,4	0,7	0,3	0,8	1,9	0,7	0,3	0,8	0,45	0,7	1,35	0,8
Ar7	6	1,8	0,4	4,2											

Come si nota in Tabella 4.19, per la maggior parte dei punti terra considerati, l'indice GOD è compreso tra 0,5 e 0,7 con grado di vulnerabilità "alto" ad eccezione di Ar1 e Ar5 che presentano un grado di vulnerabilità "basso" compreso tra 0,1 e 0,3 e "moderato" compreso tra 0,3 e 0,5.

**Tabella 4.19** – Valori dell'indice GOD relativi ai quindici punti terra.

<b>punto</b>	<b>G</b>	<b>O</b>	<b>D</b>	<b>Indice GOD</b>
<b>Cp1</b>	1	0,77	0,8	<b>0,62</b>
<b>Vè2</b>	1	0,65	0,8	<b>0,52</b>
<b>Vè3</b>	1	0,73	0,8	<b>0,58</b>
<b>Vè4</b>	1	0,71	0,8	<b>0,57</b>
<b>Vè5</b>	1	0,70	0,8	<b>0,56</b>
<b>Vè6</b>	1	0,65	0,9	<b>0,59</b>
<b>Vè11</b>	1	0,76	0,9	<b>0,68</b>
<b>Vè12</b>	1	0,80	0,8	<b>0,64</b>
<b>Vè13</b>	1	0,70	0,8	<b>0,56</b>
<b>Vè14</b>	1	0,66	0,9	<b>0,59</b>
<b>Is7</b>	1	0,80	0,8	<b>0,64</b>
<b>Ar1</b>	1	0,30	0,9	<b>0,27</b>
<b>Ar5</b>	1	0,48	0,9	<b>0,43</b>
<b>Ar6</b>	1	0,75	0,8	<b>0,60</b>
<b>Ar7</b>	1	0,63	0,8	<b>0,50</b>

L'interpolazione dei valori puntuali riportati in Tabella 4.19 ha permesso la realizzazione della Carta delle Vulnerabilità della piana di Verrès-Issogne-Arnad (Fig. 4.74), a tal fine si sono utilizzati appositi software cartografici, nello specifico Qgis e Grass. Per ogni parametro del metodo GOD (G, O, D) si sono ottenute delle immagini *raster*, formate da celle di dimensioni di 10 metri, che hanno messo in evidenza le variazioni di tali parametri nell'area presa in esame.

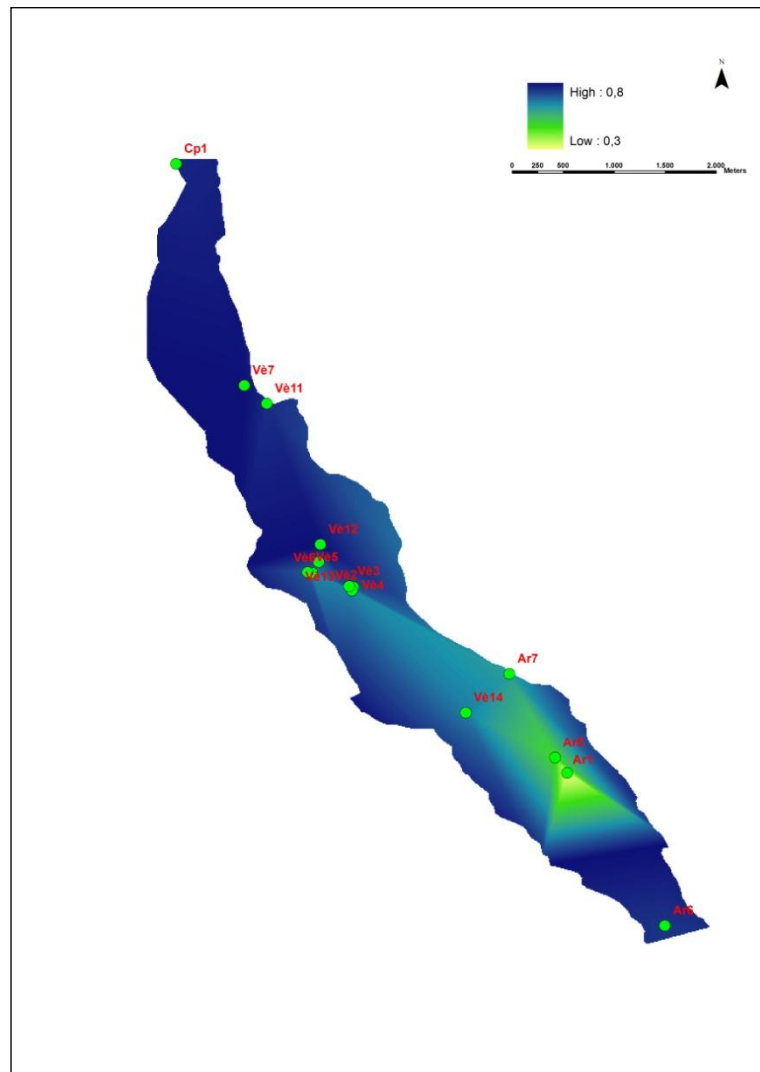
La Carta della Vulnerabilità realizzata, si estende entro il territorio compreso tra i *punti terra* Cp1 e Ar6, in quanto al di fuori di esso non sono disponibili informazioni utili per poter interpolare i dati puntuali ottenuti con il metodo GOD.

Di seguito è illustrata la metodologia che ha permesso la rappresentazione cartografica dei parametri G, O, D. Per quanto riguarda il grado di confinamento dell'acquifero (G) lo si è sempre considerato costante pari a 1, relativo ad un acquifero "non confinato".

Invece, per eseguire l'interpolazione dei dati puntuali relativi alle caratteristiche litologiche e al grado di coesione delle rocce della zona non satura (per gli acquiferi non confinati) e dei livelli confinati a tetto (per gli acquiferi confinati) è stato necessario, per avere la

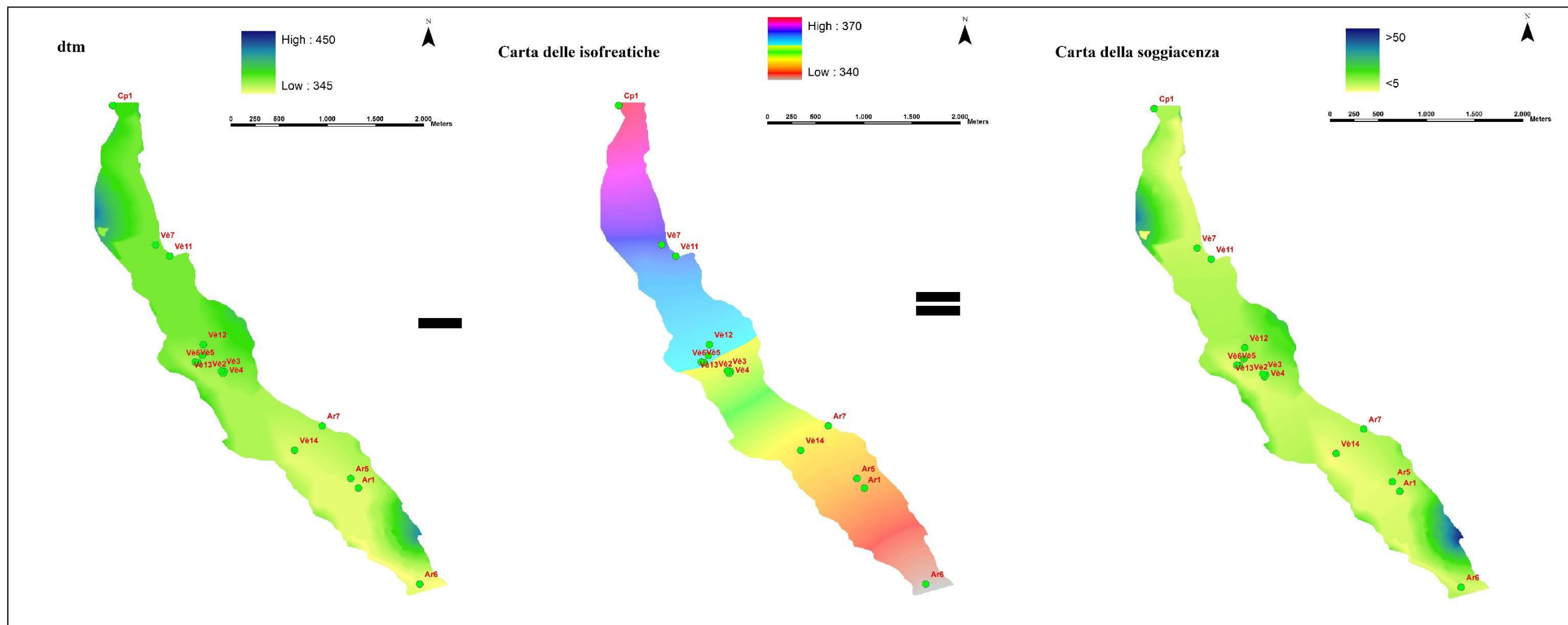


massima copertura della zona d'interesse, aggiungere nuovi valori del parametro  $\underline{Q}$  ai lati dell'area presa in esame. Il valore considerato per tali indici è pari a 0,8, dato ritenuto il più rappresentativo. La Figura 4.71 evidenzia che in prossimità del comune di Arnad il parametro  $\underline{Q}$  è basso, dovuto alla presenza di lenti più o meno diffuse di argilla di spessore inferiore ai 3 m e, in quanto tali, non in grado di influenzare il parametro  $\underline{G}$  (pari a 1).

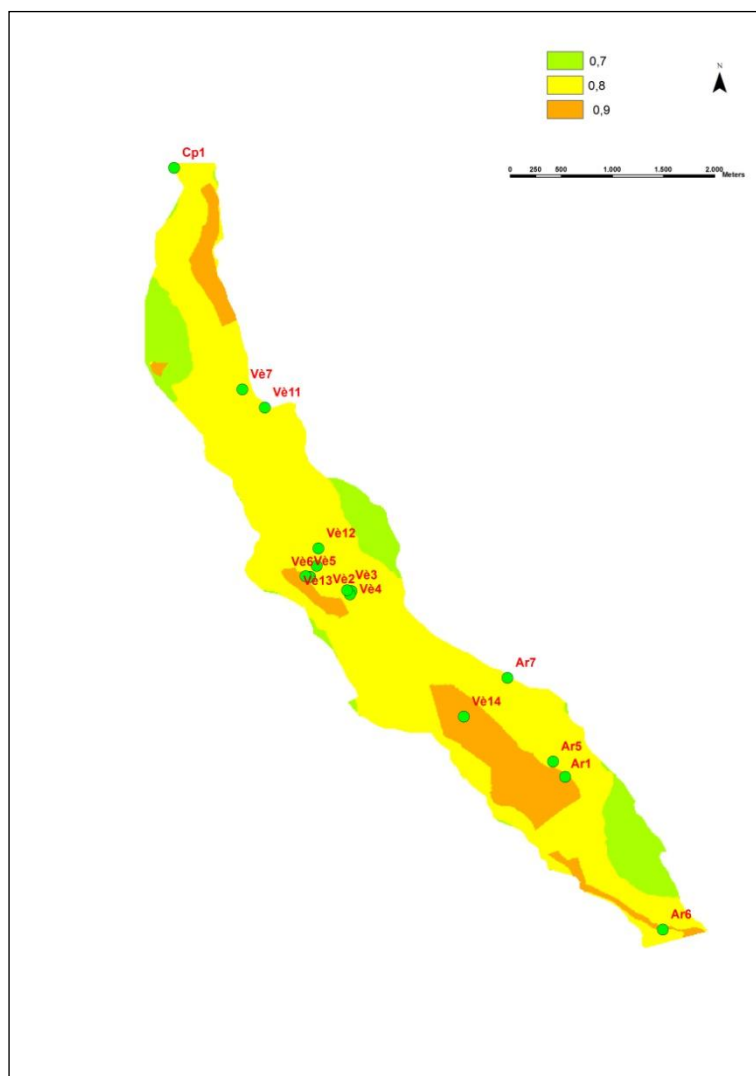


**Figura 4.71** – Interpolazione dei valori puntuali del parametro  $\underline{Q}$  nell'area considerata.

Infine, per il parametro  $\underline{D}$ , si è analizzata la carta delle isofreatiche in figura 4.49 e si sono interpolate, su tutto il territorio considerato, le sue informazioni puntuali. Così facendo, si è realizzata una nuova carta delle isofreatiche (Fig. 4.72, al centro) che è stata sottratta al dtm dell'area d'interesse (Fig. 4.72, a sinistra) ottenendo la carta della soggiacenza (Fig. 4.72, a destra) da cui deriva la rappresentazione cartografica del parametro  $\underline{D}$  (Fig. 4.73).



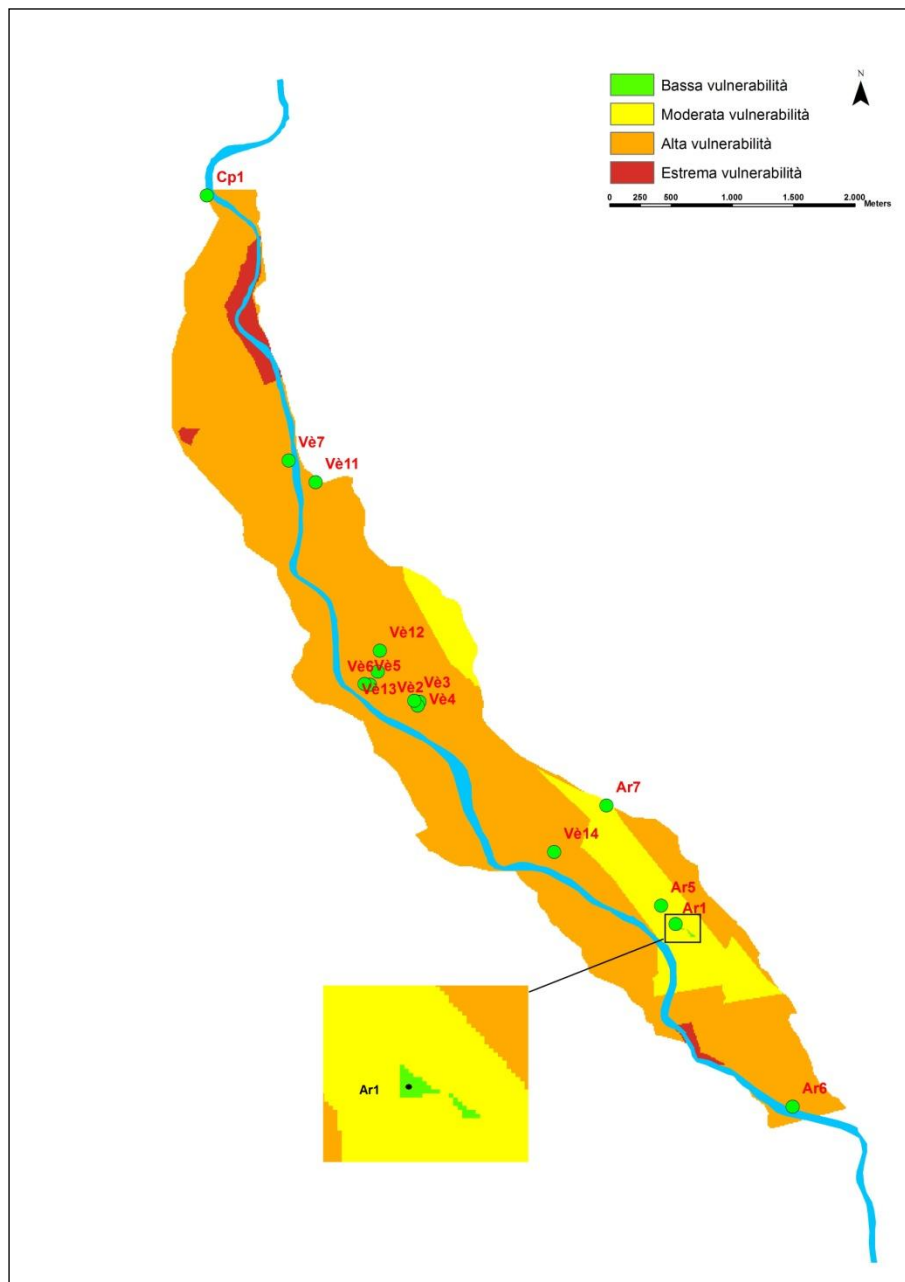
**Figura 4.72** – Realizzazione della carta della soggiacenza nell'area considerata; asinistra dtm, in centro nuova carta isofreatica, a destra carta della soggiacenza.



**Figura 4.73** – Interpolazione dei valori puntuali del parametro  $\underline{D}$  nell’area considerata.

Dalla Figura 4.74 si osserva che la maggior parte del territorio della piana di Verrès-Issogne-Arnad è compreso nella classe di vulnerabilità “alta”, con valori pari a  $0,5 \div 0,7$ , ad eccezione di alcune zone limitate che ricadono nelle restanti classi escludendo la classe di vulnerabilità “nulla”. La classe di vulnerabilità “moderata”, con valori pari a  $0,3 \div 0,5$  è stata individuata sul conoide di Verrès e nei pressi del comune di Arnad; essa è giustificata da un elevato valore di soggiacenza che risulta anche maggiore di 50 m in questi tratti della piana. Inoltre, sempre nel comune di Arnad, la presenza di lenti di argilla, che hanno comportato una diminuzione del valore del parametro  $\underline{Q}$ , hanno posto questo limitato settore nella classe di vulnerabilità

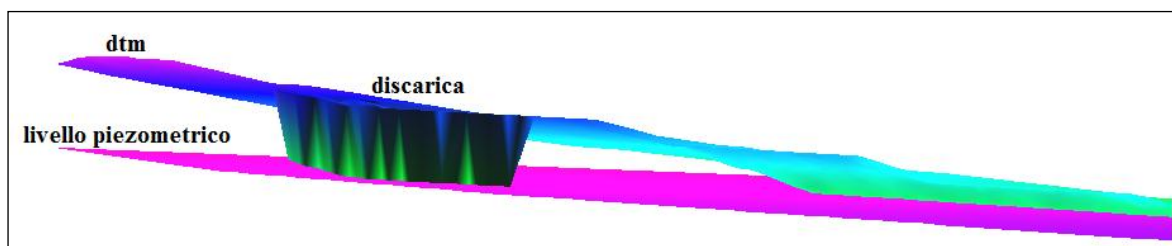
“bassa”, con valori pari a  $0,1 \div 0,3$ . Si precisa che per dimensionare al meglio l’area a bassa vulnerabilità sarebbe opportuno delimitare in modo più preciso queste formazioni argillose.



**Figura 4.74** – Carta della Vulnerabilità dell’area considerata; lo zoom evidenzia il settore con grado di vulnerabilità “basso”.

Nel settore destinato a discarica, nel comune di Champdepraz, e in due tratti che costeggiano l’alveo del F. Dora Baltea, posti rispettivamente a monte e valle della piana, la classe di vulnerabilità risulta “estrema” con valori compresi tra 0,7 e 1 in quanto il livello piezometrico

è prossimo alla superficie, con soggiacenza minore di 5 m (Fig. 4.72). La discarica ha una profondità di 30 metri dal piano campagna (Fig. 4.75) mentre, nei restanti settori si ipotizza che l'alveo ha subito una maggiore erosione a causa dell'aumento della velocità del flusso superficiale dovuta al restringimento della valle; in entrambi i casi ciò ha comportato l'avvicinamento del livello piezometrico al piano campagna.



**Figura 4.75** – Rappresentazione tridimensionale del settore destinato a discarica nel comune di Champdepraz, realizzata con il *software* Grass, che mette in evidenza come il fondo della discarica (profondità 30 m da P.C.) sia prossimo al livello piezometrico.

La Carta della Vulnerabilità realizzata in questo studio può essere in futuro aggiornata e migliorata con la realizzazione di nuovi punti terra per avere ulteriori informazioni litologiche relative alla zona non satura.

## 5 – CONCLUSIONI

Durante il lavoro di tesi, si sono riscontrate alcune difficoltà per quanto riguarda la ricostruzione litostratigrafica e idrogeologica dell'area in esame. Un primo problema incontrato riguarda la carenza di stratigrafie e la loro distribuzione disomogenea sul territorio in questione. Inoltre, si specifica, che le indagini indirette (TDEM, HVSR e ReMi) hanno fornito valori utili solo in due siti (Verrès lato nord e Hône) su quattro a causa del forte disturbo elettromagnetico ed acustico, dovuto alla presenza di tralicci dell'alta tensione, di tubazioni interrato dell'oleodotto, alla vicinanza della ferrovia, dell'autostrada e della SS26.

Per quanto riguarda l'affidabilità dei dati, la misura della soggiacenza può essere considerata affidabile, perché viene rilevata con un freatometro che presenta un errore intrinseco di misura trascurabile a fronte della precisione richiesta. Le misure di portata del F. Dora Baltea presentano invece problemi di significatività legati alla presenza della centrale idroelettrica di proprietà della CVA Hône 1 ad acqua fluente (può turbinare un massimo di 55 m<sup>3</sup>/s). Ad Hône (idrometro posizionato a 360 m dalla centrale) nel periodo di magra, i dati risentono in parte del rigurgito dovuto al rilascio della centrale mentre in corrispondenza dei rilasci, si assiste ad un incremento del livello idrometrico, che si traduce in un innalzamento fittizio della portata tra i 2 e i 5 m<sup>3</sup>/s. Secondariamente bisogna considerare che il dato di portata non è una misura diretta ma un'elaborazione che dipende da altre variabili e soggetta ad errori di calcolo tanto che ogni idrometro è contraddistinto da un proprio codice di affidabilità (nel nostro caso pari a 1: "dato idrometrico/scala di deflusso sono affidabili e il fondo alveo risulta abbastanza stabile").

Un ulteriore problema è legato alla serie storica della falda; si dispone di nove anni di misure ma, sarebbe auspicabile ragionare su intervalli almeno decennali. Al contrario, l'affidabilità risulta alta sia per i dati di temperatura dell'aria che per le precipitazioni che vengono registrate in continuo da apposite stazioni meteo e presentano serie storiche lunghe (quinquennali) in grado di coprire la serie storica della falda.

Per la mancanza di *punti terra*, la Carta della Vulnerabilità non rappresenta l'intera piana a causa della scarsità di informazioni al di fuori dei punti Cp1 e Ar6 che non ha permesso l'interpolazione dei dati puntuali ottenuti con il metodo GOD.

Molto interessante sarebbe approfondire le indagini svolte in questo lavoro nel settore destinato a cava autorizzata a discarica nel comune di Champdepraz. Questo esteso territorio, come si nota nella Carta della Vulnerabilità, influenza notevolmente e negativamente la

vulnerabilità di questa area, in quanto il livello piezometrico, a causa della sbancamento (30 m di profondità) risulta prossimo alla superficie rappresentata dalla base dell'ex cava. Consigliabile sarebbe di rialzare il fondo della futura discarica di un paio di metri e di effettuare un monitoraggio continuo e accurato per evitare danni all'ambiente circostante considerando, anche, la notevole vicinanza al T. Chalamy.

In futuro con la possibilità di effettuare nuove indagini geognostiche (sia dirette che indirette) si potrà stabilire meglio la profondità e l'andamento del substrato roccioso, si potranno avere ulteriori informazioni litologiche riguardanti la zona non satura e di conseguenza aggiornare e migliorare la Carta della Vulnerabilità della piana di Verrès-Issogne-Arnad.

## BIBLIOGRAFIA

- AMELOT F. & BOLOGNINI D. (2008) - *Les plus beaux paysages du Pays du Mont-Blanc* – Presses de Kalistène, Cran-Gevrier, 100 pp.
- BORGHI A. (2012) – *Dispense di Geologia Regionale*. Dipartimento di Scienze della Terra – Università di Torino.
- CERUTTI A.V. (2006) – *Le pays de la Doire et son peuple* - Casa Editrice Musumeci, 373 pp.
- CIVITA M. (2005) – *Idrologia applicata e ambientale* - Casa Editrice Ambrosiana, 794 pp.
- COMUNITÀ EUROPEA (2000) – *Direttiva 2000/60/CE del 23 ottobre 2000: Direttiva del Parlamento europeo e del Consiglio che istituisce un quadro per l'azione comunitaria in materia di acque* – G.U.C.E. n. L 327 del 22 dicembre 2003.
- COMUNITÀ EUROPEA (2006) – *Direttiva 2006/118/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 12 dicembre 2006 sulla protezione delle acque sotterranee dall'inquinamento e dal deterioramento* – GUE del 27 dicembre 2006, n.372/L.
- DAL PIAZ G.V. (1992) – *Le Alpi dal Monte Bianco al Lago Maggiore* – Guide geologiche regionali a cura della Società Geologica italiana, BE-Ma editrice, 311 pp.
- ELTER P. - AGG. BONETTO-DAL PIAZ-DE GIUSTI (2010) - *Carta geologica della Valle d'Aosta*, scala 1:100.000 – Tipografia Valdostana, Aosta 2010.
- FOSTER *et al.* (2002) – *Metodo GOD*.
- GAUDIO R. & VUILLERMOZ R. (2004) - *Carta della classificazione dei terreni sedi di frana del comune di Arnad*, scala 1:10.000.
- GREGORI F. (2004) - *Carta Geologica del comune di Verrès* - Piano Regolatore Generale Comunale, Variante alle carte degli ambiti inedificabili, scala 1:5.000.
- ITALFERR & PROMOGEO SRL (2011) - *Indagini geognostiche e prove in sito – progetto preliminare ammodernamento Chivasso-Aosta tratta Verrès – Chatillon*. Relazione tecnica.
- MASCIOCCO L. (2012) – *Dispense di Laboratorio di Geologia Ambientale – Chimica delle acque*. Dipartimento di Scienze della Terra – Università di Torino.
- MERCALLI L. CAT BERRO D. MONTUSCHI S. CASTELLANO C. RATTI M. & DI NAPOLI G. MORTARA G. GUINDANI N. (2003) – *Atlante climatico della Valle d'Aosta* - SMS (Società Meteorologica Subalpina), Graficat, Torino, 403 pp.



- POLINO R. ET AL. (2009) - *Carta geologica d'Italia alla scala 1:50.000, foglio 90 Aosta*, Agenzia per la Protezione dell'Ambiente e per i Serv. Tec., Org. Cartogr. dello Stato, Roma, 2009.
- PRINETTI F. (2010) – *Andar per Sassi* - Musumeci Editore, 251 pp.
- REGIONE VALLE D’AOSTA (2006) – *Delibera del Consiglio Regionale della Valle d’Aosta dell’8 febbraio 2006, n. 1788/XII: “Piano regolatore di tutela della acque ai sensi dell’art. 44 del D. Lgs. n. 152/1999”* – Bollettino Ufficiale della Regione Valle d’Aosta del 26 aprile 2006, n. 17.
- REPUBBLICA ITALIANA (1988) – *Decreto Presidenziale della Repubblica del 24 maggio 1988, n. 236: “Attuazione della direttiva CEE n. 80/778 concernente la qualità delle acque destinate al consumo umano, ai sensi dell’art. 15 della legge 16 aprile 1987, n. 183”* – Gazzetta Ufficiale n. 152 del 30 giugno 1988.
- REPUBBLICA ITALIANA (1999) – *Decreto legislativo del 11 maggio 1999, n. 152: Disposizioni sulla tutela delle acque dall’inquinamento e recepimento della direttiva 91/271/CEE concernente il trattamento delle acque reflue urbane e della direttiva 91/676/CEE relativa alla protezione delle acque dall’inquinamento provocato dai nitrati provenienti da fonti agricole* – Gazzetta Ufficiale del 29 maggio 1999, n. 124.
- REPUBBLICA ITALIANA (1999) – *Decreto ministeriale del 25 ottobre 1999, n. 471: “Regolamento recante criteri, procedure e modalità per la messa in sicurezza, la bonifica e il ripristino ambientale dei siti inquinati, ai sensi dell’articolo 17 del decreto legislativo 5 febbraio 1997, n. 22, e successive modificazioni e integrazioni”* – Supplemento ordinario alla Gazzetta Ufficiale n. 293 del 15 dicembre 1999.
- REPUBBLICA ITALIANA (2001) – *Decreto legislativo del 2 febbraio 2001, n. 31: “Attuazione della direttiva 98/83/CE relativa alla qualità delle acque destinate al consumo umano”* – Gazzetta Ufficiale del 3 marzo 2001, n. 52.
- REPUBBLICA ITALIANA (2006) – *Decreto legislativo del 3 aprile 2006, n. 152: “Norme in materia ambientale”* – Gazzetta Ufficiale del 14 aprile 2006, n.88.
- REPUBBLICA ITALIANA (2009) – *Decreto legislativo del 16 marzo 2009, n. 30: “Attuazione della direttiva 2006/118/CE, relativa alla protezione delle acque sotterranee dall’inquinamento e dal deterioramento”* – Gazzetta Ufficiale del 14 aprile 2009, n.79.
- RIVOIRA S.P.A & PIANO A. (2007) – *Stabilimento di Vèrres, installazione di nuovo impianto di produzione Ossigeno, Azoto e Argon liquidi*. Relazione geologica e geotecnica.

TECHGEA (2013) – *Indagini geofisiche per l'esplorazione profonda del sottosuolo "piana di Verrès"*. Relazione tecnica.

**RIFERIMENTI WEB**

RIF. WEB N 1 : <http://www.naturaosta.it/geoturismo/manuale.htm>

RIF. WEB N 2 : <http://www.bing.com/maps>

RIF. WEB N 3 : <http://geonavsct.partout.it/pub/Geodissesti>

# ALLEGATO A

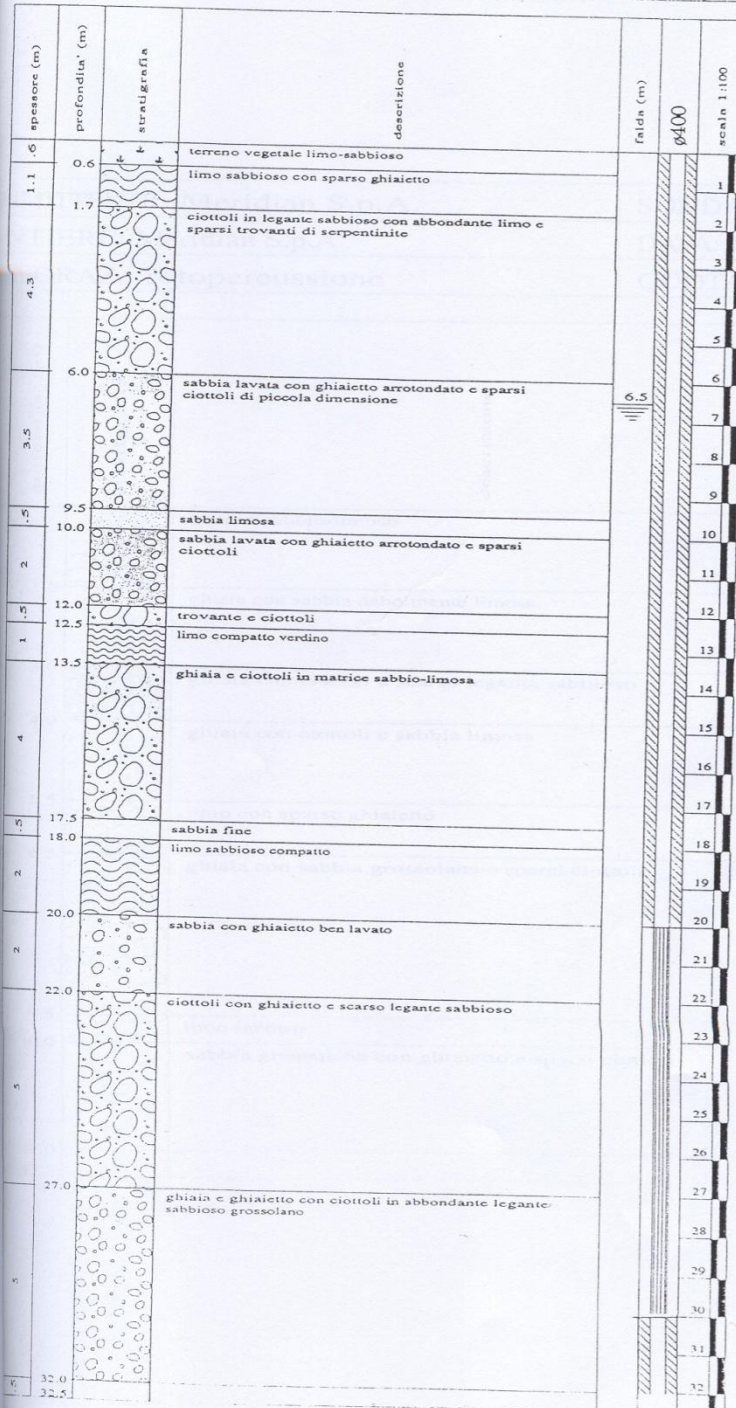




# STRATIGRAFIA Vè2

COMMITTENTE: Meridian S.p.A.	SONDAGGIO: pozzo
CANTIERE: VERRÉS-Capoluogo	DATA: 24.02.95 *
PERFORAZ.: rotopercolazione	QUOTA: 362,48

Vè2


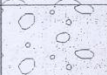
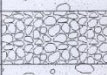



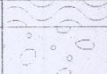



\* pozzo trivellato nell'aprile 1993, la data indicata si riferisce all'inizio delle operazioni di ripristino con posa di nuovo filtro (ø400), ricementazione dei primi 20 metri della colonna cieca ed approfondimento del pescante (20,0 m).

# STRATIGRAFIA Vè3

Vè3

COMMITTENTE: Meridian S.p.A.	SONDAGGIO: piez.1
CANTIERE: Meridian S.p.A	DATA: 13.02.95
PERFORAZ.: rotopercolazione	QUOTA: 364,39

profondità* (m)	stratigrafia	descrizione	faldia (m)	piezometri (m)
		terreno sabbio-limoso		
1.5		ghiaia con sabbia debolmente limosa		
3.0		ghiaia con ciottoli a scarso legante sabbioso		
4.0		ghiaia con ciottoli e sabbia limosa		
5.5		limo con sparso ghiaietto		
6.5		ghiaia con sabbia grossolana e sparsi ciottoli	6.6	
9.5		limo sabbioso		
10.0		sabbia grossolana con ghiaietto e sparsi ciottoli		
12.0				
12.5				12.0

# STRATIGRAFIA Vè4

COMMITTENTE: Meridian S.p.A.	SONDAGGIO: piez.2
CANTIERE: Meridian S.p.A.	DATA: 13.02.95
PERFORAZ.: rotopercolazione	QUOTA: 364,34

spessore (m)	profondità (m)	stratigrafia	descrizione	falda (m)	piezometri (m)
1.8	1.8		terreno sabbio-limoso	6.5	12.0
1.7	1.8		trovante e ciottoli in legante sabbioso		
1.5	2.5		sabbia fine con ghiaietto		
1	3.0		ghiaia con ciottoli a scarso legante sabbioso		
1	4.0		sabbia fine limosa		
1	4.8		ghiaia con ciottoli e sabbia limosa		
1	5.5		limo-sabbioso		
3	6.5		ghiaia con sabbia grossolana e sparsi ciottoli		
2.5	9.5		sabbia grossolana con ghiaietto e sparsi ciottoli		
1.5	12.0				
	12.5				



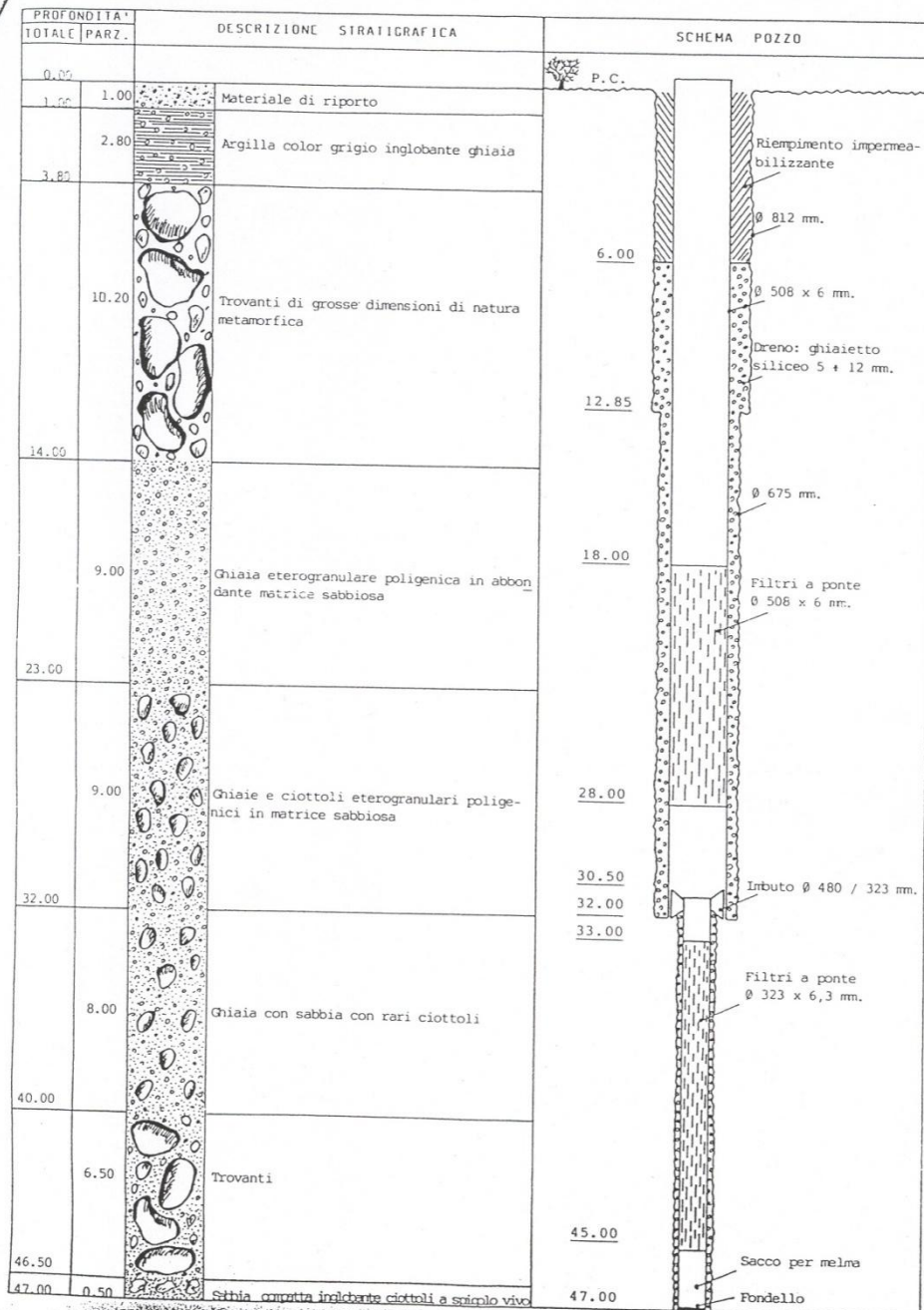
# STRATIGRAFIA Ve5

Spett. VERRES S.P.A.  
Via Glair, 21  
VERRES (AO)

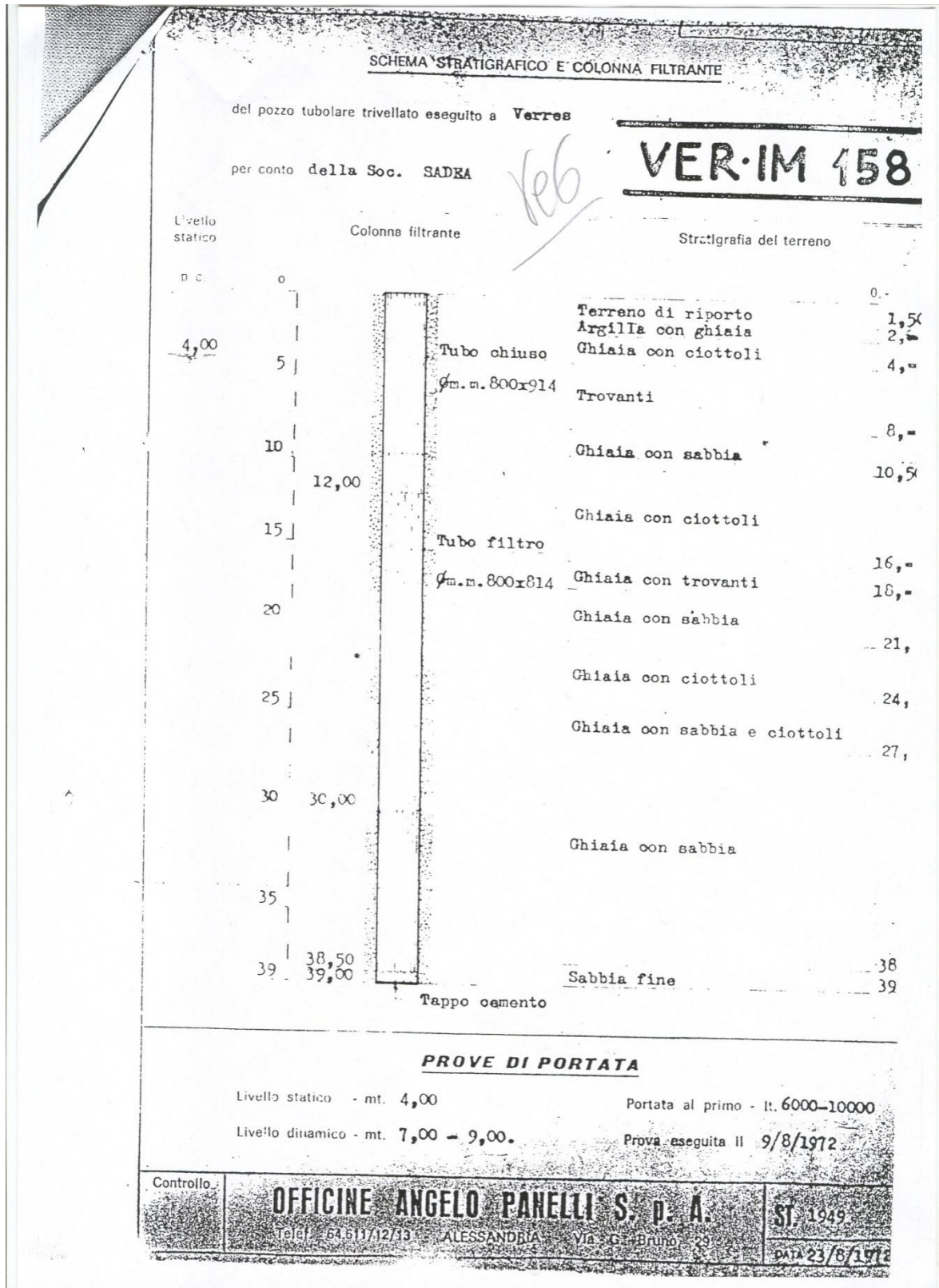
carlo della torre  
PROFONDITA' : mt. 47,00

POZZO : Ø 508 x 6 mm. /  
Ø 323 x 6,3 mm.

DATA : Ottobre 1991



# STRATIGRAFIA Vè6





Quote		Stratigrafia		Campioni		Risoluzione di dettaglio		Descrizione dei litotipi		Idrogeologia		Geotecnica		Strumentazione		Perforazione		Annotazioni		
Profondità (m)	Potenza statica (m)																			
0.00	4.70	CS 7 2.00/2.30						Chiusa arenacea (diametro massimo 4.5cm) con sabbia di colore marrone molto scuro (N <sub>60</sub> 45) ripartita in strati a 2.10 m e 2.40(m). Clasti poligonali da arrotondati ad angolari.	Prove permeabilità LUGDON LAFWAN in situ in U.S.	Standard Penetration Test Type Measured Prove penetrometriche	Torres Shear Test Pocket Penetrometer	Inclinometro Piezometro Piezometro a tubo aperto Piezometro Cassette	Assesimetro Estensimetro	Metodo e diametro Rivestimento	Fluido Cassa di Misura Cassa di Misura Cassa di Misura	Perforazione a carotaggio continuo, DIAMETRO: 101 mm, PROFONDITA': 30.00 m	Acqua limpida	Composto metrico N° casse: 6 Rivest. (12): 30 m Rivest. (15): 9 m	TUBO PIEZOMETRICO diatero 3 m fiancheggiato 27 m	
26.2	0.00	CS 8 24.00/24.30						Chiusa arenacea (diametro massimo 4.5cm) sabbioni di colore marrone. Clasti poligonali da arrotondati ad angolari.												
26.4	0.00							Lento sabbioso (sabbia fine) di colore marrone, grigio scuro 1.25-9.0m di profondità, molte conchiglie (N <sub>60</sub> 28 a 27.5cm).												
26.6	0.00	CS 9 27.50/27.90																		
26.8	0.00	CS 10 28.00/28.40						Sabbia fine limosa di colore grigio scuro (N <sub>60</sub> 15 a 10.00m).												







# STRATIGRAFIA Vè14

	Attrezzatura: Casagrande C6	Superiore Sig. Anton E.
Via Plave 13, 12037 SALUZZO (CN) Tel/Fax 0175211047 info@somiter.eu	Data inizio: 04/10/2013    Data ultimazione: 09/10/2013 Note: CODICE Vè14	Responsabile cantiere Dot. Coia M.

Scala 1:100	Stratigrafia	Potenza	Quota	Descrizione	Cala setta	Perforazione	Rivestimento	Piezometro T.A.	Faldi
		0.50	-5.00	Riporto ghialoso-sabbioso debolmente limoso di colore grigio-bruno chiaro					
		1.70	-2.20	Sabbia debolmente limosa, asciutta, di colore bruno-grigio chiaro, con scarsa ghiala medio-fine					
2		0.75	-2.95	Sabbia debolmente limosa, asciutta, di colore bruno chiaro-ocra	1				
4		0.15	-3.10	Sabbia limosa, asciutta, di colore grigio					
6		6.30	-9.40	Ghiala eterometrica, perlopiù angolosa a spigoli arrotondati, con ciottoli (Ø max > 10 cm) in matrice sabbioso-limosa di colore bruno-grigio	2				
8		0.80	-10.20	Ghiala medio-fine (Ø medio = 2 cm) in matrice sabbioso-limosa di colore grigio					
10		3.30	-13.50	Ghiala eterometrica, perlopiù angolosa a spigoli arrotondati, con ciottoli (Ø max > 10 cm) in matrice sabbioso-limosa di colore bruno-grigio	3				
12		0.50	-14.00	Ghiala medio-fine, raramente più grossolana, in abbondante matrice sabbioso-limosa di colore bruno-grigio					
14		4.10	-18.10	Ghiala eterometrica, perlopiù angolosa a spigoli arrotondati, con ciottoli (Ø max > 10 cm) in matrice sabbioso-limosa di colore grigio-bruno	4	101	140		
16		1.10	-19.20	Ghiala medio-fine, raramente più grossolana (Ø max = 3 cm), in matrice sabbioso-limosa di colore grigio					
18		2.10	-21.30	Ghiala eterometrica, perlopiù angolosa a spigoli arrotondati, in matrice sabbioso-limosa di colore grigio	5				
20		1.10	-22.40	Ghiala medio-fine in abbondante matrice sabbioso-limosa di colore grigio-bruno					
22		5.40	-27.80	Ghiala eterometrica, perlopiù angolosa a spigoli arrotondati, in matrice sabbioso-limosa di colore grigio-bruno. Presenza di alcuni clasti di forma triquetra	6				
24		1.50	-29.30	Ghiala medio-fine (Ø max = 3 cm) in matrice sabbioso-limosa di colore bruno-grigio					
26		0.70	-30.00	Sabbia fine debolmente limosa di colore grigio-bruno					
28									
30									





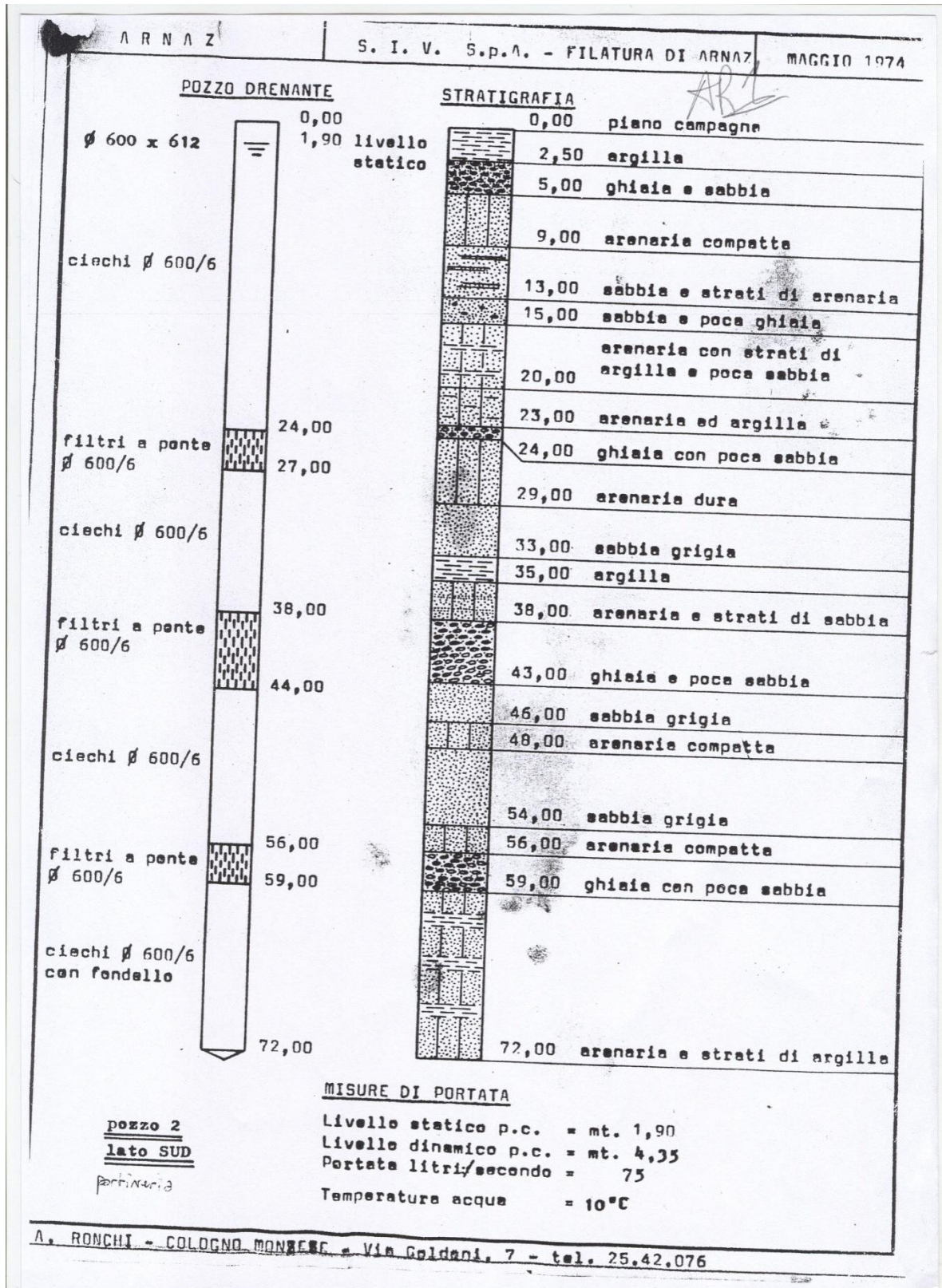
Quote	Stratigrafia	Campioni di Sabbia proveniente dal sondaggio	Intervallo di sondaggio	Descrizione dei litotipi	Idrogeologia			Geotecnica			Strumentazione			Perforazione		Annotazioni
					Prove di permeabilità	Sanidid Penetration Test	Poro penetrometro	Inclinometro	Piezometro a lato pozzo	Piezometro Cesimante	Assesstometro	Estensimetro	Rivestimento	Metodo e diametro	Ustensilli	
2810				Sabbia grossolana con ghiaia fine di colore grigio.												TUBO PIEZOMETRICO Ø interno 3" m spessore 27 m
2810			Sabbia media, fine limosa di colore marrone.													
2810			Sabbia grossolana con ghiaia fine di colore grigio.													
2810			Ghiaia grossolana di colore marrone. Clasti poligonici da arrotondati ad angolati.													
2810			Sabbia grossolana con ghiaia fine di colore grigio moderatamente addensata (N <sub>60</sub> 21 a 23.00 m).													
2810			Ghiaia eterometrica (diametro massimo 4.5cm) con sabbia di colore grigio addensata (N <sub>60</sub> 14 a 20.00 m). Clasti poligonici da subangolari ad arrotondati.													
2810			Ghiaia eterometrica (diametro massimo 3.4cm) sabbia di colore grigio. Clasti poligonici da arrotondati ad angolari.													
2810			Ghiaia eterometrica (diametro massimo 3.4cm) con sabbia di colore grigio molto addensata (N <sub>60</sub> 14 a 30.00 m). Clasti poligonici da subangolari ad arrotondati.													
2810																
2810																
Perforazione a carotaggio continuo. DIAMETRO: 101 mm. PROFONDITA': 30,00 m																
Acquedotto																

REATUDIA  
 Responsabile di sito  
 Dott. G. L. Lotti

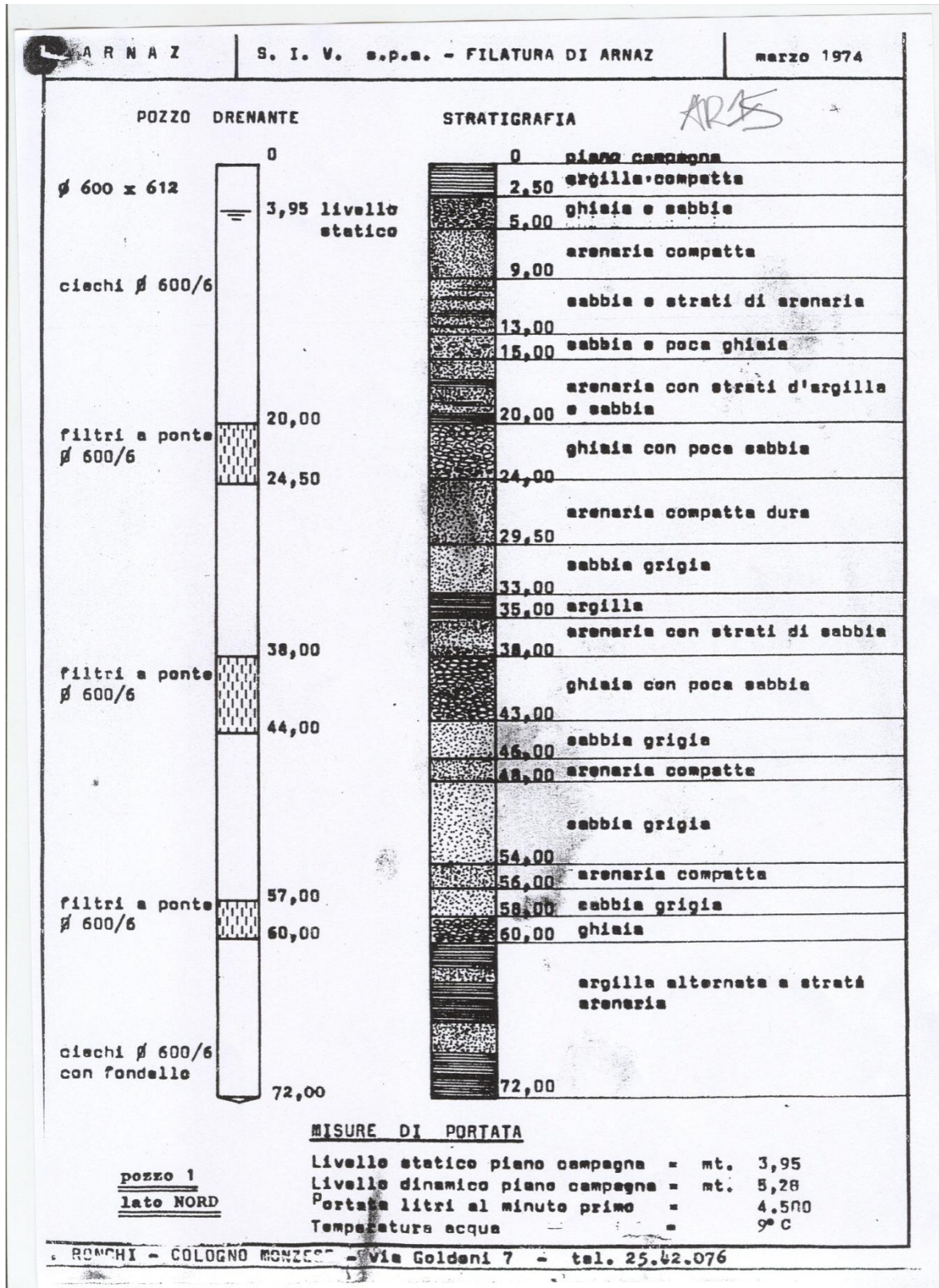
EMERSONIA  
 Responsabile elaborazione  
 Dott. G. L. Lotti

889/001


# STRATIGRAFIA Ar1



# STRATIGRAFIA Ar5





		Pro.Mo.Geo. S.r.l. - Società di programmazione e monitoraggio geotecnico - via Fiasella, 7/3, 16121 GENOVA - tel e fax: 010/583713 889 Pagina 130 di 194 RAPPORTO STRUTTURALE 889-SI-R-0009 DATA ANNESSA 03/04/2011				
Committente: <b>ITALFERR SPA</b> Cantiere: <b>Arnaa (AO)</b>		Sondaggio: <b>PN77P1P09</b> Data inizio: <b>07/03/2011</b> Quota caposaldo: <b>345 m s.l.m.</b> Data termine: <b>11/03/2011</b>				
<b>Quote</b>		<b>Risultato dei sondaggi</b>				
Quota assoluta (m)	Profondità (m)	Potenza stato (m)	Stratigrafia	Campioni <small>CR 7 21.05-21.10 CR 8 24.00-24.10 CR 9 27.00-27.10 CR 10 28.00-28.10</small>	Sequenziale di sondaggio	Descrizione dei litotipi
345	0,00	0,00				Chiusa stratigrafica (limite in natura) (L400) con cava di colore marrone, da indagine estratta a pochi centimetri (valore $N_{60}$ pari a 29 e a 54 rispettivamente a 21,00m e 24,00m di profondità). Clasti poligenici da arrotondati a subangolari.
345	2,00	3,10				Sabbia medio-grossolana (debolmente limosa) di colore marrone, medio addensata (valore $N_{60}$ pari a 51 a 27,00m di profondità).
345	2,00	1,00				Sabbia medio-fine (limosa) di colore marrone, addensata (valore $N_{60}$ pari a 48 a 30,00m di profondità).
345	3,00					
<b>Idrogeologia</b>						
Prove di permeabilità LUGRON - LERMANC <small>in situ a 100 cm di profondità</small>		Livello della falda				
<b>Geotecnica</b>						
Standard Penetration Test (SPT) (blows/30 cm)						
Prova penetrometrica						
Provesa penetrometrica						
Inclinatori						
Piezometri a tubo aperto						
Casagrate						
Assesimetro						
Estensimetro						
<b>Perforazione</b>						
Rivelamento						
Metodo e diametro						
Acquas limpida						
Perforazione a carotaggio continuo. DIAMETRO: 101 mm. PROFONDITA': 30,00 m						
<b>Annotazioni</b>						
Computo metrico N° cariche: 6 Rivelati (12): 30 m Rivelati (10): 9 m						
TIPO PIEZOMETRO tipo 3 in profondità: 27 m						
RESPONSABILITÀ Responsabile di sito Dott. G. Conti FIRMATA Responsabile esecuzione Dott. G. Masi						

# STRATIGRAFIA Ar7

## 4. STRATIGRAFIA

La perforazione del pozzo ha consentito di evidenziare la seguente situazione stratigrafica

*pozzo comune Arnat - uso irriguo*

### STRATIGRAFIA POZZO

SCALA 1 : 125 Pagina 1/2

Riferimento: CONSORZIO DOLMEN	Sondaggio: Pozzo 1
Località: Clos De Balme - <i>Arnat</i>	Quota:
Impresa esecutrice: Geomoni Fondazioni Speciali	Data: 22 Settembre 2011
Coordinate: <i>399+53 / 50565+1</i>	Redattore: Maria Chiara Benenite
Perforazione: Distruzione con martello Fondo foro	

m	R	A	Pa	litologia	Campioli	RP	VT	Prof. % 0-100	S.P.T. 0-100	RQP % 0-100	per %	DESCRIZIONE
1												Terreno vegetale.
2												1.8
3												Sabbie e ghiaie con ciottoli eterodimensionali, molto sabbiosità.
4												
5												
6												
7												5.0
8												Roccia, fratturata fino a -18,00 ml. da p.c., a seguire compatta
9												
10												
11												
12												
13												
14												
15												
16												
17												
18												
19												
20												
21												
22												
23												
24												
25												
26												
27												

## STRATIGRAFIA Ho3

### **Sondaggio S1**

0.00 – 1.00 m	Ghiaia arrotondata con clasti poligenici arrotondati
1.00 – 4.50 m	Ghiaia eterometrica con sabbia debolmente limosa di colore marrone
4.50 – 10.00 m	Alternanza di livelli di ghiaia eterometrica in matrice limo sabbiosa di spessore variabile a blocchi litoidi di natura metamorfica (gneiss)

### **Sondaggio S1 BH**

0.00 – 9.00	Ghiaia eterometrica con sabbia debolmente limosa di colore marrone
9.00 – 30.00	Alternanza di livelli di ghiaia, eterometrica in matrice limo sabbiosa, spessore variabile da pochi decimetri a circa 4,70 m, a blocchi litoidi di natura metamorfica