



Università degli Studi di Torino
Facoltà di Scienze Matematiche, Fisiche e Naturali

**Tesi di Laurea Magistrale in Geologia
Applicata e Ambientale**

*“Monitoraggio idrologico nella
Regione Valle d’Aosta”*

Candidato: Nathalie Bianquin

Relatore: Dott. Luciano Masciocco

Correlatore: Dott. Pietro Capodaglio

**Anno Accademico
2009 - 2010**

RINGRAZIAMENTI

Un ringraziamento particolare va al Dott. Luciano Masciocco, che mi ha seguita nell'elaborazione di questo studio, fornendomi assistenza e consigli di carattere metodologico.

La collaborazione con ARPA Valle d'Aosta, in particolare con la Sezione Acqua, mi ha permesso di conoscere il Dott. Pietro Capodaglio che vorrei ringraziare per l'aiuto concessomi a reperire tutto il materiale analizzato e per i preziosi suggerimenti fornitimi.

Un altro grande grazie va sicuramente all'Ing. Fulvio Simonetto per l'importante supporto grafico e l'infinita pazienza dimostratami.

Desidero esprimere la mia gratitudine anche all'Ufficio Idrografico della Regione Valle d'Aosta per la cortesia con cui mi hanno indirizzata nell'analisi dei dati di portata, nonché per l'autorizzazione al trattamento dei dati stessi.

Mi sembra, inoltre, doveroso ringraziare la Sezione Aria (ARPA Valle d'Aosta), in particolare la Dott.ssa Tiziana Magri, e l'Ufficio Meteorologico della Regione Valle d'Aosta per i dati meteo messi a disposizione per la stesura del presente lavoro.

Infine, se sono riuscita ad arrivare fino alla stesura di questa tesi, lo devo soprattutto alla mia famiglia, che è sempre stata al mio fianco, mi ha spronata e sostenuta, emotivamente ed economicamente, in questo difficile percorso. Grazie, senza di voi non ce l'avrei mai fatta!

Per la persona che mi sta accanto da tanto tempo va la mia più profonda gratitudine: grazie Fabio, sei speciale, senza il tuo affetto e la tua comprensione gli ostacoli mi sarebbero apparsi insuperabili.

Tante sono le persone che mi hanno accompagnata nel corso di questi anni e che sento di dover ringraziare: Roberta e Federica, due amiche veramente importantissime, i miei compagni di corso con cui ho condiviso gioie e dolori, in particolare Selene e Stefania che pur essendo lontane sento sempre molto vicine e tutti i miei amici e parenti di cui non posso fare i nomi perché troppi, ma non per questo meno importanti per me!

Grazie, perciò, a tutte le persone che hanno condiviso, anche solo in parte, con me questo lungo cammino.

INDICE

1 – INTRODUZIONE	<i>pag. 1</i>
2 – INQUADRAMENTO DELL’AREA DI STUDIO	<i>pag. 4</i>
2.1 Inquadramento geografico e morfologico della Valle d’Aosta	<i>pag. 4</i>
2.2 Inquadramento geologico e litologico della Valle d’Aosta	<i>pag. 6</i>
2.2.1 Geologia e litologia della Valle d’Aosta	<i>pag. 8</i>
2.2.1.1 <i>Il Sistema Austroalpino</i>	<i>pag. 9</i>
2.2.1.2 <i>La zona Piemontese dei calcescisti con pietre verdi</i>	<i>pag. 10</i>
2.2.1.3 <i>Il sistema Pennidico medio del Gran San Bernardo</i>	<i>pag. 10</i>
2.2.1.4 <i>Le unità Pennidiche esterne</i>	<i>pag. 11</i>
2.2.1.5 <i>Il sistema Elvetico-Ultraelvetico</i>	<i>pag. 11</i>
2.2.1.6 <i>Litologie della Valle d’Aosta</i>	<i>pag. 12</i>
2.3 Inquadramento climatico della Valle d’Aosta	<i>pag. 13</i>
2.3.1 Regime termico	<i>pag. 14</i>
2.3.2 Regime pluviometrico	<i>pag. 16</i>
2.3.3 Regime nivometrico	<i>pag. 18</i>
2.4 Inquadramento idrografico della Valle d’Aosta	<i>pag. 20</i>
2.4.1 Regime idrologico	<i>pag. 21</i>
2.5 Inquadramento geomorfologico della Valle d’Aosta	<i>pag. 22</i>
2.6 Caratteri idrogeologici della Valle d’Aosta	<i>pag. 28</i>
2.7 Il territorio oggetto di studio: il fondovalle valdostano	<i>pag. 29</i>
2.7.1 Piana di Morgex	<i>pag. 32</i>
2.7.2 Piana di Aosta	<i>pag. 34</i>
2.7.3 Piana di Verrès-Issogne-Arnad	<i>pag. 35</i>
2.7.4 Piana di Donnas–Pont Saint Martin	<i>pag. 36</i>
3 – STATO DELL’ARTE	<i>pag. 38</i>
3.1 Elenco dei lavori esistenti	<i>pag. 38</i>
3.2 Normativa e sua evoluzione	<i>pag. 41</i>
3.2.1 Normativa europea	<i>pag. 41</i>
3.2.2 Normativa nazionale	<i>pag. 42</i>
3.2.3 Normativa regionale	<i>pag. 48</i>
3.3 Il monitoraggio delle acque sotterranee	<i>pag. 48</i>
3.3.1 Punti di monitoraggio	<i>pag. 48</i>
3.3.2 Indicatori utilizzati nel monitoraggio	<i>pag. 49</i>

3.3.3 Numero e densità dei punti	<i>pag. 50</i>
3.4 Organizzazione delle reti di monitoraggio in Valle d'Aosta	<i>pag. 51</i>
3.4.1 Piana di Aosta	<i>pag. 51</i>
3.4.2 Piana di Verrès-Issogne-Arnad	<i>pag. 52</i>
3.4.3 Piana di Pont Saint Martin-Donnas	<i>pag. 54</i>
3.4.4 Piana di Morgex	<i>pag. 55</i>
3.4.5 Densità dei punti	<i>pag. 55</i>
3.4.6 Analiti ricercati	<i>pag. 56</i>
4 – SPERIMENTAZIONE	<i>pag. 58</i>
4.1 Ricostruzione litostratigrafia	<i>pag. 58</i>
4.1.1 Piana di Aosta	<i>pag. 58</i>
4.1.2 Piana di Verrès-Issogne-Arnad	<i>pag. 67</i>
4.1.3 Piana di Donnas-Pont Saint Martin	<i>pag. 70</i>
4.2 Monitoraggio quantitativo	<i>pag. 73</i>
4.2.1 Escursioni piezometriche	<i>pag. 73</i>
4.2.1.1 <i>Piana di Aosta</i>	<i>pag. 74</i>
4.2.1.2 <i>Piana di Verrès-Issogne-Arnad</i>	<i>pag. 88</i>
4.2.1.3 <i>Piana di Pont Saint Martin-Donnas</i>	<i>pag. 93</i>
4.2.2 Portate dei corsi d'acqua	<i>pag. 96</i>
4.2.3 Temperatura dell'aria	<i>pag. 102</i>
4.2.4 Precipitazioni	<i>pag. 104</i>
4.2.5 Correlazione tra variabili che influenzano le variazioni piezometriche	<i>pag. 106</i>
4.2.5.1 <i>Portata dei corsi d'acqua - temperatura dell'aria</i>	<i>pag. 107</i>
4.2.5.2 <i>Portata dei corsi d'acqua – precipitazioni</i>	<i>pag. 110</i>
4.2.6 Correlazione tra soggiacenza della falda e parametri che influenzano le variazioni piezometriche (portate, precipitazioni e temperature)	<i>pag. 115</i>
4.2.6.1 <i>Correlazione soggiacenza della falda - portate dei corsi d'acqua</i>	<i>pag. 116</i>
4.2.6.2 <i>Correlazione soggiacenza-precipitazioni</i>	<i>pag. 122</i>
4.2.6.3 <i>Correlazione soggiacenza-temperatura dell'aria</i>	<i>pag. 128</i>
4.2.6.4 <i>Correlazione soggiacenza-temperatura della falda</i>	<i>pag. 134</i>
4.3 Piezometria della piana di Aosta	<i>pag. 135</i>
4.3.1 Rapporti tra acque sotterranee e superficiali	<i>pag. 137</i>
4.4 Qualità delle acque sotterranee	<i>pag. 143</i>

4.4.1 Campionamento	<i>pag. 143</i>
4.4.2 Qualità delle acque sul fondovalle valdostano	<i>pag. 145</i>
4.4.3 Qualità delle acque nella piana di Aosta	<i>pag. 146</i>
5 – DISCUSSIONE E CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE	<i>pag. 151</i>
5.1 Difficoltà incontrate nella ricerca	<i>pag. 151</i>
5.1.1 Affidabilità dei dati	<i>pag. 151</i>
5.1.2 Serie storiche	<i>pag. 152</i>
5.1.3 Densità dei punti di misura	<i>pag. 152</i>
5.1.4 Densità dei punti di prelievo	<i>pag. 153</i>
5.1.5 Stratigrafie	<i>pag. 153</i>
5.2 Sintesi delle elaborazioni	<i>pag. 154</i>
5.3 Approfondimenti	<i>pag. 155</i>
5.3.1 Risposta della falda alla precipitazione	<i>pag. 155</i>
5.3.2 Diverso andamento della falda sul fondovalle	<i>pag. 156</i>
5.3.3 Valutazioni sullo stato quantitativo	<i>pag. 157</i>
5.3.4 Valutazioni sullo stato qualitativo	<i>pag. 158</i>
5.4 Suggerimenti per lo sviluppo della ricerca	<i>pag. 159</i>
5.4.1 Realizzazione di nuovi sondaggi	<i>pag. 159</i>
5.4.2 Sezione idrologica	<i>pag. 160</i>
5.4.3 Misure del livello dei corsi d'acqua	<i>pag. 160</i>
5.4.4 Qualità delle acque superficiali	<i>pag. 161</i>
5.4.5 Misure sulle sorgenti	<i>pag. 161</i>
5.4.6 Modellistica	<i>pag. 161</i>
BIBLIOGRAFIA	<i>pag. 162</i>
RIFERIMENTI WEB	<i>pag. 166</i>
ALLEGATI	
ALLEGATO 1: STRATIGRAFIE UTILIZZATE PER ELABORARE SEZIONE W	
ALLEGATO 2: STRATIGRAFIE UTILIZZATE PER ELABORARE SEZIONE C	
ALLEGATO 3: STRATIGRAFIE UTILIZZATE PER ELABORARE SEZIONE E	
ALLEGATO 1: STRATIGRAFIE UTILIZZATE PER ELABORARE SEZIONE L	
ALLEGATO 5: SEZIONI ELABORATE	
ALLEGATO 6: DATI DI SOGGIACENZA UTILIZZATI PER ELABORAZIONI GRAFICHE	
ALLEGATO 7: SCALE DI DEFLUSSO: IDROMETRI AUTOMATICI SULLA DORA BALTEA	

**ALLEGATO 8: DATI DI PORTATA UTILIZZATI PER ELABORAZIONI
GRAFICHE**

**ALLEGATO 9: DATI MENSILI DI TEMPERATURA E PRECIPITAZIONI
UTILIZZATI PER ELABORAZIONI GRAFICHE**

1 – INTRODUZIONE

La peculiare morfologia del territorio valdostano, caratterizzato da un fondovalle relativamente stretto circondato dai rilievi più alti d'Europa, dà luogo, in prima approssimazione, a due situazioni differenziate dal punto di vista idrogeologico:

- in corrispondenza dei settori più ampi di fondovalle, caratterizzati dalla presenza di depositi alluvionali quaternari ghiaioso-sabbiosi, sono ospitati acquiferi freatici a porosità primaria generalmente molto produttivi, sfruttati da numerosi pozzi;
- nelle zone montane (cioè la grande maggioranza del territorio), la circolazione idrica avviene soprattutto in roccia e le captazioni sono esclusivamente sorgenti, generalmente di modesta portata.

Un'importanza minore per la ricerca idrica è, invece, rivestita dai sedimenti glaciali, presenti localmente anche alle quote più basse, solitamente poco produttivi; sono inoltre assenti fenomeni carsici di rilievo, a causa dell'esigua estensione di coperture carbonatiche.

In questo quadro, le aree del fondovalle principale corrispondono sia agli acquiferi più significativi, sui quali insiste la totalità dei pozzi esistenti, sia alle zone più antropizzate, nelle quali è concreta la possibilità di contaminazione delle sottostanti falde idriche.

Tali aree pertanto, pur avendo un'estensione estremamente esigua rispetto alla totalità del territorio (circa 50 km² a fronte di 3000 km²; vedi Fig. 1.1), costituiscono una risorsa importantissima, da salvaguardare sia dal punto di vista qualitativo che quantitativo.

Il presente studio, condotto in collaborazione con l'ARPA Valle d'Aosta¹, verte pertanto principalmente sul fondovalle della Dora Baltea, ed in particolare sulle aree oggetto del monitoraggio svolto per compito istituzionale dal suddetto ente.

Esso si propone, dal punto di vista quantitativo, di esaminare le variazioni, a breve ed a lungo termine, dei livelli della falda idrica cercando le correlazioni con le acque superficiali e le precipitazioni, trattandosi di un unico sistema interconnesso, seppur regolato da velocità di flusso e meccanismi di alimentazione diversi.

¹ Sezione Acqua, loc. Grande Charrière 44, 11020 Saint-Christophe (AO).

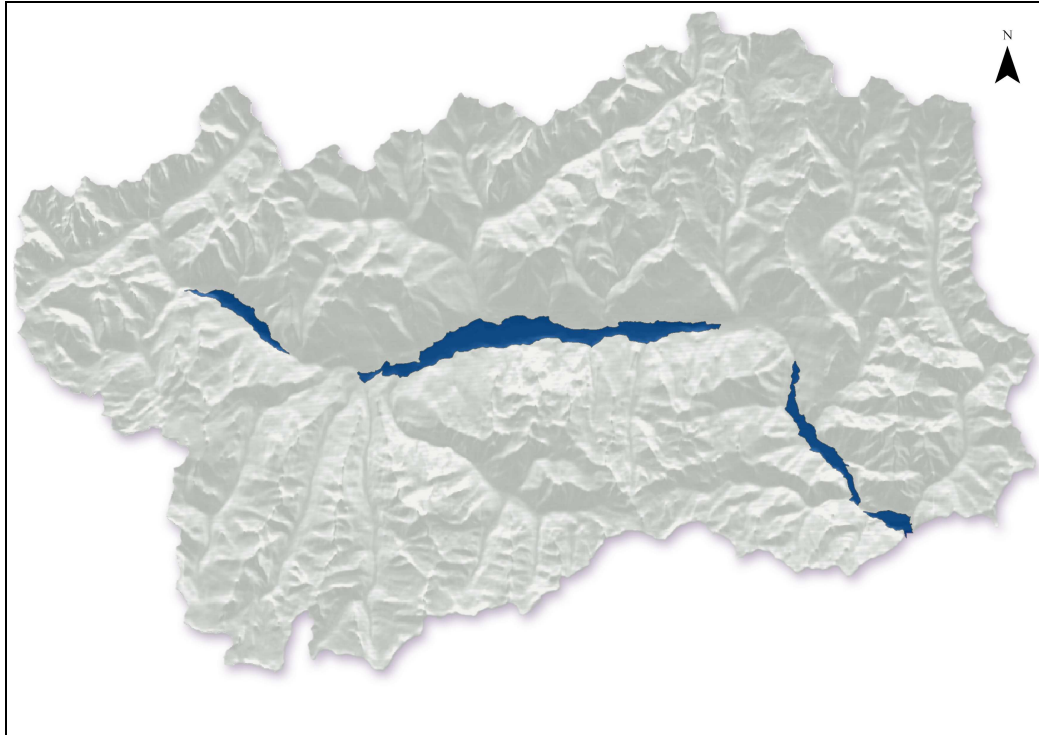


Figura 1.1 – Oggetto di studio: le piane del fondovalle principale della Regione Valle d'Aosta (elaborazione ARPA Valle d'Aosta).

Lo studio è stato articolato nel seguente modo:

- descrizione del territorio su cui sono impostate le reti di monitoraggio (aspetti geografici, morfologici, geologici, climatici, idrologici, geomorfologici) nell'area di studio (cap. 2);
- esame degli studi realizzati in precedenza sullo stesso territorio e aventi principalmente per argomento le acque sotterranee (cap. 3);
- organizzazione delle reti di monitoraggio presenti sul fondovalle principale, in relazione all'evoluzione normativa (cap. 3);
- elaborazione ed interpretazione dei dati di livello piezometrico, in relazione con quelli relativi a precipitazioni, portate dei corsi d'acqua e temperature dell'aria (cap. 4);
- individuazione di possibili azioni tese a migliorare l'attuale gestione delle risorse idriche sotterranee (cap. 5).

Nello specifico, si è scelto di sviluppare tali temi per le seguenti motivazioni:

- si tratta di argomenti connessi alla tematica più ampia del riscaldamento globale, come noto particolarmente marcato in ambiente alpino, ove in tempi relativamente brevi potrebbe verificarsi, a seguito dell'eventuale ulteriore riduzione delle aree glacializzate, una grave crisi idrica o comunque un'alterazione degli attuali equilibri;
- la valutazione dell'interazione tra le acque sotterranee e quelle superficiali rappresenta un passaggio obbligato per arrivare ad una gestione operativa globale della risorsa

idrica (ad esempio mediante modelli numerici), obiettivo finale di un ente come ARPA Valle d'Aosta impegnato sui vari aspetti del monitoraggio della risorsa idrica;

- a livello normativo (cfr par. 3.2) mentre la classificazione dello stato chimico dell'acquifero ("buono" o "scarso") risulta essere quasi automatica (sulla base dei risultati analitici e degli eventuali superamenti dei valori soglia²), l'analoga classificazione dello stato quantitativo sulla base delle serie storiche delle misure di soggiacenza non è codificata³. Lo stato quantitativo dovrebbe essere valutato sul rapporto tra estrazioni e capacità di alimentazione del corpo idrico sotterraneo, in modo che uno stato quantitativo "buono" assicuri il non esaurimento della risorsa stessa a lungo termine. Di fatto tale valutazione è al momento effettuata nelle diverse situazioni regionali con criteri non omogenei che possono risentire di un certo grado di soggettività, per i seguenti motivi:

- impossibilità di fissare dei valori soglia assoluti predefiniti di innalzamento/abbassamento della falda;
- differenze idrogeologiche (tipi di acquiferi e loro alimentazione) presenti a livello nazionale;
- differenze nelle serie storiche disponibili nelle varie regioni e loro affidabilità. Serie storiche significative dovrebbero avere una certa continuità (almeno decennale), cosa che non sempre si realizza;
- difficoltà oggettive nel discriminare, nell'ambito dei vari contesti idrogeologici e climatici, le influenze dovute a fattori antropici o a fattori naturali non connessi direttamente col sottosuolo.

Il presente studio si inquadra, pertanto, nella necessità di disporre di elementi scientifici per classificare lo stato quantitativo dei corpi idrici e per dare indicazioni circa la futura disponibilità della risorsa idrica sotterranea nel territorio valdostano.

² L'unico elemento di soggettività a riguardo era costituito, nel D.Lgs.152/99, dall'attribuzione alla classe 0 (cfr par. 3.2).

³ Il D.Lgs. 152/99 prevedeva da parte di ANPA (poi Apat ed ora ISPRA) l'emanazione di linee guida per la definizione dello stato quantitativo, che di fatto non sono mai state pubblicate.

2 – INQUADRAMENTO DELL'AREA DI STUDIO

L'area oggetto di studio è interamente situata nella Regione Autonoma Valle d'Aosta.

2.1 Inquadramento geografico e morfologico della Valle d'Aosta

La Valle d'Aosta è situata nell'estremo settore nord-occidentale dell'Italia, dove lo sviluppo della catena assume un andamento NE-SO, ed è confinante con la Francia a ovest, con la Svizzera a nord e con il Piemonte a sud e a est (Fig. 2.1).

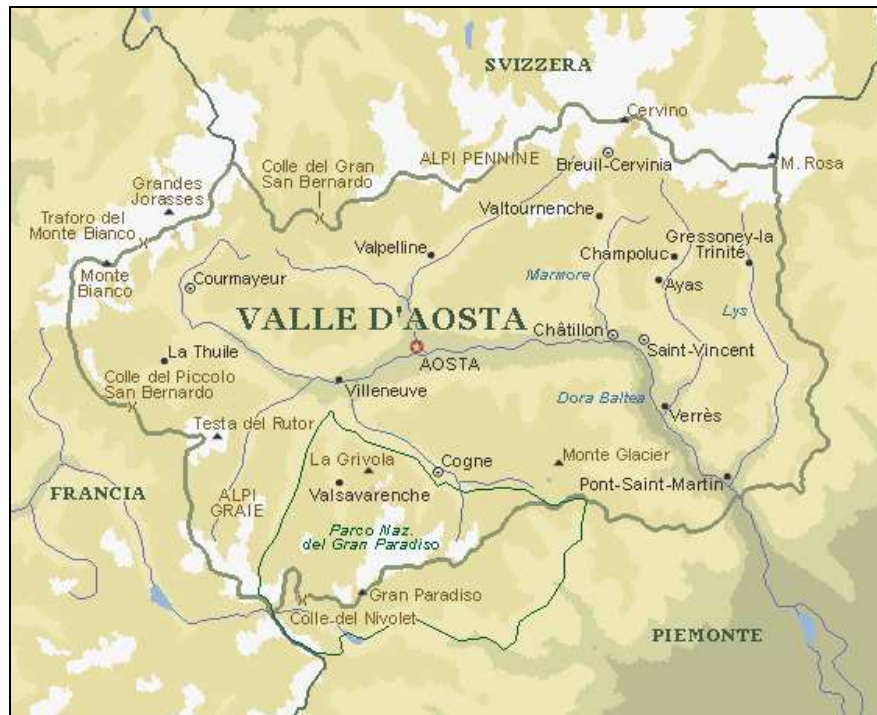


Figura 2.1 - Regione Valle d'Aosta (RIF. WEB N.1). In scuro il fondovalle principale, in bianco i ghiacciai.

Essa ha una superficie di 3270 km² ed è caratterizzata da un territorio pressoché interamente montuoso, con una quota media di circa 2100 m s.l.m; la quota minima è di 345 metri s.l.m. (a Pont-Saint-Martin, al confine col Piemonte), quella massima di 4810 metri s.l.m. (M. Bianco).

La popolazione è concentrata nel fondovalle principale, in particolare nella zona pianeggiante nei pressi del capoluogo (Aosta) dove risiedono circa 50.000 abitanti, sui circa 126.000 totali. La Regione Valle d'Aosta è contornata dai più imponenti rilievi delle Alpi: oltre al sopra citato M. Bianco si ricordano il Cervino (4478 m) e il Monte Rosa (4634 m), posti all'estremità nord-est della regione, e il Gran Paradiso (4061 m), il Rutor (3485 m) e la Grivola (3968 m) posti a sud-ovest (Fig. 2.2).

In corrispondenza di tali massicci è localizzata la maggior parte della copertura glaciale totale attuale (circa 200 ghiacciai), pari a circa il 5% dell'intero territorio (circa 160 km²).

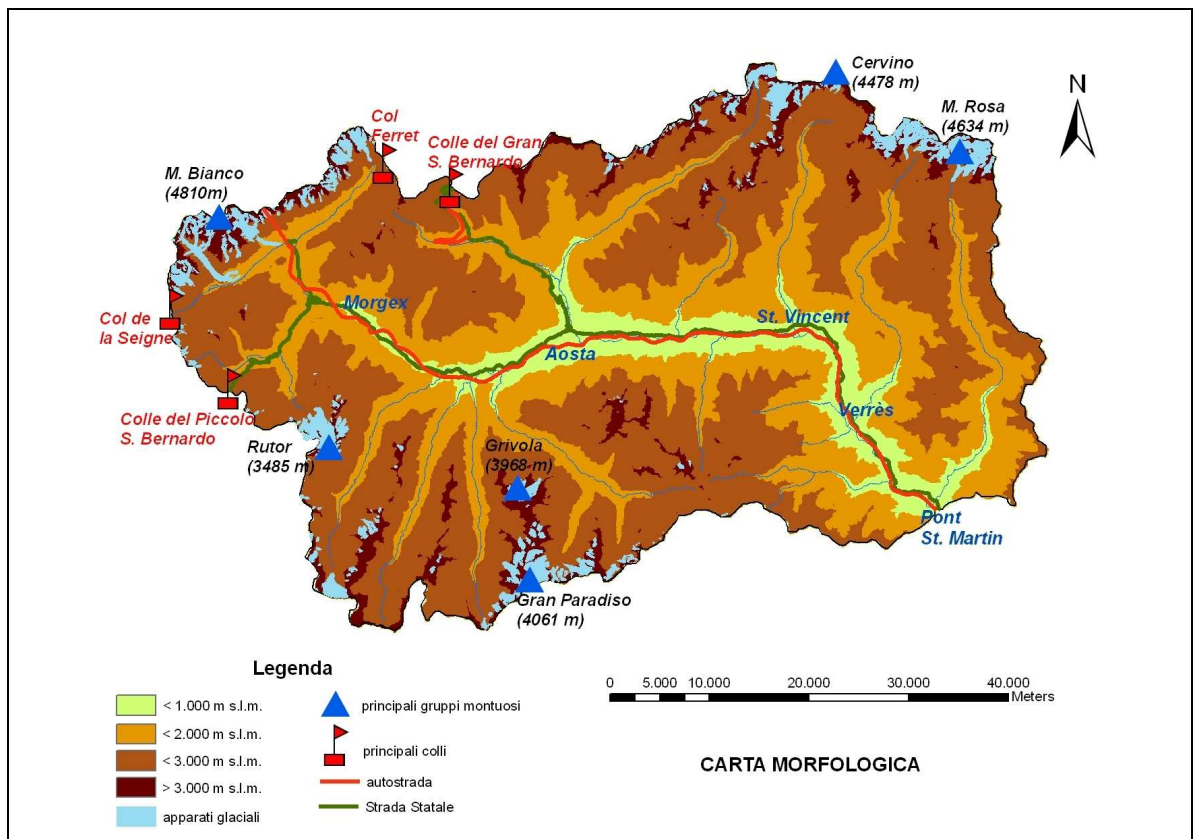


Figura 2.2 – Carta morfologica della regione Valle d'Aosta, in cui vengono evidenziate le principali vie di comunicazione e gli apparati glaciali (elaborazione ARPA Valle d'Aosta).

Tra le vette valdostane si aprono due tra i più importanti valichi alpini:

- all'estremità sud-ovest, il Colle del Piccolo San Bernardo (2188 m) che permette il collegamento con la Val d'Isère (Savoia);
- a nord di Aosta, il Colle del Gran San Bernardo (2473 m) che consente il collegamento con la valle svizzera d'Entremont (Vallese).

Nei mesi invernali questi passi risultano chiusi alla circolazione dei veicoli, i quali possono allora raggiungere la Svizzera e la Francia rispettivamente attraverso il traforo del Gran San Bernardo e del Monte Bianco.

Altri passi, non attraversati da strade rotabili ma di pari interesse geografico e climatologico, sono situati alle estremità del gruppo del M. Bianco, rispettivamente a sud-ovest (Col de la Seigne) e nord-est (Col Ferret); quest'ultimo separa geograficamente le Alpi Graie (che contornano il territorio regionale ad ovest e a sud) da quelle Pennine (a nord e a est).

Le principali vie di comunicazione del territorio valdostano sono l'autostrada A5, che collega il

Piemonte con la Francia, e la SS 26 che percorre l'intero fondovalle regionale.

Per quanto riguarda il fondovalle principale, in funzione della sua diversa orientazione ed altimetria (nonché per differenti caratteri climatici discussi nei paragrafi seguenti), la sua lunghezza complessiva di circa 90 km può essere suddivisa, da ovest (monte) verso est (valle), in tre settori (Fig. 2.1):

- Alta valle: va da Courmayeur (1200 m s.l.m.) a Villeneuve¹ (700 m s.l.m.), con orientamento NW-SE e lunghezza di circa 30 km, ed è caratterizzata – con l'eccezione di un tratto di pochi km nei pressi di Morgex - da un fondovalle stretto, in cui la Dora Baltea ha carattere torrentizio;
- Media valle: va da Villeneuve a Saint-Vincent (550 m s.l.m.), con orientamento E-W e lunghezza di circa 35 km, e presenta una morfologia più ampia; in particolare in corrispondenza del capoluogo e dei comuni limitrofi a est il fondovalle raggiunge la sua massima ampiezza (circa 2 km). La media valle è separata dalla bassa valle, morfologicamente e altimetricamente, dalla stretta di Montjovet (abitato ubicato a valle di Saint Vincent);
- Bassa valle: va da Montjovet (400 m s.l.m.) a Pont-Saint-Martin (350 m s.l.m.), con orientamento NNW-SSE e lunghezza di circa 20 km. In tale porzione si possono a loro volta distinguere due zone di fondovalle piuttosto ampio (Verrès a ovest; Pont-Saint-Martin a est), tra loro morfologicamente isolate dalla stretta di Bard (paese ubicato a valle di Verrès).

2.2 Inquadramento geologico e litologico della Valle d'Aosta

Il territorio in esame è racchiuso all'interno delle Alpi, catena collisionale facente parte del sistema orogenico alpino-himalayano, nata dall'evoluzione del margine convergente Europa/Adria a partire dal Cretacico sino all'attuale (Fig. 2.3).

In particolare, tale catena montuosa trae origine dapprima dalla progressiva chiusura e subduzione dell'oceano mesozoico della Tetide e, successivamente, dalla collisione – tuttora in corso – tra la placca europea e quella africana, con progressiva subduzione della prima sotto la seconda.

Si forma, così, una struttura a doppia vergenza: le Alpi. Secondo DAL PIAZ (1992), esse comprendono due catene a falde che si sono propagate in senso opposto.

¹ La suddivisione qui utilizzata differisce leggermente da quella usata più comunemente; secondo quest'ultima "l'Alta valle" (o Valdigne) arriva solo sino alla stretta dell'Equilivaz (alcuni km a monte di Villeneuve), mentre il tratto tra l'Equilivaz e Villeneuve (comuni di Avise e Arvier) è compreso nella "Media valle".

In figura 2.3 è visualizzato il risultato finale dei processi sopra citati: è evidenziata la catena a vergenza europea (o alpina s.s.) con direzione di traslazione verso NO e la catena sud-vergente (Alpi Meridionali, o Sudalpino).

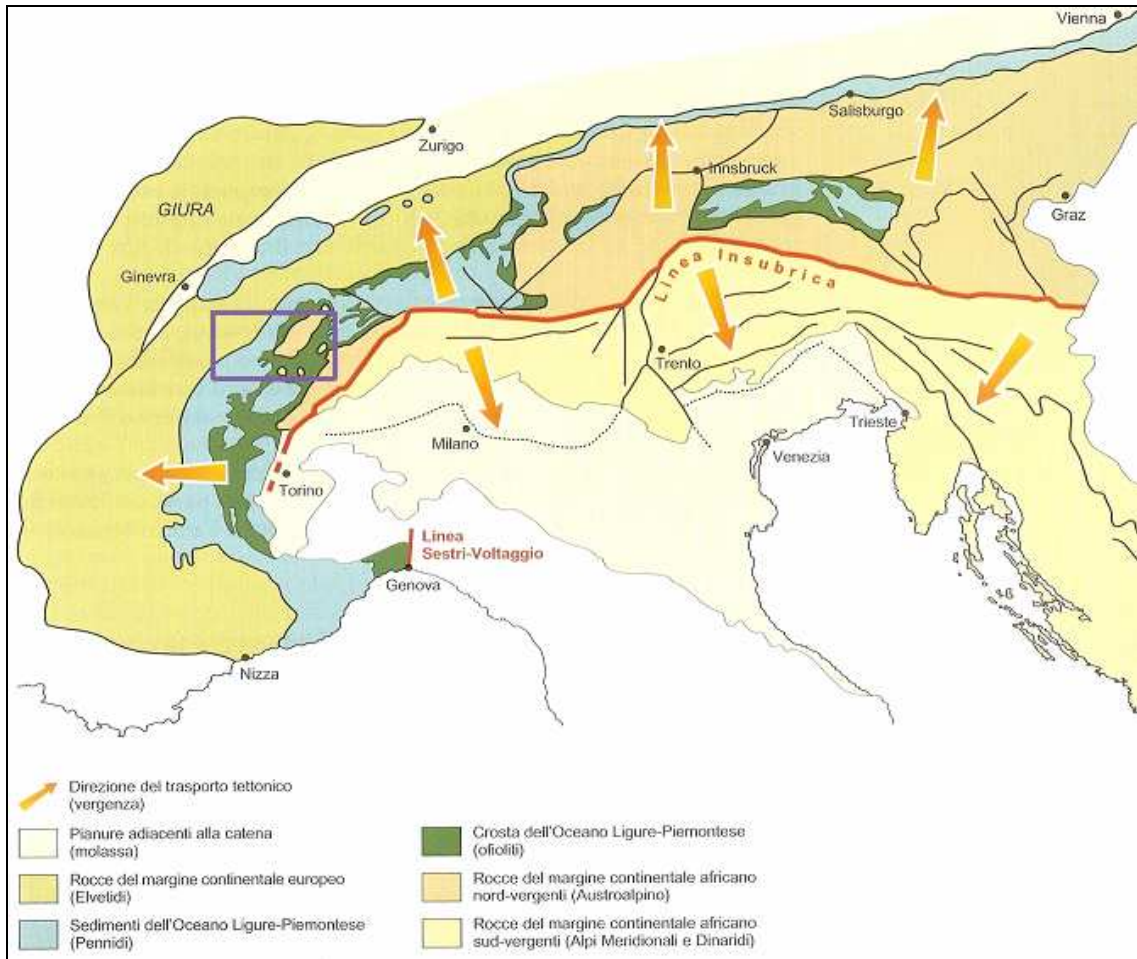


Figura 2.3 a Carta strutturale semplificata delle Alpi (BOSELLINI, 2005, modificato). Il riquadro viola segna la posizione approssimativa della Valle d'Aosta.

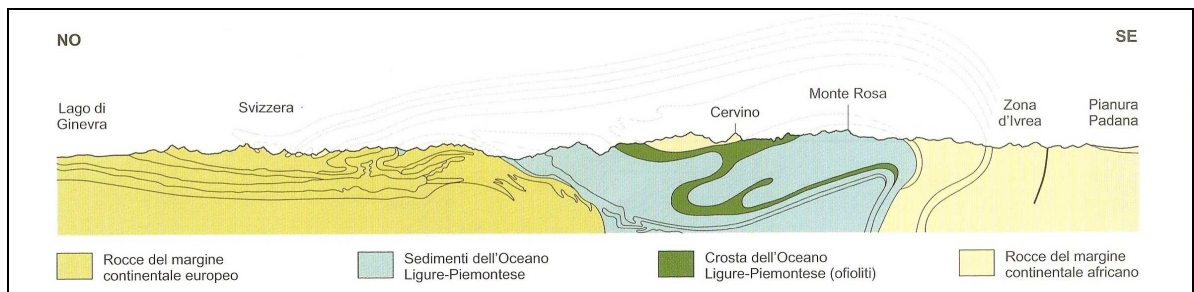


Figura 2.3 b Sezione geologica semplificata attraverso le Alpi occidentali, dalla pianura piemontese al Lago di Ginevra (BOSELLINI, 2005).

Con riferimento ai domini paleogeografici si ha che:

- la catena a vergenza europea è costituita dai domini Elvetico, Ultraelvetico e

Pennidico (di pertinenza europea) e dal dominio Austroalpino (di pertinenza africana);

- la catena sud-vergente corrisponde al dominio Sudalpino, di pertinenza africana; essa è caratterizzata dalla pressoché assenza di deformazioni metamorfiche.

Le due catene sono separate dalla faglia detta Lineamento Periadriatico, o Linea Insubrica, che dalla pianura panonica, in Ungheria, giunge fino nei pressi di Torino (BOSELLINI, 2005).

In figura 2.3 si nota, inoltre, che il territorio valdostano si colloca all'interno della catena a vergenza europea, quindi nelle Alpi propriamente dette che sono costituite da rocce appartenenti in gran parte ai due blocchi coinvolti nella collisione: l'Adria (una protuberanza della Placca Africana, in giallo) e la Placca Europea (in verde chiaro). Anche i sedimenti e le rocce dell'originario Oceano Ligure-Piemontese (in azzurro e in verde scuro), hanno contribuito in modo consistente alla costruzione dell'edificio alpino nell'area in esame.

2.2.1 Geologia e litologia della Valle d'Aosta

La Valle d'Aosta è situata poco a NW rispetto alla Linea Insubrica (denominata Linea del Canavese in questo settore) ed è quindi interamente compresa nell'ambito della catena nord-vergente (Fig. 2.3). In particolare, il territorio di fondovalle, oggetto principale del presente lavoro, si sviluppa per lo più nell'ambito dei domini Pennidico e Austroalpino, caratterizzati da strutture fortemente piegate marcate da metamorfismo e associate a grandi sovrascorrimenti.

In figura 2.4 è illustrata la disposizione delle principali unità tettoniche sul territorio regionale, descritte, procedendo da E verso W, in dettaglio nei paragrafi che seguono.

Occorre premettere che il Sistema Pennidico Superiore, non avendo attinenza con l'area di studio, non verrà trattato qui di seguito.

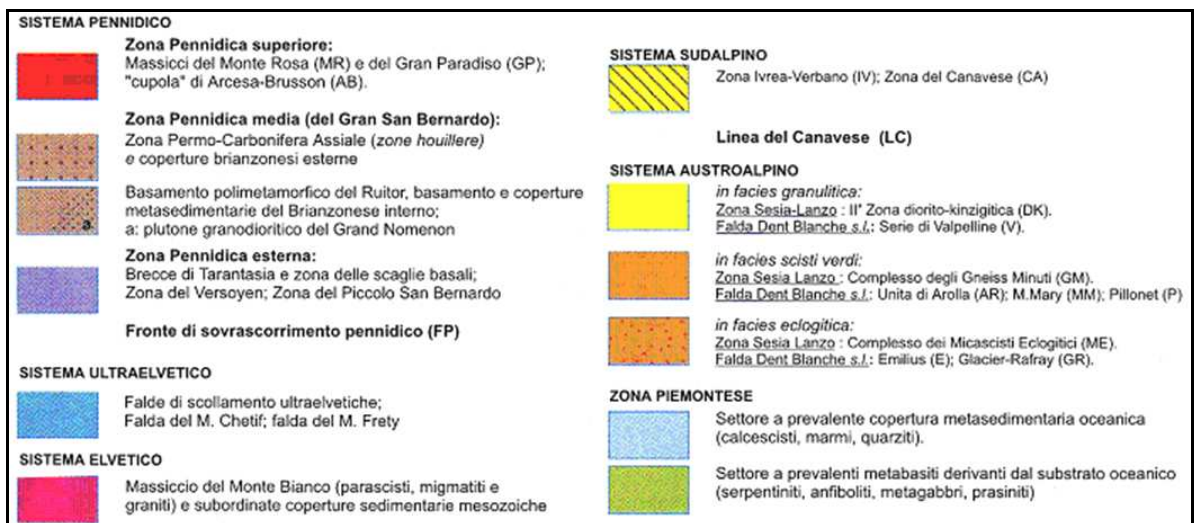
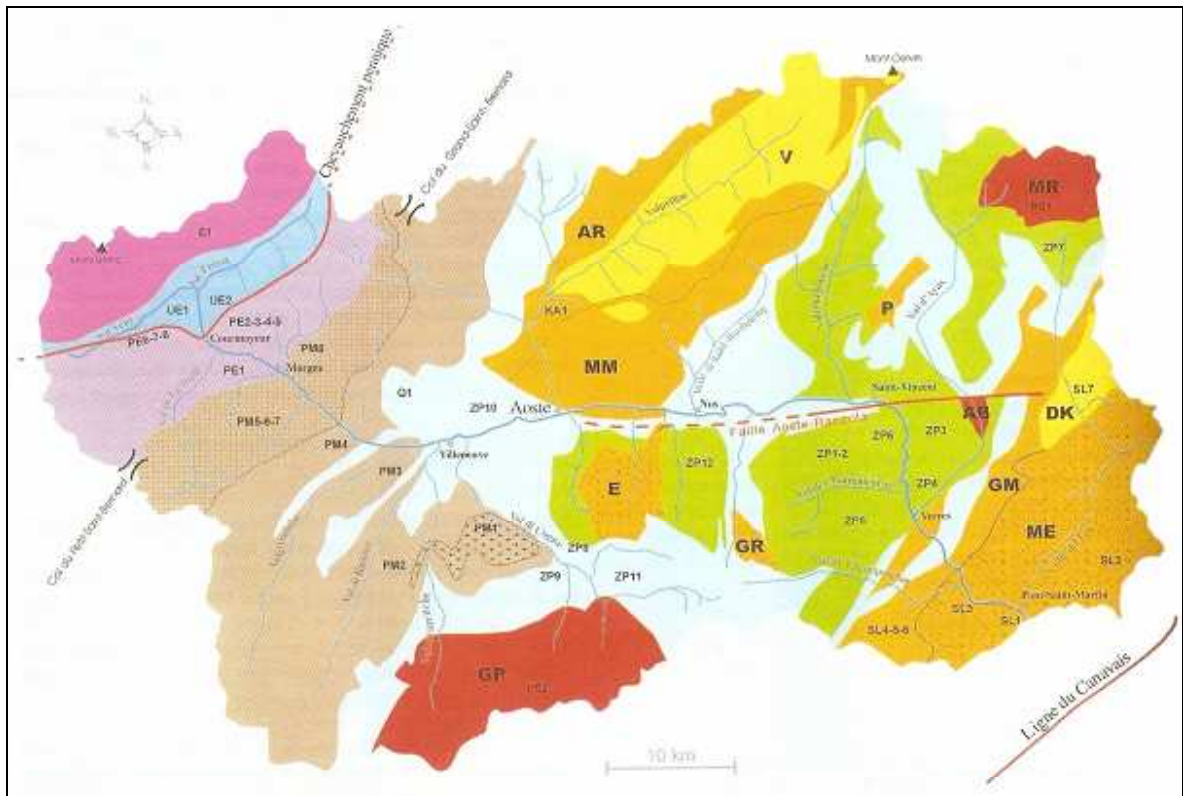


Figura 2.4 Carta geologico-strutturale della Valle d'Aosta (BONETTO & GIANOTTI, 1998).

2.2.1.1 Il Sistema Austroalpino

Il sistema Austroalpino - di pertinenza africana - è così rappresentato nel territorio regionale:

- Zona Sesia – Lanzo (elemento inferiore di tale sistema): affiora in tutta la bassa valle, da Pont-Saint-Martin a Verrès, ed è costituito da:
 - *Complesso interno dei micascisti eclogitici* (ME): caratterizzato da una morfologia irregolare e da una colorazione bruno-ruggine causata dal processo di alterazione. Si

- tratta di rocce metamorfiche di origine soprattutto sedimentaria, quali micascisti a granato e giadeite con letti di eclogiti e glaucofaniti.
- *Complesso esterno degli gneiss minuti (GM)*: è costituito da rocce di origine continentale profonda, in buona parte conservate. Tali gneiss sono rocce grigio-verdoline, spesso a bande, ricche in albite porfiroblastica, con mica bianca, epidoto, biotite e talora anfiboli calcici, originate dalla trasformazione di micascisti eclogitici.
 - Elemento superiore del sistema Austroalpino: affiora nella media valle, formando i *Klippen* (lembi alloctoni) della II Zona Dioritico-Kinzigitica (DK) e della Serie di Valpelline (V). E' costituito da rocce che hanno subito metamorfismo prealpino, da anfibolitico a granulitico. Le principali litologie sono: gneiss kinzigitici, marmi a silicati, metabasiti (da anfiboliti a granuliti con masse intercalate negli gneiss), rare ultramafiti più o meno preservate (POLLICINI, 1994).

2.2.1.2 La zona Piemontese dei calcescisti con pietre verdi

Si tratta di un grande sistema multifalda, diffusamente affiorante nella media valle, che separa le unità Austroalpine dalle sottostanti falde Pennidiche: Monte Rosa-Gran Paradiso e Gran San Bernardo (DAL PIAZ *et al.*, 1992).

Sono presenti associazioni ofiolitiche (pietre verdi), metamorfosate e smembrate tettonicamente, che rappresentano ciò che rimane della crosta oceanica mesozoica della Tetide e del mantello superiore sottostante.

Più nello specifico sul versante destro (cioè a sud di un importante lineamento tettonico est-ovest, diretto da Aosta al Colle di Joux-Ranzola e riportato in carta come *Faille Aoste-Ranzola*) la Zona Piemontese mostra unità ofiolitiche a metamorfismo eclogitico affioranti a tetto del basamento del Gran Paradiso ed a letto dei lembi Austroalpini meridionali, parimenti eclogitici; tra le due sequenze di ofioliti eclogitiche si interpongono rocce carbonatiche triassico-giurassiche di margine continentale (es. "fascio di Cogne") e/o successioni di calcescisti e prasiniti prive di relitti eclogitici (DAL PIAZ *et al.*, 1992).

2.2.1.3 Il sistema Pennidico medio del Gran San Bernardo

Il Gran San Bernardo è il più grande sistema multifalde della Zona Pennidica, sviluppato lungo l'intero arco delle Alpi Occidentali. Questo complesso percorre in direzione quasi ortogonale l'alta Valle d'Aosta, tra Villeneuve e Morgex.

In Valle d'Aosta esso può essere così suddiviso:

- Zona Brianzonese² interna (zone houillère): caratterizzata da sequenze metamorfiche in facies scisti blu/scisti verdi, che comprendono un basamento metasedimentario, dei corpi vulcanici e subvulcanici del Permiano e delle coperture permo-cretacee (Eocene);
- Zona Brianzonese esterna: costituisce lo zoccolo polimetamorfico del massiccio del Rutor (micascisti e metabasiti), con ortogneiss granitici, sequenze permo-carbonifere della *zone houillère* e copertura permo-triassica, ricca in evaporiti.

2.2.1.4 Le unità Pennidiche esterne

Esternamente, al di sotto del sistema multifalda del Gran San Bernardo, si estende un insieme di falde di copertura sradicate che affiorano con continuità in alta valle, a monte di Morgex, e risultano inoltre presenti nel Valle del Piccolo San Bernardo. Sono caratterizzate principalmente da un sistema di falde di scollamento in facies metamorfica di basso grado che comprende un complesso di scaglie basali, con elementi del Paleozoico superiore e del Trias/Giurassico oltre a potenti successioni di flysch cretacico (Brecce di Tarantasia) e localmente dalla presenza di ofioliti e limitati elementi di basamento.

2.2.1.5 Il sistema Elvetico-Ultraelvetico

In territorio valdostano tale sistema è rappresentato dal Massiccio del Monte Bianco, essendo separato dalle unità Pennidiche esterne dal Fronte Pennidico (lineamento tettonico con andamento NE-WSW). Esso è composto da quattro elementi tettonici, che si presentano in successione da sud-est a nord-ovest - e dall'alto verso il basso - nel seguente ordine:

- Falde di copertura Ultraelvetiche: unità sommitali rappresentate da due falde di scollamento, divise dal cuneo del M. Chetif; composte da carnirole, da calcari e da dolomie del Trias medio-superiore e da una serie di calcari spatici, calcari arenacei, argilliti nere, calcari selciferi e calcescisti argillosi del Lias inferiore-Malm;
- Cuneo Ultraelvetico del M. Chetif: è costituito da porfiroidi, derivati metamorfici alpini di rioliti, micrograniti o granofiri del Permiano, e da una copertura trasgressiva calcareo-arenacea del Lias;
- Falda del M. Frety (Ultraelvetico o Elvetico): affiora alle testate della Val Ferret e della Val Veny, è formata da una sequenza calcareo-argillosa del Giurassico medio-superiore, sovrapposta dal punto di vista tettonico, in successione rovesciata, al massiccio del Monte

² Il termine Brianzonese denomina un'area paleogeografica a crosta continentale posta nel dominio Pennidico, isolato tra due rami oceanici della Tetide.

Bianco;

- Unità Elvetica di basamento del Monte Bianco: distinta in cunei listrici fortemente raddrizzati, separati da fasce cataclastico-milonitiche, è composta da granito porfirico e da scisti pre-granitici, caratterizzati inoltre, dalla presenza di migmatiti e lenti di metabasiti, affioranti nel settore SW del massiccio.

2.2.1.6 Litologie della Valle d'Aosta

Occorre premettere che, non esistendo un carta litologica vera e propria, si è costretti a raggruppare le principali litologie sulla base della carta geologica regionale.

La carta litologica semplificata, elaborata da ARPA Valle d'Aosta e riportata in figura 2.5, mostra come la Valle d'Aosta, alla luce di quanto sopra illustrato, è caratterizzata prevalentemente dalla presenza di rocce gneissiche (sistema Austroalpino), ofioliti e calcescisti indifferenziati (zona Piemontese dei calcescisti con pietre verdi) e rocce metasedimentarie (ad esempio conglomerati, calcari e arenarie più o meno metamorfosate) nel settore nord-ovest (dominio Pennidico medio, unità Pennidiche esterne e sistema Ultraelvetico); sempre all'estremità nord-ovest della regione il Massiccio del Monte Bianco è costituito da rocce granitiche.

Si evince l'assenza di coperture carbonatiche (presenti solo localmente, ad esempio in alta Val di Rhêmes e in alta Valtournenche) e, di conseguenza, quella di fenomeni carsici di rilievo.

In figura 2.5 sono, inoltre, distinte le alluvioni quaternarie del fondovalle principale, che rivestono un'importanza particolare nel presente lavoro in quanto sede dei principali acquiferi regionali, oggetto del monitoraggio eseguito dall'ARPA Valle d'Aosta.

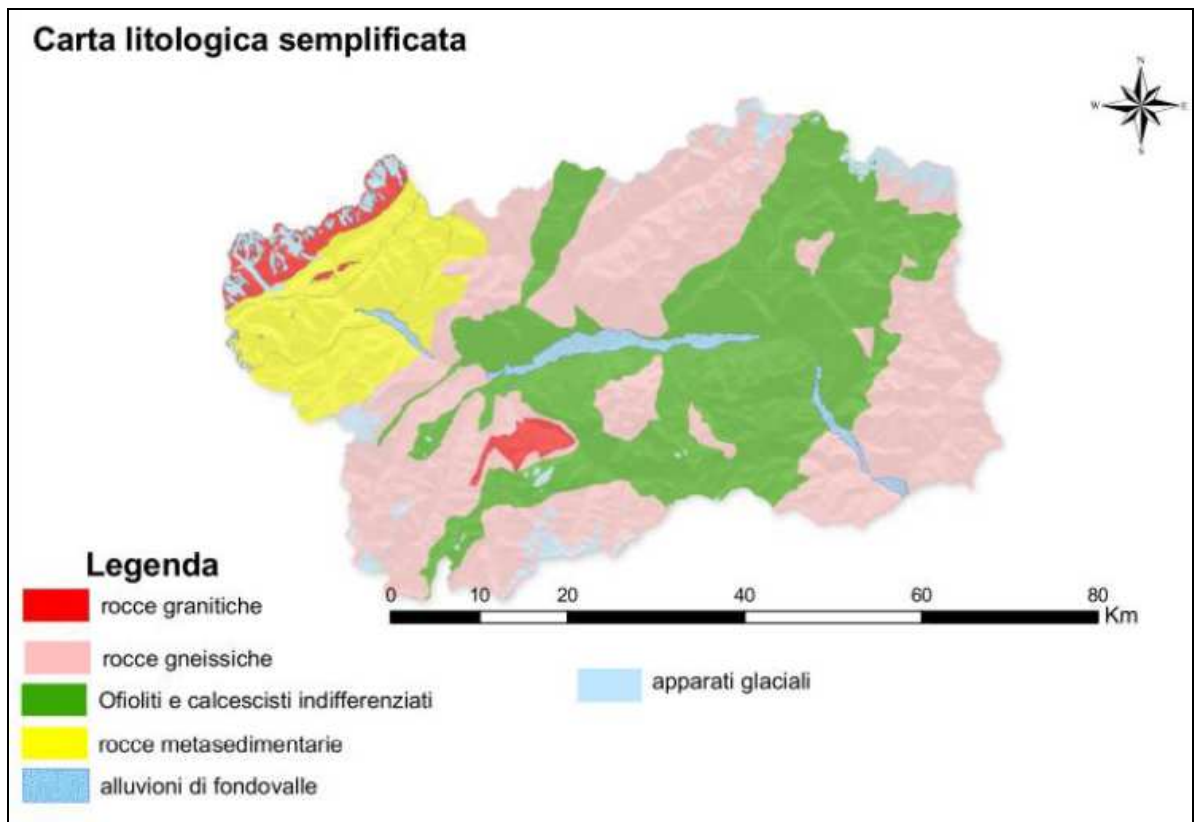


Figura 2.5 – Carta litologica semplificata del territorio regionale (elaborazione ARPA Valle d'Aosta).

2.3 Inquadramento climatico della Valle d'Aosta

Il clima di una regione montuosa dipende da molti fattori (latitudine, morfologia, altitudine, localizzazione rispetto all'oceano e alla direzione prevalente dei venti,...); in particolare alle medie latitudini, dove si trova il territorio di studio, nuvolosità e precipitazioni dipendono dai grandi sistemi di perturbazioni frontali (attivi tutto l'anno) e, su scala locale, dai sistemi convettivi (precipitazioni temporalesche durante il periodo estivo).

Ciò premesso, in Valle d'Aosta i fattori che più influenzano il clima sono le consistenti differenze di altitudine e di orientamento dei versanti, sia del fondovalle – ove l'orientazione est-ovest dell'asse principale della valle causa una forte disomogeneità climatica tra i versanti nord e sud - che delle numerose valli minori.

Le precipitazioni sono scarse poiché le catene montuose fungono da protezione nei confronti dell'aria umida che giunge dall'oceano Atlantico; il fondovalle è infatti caratterizzato dai valori medi di precipitazione più bassi di tutto l'arco alpino.

Ciononostante il fondovalle è ricco d'acqua per l'alimentazione glaciale che garantisce apporti costanti, seppur variabili nelle stagioni, sia al reticolo idrografico superficiale che al sistema idrico sotterraneo.

Nei mesi invernali le precipitazioni sono spesso a carattere nevoso su gran parte del territorio

(la cui quota media si ricorda essere superiore ai 2000 m s.l.m.).

In definitiva il clima della regione può essere definito di tipo semi-continentale di montagna, temperato-freddo, con precipitazioni scarse (AA.VV., 2003).

2.3.1 Regime termico

La temperatura varia, come noto, principalmente in funzione di quota³ ed esposizione; tuttavia d'inverno, in condizioni di inversione termica, certe aree del fondovalle intorno ai 500÷800 m s.l.m. e i versanti immediatamente adiacenti possono presentare – a seguito dello scorrimento notturno verso il basso dell'aria fredda e pesante - un incremento termico anziché un abbassamento.

Pertanto, soprattutto nelle notti invernali, il gradiente termico verticale lungo i versanti di una montagna può essere inferiore a quello presente in aria libera. I versanti, invece, sono meno influenzati dal raffreddamento in quanto soggetti ad un continuo ricambio d'aria.

La minor frequenza di gelate, combinata con l'insolazione, conferisce caratteri di mitezza quasi mediterranea ai versanti all'*adret* (esposti a sud) tra quota 500÷800 m, a ragione più popolati e coltivati rispetto che gli analoghi all'*envers*, esposti a nord (AA.VV., 2003).

A titolo esemplificativo nella figura 2.6 si riportano i dati termici relativi alle stazioni meteo distribuite sul territorio valdostano: si nota che la distribuzione termica segue fedelmente il rilievo montuoso. Il valore medio annuo di 10 °C si registra profondamente nel fondovalle fino a lambire Courmayeur. L'isoterma 0°C si colloca attorno a 2500 m, la -5°C è prossima a 3400 m (AA.VV., 2003).

In figura 2.7, si fa riferimento ad una stazione meteo posta in quota (Piccolo San Bernardo); si può notare come l'andamento termico vari nel corso dell'anno: i valori minimi giornalieri si mantengono mediamente intorno a - 10 °C per gran parte del trimestre invernale, risalgono gradualmente dal mese di marzo, portandosi su valori positivi solo a fine maggio. Il ritorno a minime inferiori a 0°C si registra mediamente a inizio ottobre.

Si consideri che l'esempio del Piccolo San Bernardo è particolarmente significativo, trovandosi tale passo ad una quota corrispondente a circa la quota media dell'intero territorio valdostano.

Le massime oscillano mediamente tra - 5 °C nel cuore dell'inverno a 10-14 °C tra luglio e agosto, ma non sono rare punte estreme verso i 20 °C (AA.VV., 2003).

³ Con l'altitudine si ha mediamente una diminuzione di temperatura di 0,65°C ogni 100 metri di quota (AA.VV., 2003).

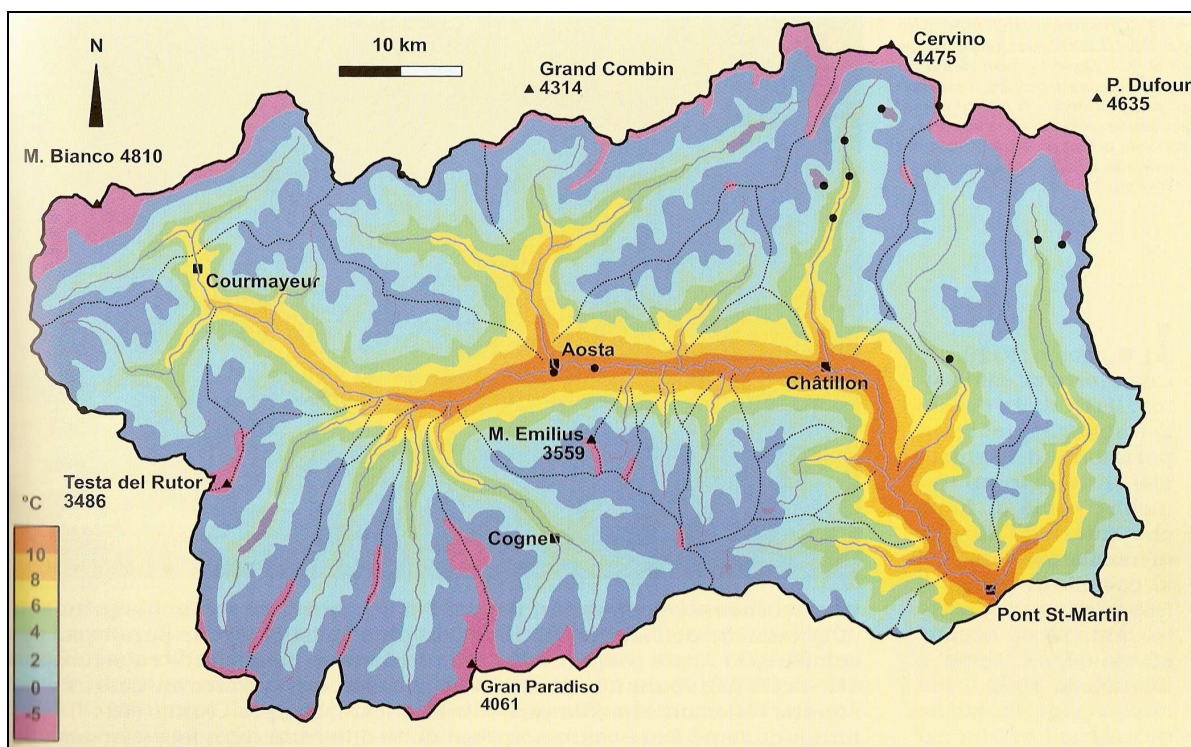


Figura 2.6 – Carta delle isoterme medie annue in °C ottenuta utilizzando i dati di 14 stazioni tra quota 500 e 3500 m su un periodo compreso in genere tra il 1950 e il 2002 (AA.VV., 2003). La carta ha il solo scopo di fornire un quadro d'insieme.

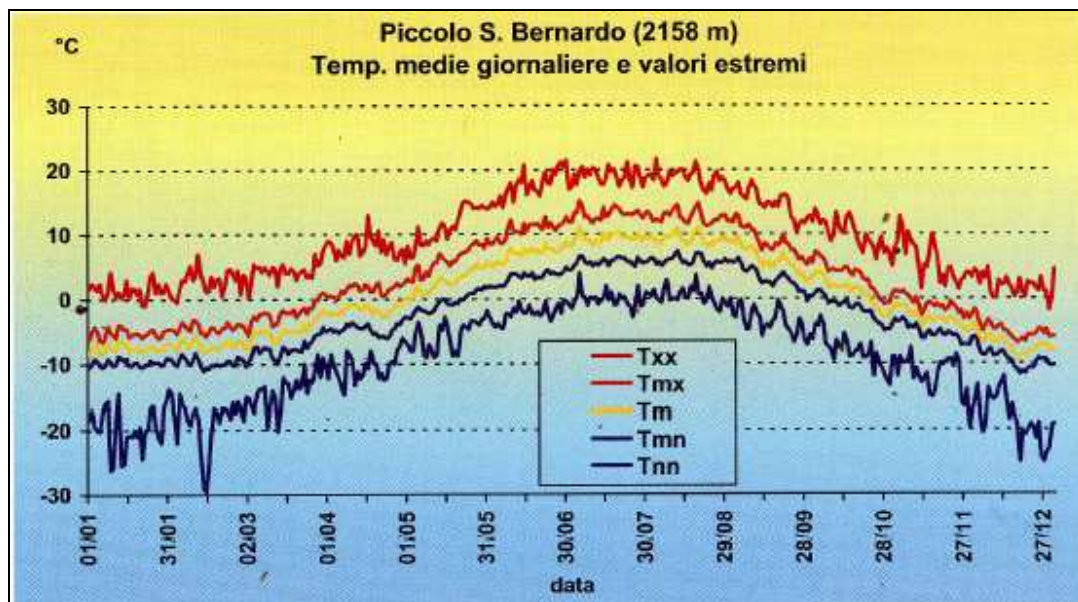


Figura 2.7 – Andamento della temperatura al Piccolo San Bernardo nel corso dell'anno: temperature medie minime e massime giornaliere (Tmn e Tmx), temperature medie (Tm) e valori estremi minimi e massimi (Tnn e Txx) rilevati tra il 1925 e il 1939 (AA.VV., 2003).

In Valle d'Aosta, alle quote più basse, si rilevano temperature minime inferiori ai 0°C per circa 100 giorni all'anno; tale numero cresce all'aumentare della quota, fino a superare i 300 giorni

di gelo oltre i 3100 m.

La variazione con la quota del numero di giorni di gelo ($T_{\min} \leq 0^{\circ}\text{C}$) è descritta dalla regressione ottenuta dai dati delle serie termometriche analizzate (Fig. 2.8), che permette di osservare un incremento di 8 giorni ogni 100 m di altitudine (AA.VV., 2003).

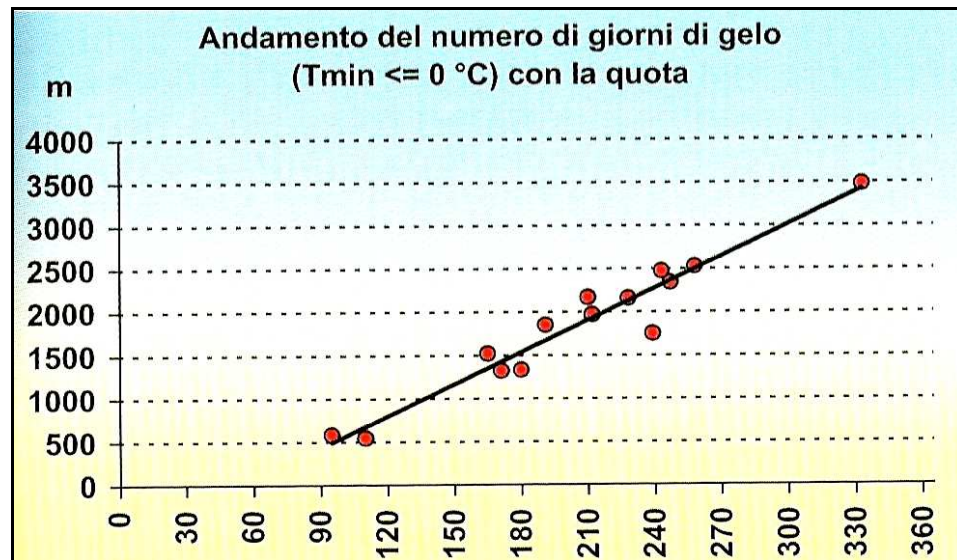


Figura 2.8 – Grafico con retta di regressione lineare che illustra la variazione del numero di giorni di gelo con la quota (AA.VV., 2003).

2.3.2 Regime pluviometrico

Come detto, la distribuzione delle precipitazioni è influenzata dalla presenza di rilievi: l'incontro tra una massa di aria umida con una catena montuosa origina una risalita forzata dell'aria, che raffreddandosi determina la condensazione del vapore acqueo, con formazioni di nubi e successive precipitazioni.

Solitamente le perturbazioni di questo tipo scaricano la maggior parte delle precipitazioni sul versante sopravvento dei primi rilievi esposti al flusso, mentre nelle zone più interne, ove la perturbazione ha esaurito gran parte del suo contenuto in umidità, le precipitazioni si riducono.

Sul versante sottovento del rilievo si possono instaurare condizioni di vento discendente mite e asciutto (*föhn*); pertanto le valli interne risultano essere notevolmente secche in confronto alle aree circostanti. I rilievi montuosi che circondano il territorio valdostano ad esclusione del tratto sud-est, limitano notevolmente gli effetti delle perturbazioni, che giungono fortemente impoverite nel cuore della regione.

I valori più bassi di precipitazione media (circa 500 mm annui, valori minimi per tutto l'arco alpino) vengono raggiunti nella conca di Aosta (AA.VV., 2003).

Le precipitazioni aumentano progressivamente spostandosi verso i confini regionali, perciò le

isoiete seguono un andamento a grandi linee concentrico (Fig. 2.9), anche se nemmeno le aree a quota maggiore sono caratterizzate da totali annui molto abbondanti: gran parte del territorio valdostano (circa il 70%) riceve meno di 1000 mm annui. Soltanto in corrispondenza delle aree di confine, adeguatamente esposte all'afflusso delle correnti umide mediterranee o atlantiche, si hanno apporti considerevoli, benché ancora inferiori a quelli registrati in diverse regioni limitrofe.

Il territorio valdostano presenta un regime pluviometrico prevalentemente di tipo sub-litoraneo alpino, caratterizzato da due minimi in estate e in inverno e da due massimi nelle stagioni intermedie.

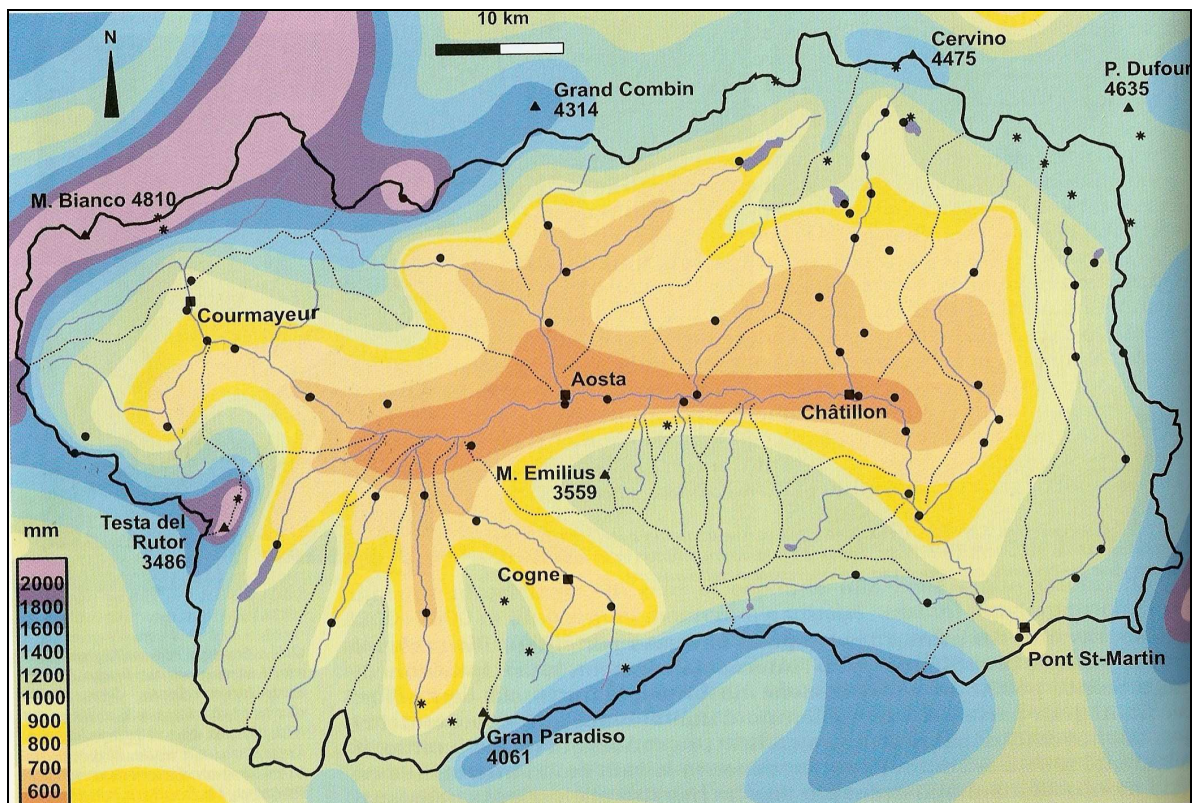


Figura 2.9 – Carta delle isoiete (mm di pioggia e neve fusa) in Valle d'Aosta, calcolata sui valori medi annuali 1920-2000. La zona più asciutta, con valori anche vicini a 500 mm, è prossima ad Aosta, mentre nelle valli laterali gli apporti tendono ad aumentare, senza tuttavia raggiungere particolare abbondanza. I punti neri rappresentano le stazioni meteo (AA.VV., 2003).

Anche la distribuzione del numero di giorni piovosi (considerando come tali i giorni che abbiano ricevuto almeno 1 mm di precipitazione, neve fusa o pioggia) segue a grandi linee quella delle isoiete.

Osservando la figura 2.10 è possibile notare che i valori minimi (al di sotto di 80 giorni) si presentano lungo gran parte della vallata centrale a partire da Pont-Saint-Martin fino a

giungere nei pressi di La Salle, mentre le massime frequenze si registrano in corrispondenza delle creste montuose poste a nord-ovest, dove si possono addirittura superare 150 giorni di precipitazione all'anno.

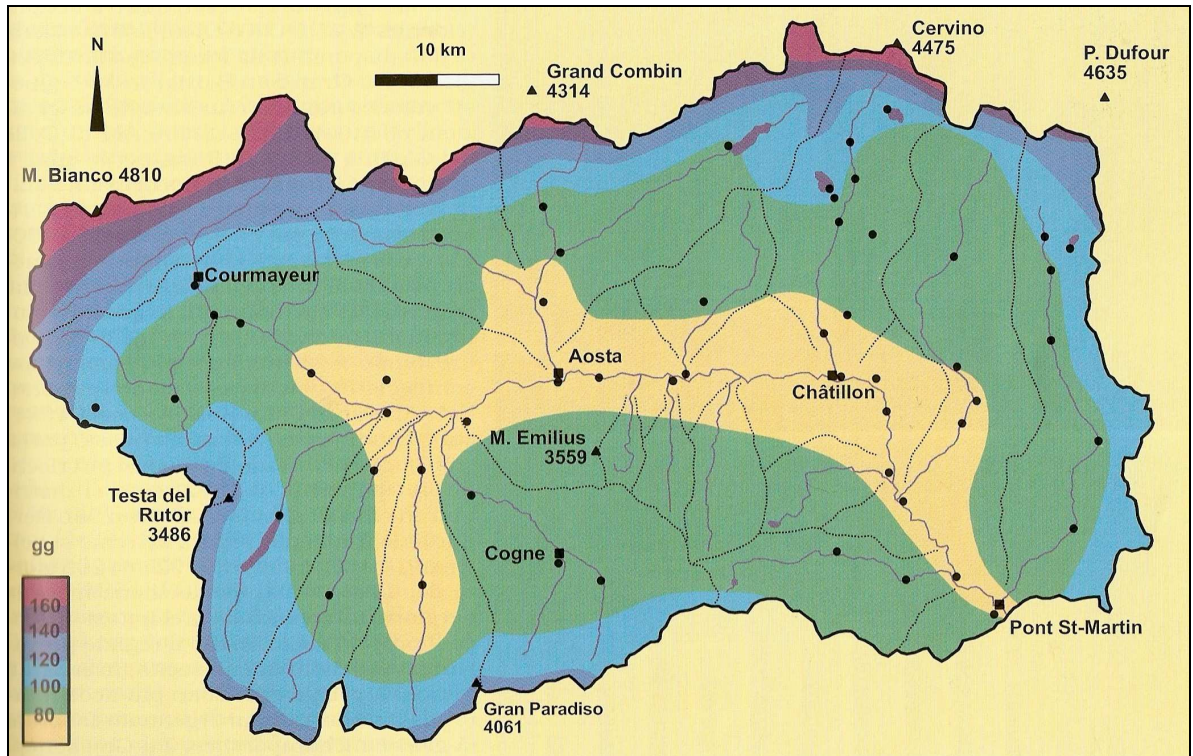


Figura 2.10 – Carta del numero medio annuo di giorni di piovosi. I punti neri rappresentano le stazioni meteo (AA.VV., 2003).

2.3.3 Regime nivometrico

La quantità media annuale di neve fresca varia con l'altitudine delle aree considerate, in funzione sia della diminuzione di temperatura, sia dell'aumento delle precipitazioni, quantificabile in circa 30 cm ogni 100 metri. A tale proposito, mediamente i valori cumulati di precipitazioni nevose possono variare con la quota da un minimo di 70÷100 cm a 600 m s.l.m. sino a valori massimi superiori a 8 m sopra i 3000 m s.l.m.⁴.

In particolare, in funzione della quota si ha che:

- al di sotto dei 1200÷1300 m s.l.m. la distribuzione nivometrica mensile è influenzata soprattutto dalla temperatura dell'aria: pertanto i mesi invernali (dicembre e gennaio) sono i più nevosi;

⁴ Tali valori sono calcolati tenendo conto della relazione lineare: $HN = 0,285h - 121$ dove HN è la quantità annuale di neve fresca (cm) e h è l'altitudine (m s.l.m.).

- in media montagna il regime pluviometrico diviene progressivamente più importante di quello termico e la nevosità è distribuita nei periodi novembre-dicembre e marzo-aprile in modo omogeneo;
- oltre i 2700÷3000 m – ove, se si eccettuano i mesi centrali dell'estate, le precipitazioni sono esclusivamente solide - la distribuzione della neve fresca dipende solo dal regime pluviometrico.

Si osserva inoltre che il fondovalle della bassa Valle d'Aosta (Fig. 2.11) presenta i valori di nevosità più bassi (prossimi o inferiori a 50 cm) a causa degli scarsi apporti solidi nel corso del periodo invernale.

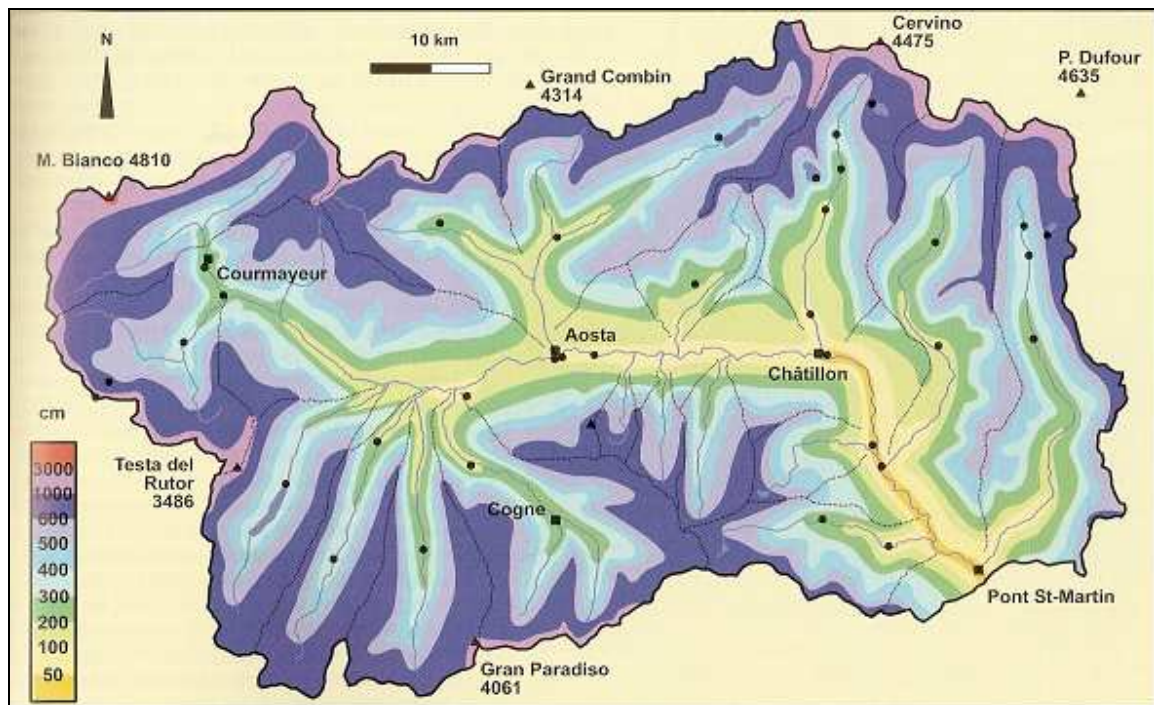


Figura 2.11 – Carta della quantità media annua di neve fresca in cm, basata su misure del periodo 1920-2000. I punti neri rappresentano le stazioni meteo (AA.VV., 2003).

La durata della neve al suolo nel territorio valdostano è un parametro piuttosto difficile da rappresentare nel dettaglio in quanto risente di numerosi fattori, tra cui l'esposizione, la morfologia del suolo e la pendenza dei versanti che variano notevolmente all'interno di una regione montuosa. Il suolo rimane coperto di neve mediamente per meno di 30 giorni l'anno sul fondovalle tra Châtillon e Pont-Saint-Martin oltre che sulle prime pendici montuose in esposizione soleggiata almeno fino a 500-600 m (AA.VV., 2003).

La durata del manto nevoso aumenta di circa 11 giorni ogni 100 metri di altitudine: si parte dai 35 giorni a 600 m fino a superare i 300 giorni a 3000 m.

2.4 Inquadramento idrografico della Valle d'Aosta

Il territorio valdostano appartiene interamente al bacino idrografico del Po. Il fondovalle è infatti attraversato in tutta la sua lunghezza dalla Dora Baltea, affluente del Po, che dalla sorgente (Monte Bianco) sino al confine con il Piemonte (Pont-Saint-Martin) presenta una lunghezza di circa 100 km.

La Dora Baltea, unico fiume italiano a regime nivo-glaciale, presenta in Valle d'Aosta un bacino piuttosto complesso, caratterizzato da una serie di numerosi e importanti torrenti affluenti di origine glaciale (Fig. 2.12). Essa nasce a monte di Courmayeur dalla confluenza della Dora di Veny e Dora di Ferret, che scorrono nelle omonime valli coassiali site alla testata del M. Bianco.

Come già accennato il suo percorso, inizialmente diretto da nord-ovest a sud-est (alta valle), a monte di Aosta assume un andamento ovest-est fino a Saint-Vincent (media valle) dove piega verso sud-est; tale direzione è mantenuta fino alla confluenza con il Po (bassa Valle d'Aosta e Canavese).

I principali affluenti della Dora Baltea, corrispondenti alle principali vallate laterali, sono:

- in alta valle, la Dora di La Thuile (versante orografico destro rispetto al fondovalle);
- nella media valle, la Dora di Valgrisenche e i tre torrenti delle valli del Gran Paradiso (Dora di Rhêmes in Val di Rhêmes; T. Savara in Valsavarenche; T. Grand Eyvia in Val di Cogne), tutti originatisi dal versante orografico destro del fondovalle principale;
- nel capoluogo, in sinistra idrografica il torrente Buthier (il cui ramo di monte originatosi dal passo del Gran S. Bernardo prende il nome di T. Artanavaz);
- a Nus, in sinistra idrografica, il torrente St. Barthélemy che scorre nella valle omonima;
- a Fénis, in destra idrografica, il torrente Clavalité che scorre nella valle omonima;
- nei pressi di Châtillon, in sinistra idrografica, il torrente Marmore che scorre in Valtournenche;
- nei pressi di Verrès, in sinistra orografica, il torrente Evençon che scorre in Val d'Ayas;
- in prossimità di Bard, in destra orografica, il torrente Ayasse che scorre nella valle di Champorcher;
- infine, in corrispondenza dell'ultimo comune valdostano bagnato dalla Dora (Pont-Saint-Martin) sfocia il torrente Lys che scorre nella valle di Gressoney (versante orografico sinistro rispetto al fondovalle principale).

I torrenti Marmore, Evençon e Lys nascono tutti dal massiccio del M. Rosa.

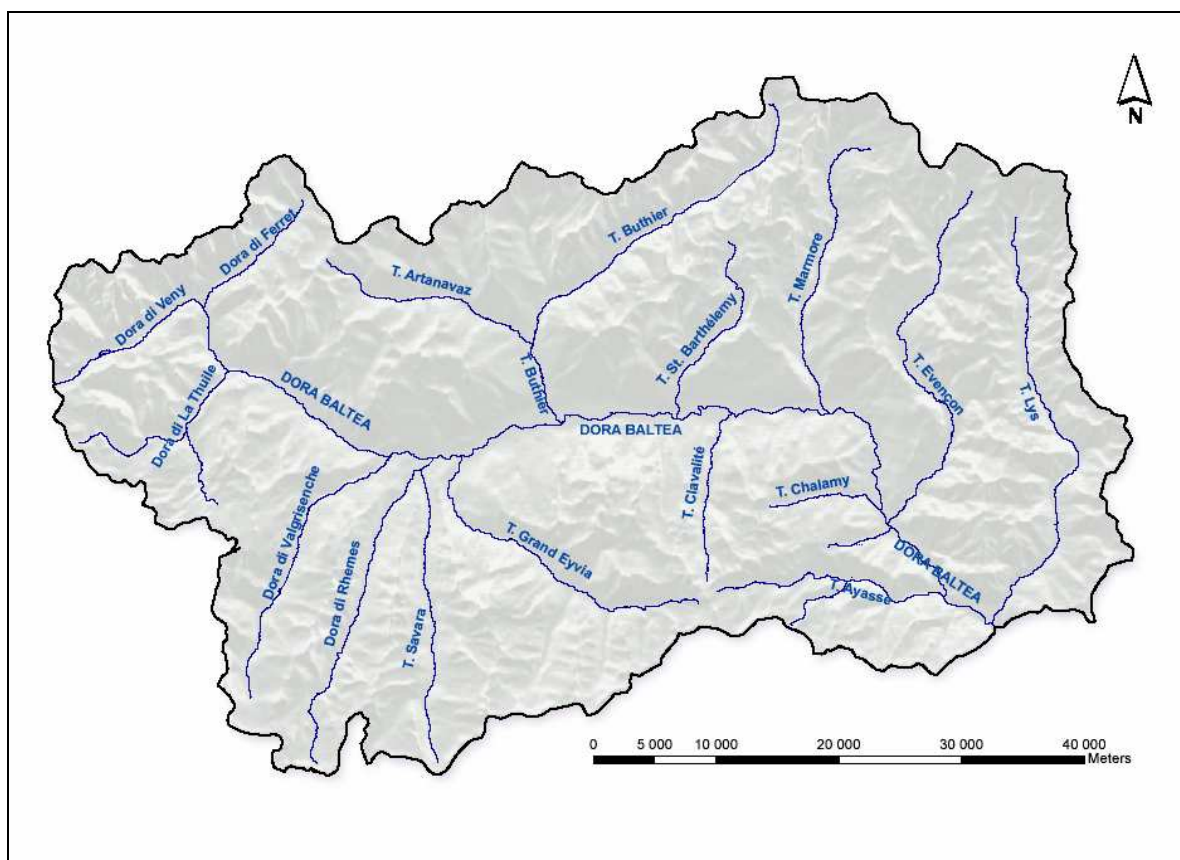


Figura 2.12 – Idrografia della Regione Valle d’Aosta (elaborazione ARPA Valle d’Aosta).

Da notare dal punto di vista geomorfologico che, a seguito della maggiore azione di esarazione esercitata dal ghiacciaio principale balteo sul fondovalle rispetto ai ghiacciai secondari delle vallate laterali, praticamente tutte le vallate in cui scorrono i sopra menzionati affluenti della Dora Baltea risultavano sospese rispetto al fondovalle principale; pertanto i principali centri abitati del fondovalle (Aosta, Verrès, Pont-Saint-Martin) sono ubicati attualmente in corrispondenza di poderosi coni di deiezione.

2.4.1 Regime idrologico

Nei territori montani possono essere distinti regimi di tipo “glaciale” e “glacio-nivale” (BINI⁵, 1998).

Nel primo caso i ghiacciai occupano il 15-20 % del bacino e si hanno variazioni stagionali di portata notevoli con portate pressoché nulle in inverno. Questo tipo di regime può essere ulteriormente suddiviso in tre tipi:

⁵ Bisogna considerare che tale classificazione è stata definita sulla base di serie storiche relative agli anni '30, che potrebbero non essere più rappresentative delle condizioni attuali a causa del regresso generalizzato degli apparati glaciali.

- “ultraglaciale”: con una portata massima nel mese di agosto;
- “glaciale normale”: con una portata massima nel mese di luglio; la portata di giugno è inferiore a quella di agosto;
- “glaciale mitigato”: anch’esso con una portata massima a luglio, ma con la portata di giugno superiore a quella di agosto.

I regimi “nivo-glaciali”, invece, presentano un massimo unico di portata nel mese di giugno e presentano una portata elevata già nel mese di maggio, e scarsa a settembre. Sulla base delle portate rilevate nei mesi di maggio e agosto si possono ulteriormente distinguere due sottoregimi:

- “nivale puro”: portate di maggio superiori a quelle di agosto;
- “nivo-glaciale”: portate di maggio inferiori a quelle di agosto.

Nello specifico per quanto riguarda la Regione Valle d’Aosta, i regimi della Dora Baltea secondo BINI (1998) passano dal “glaciale” - nelle porzioni a quote più elevate (ad esempio ai piedi di Monte Bianco e Monte Rosa) – a “nivo-glaciale” più a valle (Fig. 2.13).

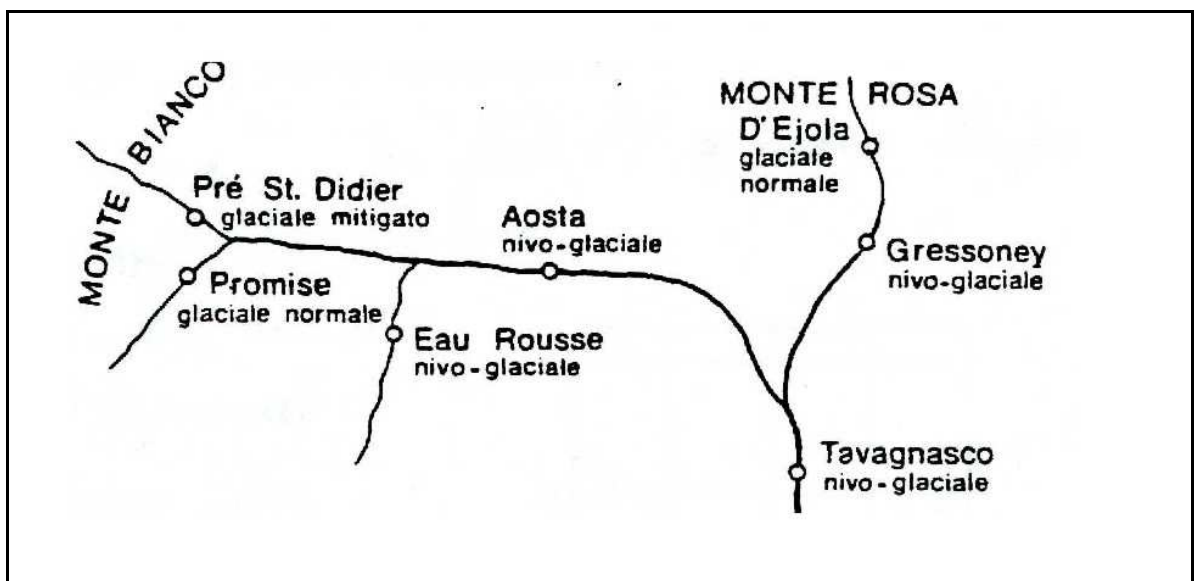


Figura 2.13 – Variazioni di regime della Dora Baltea (BINI, 1998).

2.5 Inquadramento geomorfologico della Valle d’Aosta

Il territorio della regione Valle d’Aosta è un ambiente tipicamente glaciale caratterizzato da una morfologia a “U” della vallata principale.

Più precisamente nel corso del Pleistocene i fenomeni legati alla glaciazione hanno controllato in modo determinante la morfogenesi, non solamente nelle zone poste a quote maggiori, ma anche nei settori di fondovalle sino alla confluenza con la pianura piemontese.

Le fasi di espansione e di ritiro del Ghiacciaio della Dora Baltea sono tra l'altro alla base della formazione del noto anfiteatro morenico d'Ivrea (sito interamente in Piemonte), composto da tre cordoni morenici frontali.

Dopo la fase di massima espansione würmiana (Fig. 2.14), i grandi apparati glaciali ancora formanti un unico complesso iniziano a scindersi in singoli corpi ritirandosi nelle rispettive vallate.



Figura 2.14 – Carta relativa alla massima espansione glaciale würmiana in Valle d'Aosta (circa 20.000 anni fa) (AA:VV., 2008).

Il ritiro glaciale si esplica in più stadi successivi, a partire da Ivrea si osservano i seguenti stazionamenti: in prossimità di Fénis (Fig. 2.15) è presente un piccolo anfiteatro morenico, attualmente di difficile osservazione a causa del rimaneggiamento dovuto ai lavori di costruzione del tratto autostradale, dell'erosione da parte della Dora Baltea e dalla successiva deposizione dei sedimenti torrentizi laterali (coni di deiezione). Lo stazionamento glaciale è deducibile dalla presenza di terrazzi di depositi di *kame* sulla sponda destra, nei comuni ubicati appena a ovest di Fénis.

Con il progressivo ritiro del Ghiacciaio della Dora Baltea viene liberata la conca di Aosta, in corrispondenza della quale si forma un ampio lago (Fig. 2.16), esteso a valle sino allo sbarramento formato da un rilevante crollo roccioso tardiglaciale (denominato frana del M. Avi) tra Saint Vincent e Montjovet (abitato qualche Km a valle del precedente).

Allo sbocco dei torrenti laterali si formano vasti conoidi di deiezione, sia subacquei sia aerei, alla cui base sono conservati depositi lacustri fini e stratificati.



Figura 2.15 – Carta relativa allo stadio di stazionamento glaciale di Fenis (AA.VV., 2008).

Contemporaneamente al procedere della sedimentazione del bacino lacustre, l'alveo dell'emissario - scorrendo sull'accumulo di frana del M. Avi - lo erode progressivamente, causando prima l'abbassamento della superficie del lago e poi il suo svuotamento.

Il fondo della conca di Aosta diviene così un fondovalle alluvionale, percorso dalla Dora e modellato principalmente dalla dinamica evolutiva dei meandri fluviali. Dopo il colmamento del primo lago, una frana nei pressi di Fénis (a valle di Aosta) ha dato origine ad un secondo lago, più piccolo del precedente, a sua volta progressivamente colmato da una sedimentazione lacustre e soprattutto fluviale, alimentata dalla Dora Baltea e dai suoi affluenti ad alta energia.

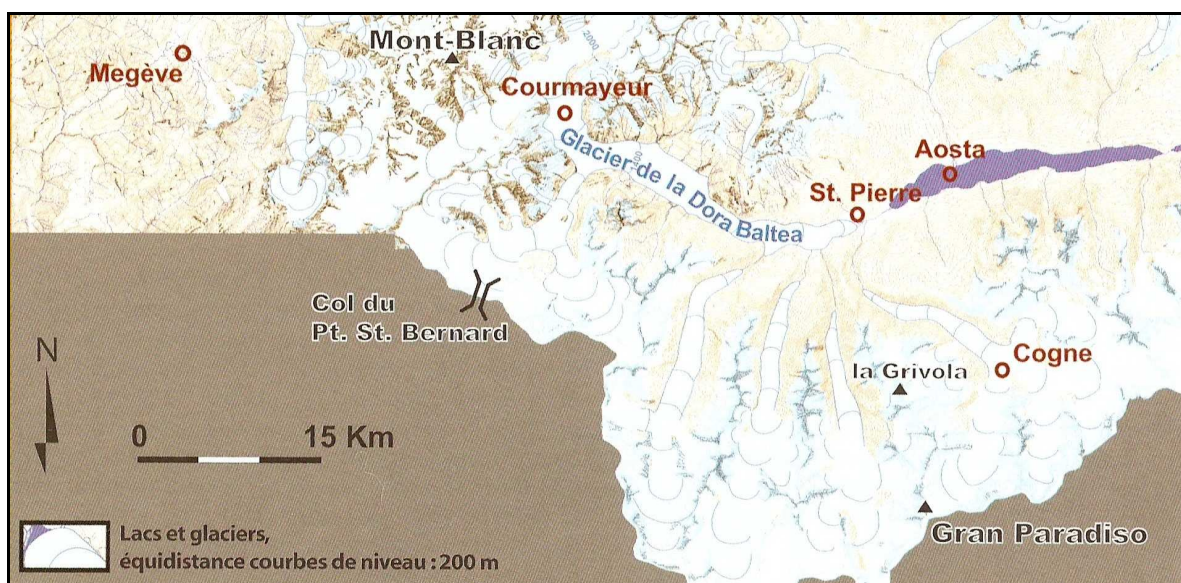


Figura 2.16 – Carta relativa allo stadio di stazionamento glaciale di Saint-Pierre (AA.VV., 2008). Si osserva la formazione del lago glaciale nella piana di Aosta.

Un insieme di formazioni di origine glaciale laterali e latero-frontali permettono di ipotizzare uno stadio del ghiacciaio principale a Saint-Pierre durante il Tardiglaciale antico (Fig. 2.16). Successivamente si può supporre un ulteriore stadio di stazionamento del ghiacciaio principale (ormai formato solamente dai ghiacciai della Val Veny e della Val Ferret uniti insieme) nei pressi dell'abitato di Courmayeur (Fig. 2.17).

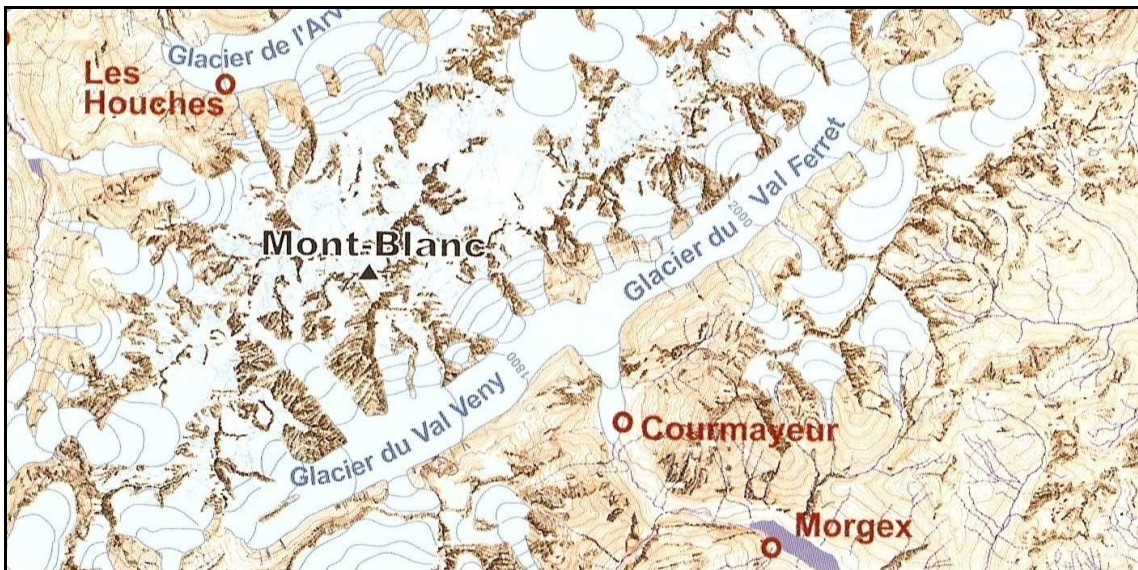


Figura 2.17 - Carta relativa allo stadio di stazionamento glaciale di Courmayeur (AA.VV., 2008).

Infine, l'ultimo stadio di stazionamento denominato di Planpincieux (Fig. 2.18) è deducibile dall'insieme dei blocchi erratici provenienti dal Monte Bianco e rinvenuti in tale località ai piedi del ghiacciaio, massi che descrivono il limite laterale dei ghiacciai, mentre i cordoni frontali non sono stati preservati.

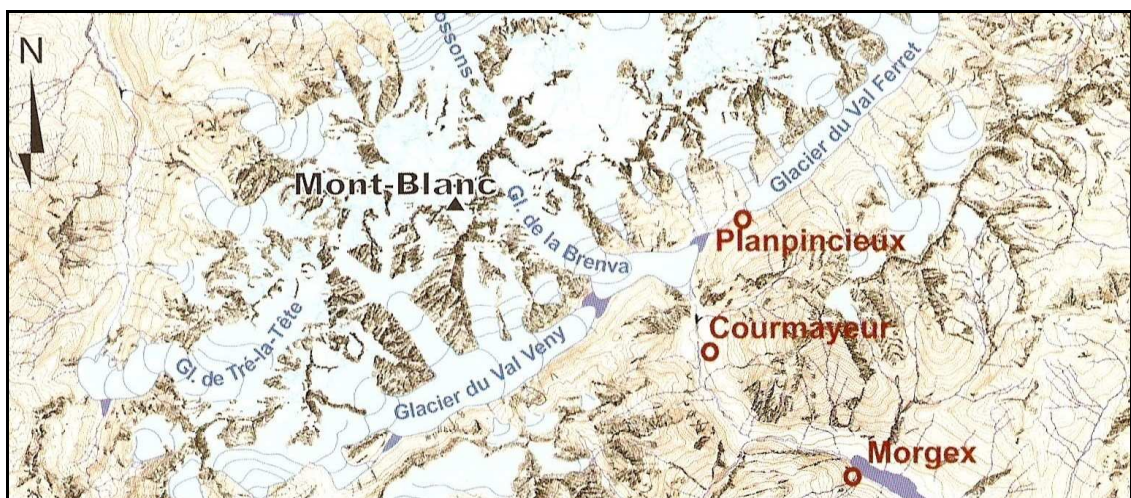
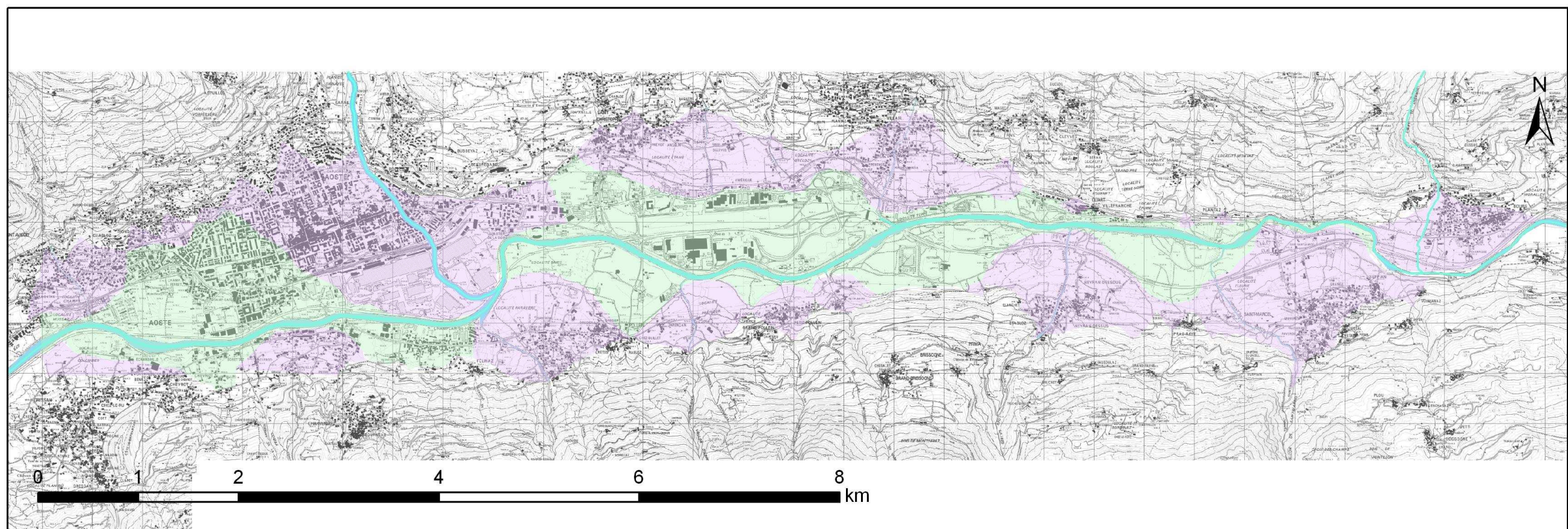


Figura 2.18 - Carta relativa allo stadio di stazionamento glaciale di Planpincieux (AA.VV., 2008).

La notevole pressione esercitata, al tempo della massima espansione, da parte degli apparati glaciali direttamente sul substrato roccioso determina una modificazione delle proprietà reologiche del versante, ossia una compressione delle rocce. Nel corso della deglaciazione il versante si trova in una nuova situazione di spinte che crea un certo disequilibrio. Quest'ultimo causa una serie di fratture di decompressione all'interno del massiccio roccioso, che si traducono in crolli (ad esempio la già citata frana del M. Avi) e deformazioni gravitative profonde dei versanti (DGPV), con la formazione di coni di detrito. Tuttora, essendo un territorio montano, la Valle d'Aosta è soggetta lungo i versanti a fenomeni franosi e valanghivi. Le morene frontali che risultano attualmente visibili in prossimità della maggior parte dei ghiacciai si sono formate nel corso dell'Olocene nella cosiddetta Piccola Età Glaciale (PEG), l'ultimo periodo di "crescita" glaciale che ha avuto fine verso il 1850-1860 ed a cui ha fatto seguito l'inizio del periodo di riscaldamento climatico che perdura ancora oggi. Infine, dalla fusione dei ghiacciai trae origine un reticolo idrografico basilare che evolvendosi porta a quello attuale. In corrispondenza della confluenza tra le singole valli laterali e quella principale si formano conoidi alluvionali su cui sorgono molti centri abitati valdostani (come si vede ad esempio in Fig. 2.19 per Aosta), mentre sul fondovalle si forma una spessa coltre di depositi ghiaioso-sabbiosi all'interno dei quali si sono impostate le principali falde della regione. Tale fondovalle risulta soggetto talvolta a fenomeni di esondazione causati da precipitazioni intense.



Legenda

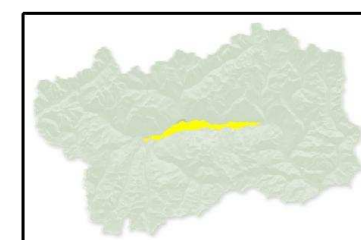
-
conoidi-
alluvioni-
substrato roccioso indifferenziato


Figura 2.19 - Distribuzione dei principali depositi quaternari (alluvioni e conoide) nella piana di Aosta (tratto Aosta-Quart)

2.6 Caratteri idrogeologici della Valle d'Aosta

In linea generale, la geomorfologia del territorio valdostano dà luogo a due situazioni di massima ben differenziate dal punto di vista idrogeologico:

- in roccia, nelle zone montane, la circolazione idrica è limitata alle zone di frattura; infatti, come evidenziato in precedenza (cfr par. 2.2.1.6), sono assenti fenomeni carsici di rilievo. In questo caso gli acquiferi produttivi, captati tramite sorgenti, sono localizzati;
- in corrispondenza dei principali settori di fondovalle, caratterizzati dalla presenza di depositi alluvionali quaternari ghiaioso-sabbiosi, sono invece ospitati acquiferi, generalmente molto produttivi.

Tale concetto è riassunto da FRIED *et al.* (1982) in figura 2.20: a grande scala il territorio valdostano, come detto appartenente interamente al bacino del fiume Po, rientra (al pari di tutto l'arco alpino occidentale) nell'ambito delle "Formazioni con acquiferi di interesse locale", salvo le aree – di estensione limitata rispetto alla totalità del territorio - di fondovalle ("Alluvioni vallive").

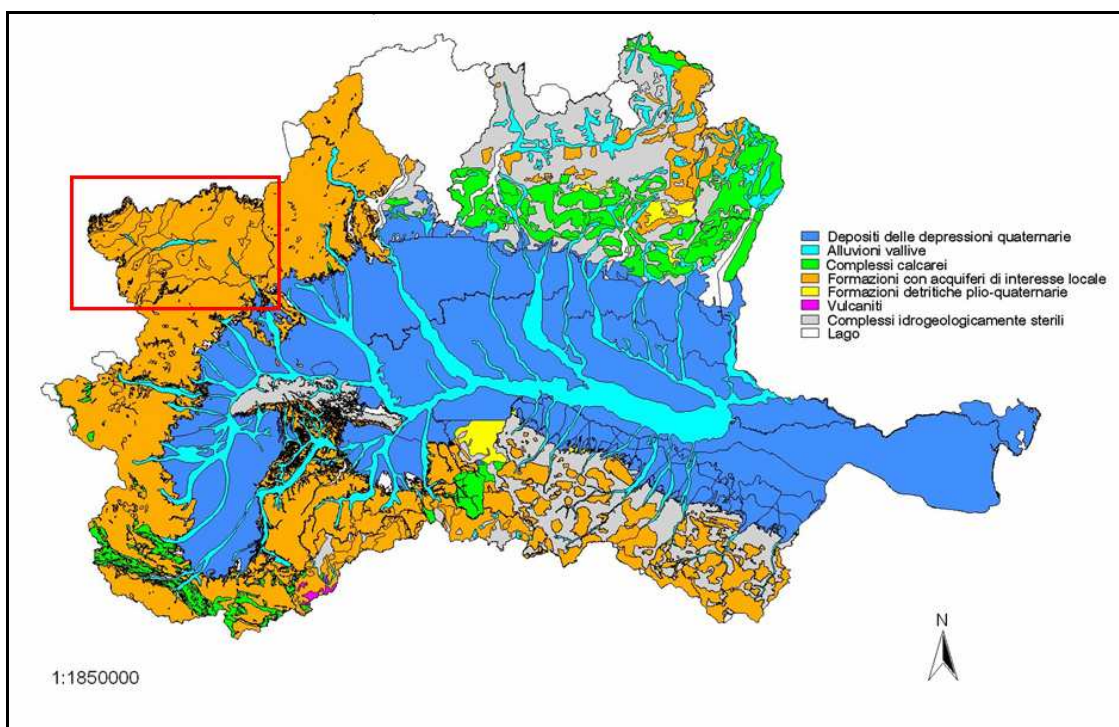


Figura 2.20 - Acquiferi del bacino del Po; il rettangolo rosso evidenzia la Valle d'Aosta (FRIED *et al.*, 1982, modificato).

In figura 2.21, sono illustrate schematicamente le modalità di circolazione delle acque sotterranee nei due domini sopra individuati.

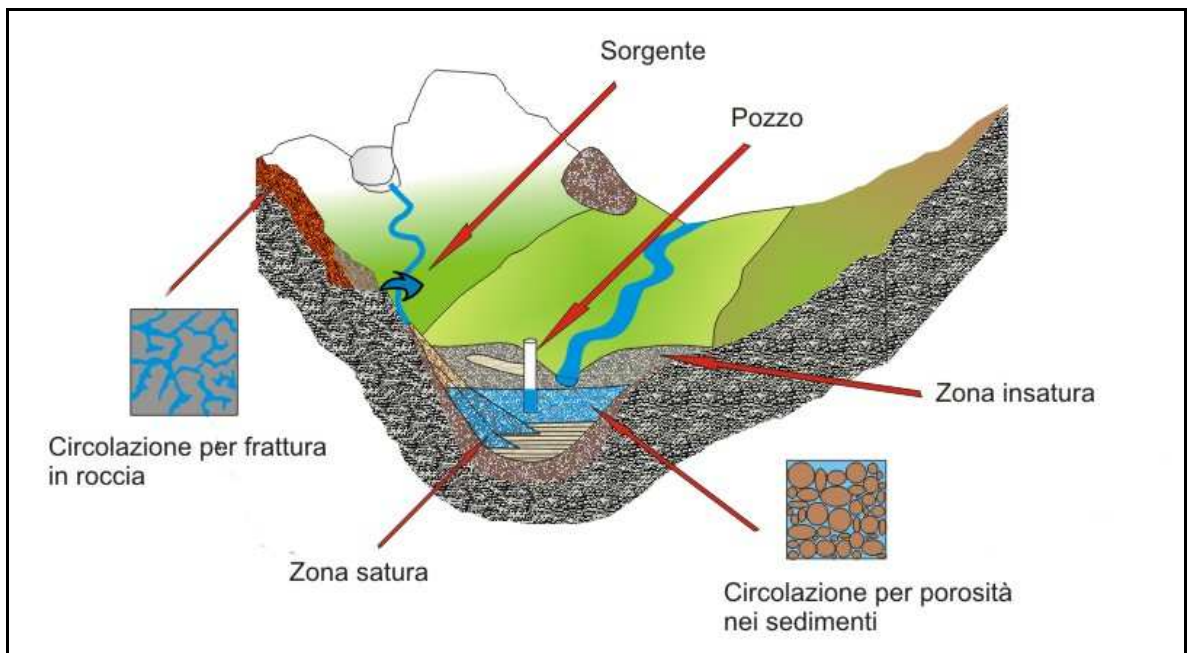


Figura 2.21 - Sezione ideale della circolazione idrica sotterranea in territorio montano (elaborazione dell'autore).

2.7 Il territorio oggetto di studio: il fondovalle valdostano

Come sopra illustrato, le aree del fondovalle principale, pur rappresentando una porzione esigua del territorio valdostano (circa 60 km² su un totale di 3200 km²), rivestono nella regione un'importanza fondamentale dal punto di vista dell'approvvigionamento idrico, poiché corrispondono, in virtù della presenza di alluvioni permeabili, agli acquiferi più significativi sui quali insiste la quasi totalità dei pozzi esistenti, nonché alle zone più antropizzate, nelle quali è concreto il pericolo di contaminazione delle sottostanti falde idriche.

I settori di fondovalle nei quali sono stati individuati i corpi idrici sotterranei più significativi a livello regionale, su cui l'ARPA Valle d'Aosta esegue il monitoraggio delle acque sotterranee, sono i seguenti (Fig. 2.22) :

- in alta Valle d'Aosta: la piana di Morgex;
- nella media valle: la piana di Aosta;
- nella bassa valle: le piane di Verrès-Issogne-Arnad e di Pont-Saint-Martin-Donnas.

L'individuazione dei suddetti corpi idrici risulta abbastanza evidente sulla base di semplici criteri morfologici: infatti, i limiti laterali delle varie piane sono identificabili in corrispondenza della variazione di pendenza sui versanti, prima collinari e poi montani, mentre i limiti trasversali si individuano in corrispondenza dei restringimenti del fondovalle.

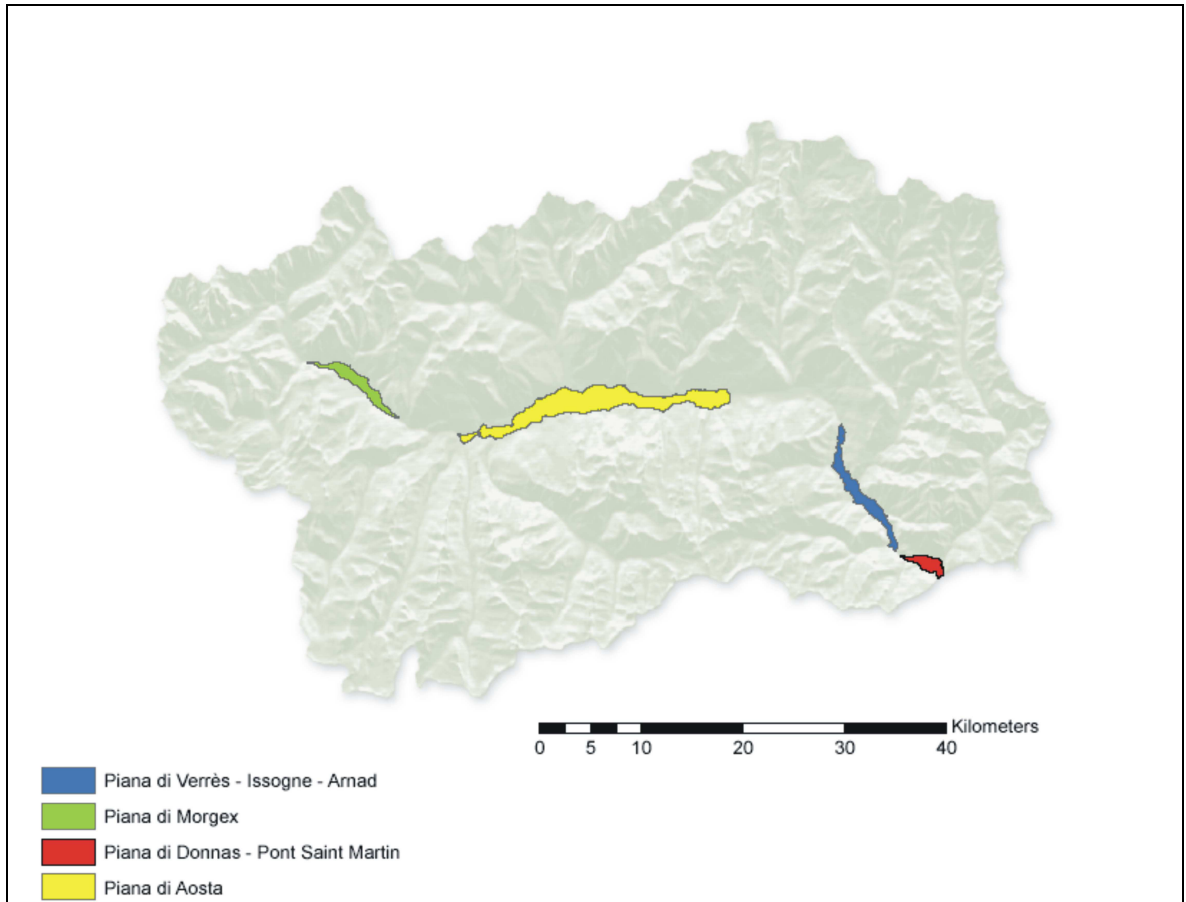


Figura 2.22 - Aree monitorate dall'ARPA Valle d'Aosta nel fondovalle valdostano (elaborazione ARPA Valle d'Aosta).

I tratti di fondovalle principale esclusi dal monitoraggio (zona di Châtillon-Saint Vincent in media valle, compresa in carta tra la piana indicata con il colore blu e quella gialla; zona di Arvier-Avise e di Courmayeur in alta valle, rispettivamente tra giallo/verde e a monte del colore verde) presentano caratteristiche poco favorevoli dal punto di vista idrogeologico (fondovalle più stretto con presenza di depositi morenici o lacustri); non a caso essi risultano di fatto pressoché privi di pozzi (Fig. 2.23).

Lo spessore dei sedimenti depositi nelle piane può variare sensibilmente tra valori massimi di poche centinaia di metri, in corrispondenza dei tratti dove il ghiacciaio ha notevolmente scavato il substrato roccioso (ad esempio in corrispondenza della città di Aosta), e valori minimi (poche decine di metri) in corrispondenza di gradini di valle sepolti o ancora visibili; di conseguenza sul fondovalle le condizioni idrogeologiche possono variare rapidamente a seguito del diverso spessore del materasso alluvionale.

Peraltro tale spessore non è di fatto noto: infatti le conoscenze geologiche sul fondovalle sono ad oggi, in linea generale, ancora abbastanza scarse, e solo nei settori più interessati da attività industriali e artigianali (piana di Aosta *in primis*) negli ultimi anni sono state effettuate, soprattutto nell'ambito della tematica dei siti contaminati, perforazioni

geognostiche a fini ambientali, comunque limitate ai primi 15÷20 m (eccezionalmente 30 m) di profondità.

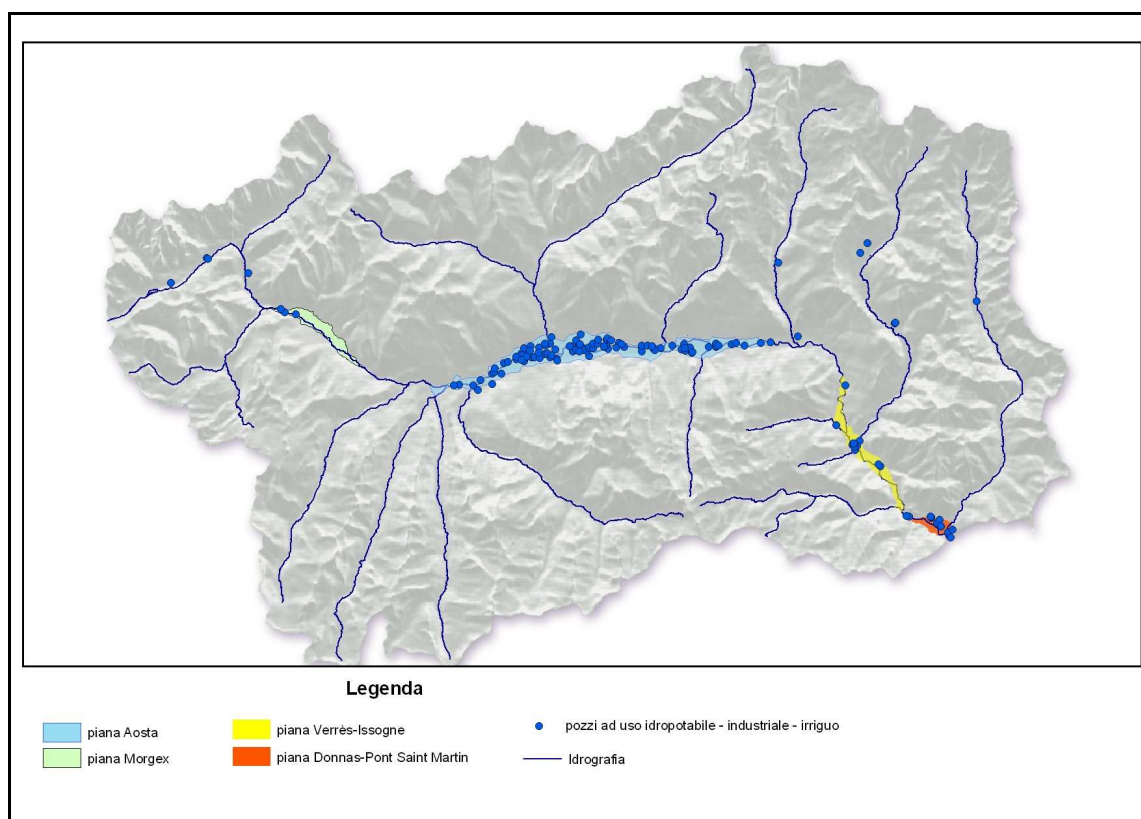


Figura 2.23 – Distribuzione dei pozzi esistenti sull'intero territorio valdostano (elaborazione ARPA Valle d'Aosta).

Secondo ARPA Valle d'Aosta, tutti i settori di piana sono stati soggetti ad una complessa evoluzione geomorfologica che ha portato, in linea generale, alla deposizione delle seguenti tipologie di materiali:

- depositi alluvionali della Dora Baltea: sono costituiti da ciottoli e ghiaie arrotondate, con matrice sabbiosa più o meno abbondante, talora con presenza al loro interno di livelli conglomeratici e localmente coperti da limi di piena di spessore metrico; la loro origine è da mettere in relazione coi fattori che hanno variabilmente regolato la dinamica evolutiva del sistema fluviale (regime di portata, energia di trasporto, divagazioni e tipologia del deflusso). Tali materiali, caratterizzati da elevati valori di permeabilità e porosità, ospitano le falde idriche sfruttate dai pozzi;
- depositi torrentizi e di conoide: sono costituiti da clasti angolosi e eterometrici, mal classati, con frazione fine generalmente più abbondante; essi possono rappresentare, in alcuni casi, la parte sommitale e subaerea di delta lacustri, che raccordavano le vallate laterali sospese rispetto al fondovalle principale. Molti di questi torrenti, al loro sbocco sul fondovalle principale, hanno portato alla formazione di conoidi alluvionali, i maggiori dei quali sono in grado di deviare il corso della Dora Baltea. Di tali conoidi,

pertanto, è visibile solamente una piccola porzione, dal momento che essi si sviluppano per lo più sotto forma di antico delta fino a giungere al fondo della valle. Anche questi depositi rivestono, come le alluvioni, una certa importanza idrogeologica in quanto corrispondenti ad aree di ricarica degli acquiferi;

- depositi morenici di fondo: sono molto diffusi, anche se non sempre ben identificabili, e sono caratterizzati da clasti eterometrici molto eterogenei, spesso con strie glaciali, immersi in abbondante matrice limoso-sabbiosa. Al di sopra di questi depositi glaciali si possono trovare coperture eluvio-colluviali, derivanti dall'alterazione e dalla rielaborazione sia del basamento cristallino sia delle formazioni superficiali, oppure localmente terrazzi di *kame* fluvioglaciali, stratificati e parzialmente cementati, composti da ciottoli, ghiaie e sabbie;
- depositi gravitativi: sono costituiti da accumuli di blocchi spigolosi di dimensioni da decimetriche a metriche, ubicati alla base di pareti rocciose.

Per quanto riguarda i caratteri di particolare interesse idrogeologico, si dispone di dati quantitativi indiretti – limitatamente alla piana di Aosta – riguardo all'infiltrazione efficace ed ai caratteri idrogeologici ricavabili dalle prove di portata sui pozzi.

Sulla base di elaborazioni effettuate da ARPA l'infiltrazione efficace nella piana di Aosta – ottenuta previo il calcolo dell'evapotraspirazione potenziale con la formula di Turc, a partire dai dati di precipitazione e temperatura relativi alla stazione di misura di Saint-Christophe – è pari a circa 100 mm/anno (vale a dire a solo circa un quinto delle precipitazioni totali).

Inoltre, a partire dagli anni '90 sono state effettuate diverse prove di portata, da diversi enti e su diversi pozzi nella piana di Aosta. Dall'analisi effettuata da ARPA Valle d'Aosta, nel loro complesso esse evidenziano una buona concordanza dei risultati, che si attestano attorno a valori medi di trasmissività pari a $2 \cdot 10^{-1}$ m²/s e di permeabilità pari a $2 \cdot 10^{-3}$ m/s, per uno spessore di acquifero stimato pari a 100 m. Si tratta di valori elevati, propri di un acquifero molto produttivo costituito da materiale a granulometria grossolana. Sulla base di tali dati e di valori medi del gradiente idraulico, tramite le classiche relazioni utilizzate in idrogeologia può essere stimata in linea di massima una velocità effettiva delle acque sotterranee dell'ordine di 1 m/giorno.

Nei paragrafi seguenti i quattro settori di fondovalle visualizzati in figura 2.22 sono presentati, procedendo da monte verso valle, dal punto di vista geologico e geomorfologico, anche con l'ausilio di carte di acclività.

2.7.1 Piana di Morgex

Il territorio d'indagine coincide con un settore di fondovalle principale ad andamento circa NW-SE, lungo approssimativamente 10 km e con una larghezza massima di circa 1500

m, i cui abitati principali sono (da NW verso SE, ovvero da monte verso valle) Morgex, La Salle e Derby.

La piana (Fig. 2.24), sviluppata soprattutto in sinistra orografica rispetto alla Dora Baltea, può essere morfologicamente delimitata a monte (NW) da un restringimento in loc. Mont Bardon (quota circa 1000 m sl.m.) e a valle (SE) dalla stretta del ponte dell'Equilivaz (quota 790 m s.l.m.).

Il versante idrografico destro è più acclive di quello sinistro a seguito dell'esposizione a nord e conseguente minore rimodellamento morfologico.

Le altitudini massime sui versanti sono di circa 2800 m (Becca Pougenta, Pointe Fetita).

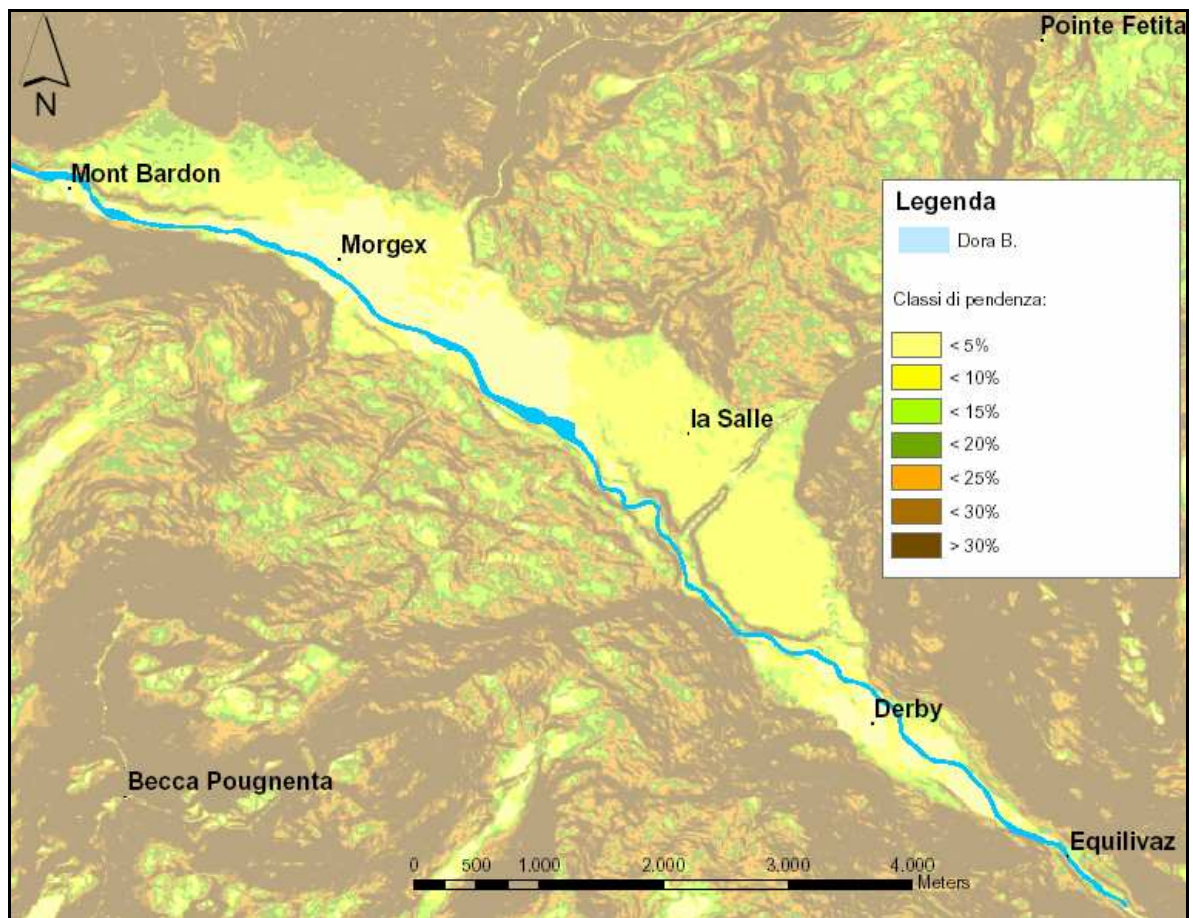


Figura 2.24 - Carta delle pendenze della piana di Morgex (elaborazione ARPA Valle d'Aosta).

In corrispondenza dello sbocco sul fondovalle principale dei torrenti laterali, sono presenti conoidi alluvionali; il maggiore dei quali è quello di La Salle, impostato su un'ampia paleofrana che interessa l'intero versante sud dalla Pointe Fetita.

Dal punto di vista geologico (cfr Fig. 2.5 cap. 2 par. 2.2.1.6), la piana è impostata in corrispondenza del settore tra Derby e Morgex (noto in letteratura come "zona permocarbonifera assiale" o "zone houillère") costituito da sequenze metasedimentarie quali conglomerati, calcari e arenarie più o meno metamorfosate riferibili alla copertura della falda del Gran S. Bernardo e derivanti dal metamorfismo di antichi sedimenti fluviali

(sabbioso-ghiaiosi) e palustri (sabbioso-limosi), frequentemente inglobanti resti vegetali (lenti di antracite sfruttate industrialmente sino a circa la metà del secolo scorso).

La presenza di tali litotipi, più erodibili rispetto a quelli affioranti sui tratti contigui di fondovalle (gneiss e micascisti del basamento del Gran S. Bernardo a SE; flysch di Tarantasia a NW), spiega la maggiore ampiezza della valle in questo settore.

Sul fondovalle sono presenti depositi quaternari di varia natura (prevalentemente ghiaie) di spessore complessivo ignoto; in quest'area infatti la conoscenza del sottosuolo è particolarmente carente, non disponendo di alcuna stratigrafia, fatta eccezione per alcuni sondaggi piezometrici poco profondi in comune di Morgex.

2.7.2 Piana di Aosta

La piana si estende in senso est-ovest per una lunghezza approssimativa di 35 km da Villeneuve (circa 700 m s.l.m.) sino a Saint Vincent (circa 500 m s.l.m.). La città di Aosta è ubicata ad una quota di 580 m in corrispondenza del tratto più ampio in assoluto della Valle d'Aosta (larghezza di circa 2 km). Come si vede in figura 2.25, la zona è circondata da rilievi che raggiungono talora quote superiori ai 3000 m s.l.m. (M. Emilius e Becca di Nona a sud; M. Fallère a nord).

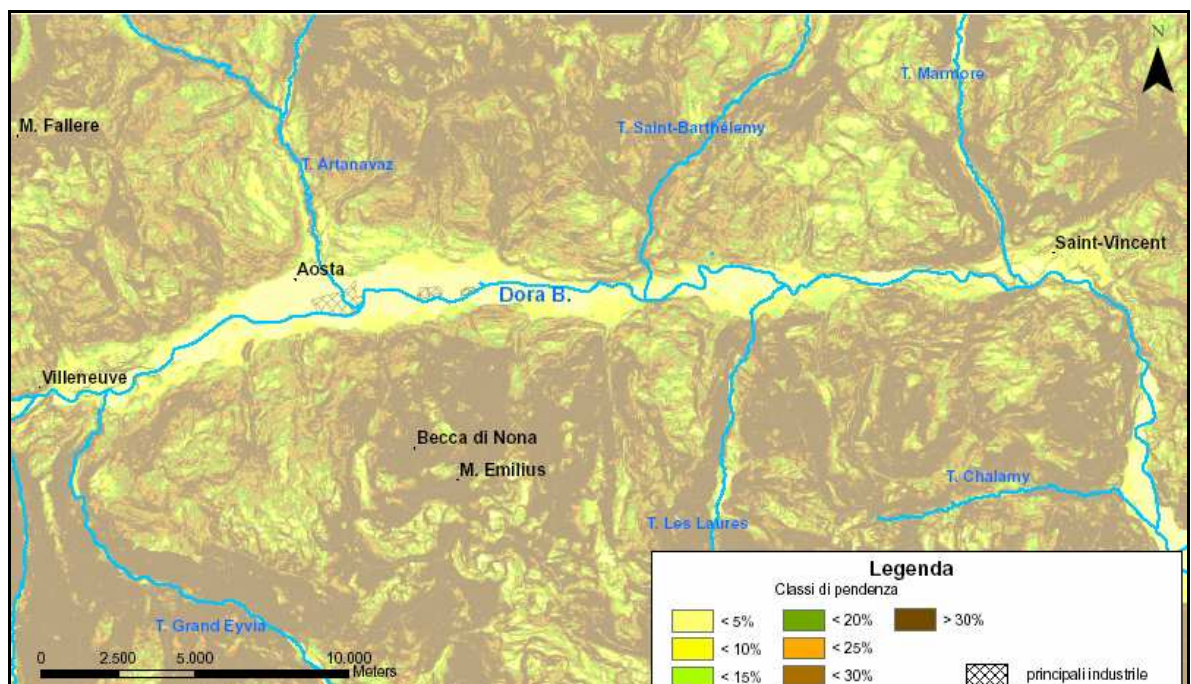


Figura 2.25 - Carta delle pendenze della piana di Aosta (elaborazione ARPA Valle d'Aosta).

Dal punto di vista geologico (cfr par. 2.2.1.6 e Fig. 2.5), la conca di Aosta risulta costituita da falde di sovrascorrimento Pennidiche (appartenenti alla Zona Piemontese) ed Austroalpine (Falda della Dent Blanche); inoltre questo settore è attraversato da una zona di fratturazione orientata in senso E/W (faglia Aosta-Col Ranzola) esarata a più riprese dal

Ghiacciaio Balteo. Verso ovest la piana è geologicamente delimitata dal basamento del Gran San Bernardo.

La Zona Piemontese è rappresentata nei dintorni di Aosta da calcescisti, derivanti da metamorfismo di basso grado di sedimenti oceanici post-triassici, ed ofioliti rappresentate principalmente da prasiniti e metagabbri, accompagnate da piccole masse di serpentiniti.

La Falda della Dent Blanche è costituita dagli Gneiss d'Arolla (gneiss generalmente a grana fine e scisti derivati dal metamorfismo di graniti ad orneblenda) e dalla Serie del Mont Mary (gneiss a facies kinzigitica, anfiboliti e marmi con intercalazioni pegmatitiche e da micascisti eclogitici).

2.7.3 Piana di Verrès-Issogne-Arnad

Questo settore (Fig. 2.26) comprende un tratto di fondovalle ad andamento NNW/SSE della lunghezza di circa 8 km (approssimativamente dalla stretta di Montjovet, a monte, posta a 400 m s.l.m., sino alla stretta di Hône-Bard a valle, posta a 350 m s.l.m.), sviluppato soprattutto in sinistra idrografica rispetto alla Dora Baltea e caratterizzato dagli ampi conoidi su cui sorgono gli abitati di Verrès e Arnad (in sinistra orografica rispetto alla Dora Baltea) e Issogne (in destra orografica); la larghezza media è di circa 600÷700 m e la superficie totale di circa 8 km².

Dal punto di vista geologico (cfr par. 2.2.1.6 e Fig. 2.5), l'area è interessata da due unità strutturali, ampiamente affioranti su entrambi i versanti:

- a ovest di Verrès: la Zona Piemontese dei calcescisti con pietre verdi;
- a est di Verrès: la Zona Sesia-Lanzo, qui caratterizzata dal complesso degli gneiss minuti albitici, rocce di derivazione granitica, di colore grigio chiaro, omogenee o a bande verdastre con rare intercalazioni di parascisti (caratterizzati da una patina bruno ruggine).

La piana alluvionale è colmata da un materasso alluvionale prevalentemente ghiaioso-sabbioso quaternario, il cui spessore complessivo è ignoto ma comunque superiore ai 70 m (profondità massima raggiunta dai pozzi).

Alla confluenza del Torrente Evençon con la Dora Baltea si è formato un importante conoide alluvionale, sul quale sorge l'abitato di Verrès.

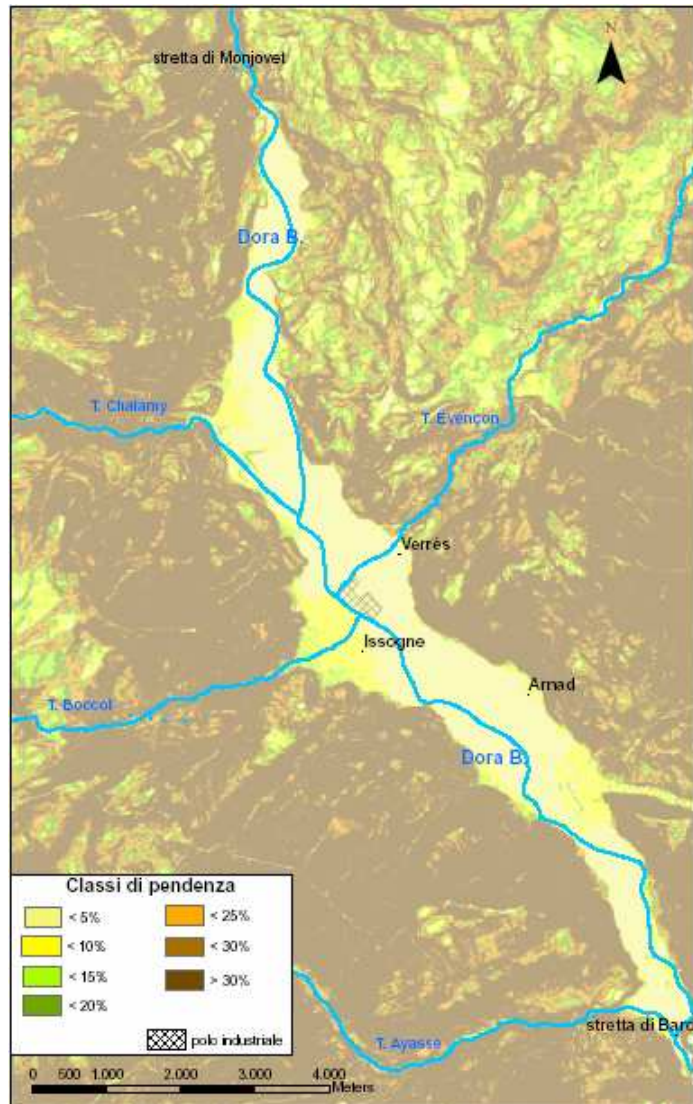


Figura 2.26 - Carta delle pendenze della piana di Verrès-Issogne-Arnad (elaborazione ARPA Valle d'Aosta).

2.7.4 Piana di Donnas–Pont Saint Martin

La piana (Fig. 2.27), avente una quota compresa tra i 300 e i 350 m s.l.m., è ubicata al confine territoriale con il Piemonte e risulta separata morfologicamente dalla piana di Verrès (a monte) dalla stretta di Hône-Bard; essa ha una lunghezza massima (direzione ESE/ONO) di circa 4 km e una larghezza massima (direzione NNE/SSO) approssimativa di 1500 m, per una superficie di circa 4 km².

Geologicamente (cfr par. 2.2.1.6 e Fig. 2.5) la piana è modellata su un substrato roccioso appartenente alla Zona Sesia–Lanzo, in cui affiorano rocce che fanno parte del complesso dei micascisti eclogitici (o gneiss minuti). Queste rocce sono il risultato del metamorfismo alpino su originarie sequenze sedimentarie a composizione pelitico-arenacea, su rocce magmatiche a composizione sia acida che basica, e su rocce carbonatiche.

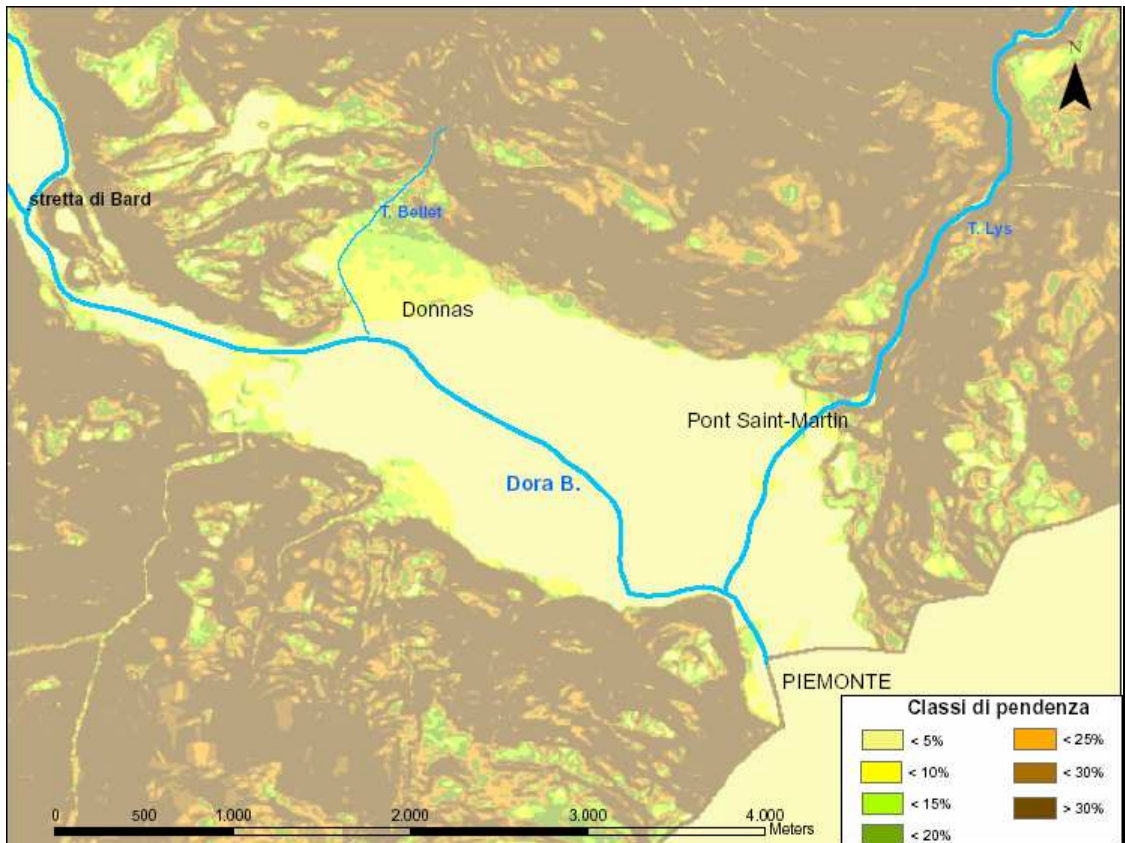


Figura 2.27 - Carta delle pendenze della piana di Donnas-Pont Saint Martin (elaborazione ARPA Valle d'Aosta).

Dal punto di vista morfologico, la piana è caratterizzata dalla presenza di due maggiori coni di deiezione in sinistra idrografica: quello del T. Bellet, su cui sorge l'abitato di Donnas, e quello del T. Lys su cui sorge Pont-Saint-Martin.

Indagini geofisiche hanno evidenziato spessori di depositi quaternari (terreni alluvionali e depositi morenici di fondo) dell'ordine di 150÷250 m (SNAM, 1994).

3 – STATO DELL'ARTE

Nel presente capitolo verranno trattati i seguenti argomenti:

- i lavori esistenti sull'oggetto di studio;
- la normativa e la sua evoluzione nel tempo sia a livello europeo, che nazionale e regionale;
- il monitoraggio delle acque sotterranee da un punto di vista generale;
- infine nello specifico, l'organizzazione delle reti di monitoraggio in Valle d'Aosta.

3.1 Elenco dei lavori esistenti

Pur non riguardando direttamente le acque sotterranee, uno studio scientifico di una certa rilevanza, base per quelli che verranno realizzati in seguito, è un'indagine geofisica (ARMANDO & DAL PIAZ, 1970) in cui sono stati effettuati stendimenti lungo l'asse vallivo tra l'abitato di Sarre, a monte, fino oltre quello di Grand Pollein, a valle. Queste indagini hanno permesso di ricostruire l'andamento del substrato cristallino, su cui si sono depositi i sedimenti che colmano la conca aostana, e che si trova ad una profondità variabile (tra i 100 e i 200 m in corrispondenza di Villeneuve e Gressan, fino a raggiungere i 270-300 m al confine comunale della città di Aosta per poi risalire più a valle). Tale studio ha portato alla definizione di tre "strati" con caratteristiche diverse e interpretati nel seguente modo:

- strato superficiale ("aerato"): caratterizzato da una bassa velocità delle onde sismiche (tra i 700 e i 1200 m/s), spessore variabile da 4 a 16 m (che si vedrà in seguito piuttosto sottostimato, cfr par 4.1.1) e identificato dagli autori come alluvioni grossolane recenti della Dora Baltea (ghiaia e ciottoli molto grossolani ad elevata porosità);
- strato profondo: caratterizzato da un'alta velocità delle onde sismiche (tra i 1540 e i 2380 m/s), spessore variabile da 78 a 280 m e attribuito a sedimenti fini di origine lacustre e/o glaciale;
- substrato: posto al di sotto degli altri due strati, caratterizzato da una velocità delle onde sismiche variabile tra i 4050 e i 6710 m/s e compatibile con le proprietà fisiche dei calcescisti, delle metaofioliti della Zona Piemontese e del basamento del M. Mary.

In una successiva campagna (ARMANDO, 1971), la realizzazione di sondaggi elettrici ha confermato l'andamento irregolare del tetto del basamento cristallino ottenuto dai precedenti rilievi sismici, anche se la profondità del substrato è risultata maggiore sull'intera area d'indagine (marcata depressione sepolta nel settore centrale della piana di Aosta).

Una possibile ricostruzione grafica della sezione della piana di Aosta è stata elaborata da BONETTO & GIANOTTI (1998): in essa, però, non sono stati riportati limiti precisi tra i depositi che colmano la conca (Fig. 3.1).

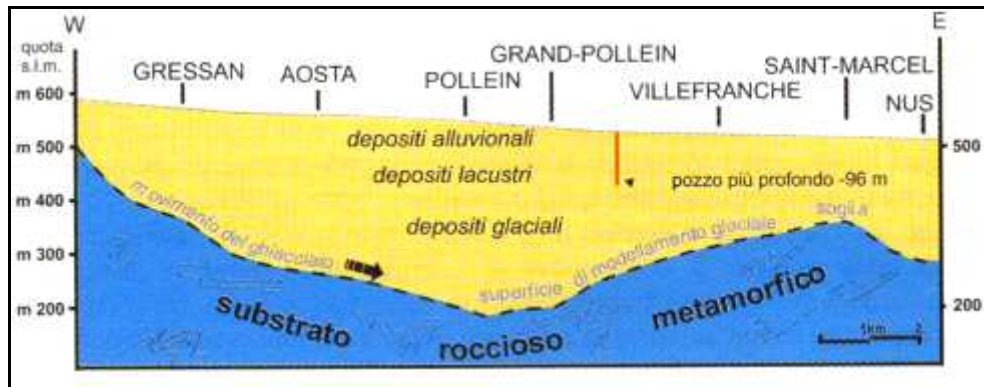


Figura 3.1 - Sezione della piana di Aosta (BONETTO & GIANOTTI, 1998).

I primi studi dedicati specificatamente alle acque sotterranee della Valle d'Aosta, e più in particolare alla piana di Aosta, risalgono invece ai primi anni '90.

Un programma internazionale (AA.VV., 1994, 1995, 1996 - i cui risultati iniziali sono sintetizzati nella tesi di laurea dell'Università di Torino "Geologia ed idrogeologia della piana di Aosta" (POLLICINI, 1994) - ha permesso una prima raccolta ed analisi dei dati idrogeologici esistenti, oltre che la realizzazione di indagini (prove di portata su pozzi, campagne di misure piezometriche) che hanno consentito l'elaborazione delle prime carte e di alcune sezioni idrogeologiche.

E' stata, inoltre, fatta una preliminare valutazione dei rapporti tra le acque sotterranee e quelle superficiali nell'area comprendente la piana da Sarre fino a Saint-Marcel. Questa porzione di territorio è stata suddivisa in due sottozone, aventi differenti caratteristiche idrologiche in funzione delle escursioni stagionali del livello piezometrico e del confronto tra quest'ultimo e la quota del pelo libero dell'acqua della Dora Baltea:

- da Sarre fino al conoide di Pollein: la Dora risulta sospesa rispetto alla falda; quest'ultima è "caratterizzata da un'alimentazione da parte del fiume nei confronti dell'acquifero per infiltrazioni, attraverso perdite dall'alveo";
- a valle del conoide del T. Comboé (Pollein): la Dora è in connessione diretta con l'acquifero e assume un ruolo regolatore delle variazioni piezometriche.

Successivamente, un'altra tesi di laurea dell'Università di Torino sull'idrogeologia della piana di Aosta (MONEY, 1997) giunge alle seguenti conclusioni:

- "la ricarica degli acquiferi avviene in maggior misura per il contributo diretto da parte del fiume Dora Baltea, ma anche attraverso il contributo degli apporti laterali dei vari affluenti della Dora Baltea";

- “la mineralizzazione delle acque superficiali registra generalmente le massime concentrazioni durante il periodo invernale, a causa della presenza preponderante delle acque di fondo negli alvei. La primavera inoltrata vede invece il verificarsi delle massime diluizioni operate dallo scioglimento delle nevi a monte dei bacini alimentatori”;
- il chimismo prevalente delle acque superficiali è di tipo bicarbonato-calcico.

Il gruppo di lavoro autore del precedente programma internazionale analizza in una successiva pubblicazione (TRIGANON *et al.*, 2003) le misure di portata del corso d'acqua principale, in modo tale da evidenziarne le perdite e gli apporti in condizioni di massima e minima soggiacenza. In questo contesto la piana viene suddivisa in sei sottozone:

- fino a Gressan: la Dora alimenta l'acquifero sia in sinistra che in destra orografica;
- da Gressan al limite W del conoide del T. Comboé: l'alimentazione da parte della Dora aumenta notevolmente;
- in corrispondenza del conoide di Pollein: il comportamento della Dora s'inverte (il corso d'acqua drena la falda);
- nelle due aree successive, dal limite E del conoide fino a Quart: la Dora alimenta nuovamente l'acquifero, non più per infiltrazione ma per connessione diretta, con volumi più significativi andando verso valle;
- da Quart a Saint-Marcel: si ha un'ulteriore inversione di tendenza (falda di nuovo drenata dalla Dora).

Secondo questo lavoro, solo in corrispondenza del conoide di Pollein c'è una forte influenza diretta del regime fluviale su quello di falda.

Un ulteriore studio idrogeologico è stato realizzato nel 2004 dal Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università degli Studi di Torino per il comune di Aosta (DE LUCA *et al.*, 2004). Le aree di salvaguardia sono state individuate sulla base del criterio cronologico, che tiene conto sia della vulnerabilità dell'acquifero che del tempo di arrivo di un eventuale inquinante trasportato in falda. È stato ricostruito l'andamento della superficie piezometrica, dal quale si denota come il flusso idrico sotterraneo sia diretto da E a W, parallelo sia al versante roccioso che delimita a nord l'acquifero sia alla Dora Baltea, la quale in corrispondenza di Aosta sembra avere rapporti di indifferenza con la falda. Dal punto di vista della qualità viene evidenziato, in accordo con gli studi pregressi, un chimismo predominante di tipo bicarbonato-calcico. Per la valutazione della vulnerabilità intrinseca dell'acquifero è stato utilizzato il metodo GOD¹: l'acquifero superficiale, nel tratto di piana considerato, risulta avere una vulnerabilità che varia da “estrema” lungo l'alveo della Dora Baltea a “moderata” nella porzione a N di Aosta. Inoltre sono state valutate le caratteristiche idrogeologiche (trasmissività, coefficiente di immagazzinamento e porosità

¹ Acronimo di *Groundwater confinement, Overlaying strata, Depth to groundwater table*.

efficace) dell'acquifero tramite una serie di prove di pompaggio condotte sui pozzi ad uso idropotabile del Comune di Aosta.

A livello istituzionale, il monitoraggio della falda ha avuto inizio a partire dall'anno 2003 ad opera di ARPA Valle d'Aosta, ai sensi del D.lgs.152/99 (cfr par. 3.2.2.), permettendo di redigere periodiche carte di falda (cfr par. 4.3) ed evidenziare alcune criticità a livello qualitativo in alcuni settori della piana di Aosta.

Di conseguenza, a partire dal 2006 l'Amministrazione regionale ha commissionato a ARPA un'indagine, in collaborazione con il DITAG²-Politecnico di Torino, denominata *"Indagine idrogeologica sul bacino della Dora Baltea da Villeneuve a Nus: studio sui potenziali rischi di inquinamento delle acque sotterranee nonché identificazione dei siti potenzialmente pericolosi e valutazione della vulnerabilità degli acquiferi"* (DE MAIO, 2010). Sono state effettuate diverse campagne piezometriche di misura e di prelievo che hanno consentito di focalizzare le situazioni di inquinamento qualitativo e di elaborare una carta preliminare del campo di moto, verificando così il rapporto fiume/falda descritto nei lavori antecedenti. In tale lavoro, si afferma che nel tratto a monte del conoide di Pollein l'alveo della Dora sembra sospeso rispetto all'acquifero di molti metri, senza che tuttavia vi sia rapporto diretto tra acquifero e fiume, a differenza di quanto detto nei lavori precedenti. Al contrario, a valle risulta esserci un rapporto diretto netto, anche se la relazione di drenaggio o di alimentazione tra i due non è chiara. Lo studio ha inoltre fatto risaltare la scarsità di dati stratigrafici disponibili sul territorio (cfr par. 2.7); è pertanto stata programmata una campagna di indagini geognostiche (n. 6 sondaggi profondi dai 50 agli 80 m) che consentiranno la chiusura del progetto entro la fine del 2010.

3.2 Normativa e sua evoluzione

Nel corso degli anni le normative sull'acqua hanno subito una notevole evoluzione: di seguito sono brevemente illustrate le principali, evidenziando gli aspetti che riguardano le acque sotterranee. Si nota che negli ultimi dieci anni si è assistito, sia a livello europeo che a livello nazionale, alla successiva emanazione, non sempre in modo coordinato, di diverse nuove norme in materia di protezione e monitoraggio delle acque sotterranee.

3.2.1 Normativa europea

La Direttiva 2000/60/CE (UNIONE EUROPEA, 2000), nota anche come Direttiva quadro sulle acque, esamina nello specifico il problema della salvaguardia delle acque e nasce dalla necessità di una politica coerente per la tutela delle acque a livello comunitario; l'obiettivo è quello di fornire principi comuni in cui inserire gli interventi volti alla protezione delle acque (superficiali interne, di transizione, costiere e sotterranee).

² Dipartimento di Ingegneria del Territorio, dell'Ambiente e delle Geotecnologie.

Essa si pone una serie di possibili obiettivi da raggiungere attraverso uno strumento adottato a livello di bacino idrografico (“Piano di Gestione”).

Per quanto riguarda i corpi idrici sotterranei, gli obiettivi possono essere così riassunti:

- prevenire il peggioramento dello stato dei corpi idrici;
- pervenire al raggiungimento del buono stato quantitativo e chimico dei corpi idrici entro il 2015;
- invertire la tendenza all'aumento della presenza nei corpi idrici di sostanze inquinanti;
- coniugare gli obiettivi previsti per i corpi idrici con quelli relativi alle aree protette;
- prevenire o limitare l'immissione di inquinanti nelle acque sotterranee.

Per quanto riguarda esclusivamente la protezione delle acque sotterranee dall'inquinamento, nel 2006 è stata emanata la Direttiva europea 2006/118/CE (UNIONE EUROPEA, 2006), nota come Direttiva “figlia” della Direttiva 2000/60. Essa definisce per le acque sotterranee alcuni importanti concetti (poi ripresi a livello nazionale dal D.Lgs. 30/09):

- norme di qualità: concentrazioni standard di un inquinante o gruppi di inquinanti;
- valori soglia: concentrazioni limite di quegli inquinanti che ogni stato membro identifica come caratterizzanti per i corpi idrici “a rischio” di non raggiungere gli obiettivi posti dalla 2000/60;
- tendenza duratura e significativa all'aumento degli inquinanti: qualsiasi aumento significativo dal punto di vista ambientale e statistico della concentrazione di un inquinante, di un gruppo di inquinanti o di indicatore di inquinamento;
- concentrazione di fondo: concentrazione di un inquinante, o di gruppi di inquinanti, corrispondente ad un'assenza di alterazioni antropogeniche;
- livello di base: concentrazione media di un inquinante, o di un gruppo di inquinanti.

Secondo questa normativa, un corpo idrico sotterraneo può essere definito in “buono stato chimico” se vengono rispettate le seguenti condizioni:

- non si presentano effetti di intrusione salina o di altro tipo, non si superano gli standard di qualità applicabili, e si raggiungono gli obiettivi ambientali della 2000/60;
- non sono superate le norme di qualità e i relativi valori soglia in nessuno dei punti di monitoraggio del corpo idrico; qualora in qualche punto tali valori siano superati, sia verificato che ciò non metta a rischio: il corpo idrico di non raggiungere gli obiettivi prefissati, oppure gli ambienti superficiali connessi o gli utilizzi e la salute umani.

3.2.2 Normativa nazionale

A livello nazionale solo nell'ultimo ventennio si è cominciato ad avere un particolare riguardo nei confronti della tutela delle acque.

Il D.P.R. 236/88 (REPUBBLICA ITALIANA, 1988) rappresenta il primo esempio di normativa in materia di qualità delle acque destinate al consumo umano. I principali punti riguardavano i requisiti di qualità delle acque destinate al consumo umano e le misure finalizzate a garantire la difesa delle risorse idriche (identificazione con criterio geometrico delle fasce di rispetto di pozzi o sorgenti e derivazioni da corsi d'acqua, solo di acquedotto però). Tale norma risulta attualmente abrogata in relazione ai punti sopra descritti rispettivamente dal D. Lgs. 31/01 e dal D. Lgs 152/99 prima e dal D.Lgs. 152/06 dopo.

Con la Legge 36/1994, meglio nota come Legge Galli (REPUBBLICA ITALIANA, 1994), viene introdotto per la prima volta il concetto che anche le acque sotterranee sono pubbliche (prima tale *status* riguardava solo le acque superficiali, secondo il Regio Decreto 1775/33). Gli usi delle acque sono 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. Essa sancisce inoltre che l'uso dell'acqua per il consumo umano è prioritario rispetto agli altri usi dello stesso corpo idrico superficiale o sotterraneo; gli altri usi sono ammessi quando la risorsa è sufficiente e a condizione che non pregiudichino la qualità dell'acqua per il consumo umano.

Nel 1999 viene varato il Decreto Legislativo 152/99 (REPUBBLICA ITALIANA, 1999 a) che, per quanto riguarda le acque sotterranee, introduce l'obbligo di effettuare, da parte della Pubblica Amministrazione, il monitoraggio finalizzato alla valutazione complessiva dello "stato ambientale" delle falde, a prescindere dalla destinazione (potabile, irrigua, industriale, non utilizzata,..) della risorsa idrica sotterranea.

Si prevede un monitoraggio di due tipi:

- qualitativo, volto ad accertare la qualità delle acque tramite prelievi;
- quantitativo, volto a valutare la disponibilità della risorsa idrica sotterranea tramite misure periodiche della soggiacenza.

A tale proposito il decreto fornisce precise indicazioni tecniche riguardanti: frequenza dei prelievi/misure, parametri analitici da ricercare e relative soglie massime di concentrazione, distinzione in classi.

Benché il D.Lgs. 152/99 sia stato abrogato nel 2006 (a seguito dell'entrata in vigore del D.Lgs. 152/06), in assenza di norme sostitutive tali indicazioni tecniche sono di fatto restare in vigore sino al 2009 (entrata in vigore del D.Lgs. 30/09); vista pertanto la loro importanza, di seguito esse vengono riassunte.

Monitoraggio qualitativo

Sono previsti due prelievi annuali, a cadenza semestrale. Ai fini della classificazione chimica si utilizza il valore medio, rilevato per ogni parametro, "di base" o "addizionale",

nel periodo di riferimento. Le diverse classi qualitative vengono attribuite secondo lo schema della tabella dei parametri di base, tenendo anche conto dei valori relativi ai parametri addizionali.

Tabella 3.1 - Parametri “di base” e “addizionali” utilizzati nel monitoraggio qualitativo riportati nel D.Lgs. 152/99 (REPUBBLICA ITALIANA, 1999).

Parametri “di base”	Parametri “addizionali”	
	<i>Inorganici</i>	<i>Organici</i>
Conducibilità elettrica	Alluminio	Solventi alifatici alogenati
Cloruri	Antimonio	Solventi aromatici
Solfati	Argento	Pesticidi
Ione ammonio	Arsenico	IPA
Ferro	Bario	
Manganese	Berillio	
Nitrati	Boro	
	Cadmio	
	Cianuri	
	Cromo tot.	
	Cromo VI	
	Fluoruri	
	Piombo	
	Rame	
	Selenio	
	Zinco	
	Mercurio	
	Nichel	
	Nitriti	

La classificazione è determinata dal valore di concentrazione peggiore riscontrato nelle analisi dei diversi parametri “di base” o dei parametri “addizionali”.

Tabella 3.2 - Classificazione dello stato di qualità riportata nel D.Lgs. 152/99 (REPUBBLICA ITALIANA, 1999).

Classe 1	Impatto antropico nullo o trascurabile con pregiate caratteristiche idrochimiche
Classe 2	Impatto antropico ridotto e sostenibile sul lungo periodo e con buone caratteristiche idrochimiche
Classe 3	Impatto antropico significativo e 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 facies idrochimiche naturali in concentrazioni al di sopra del valore della classe 3

Monitoraggio quantitativo

Sono prescritte misure di soggiacenza a cadenza mensile. Analogamente allo stato qualitativo, sono fissate quattro classi: la A è la migliore (impatto antropico nullo), la C la peggiore (impatto antropico significativo) mentre la D è riferita a situazioni particolari (impatto nullo ma con scarsa potenzialità idrica).

Tuttavia l'attribuzione dell'acquifero alle suddette classi quantitative, a differenza della classificazione chimica qualitativa, non è chiara, in quanto il decreto rimanda a future linee guida per l'interpretazione delle misure di livello della falda, da parte dell'allora ANPA (ora ISPRA), che di fatto non sono mai state pubblicate.

Sempre nello stesso anno entra in vigore il Decreto Ministeriale 471/99 (REPUBBLICA ITALIANA, 1999 b) che riguarda i siti contaminati e, di conseguenza, l'inquinamento delle acque sotterranee. Seppure non più in vigore (è stato abrogato dal successivo D.Lgs. 152/06) tale decreto mantiene una certa importanza per le indagini sulla falda, in quanto nell'Allegato 2 ("Procedure di riferimento per il prelievo e l'analisi dei campioni") sono contenute le uniche indicazioni tecniche normative ad oggi esistenti sulle indagini da effettuare sulle acque sotterranee (modalità di realizzazione dei piezometri, metodi di campionamento,...). Di seguito si riportano integralmente le indicazioni dell'Allegato 2 riguardo specificatamente alla realizzazione dei piezometri: *"Particolare attenzione deve essere posta a definire i punti di prelievo sulla base della caratterizzazione idrogeologica dell'area e del modello concettuale del sito e delle caratteristiche dell'acquifero che si intende campionare (ad esempio superficie piezometrica, permeabilità, direzione prevalente del flusso) in modo da poter caratterizzare univocamente l'influenza del sito sulle caratteristiche complessive degli acquiferi in esame e la mobilità degli inquinati nelle acque sotterranee per la profondità rilevante.*

Almeno uno dei piezometri per ciascun acquifero considerato deve essere installato immediatamente a monte del sito (in senso idrogeologico) in modo da costituire il valore di

riferimento delle acque sotterranee in "ingresso" all'area oggetto di indagine ed almeno uno per ciascun acquifero considerato deve essere localizzato immediatamente a valle del sito, in modo da verificare le caratteristiche delle acque di falda in "uscita" dal sito.

I piezometri dovranno essere realizzati a carotaggio continuo ed essere costituiti da materiali compatibili con gli inquinanti presenti nel sito, devono avere filtri di apertura adeguata in corrispondenza degli acquiferi da campionare e della relativa granulometria; si forniscono le seguenti linee guida per l'installazione dei piezometri:

- *area minore o uguale a 50.000 m² = almeno 4;*
- *area compresa tra 50.000 e 100.000 m² = almeno 6;*
- *area compresa tra 100.000 e 250.000 m² = almeno 8;*
- *area maggiore di 250.000 m² = almeno 1 ogni 25.000 m².*

La profondità dei piezometri dovrà comunque interessare almeno la base del primo acquifero individuato e comunque profondità non inferiori a due terzi dello spessore dell'acquifero stesso. Eventuali falde sospese dovranno essere considerate individualmente, al fine di una completa ricostruzione idrogeologica dell'area.

Il numero e l'ubicazione dei piezometri potranno essere integrati sulla base dei risultati delle analisi chimico-fisiche e della definizione dei focolai di contaminazione, in modo da controllare nel tempo l'effetto dei singoli focolai su tutti gli acquiferi potenzialmente interessati dai fenomeni di contaminazione" (REPUBBLICA ITALIANA, 1999 b).

Inoltre, il D.M. 471/99 fornisce per la prima volta un elenco di limiti tabellari relativi alle massime concentrazioni ammissibili nelle acque sotterranee³, anche se non destinate ad uso potabile, per un vasto spettro di inquinanti ed elementi chimici.

Nel 2001 entra in vigore il Decreto Legislativo 31/01 (REPUBBLICA ITALIANA, 2001) che disciplina la qualità delle acque destinate al consumo umano al fine di proteggere la salute umana dagli effetti negativi derivanti dalla contaminazione delle acque, garantendone la salubrità e la pulizia. Fornisce, dunque, i requisiti di qualità per le acque potabili, a sostituzione di quelli previsti dal DPR 236/88.

Nel 2006 viene approvato il Decreto Legislativo 152/06 (REPUBBLICA ITALIANA, 2006) che recepisce la Direttiva europea 2000/60/CE, senza però descrivere precisamente gli strumenti necessari alla sua attuazione. Per quanto riguarda il monitoraggio delle acque sotterranee, pertanto, anche dopo la sua emanazione sono stati di fatto mantenuti i criteri sopra descritti del D.Lgs. 152/99.

Le principali indicazioni sulle acque sotterranee, in esso contenute, sono le seguenti:

- le regioni devono redigere un apposito programma per monitorare lo stato quantitativo e qualitativo;

³ I valori di tali concentrazioni sono rimasti, per la maggioranza degli analiti, invariati nelle successive normative.

- la rete di monitoraggio è finalizzata a fornire una valutazione dello stato chimico a scala di bacino idrografico ed a evidenziare eventuali tendenze antropiche ascendenti di inquinanti.

Con l'entrata in vigore nel 2009 del Decreto Legislativo 30/09 (REPUBBLICA ITALIANA, 2009), che recepisce la direttiva europea 2006/118/CE e stabilisce a livello nazionale le modalità di monitoraggio ai sensi della normativa europea 2000/60/CE, vengono definiti:

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

Vengono, inoltre, introdotti sulla base della valutazione dell'impatto esistente, i concetti di monitoraggio "operativo", da effettuare su quei corpi idrici "a rischio" di non conseguire gli obiettivi di qualità del 2015, e monitoraggio "di sorveglianza", da effettuare invece sui corpi idrici che si reputa raggiungeranno tali obiettivi nei tempi previsti.

Tale decreto prevede, a differenza del precedente D.Lgs 152/99, per la classificazione dello stato chimico e quantitativo solo due classi: "buono" o "scarso".

La corrispondenza tra la classificazione prevista dalla vecchia (D.Lgs. 152/99) e dalla vigente (D.Lgs. 30/09) normativa nazionale è la seguente⁴:

Stato chimico

- per i corpi idrici sotterranei in Classe 0, 1, 2 o 3 secondo il D.Lgs. 152/99, lo stato chimico corrisponde secondo il D.Lgs. 30/09 a "buono";
- per i corpi idrici sotterranei in Classe 4 (la peggiore) secondo il D.Lgs. 152/99, la valutazione dello stato chimico globale del corpo idrico, secondo il D.Lgs 30/09, a partire dai singoli punti di monitoraggio viene fatta considerando la percentuale dei punti di monitoraggio in Classe 4 (ovvero quelli in cui si verificano superamenti dei limiti normativi⁵) rispetto al totale:
 - se questa è minore 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";
 - in caso contrario (punti in Classe 4 superiori al 20%) il corpo idrico è in stato "scarso".

Da ciò deriva l'importanza, come sarà evidenziato al par. 3.5.3, di scegliere oculatamente i punti di monitoraggio in funzione dell'estensione dell'acquifero e delle

⁴ Si veda anche il par. 4.4.2.

⁵ Tali limiti sono rimasti invariati tra la vecchia e la nuova normativa.

sue criticità ambientali, in modo da disporre di un numero adeguato di punti eventualmente interessati da una contaminazione estesa.

Stato quantitativo

- per i corpi idrici sotterranei in Classe A, B e D secondo il D.Lgs. 152/99, lo stato quantitativo è “buono”;
- per i corpi idrici sotterranei in Classe C secondo il D.Lgs. 152/99, lo stato chimico è “scarso”.

Stato complessivo: è “buono” se sia lo stato chimico che quello quantitativo sono “buoni”, diversamente è “scarso”.

3.2.3 Normativa regionale

In Valle d'Aosta non esiste una vera e propria normativa regionale specifica relativa alle acque sotterranee, ma solo il Piano di Tutela delle Acque⁶, da redigere da parte delle Regioni come previsto dal sopra citato D.Lgs. 152/99 (Art. 44). Esso definisce il quadro delle azioni, degli interventi, delle regole e dei comportamenti per la tutela della qualità ambientale connessa con i corpi idrici, e rappresenta il quadro di riferimento necessario per la pubblica amministrazione nell'effettuazione di scelte aventi implicazioni in materia di risorse idriche. Non ci sono dunque leggi specifiche che si differenziano da quelle nazionali.

3.3 Il monitoraggio delle acque sotterranee

Nel presente lavoro il monitoraggio è inteso come monitoraggio istituzionale, vale a dire intrapreso dalla pubblica amministrazione ai sensi della normativa vigente (cfr par. 3.2) al fine di ottenere una valutazione generale (qualitativa e quantitativa) dello stato degli acquiferi, costantemente aggiornata, su un territorio di vasta estensione. In generale, nei sottoparagrafi successivi tale argomento verrà trattato da un punto di vista pratico, descrivendo i punti di monitoraggio e gli indicatori utilizzati.

3.3.1 Punti di monitoraggio

Le acque sotterranee sono monitorate mediante pozzi - destinati all'emungimento dell'acqua per diversi scopi (idropotabile, industriale, irriguo) - o piezometri⁷, specificatamente dedicati al monitoraggio.

Ai fini del monitoraggio i pozzi possono essere distinti in:

- attivi (ovvero con pompa in funzione): sono idonei normalmente per il prelievo (le

⁶ In Valle d'Aosta il PTA è stato approvato con la deliberazione del Consiglio Regionale n. 1788/XII dell'8 febbraio 2006.

⁷ Le sorgenti non sono prese in considerazione nel presente lavoro, in quanto il monitoraggio in Valle d'Aosta non le contempla al momento, limitandosi come si è visto alle aree di fondovalle.

operazioni di spurgo⁸ preliminare non sono necessarie in questo caso) ma non per la misura del livello statico (verrebbe infatti misurato il livello dinamico della falda);

- inattivi (ovvero con pompa spenta, o senza pompa): viceversa, sono idonei normalmente per la misura del livello statico⁹ della falda (rete quantitativa), ma non per il prelievo¹⁰ (rete qualitativa).

Inoltre, alcuni pozzi (tipicamente quelli agricoli, dismessi nel periodo invernale) possono essere solo temporaneamente attivi.

I punti di misura devono possedere determinate caratteristiche:

- possibilità di prelevare campioni d'acqua rappresentativi delle condizioni della falda (rete qualitativa) e/o di misurarne il livello statico (rete quantitativa);
- accessibilità in tutte le stagioni, a meno ovviamente di condizioni meteorologiche particolari (nel territorio valdostano, ad esempio, alcuni piezometri possono risultare temporaneamente inaccessibili, nei mesi di gennaio e febbraio, causa neve/gelo);
- caratteristiche tecniche note (profondità del tubo, lunghezza dei filtri e loro profondità).

Si dovrebbe inoltre disporre di:

- stratigrafia;
- quota topografica (bocca pozzo o piano campagna): tale requisito è necessario solo per la rete quantitativa al fine di avere, nota la misura del livello statico in metri dal piano campagna, la quota assoluta della tavola d'acqua (in m s.l.m.) da utilizzare per l'elaborazione della carta delle isofreatiche.

3.3.2 Indicatori utilizzati nel monitoraggio

Il monitoraggio istituzionale si espleta mediante la raccolta di due indicatori, tra loro complementari:

1. quantitativo: consiste nella misura del livello statico della falda sui pozzi e piezometri¹¹. Il livello piezometrico viene misurato nei vari pozzi e piezometri mediante apposita sonda (sondino piezometrico) e rappresenta un indicatore facilmente controllabile, anche su grandi estensioni di territorio, dello stato quantitativo delle risorse sotterranee.

⁸ Cfr par. 4.4.1.

⁹ In alcuni casi, però, il pozzo può non essere misurabile per il rischio che il sondino piezometrico resti incastrato in corrispondenza delle flange del tubo.

¹⁰ A meno che nel tubo non vi sia spazio sufficiente per inserire la pompa idrosommersibile normalmente utilizzata nei piezometri.

¹¹ Misura della portata nel caso delle sorgenti.

Il livello della falda è espresso come quota assoluta, in metri sul livello del mare, ottenuta dalla differenza tra la quota topografica di precisione relativa al punto di misura (purché disponibile) e la soggiacenza misurata in campo.

L'elaborazione dell'indicatore consente di ricavare le seguenti informazioni:

- dal punto di vista temporale, il confronto con situazioni precedenti (tendenze ascendenti/discendenti/costanti del livello piezometrico). Tale aspetto costituisce l'argomento principale del presente lavoro;
- dal punto di vista spaziale, l'andamento e la morfologia della superficie piezometrica (carta delle isopieze): per quest'ultima elaborazione è necessario disporre di un numero adeguato di punti di misura e della loro quota topografica assoluta.

2. qualitativo: consiste nel prelievo di campioni d'acqua rappresentativi delle condizioni dell'acquifero e nella loro successiva analisi chimica, la quale definisce la qualità delle acque di falda nel singolo punto di monitoraggio. Successivamente i risultati relativi ai singoli punti di misura sono utilizzati per la classificazione di tutto il corpo idrico secondo i criteri previsti dalla normativa (cfr par. 3.2.2).

Sul lungo termine, questo indicatore è inoltre finalizzato ai seguenti obiettivi:

- conoscenza della qualità delle acque sotterranee e confronto con situazioni precedenti;
- controllo delle risorse idriche qualitativamente disponibili;
- previsione e controllo degli episodi di contaminazione degli acquiferi.

3.3.3 Numero e densità dei punti

Il numero e la densità (rapportata all'estensione del territorio) dei punti delle reti di monitoraggio istituzionali non sono, come si è visto, stabiliti dalla normativa¹², né lo potrebbero essere dipendendo fortemente dalle caratteristiche geomorfologiche ed idrogeologiche del territorio in esame, oltre che da considerazioni di ordine logistico (personale e tempo a disposizione per il monitoraggio) e finanziario (*budget* dell'ente disponibile per la realizzazione delle attività e per le analisi chimiche).

Nel corso degli anni le reti di monitoraggio subiscono normalmente variazioni "fisiologiche" più o meno importanti nel loro assetto, sia in termini di numero che di ubicazione dei punti, a causa da un lato della realizzazione di nuovi pozzi/piezometri e, dall'altro, della dismissione/distruzione di quelli preesistenti.

Negli ultimi anni in Italia nuovi piezometri sono stati realizzati principalmente nell'ambito di indagini ambientali su siti potenzialmente contaminati (inizialmente ai sensi del D.M. 471/99, sostituito dal 2006 dal D.Lgs. 152/06 Parte Quarta Titolo Quinto).

¹² Solo per quanto riguarda i siti contaminati, il D.M. 471/99 dà delle indicazioni riguardo al numero di piezometri da realizzare (cfr par. 3.2.2).

3.4 Organizzazione delle reti di monitoraggio in Valle d'Aosta

La rete di monitoraggio regionale delle acque sotterranee del fondovalle valdostano è composta, come previsto dalla normativa precedentemente descritta, da una rete quantitativa, sulla quale vengono eseguite le misure del livello piezometrico, e da una rete qualitativa sulla quale si effettuano i prelievi.

Di seguito viene presentata, per ciascun settore del fondovalle valdostano, l'organizzazione delle reti di monitoraggio e la sua evoluzione nel tempo.

Bisogna premettere che la recente introduzione del D.Lgs. 30/09 per la Valle d'Aosta non ha comportato particolari variazioni rispetto a quanto effettuato sino al 2009 ai sensi del D.Lgs. 152/99; infatti l'identificazione dei corpi idrici sotterranei da monitorare, aspetto importante della nuova normativa, non è cambiata in quanto gli acquiferi valdostani - a differenza di quanto si verifica nella maggior parte delle altre regioni, molto più estese - sono chiaramente identificabili sulla base di semplici criteri morfologici (cfr par. 2.6).

Pertanto l'unica variazione di rilievo apportata dal D.Lgs. 30/09 è stata la semplificazione del sistema di classificazione dei corpi idrici, ridotto a due sole classi ("buono" o "scarso"). Si è, inoltre, effettuata una revisione dei punti di monitoraggio (pozzi e piezometri), eliminando dalla rete quelli non ottemperanti ai requisiti richiesti dal D.Lgs. 30/09 (accessibilità, caratteristiche tecniche, ubicazione).

3.4.1 Piana di Aosta

Le attività sulla falda da parte di ARPA Valle d'Aosta hanno avuto inizio nel 2001, con misure di livello a frequenza semestrale, su pozzi pubblici e sulle uniche due aree (aree industriali CAS-ex Cogne e discarica di Brissogne) in cui erano all'epoca presenti piezometri di monitoraggio.

Dal 2003 è stata definita, a seguito di un'apposita convenzione siglata con l'Amministrazione regionale, una prima rete di monitoraggio ai sensi dell'allora vigente D.Lgs. 152/99.

Negli anni seguenti si sono via via resi disponibili sempre più punti di misura, a seguito, da un lato, dello sviluppo della tematica dei siti contaminati e la conseguente realizzazione di nuovi piezometri da parte dei soggetti responsabili dell'inquinamento, dall'altro, dell'utilizzo di pozzi preesistenti sul territorio; inoltre, nel 2004 sono stati realizzati 5 piezometri dall'Amministrazione regionale su richiesta di ARPA Valle d'Aosta al fine di conoscere lo stato di qualità delle acque a valle delle aree industriali CAS-ex Cogne.

La rete di monitoraggio qualitativa nel corso degli anni ha pertanto subito una notevole evoluzione, passando da 16 punti di misura (13 pozzi e 3 piezometri) nel 2003 a 35 punti (9 pozzi e 26 piezometri) nel 2006.

Successivamente, nel triennio 2006÷2009 alla rete gestita direttamente da ARPA Valle d'Aosta se ne è affiancata un'altra, all'incirca di pari entità numerica, sviluppata principalmente nel settore est della piana, gestita, nell'ambito di un'apposita convenzione, dal Politecnico di Torino (cfr par. 3.1).

A seguito dell'emanazione del D.Lgs. 30/09 sono state effettuate alcune modifiche:

- in corrispondenza delle aree industriali CAS-ex Cogne è stato ridotto il numero di punti di prelievo da 14 (equivalenti a un terzo del totale della rete storica) a 4, ubicati in modo da consentire comunque un adeguato monitoraggio - a monte ed a valle - dell'area industriale;
- i 10 punti esclusi dalle suddette aree industriali sono stati ridistribuiti sulle due estremità della piana, in modo da migliorare la copertura areale della rete storica.

Al 2009 la rete della piana di Aosta consta di:

- 50 punti per la rete quantitativa (di cui 9 misurati con frequenza mensile ed i restanti con frequenza semestrale);
- 33 punti per la rete qualitativa (campionati semestralmente).

In figura 3.2 è riportata la rete di monitoraggio qualitativa non coincidente in tutti i punti con quella quantitativa.

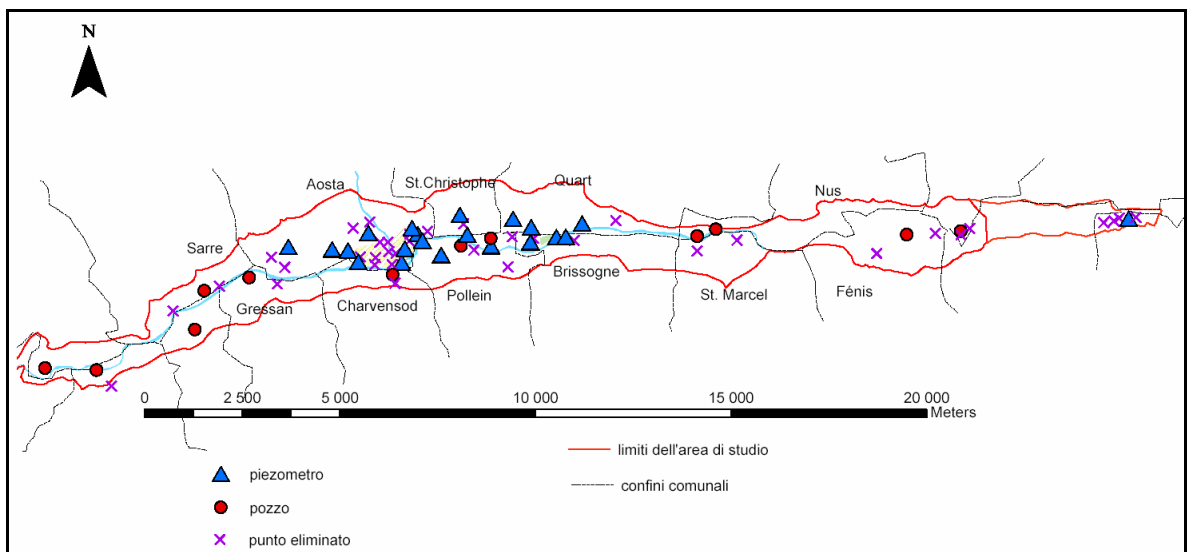


Figura 3.2 - Rete di monitoraggio qualitativa della piana di Aosta. Sono evidenziati i punti eliminati rispetto alla rete pregressa a seguito dell'emanazione del D.Lgs. 30/09 (elaborazione ARPA Valle d'Aosta).

3.4.2 Piana di Verrès-Issogne-Arnad

In quest'area la rete di monitoraggio – operativa dal 2005 - è sostanzialmente rimasta immutata nel corso degli anni, principalmente perché non sono stati individuati siti contaminati o potenzialmente tali e che quindi richiedessero la realizzazione di indagini geognostiche.

La rete è così definita:

- rete quantitativa: 3 punti (2 pozzi e 1 piezometro);
- rete qualitativa: 5 pozzi.

In figura 3.3 è riportata la rete di monitoraggio qualitativa non coincidente in tutti i punti con quella quantitativa.

In tale piana, le misure di falda vengono effettuate con cadenza mensile, mentre i campionamenti vengono eseguiti semestralmente.

E' possibile elaborare una carta dell'andamento della falda solo relativamente al polo industriale di Verrès, ove si dispone di una densità di punti sufficiente (benché ovviamente non esaustiva).

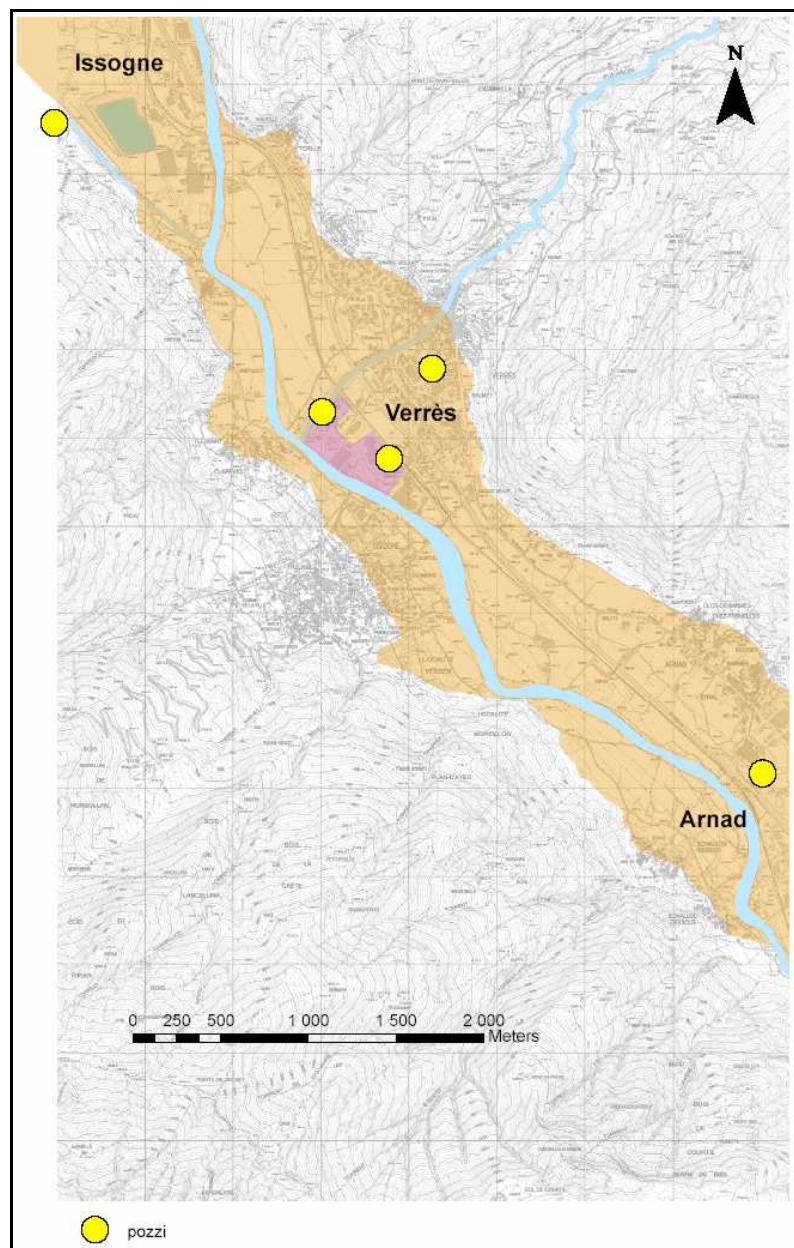


Figura 3.3 - Rete di monitoraggio qualitativa della piana di Verrès-Issogne-Arnad. Il settore viola evidenzia il polo industriale di Verrès (elaborazione ARPA Valle d'Aosta).

Si dispone, inoltre, di una serie storica di misure di soggiacenza relativa allo stabilimento Olivetti di Arnad, in cui tre piezometri sono misurati ogni 15 giorni circa dal 2002 (dati successivamente trasmessi ad ARPA Valle d'Aosta).

3.4.3 Piana di Pont Saint Martin-Donnas

Le indagini effettuate negli ultimi anni su due siti contaminati individuati in questo settore di fondovalle hanno consentito di acquisire ulteriori conoscenze, benché limitate ai primi 10 m circa di profondità, riguardo al sottosuolo.

Le reti di monitoraggio sono così definite:

- rete quantitativa: 5 punti (2 pozzi e 3 piezometri);
- rete qualitativa: 5 punti (3 pozzi e 2 piezometri).

In figura 3.4 è riportata la rete di monitoraggio qualitativa non coincidente in tutti i punti con quella quantitativa.

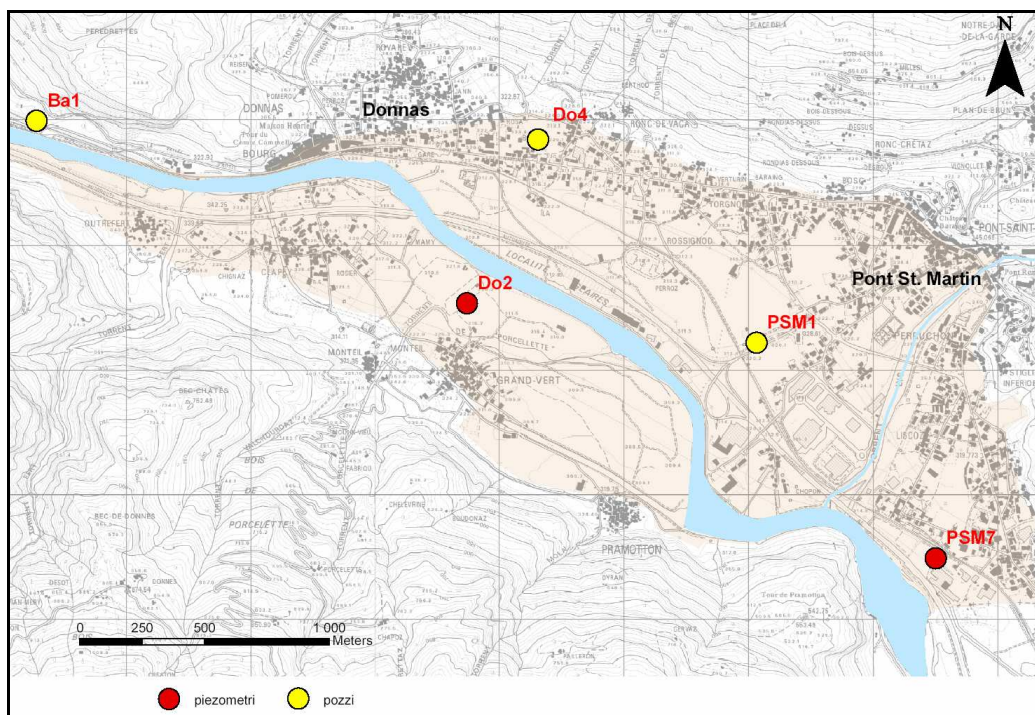


Figura 3.4 - Rete di monitoraggio qualitativa della piana di Pont Saint Martin – Donnas (elaborazione ARPA Valle d'Aosta).

In tale piana, le misure piezometriche vengono eseguite mensilmente, mentre i prelievi vengono effettuati con cadenza semestrale.

A causa della distribuzione non ottimale dei punti di misura (solo uno dei quali è ubicato in destra orografica rispetto alla Dora Baltea), non è possibile l'elaborazione di una carta piezometrica attendibile.

3.4.4 Piana di Morgex

In quest'area esistono solamente 3 punti di monitoraggio sia qualitativo sia quantitativo (2 pozzi e 1 piezometro, tutti nel Comune di Morgex; Fig. 3.5).

Le misure quantitative vengono effettuate a cadenza semestrale anziché mensile (contestualmente ai prelievi) a causa dell'inaccessibilità dei punti di misura in tutta la stagione invernale.

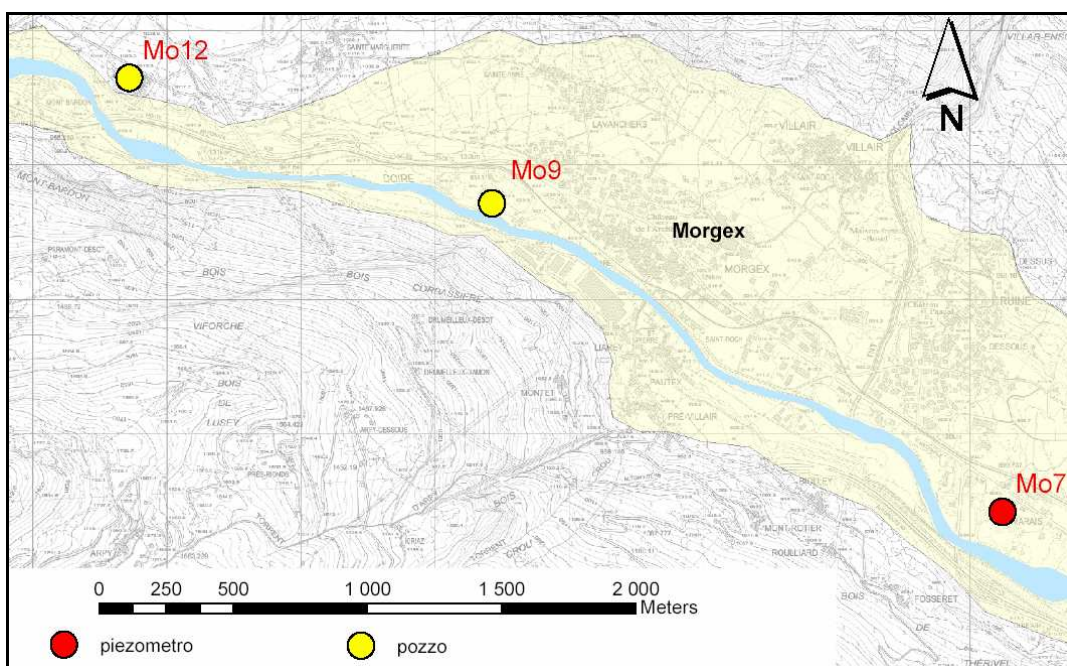


Figura 3.5 - Rete di monitoraggio attuale della piana di Morgex, sia quantitativa che qualitativa (elaborazione ARPA Valle d'Aosta).

3.4.5 Densità dei punti

Nelle tabelle di seguito (Tab. 3.3 e 3.4) riportate è sintetizzato l'assetto delle reti di monitoraggio ARPA al 2009.

Tabella 3.3 - Rete di monitoraggio qualitativa (prelievi).

Corpo idrico	Piana di Morgex	Piana di Aosta	Piana di Verrès	Piana di Pont Saint Martin
Piezometri	1	22	0	2
Pozzi	2	11	5	3
Tot.	3	33	5	5

Considerate le estensioni delle piane (evidenziate ai par. 2.7.1÷2.7.4), variabili dai 4 ai 35 km², la densità dei punti di prelievo sul territorio si approssima a circa 1 punto/km² per le piane di Aosta e della bassa valle e di 0,5 punti/km² per la piana di Morgex.

Come detto al par. 3.3.3, non esistono valori normativi di riferimento per la densità dei punti di prelievo; si rileva che la densità della rete valdostana è superiore rispetto alle reti di monitoraggio di altre regioni afferenti al bacino del Fiume Po, le quali d'altro canto, essendo ampiamente sviluppate in pianura, presentano acquiferi aventi estensione di gran lunga maggiore (dell'ordine anche delle centinaia di km²).

Tabella 3.4 - Rete quantitativa (misure di livello piezometrico).

Corpo idrico	Piana di Morgex	Piana di Aosta	Piana di Verrès	Piana di Pont Saint Martin
N. punti di misura mensile	---	9	3	5
N. punti di misura semestrali	3	50*	---	---
Sonde datalogger	---	1	---	---
Serie storica al 2009	4 anni	9 anni	5 anni	6 anni

* Include i 9 punti della rete mensile.

La densità dei punti di misura è di particolare importanza per l'elaborazione delle carte piezometriche, in quanto è necessario avere punti abbastanza vicini per correlare le quote di falda. A questo proposito si precisa che per la piana di Aosta sono considerati in tabella 3.4 i soli pozzi/piezometri quotati topograficamente, in modo da essere utilizzabili per l'elaborazione delle carte delle isopieze¹³.

Nelle altre porzioni di fondovalle, l'elaborazione delle suddette carte non è possibile nella situazione attuale, salvo che in alcune aree poco estese (esempio polo industriale di Verrès), per insufficienza dei punti. Le misure quantitative sono pertanto utilizzate, in queste aree, solo per definire l'andamento dei trend piezometrici nel tempo.

3.4.6 Analiti ricercati

Nel monitoraggio qualitativo i parametri ricercati nelle varie piane sono quelli previsti dalla normativa sopra illustrata.

Le lievi differenze tra le piane monitorate (Tab. 3.5) sono dovute essenzialmente alle criticità riscontrate: sulla piana di Aosta, come detto la più interessata da contaminazione, viene ricercato un più ampio spettro di analiti.

¹³ Si fa presente che per l'elaborazione di tali carte tutte le misure di livello devono essere eseguite nell'arco di non più di 4-5 giorni, al fine di non essere influenzate dalle variazioni a breve termine della falda.

Tabella 3.5 – Analiti ricercati nel monitoraggio qualitativo.

Analiti	Piana Aosta	Piana Pont-Saint-Martin e Piana Morgex	Piana Verrès
Bicarbonati	X	X	X
Cianuri liberi	X		
Cromo VI+	X	X	X
Durezza	X	X	X
Ammonio	X	X	X
Calcio	X	X	X
Cloruri	X	X	X
Fluoruri	X		
Magnesio	X	X	X
Nitrati	X	X	X
Nitriti	X		
Potassio	X	X	X
Sodio	X	X	X
Solfati	X	X	X
Alluminio	X		
Antimonio	X		
Argento	X		
Arsenico	X	X	X
Bario	X		
Cadmio	X		
Cromo	X	X	
Ferro	X	X	X
Manganese	X	X	X
Nichel	X	X	X
Piombo	X	X	
Rame	X		
Selenio	X		
Zinco	X		
Solventi clorurati	X	X	X
Ossigeno disciolto*	X	X	X
Conducibilità *	X	X	X
pH *	X	X	X
Temperatura *	X	X	X
Solventi aromatici	O	X	X
IPA	O	O	O
Pesticidi	O	O	O

NOTA:

X : ricercato su tutti i campioni

O : ricercato sul 10-20% dei campioni

* : misura eseguita in campo

4 – SPERIMENTAZIONE

Il presente studio è stato realizzato a seguito di uno stage formativo svolto presso ARPA Valle d'Aosta, ente proprietario di gran parte dei dati utilizzati¹.

4.1 Ricostruzione litostratigrafica

Per la ricostruzione litologica del sottosuolo, sono state prese in esame tutte le stratigrafie in possesso di ARPA Valle d'Aosta relative a pozzi e piezometri ubicati nei settori di interesse, riunite in un catasto contenente le principali informazioni riguardanti ogni tipologia di perforazione eseguita sul fondovalle.

Come già detto al par. 2.7, le conoscenze sul sottosuolo del fondovalle sono abbastanza scarse; stratigrafie precise ed attendibili esistono solo per profondità massime di 20÷30 m (perforazioni a carotaggio continuo su siti contaminati), pertanto per la ricostruzione del sottosuolo più profondo si deve fare affidamento a rare stratigrafie di pozzi idropotabili o industriali (profondi normalmente dai 40 agli 80÷90 m) degli anni '50÷'60.

Di seguito si illustrano in dettaglio le conoscenze stratigrafiche riguardanti le piane di fondovalle monitorate; non viene trattata la piana di Morgex, sulla quale come già detto (par. 2.7.1) non si dispone di dati geognostici sufficienti.

4.1.1 Piana di Aosta

Sono disponibili su quest'area n. 95 stratigrafie aventi una profondità variabile tra i 5 e i 90 metri circa; nell'istogramma di figura 4.1 vengono riportate le classi di profondità divise sulla base della tipologia di perforazione (pozzo o piezometro).

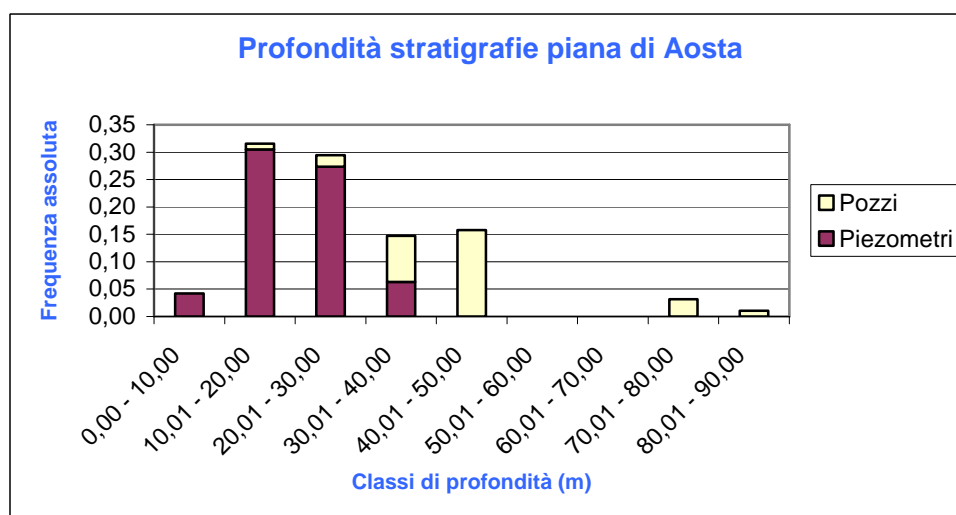


Figura 4.1 – Istogramma relativo alle classi di profondità delle stratigrafie realizzate nella piana di Aosta.

¹ Fuorché quelli relativi alle portate dei corsi d'acqua, di proprietà dell'Ufficio Idrografico e quelli della stazione meteo di Verrès, di proprietà dell'Ufficio Meteorologico, entrambi della Regione Autonoma Valle d'Aosta. I sopra citati enti hanno autorizzato l'uso dei dati per il presente lavoro. Inoltre, i dati relativi alle quote del pelo libero della Dora Baltea sono stati rilevati dall'autore del presente studio.

Come si vede, la maggior parte delle stratigrafie rientra nelle classi comprese tra i 10 e i 30 m di profondità e sono quasi esclusivamente ottenute dalla messa in opera di piezometri realizzati a carotaggio continuo, mentre i dati litostratigrafici che raggiungono profondità d'indagine maggiori (tra i 70 e i 90 m) sono dovuti alla realizzazione di pozzi. Le stratigrafie esistenti sono ubicate in carta (Fig. 4.3), con l'indicazione della profondità in metri, come riportato in figura 4.2.



Figura 4.2 – Classi di profondità (in metri) delle stratigrafie analizzate

I loro dati sono inoltre riportati nella tabella 4.1.

Dal materiale a disposizione sono state selezionate le stratigrafie più rappresentative per effettuare una ricostruzione litostratigrafica il più attendibile possibile della piana di Aosta. Correlando le stratigrafie scelte sono state realizzate, utilizzando un *software* di tipo CAD, n. 3 sezioni trasversali e n. 1 sezione longitudinale dell'area di studio, le cui tracce sono riportate in figura 4.3.

Tabella 4.1 – Catasto delle stratigrafie della piana di Aosta.

X	Y	ID	Denominazione	Tipologia	Comune	Proprietario	Ubicazione	Metodo di perforazione	Profondità (m)	Colore legenda	Quota p.c.(m)	Prof.ass. (m)
369683	5065816	Ao13	10 CAS	Pozzo	Aosta	CAS	Via Paravera 16 Aosta	Non definito	88,00		569,75	481,75
370390	5066194	Ao01	3 CAS	Idropotabile	Aosta	Comune di Aosta	Via Paravera 16 Aosta	Non definito	80,00		571,08	491,08
367376	5066511	Ao07	M. Fleury	Idropotabile	AO	Comune di Aosta	V.le P.S. Bernardo	Percussione	80,00		578,10	498,10
373710	5066314	Po16	Torre comunicaz. 1	Industriale	Pollein	Autoporto VdA	A ovest della torre comunicazioni	Percussione	75,00		543,78	468,78
368068	5066052	Ao06	M. Grivola	Idropotabile	AO	Comune di Aosta	Via M. Grivola	Percussione	50,00		578,83	528,83
373804	5066309	Po15	Torre comunicaz. 2	Industriale	Pollein	Autoporto VdA	A est della torre comunicazioni	Percussione	50,00		541,72	491,72
373804	5066316	Po19	Torre comunicaz. 3	Industriale	Pollein	Autoporto VdA	Torre comunicazioni nord	Percussione	50,00		541,46	491,46
369917	5066707	Ao04	Ex Prato Fiera	Idropotabile	Aosta	Comune di Aosta	Giardini asilo Arco Aug.	Percussione	50,00		582,22	532,22
382657	5066358	Fe02	Fénis	Irriguo	Fénis	Comune	Area verde Tzante de Bouva	Rotopercussione	49,50		518,85	469,35
364633	5063984	Sa06	CVA Sarre nuovo	Idropotabile	Sarre	CVA/Comune	Presca St. Helène	Percussione	47,50		603,46	555,96
369525	5066289	Ao02	Giardini nuovo	Idropotabile	Aosta	Comune di Aosta	Angolo NE giardini	Percussione	43,65		579,18	535,53
370508	5065355	Ch01	Plan Felinaz	Irriguo	Charvensod	Comune di Charvensod	Giardinetti a sud ex campi tennis	Non definito	43,00		558,84	515,84
372907	5066308	Po09	n. 3	Industriale	Pollein	Heineken	Vicino officina elettrica	Percussione	42,00		543,58	501,58
373211	5066079	Po17	Autoporto estemo	Industriale	Pollein	Autoporto VdA	Angolo SW Autoporto	Non definito	42,00		543,44	501,44
373567	5066333	Po10	n. 7	Industriale	Pollein	Autoporto VdA	Autoporto	Non definito	42,00		540,68	498,68
368925	5066329	Ao03	M. Solarolo	Idropotabile	Aosta	Comune di Aosta	Via M. Solarolo	Percussione	41,20		576,59	535,39
362933	5062920	Ay01	Aymavilles	Idropotabile	Aymavilles	Comune di Aymavilles	Loc. Lillaz - casotto a NE del campo sportivo	Rotopercussione	41,00		626,42	585,42
382511	5066352	Fe01	Hotel Comtes de Challand	Irriguo	Fenis	Privato	Loc. Chez Sapin	Non definito	41,00			
372938	5066144	Po08	n. 4	Industriale	Pollein	Heineken	Est cabina metano	Non definito	40,50		543,58	503,08
368124	5066466	Ao05	St. Martin	Idropotabile	Aosta	Comune di AO	Via S. Martin de C.	Percussione	40,00		580,33	540,33
366838	5065285	Gr01	Gressan 1	Idropotabile	Gressan	Comune di Gressan	Zona verde	Percussione	40,00		581,06	541,06
372917	5066242	Po07	n. 2	Industriale	Pollein	Heineken	Ang. SW magaz. conf.	Non definito	40,00		543,58	503,58
373797	5066716	Qu04	CGT	Industriale	Quart	CGT	Cortile interno	Non definito	40,00		541,37	501,37
372396	5066659	SC04	Acquedotto St. Christophe	Idropotabile	St. Christophe	Comune St. Christophe	Loc. Grand Chemin	Non definito	40,00		546,47	506,47
372907	5066308	Po06	n. 1	Industriale	Pollein	Heineken	Lato NW stabilimento	Non definito	40,00		543,48	503,48
374278	5067040	Qu20		Irriguo	Quart	Salussoglia Giuseppe	Villaggio Etolin, 12	Non definito	37,00		537,66	500,66
367560	5065125	Gr03	C.le latte	Industriale	Gressan	Centrale del latte	Cure de Chevrot	Non definito	35,00		583,19	548,19
368892	5066656	Ao60	Pz3	Piezometro	Aosta	IP	Ex area di servizio v.S.M.de Coriéans	Carotaggio continuo	33,00		581,68	548,68
368872	5066672	Ao61	Pz4	Piezometro	Aosta	IP	Ex area di servizio v.S.M.de Coriéans	Carotaggio continuo	33,00		581,79	548,79
368877	5066680	Ao59	Pz2	Piezometro	Aosta	IP	Ex area di servizio v.S.M.de Coriéans	Carotaggio continuo	33,00		581,57	548,57

Tabella 4.1 – Continuazione catasto delle stratigrafie della piana di Aosta.

X	Y	ID	Denominazione	Tipologia	Comune	Proprietario	Ubicazione	Metodo di perforazione	Profondità (m)	Colore legenda	Quota p.c.(m)	Prof.ass. (m)
368882	5066684	Ao58	Pz1	Piezometro	Aosta	IP	Ex area di servizio v.S.M.de Coriéans	Carotaggio continuo	32,00		581,79	549,79
370435	5066221	Ao20	Pz21	Piezometro	Aosta	Structure VdA	Interno CAS (scuola)	Carotaggio + distruzione	31,00		571,21	540,21
370595	5065913	Ao22	MW2	Piezometro	Aosta	Structure VdA	Sx T. Buthier	Carotaggio	30,20		568,04	537,84
370958	5066393	Ao21	MW1	Piezometro	Aosta	Structure VdA	Esterno CAS	Carotaggio	30,00		565,39	535,39
369630	5065685	Ao19	S11	Piezometro	Aosta	Structure VdA	Interno CAS (AFO)	Carotaggio + distruzione	27,00		566,66	539,66
369964	5065914	Ao23	MW3	Piezometro	Aosta	Structure VdA	CAS (colata continua)	Carotaggio	27,00		569,38	542,38
375157	5066242	Br15	Carceri	Civile	Brissogne	Carceri	Lato nord carceri	Rotopercolazione	26,00		536,35	510,35
367427	5065755	Ao52	Pz03	Piezometro	Aosta	Deposito Nuova Polma	Interno Nuova Polma - sud	Carotaggio continuo	25,00		577,75	552,75
367307	5065753	Ao50	Pz01	Piezometro	Aosta	Deposito Nuova Polma	Interno Nuova Polma - ovest	Carotaggio continuo	24,50		578,05	553,55
367722	5066033	Ao42	Pz1	Piezometro	Aosta	Deposito Depo Dora	Interno Depo Dora - nord	Carotaggio continuo	24,00		579,45	555,45
367700	5065991	Ao43	Pz2	Piezometro	Aosta	Deposito Depo Dora	Interno Depo Dora - angolo SW	Carotaggio continuo	24,00		580,09	556,09
367795	5065950	Ao44	Pz3	Piezometro	Aosta	Deposito Depo Dora	Prato esterno IAR (a sud del deposito)	Carotaggio continuo	24,00		578,85	554,85
367764	5066017	Ao45	Pz4	Piezometro	Aosta	Deposito Depo Dora	Interno Depo Dora - est	Carotaggio continuo	24,00		579,86	555,86
367766	5066052	Ao46	Pz5	Piezometro	Aosta	Deposito Depo Dora	Piazzale Croce Rossa (a est del deposito)	Carotaggio continuo	24,00		579,83	555,83
367409	5065810	Ao51	Pz02	Piezometro	Aosta	Deposito Nuova Polma	Interno Nuova Polma - nord	Carotaggio continuo	24,00		578,53	554,53
367838	5066070	Ao53	Pz6	Piezometro	Aosta	Depo Dora	Piazzale Croce Rossa	Carotaggio continuo	24,00		579,52	555,52
371149	5066396	Ao54	A2	Piezometro	Aosta	RAVA	Giardino palestra Q.re Dora	Carotaggio continuo	24,00		561,17	537,17
371002	5066547	Ao55	A3	Piezometro	Aosta	RAVA	P.zza B.tt Cervino	Carotaggio continuo	24,00		564,41	540,41
371401	5066471	Ao56	A4	Piezometro	Aosta	RAVA	Prato di fronte arena Croix Noire	Carotaggio continuo	24,00		557,26	533,26
367771	5065993	Ao65	PzA	Piezometro	Aosta	AGIP	Margine est area di servizio v.P.SanB	Carotaggio continuo	24,00		579,87	555,87
367769	5065979	Ao66	PzB	Piezometro	Aosta	AGIP	Margine est area di servizio v.P.SanB.	Carotaggio continuo	24,00		579,90	555,90
367730	5065972	Ao67	PzC	Piezometro	Aosta	AGIP	Esterno al marg. sud area serv. P.S.B.	Carotaggio continuo	24,00		580,19	556,19
371271	5066228	Po13	A1	Piezometro	Pollein	RAVA	Loc. Bimes	Carotaggio continuo	24,00		552,98	528,98
371659	5066446	SC13	Testimoni geova	Irriguo	St. Christophe	Ass. Studenti biblici	Loc. Grand Chemin 8	Rotopercolazione	24,00		551,67	527,67
368956	5065988	Ao71	PM3	Piezometro	Aosta	ESSO	Stazione di servizio V.le partigiani	Carotaggio continuo	22,00		572,67	550,67
370940	5066216	Ao24	MW4	Piezometro	Aosta	Structure VdA	Esterno CAS (cascina Favre)	Carotaggio continuo	21,40		563,12	541,72
368933	5066011	Ao69	PM1	Piezometro	Aosta	ESSO	Stazione di servizio V.le Partigiani	Carotaggio continuo	21,00		573,89	552,89
368936	5065979	Ao70	PM2	Piezometro	Aosta	ESSO	Stazione di servizio V.le Partigiani	Carotaggio continuo	21,00		573,02	552,02
368966	5065962	Ao72	PM4	Piezometro	Aosta	ESSO	Stazione di servizio V.le Partigiani	Carotaggio continuo	21,00		572,42	551,42
368961	5066007	Ao73	PM5	Piezometro	Aosta	distributore ESSO	V.le Partigiani	Carotaggio continuo	21,00		572,40	551,40

Tabella 4.1 – Continuazione catasto delle stratigrafie della piana di Aosta.

X	Y	ID	Denominazione	Tipologia	Comune	Proprietario	Ubicazione	Metodo di perforazione	Profondità (m)	Colore legenda	Quota p.c.(m)	Prof.ass. (m)
371777	5065848	Po01	SMW1	Piezometro	Pollein	Praoil Oleodotti Italiani	Vicino sala valvole	Carotaggio continuo	21,00		555,62	534,62
371886	5066463	SC03	Sapia	Industriale	St. Christophe	Sapia snc	Croix Noire	Percussione	20,00		549,54	529,54
388949	5066656	Pn07	Discarica P7	Piezometro	Pontey	Valeco S.p.a.	Loc. Valloille	Carotaggio continuo	20,00		458,44	438,44
389146	5066790	Pn08	Discarica P8	Piezometro	Pontey	Valeco S.p.a.	Loc. Valloille	Carotaggio continuo	20,00		462,24	442,24
389017	5066806	Pn09	Discarica P9	Piezometro	Pontey	Valeco S.p.a.	Loc. Valloille	Carotaggio continuo	20,00		459,22	439,22
371720	5065780	Po03	SMW3	Piezometro	Pollein	Praoil Oleodotti Italiani	Vicino serbatoio S1	Carotaggio continuo	20,00		558,11	538,11
372054	5066533	SC15	Pz1 Area Sogno	Piezometro	St. Christophe	RAVA Direz. Opere stradali	Regione Sogno	Carotaggio continuo	20,00		548,51	528,51
360263	5062750	Vi04	PM4	Piezometro	Villeneuve	ESSO	SS 26	Carotaggio continuo	18,00		670,44	652,44
371794	5065813	Po04	SMW4	Piezometro	Pollein	Praoil Oleodotti Italiani	Zona barrel	Carotaggio continuo	16,50		555,65	539,15
371749	5065861	Po02	SMW2	Piezometro	Pollein	Praoil Oleodotti Italiani	Sotto quadri	Carotaggio continuo	16,30		555,70	539,40
373024	5066090	Po29	S1	Piezometro	Pollein	Heineken	Interno birreria	Carotaggio continuo	15,00		543,36	528,36
372908	5066130	Po30	S2	Piezometro	Pollein	Lavanderia Industriale	Tra birreria e lavanderia	Carotaggio continuo	15,00		543,08	528,08
372844	5066168	Po31	S3	Piezometro	Pollein	Lavanderia Industriale	Interno lavanderia	Carotaggio continuo	15,00		543,08	528,08
372187	5066542	SC06	S1	Piezometro	St. Christophe	AVDA	Aeroporto	Carotaggio continuo	15,00		546,63	531,63
372400	5066542	SC07	S2	Piezometro	St. Christophe	AVDA	Aeroporto	Carotaggio continuo	15,00		545,65	530,65
372418	5066380	SC08	S3	Piezometro	St. Christophe	AVDA	Aeroporto	Carotaggio continuo	15,00		546,24	531,24
373778	5066638	SC09	S4	Piezometro	St. Christophe	AVDA	Aeroporto	Carotaggio continuo	15,00		539,02	524,02
373783	5066460	SC10	S5	Piezometro	St. Christophe	AVDA	Aeroporto	Carotaggio continuo	15,00		539,70	524,70
374049	5066570	SC11	S6	Piezometro	St. Christophe	AVDA	Aeroporto	Carotaggio continuo	15,00		538,81	523,81
372279	5066366	SC12	S7	Piezometro	St. Christophe	AVDA	Aeroporto	Carotaggio continuo	15,00		547,20	532,20
360263	5062769	Vi02	PM 2	Piezometro	Villeneuve	Distributore ESSO	SS 26	Carotaggio continuo	15,00		670,44	655,44
360257	5062777	Vi03	PM 3	Piezometro	Villeneuve	Distributore ESSO	SS26	Carotaggio continuo	15,00		670,44	655,44
375294	5066644	Qu15	PM1	Piezometro	Quart	Distributore Shell	Loc. Teppe	Carotaggio continuo	14,00		535,76	521,76
375353	5066662	Qu16	PM2	Piezometro	Quart	Distributore Shell	Loc. Teppe	Carotaggio continuo	14,00		535,67	521,67
375340	5066632	Qu17	PM3	Piezometro	Quart	Distributore Shell	Loc. Teppe	Carotaggio continuo	14,00		536,52	522,52
375335	5066645	Qu18	PM4	Piezometro	Quart	Distributore Shell	Loc. Teppe	Carotaggio continuo	14,00		535,98	521,98
360239	5062760	Vi01	PM 1	Piezometro	Villeneuve	Distributore ESSO	SS26	Carotaggio continuo	13,00		670,44	657,44
389075	5066805	Pn01	Discarica P1	Piezometro	Pontéy	Valeco S.p.a.	Loc. Valloille	Non definito	13,00		461,97	448,97
388979	5066708	Pn02	Discarica P2	Piezometro	Pontéy	Valeco S.p.a.	Loc. Valloille	Non definito	13,00		462,09	449,09
388714	5066679	Pn03	Discarica P3	Piezometro	Pontéy	Valeco S.p.a.	Loc. Valloille	Non definito	13,00		460,90	447,90
372227	5066885	SC05	ARPA	Piezometro	St. Christophe	RAVA	Sede ARPA- prato esterno presso casotto bombole	Carotaggio continuo	12,00		548,71	536,71
373544	5066787	Qu08	PM2	Piezometro	Quart	Distr. ESSO	Loc. Amérique	Carotaggio continuo	10,00		540,94	530,94
373590	5066782	Qu10	PM4	Piezometro	Quart	Distr. ESSO	Loc. Amérique	Carotaggio continuo	10,00		541,12	531,12
378827	5066505	SM06	P1	Piezometro	St. Marcel	RAVA Ass. Attività produttive	Ex Montedison (valle)	Carotaggio continuo	8,00		519,46	511,46
378801	5066509	SM05	SN1	Piezometro	St. Marcel	RAVA Ass. Attività produttive	Interno ex Montedison (monte)	Carotaggio continuo	5,60		522,00	516,40

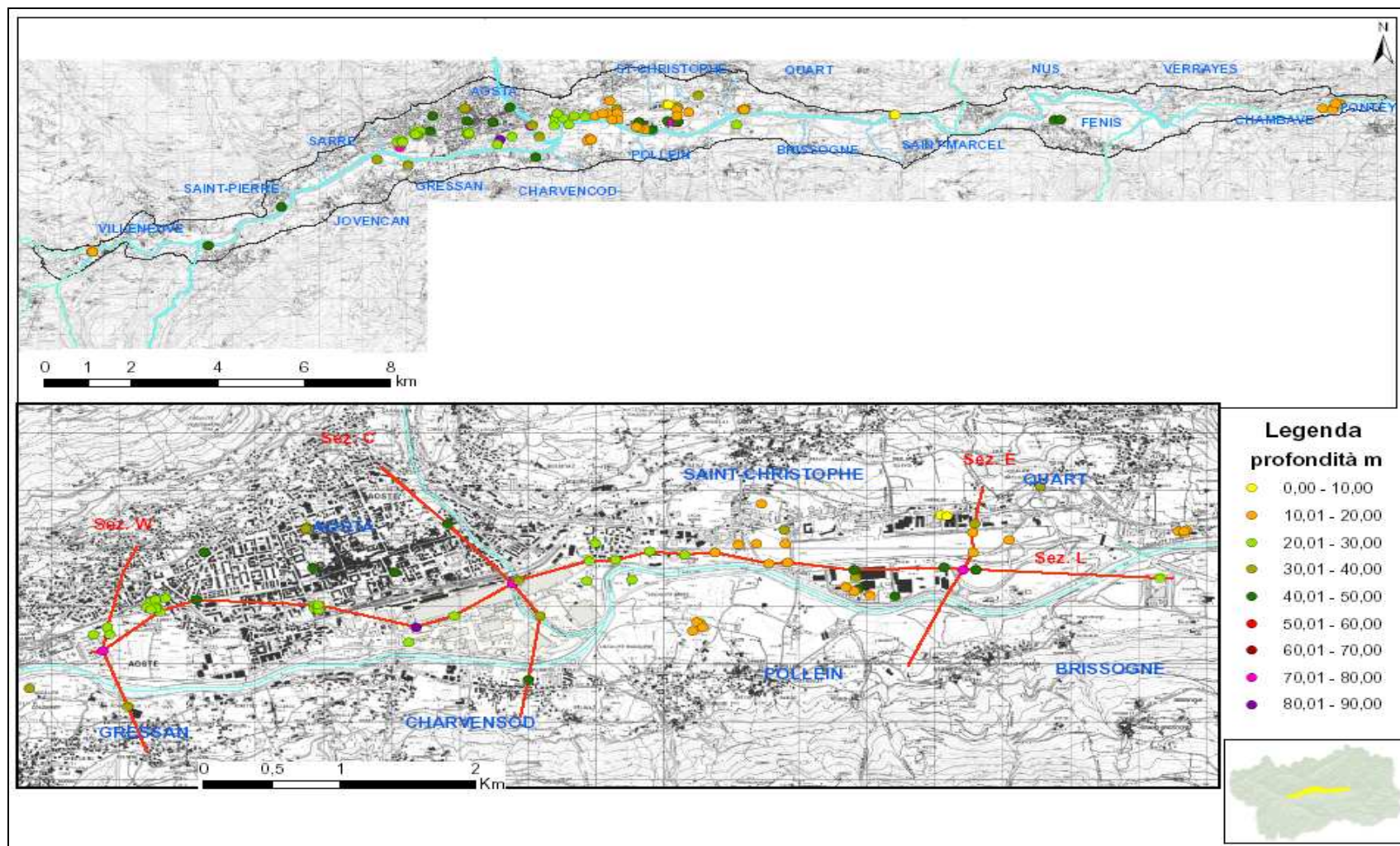


Figura 4.3 – Ubicazione in carta delle stratigrafie disponibili per la piana di Aosta riportate con le relative classi di profondità (carta in alto). Nel dettaglio in basso sono evidenziate le tracce delle quattro sezioni

Le quattro sezioni sono riportate di seguito nelle figure 4.4÷4.7 e, per una migliore leggibilità, anche in Allegato 5 (in scala originale) assieme alle stratigrafie utilizzate (Allegati 1-4).

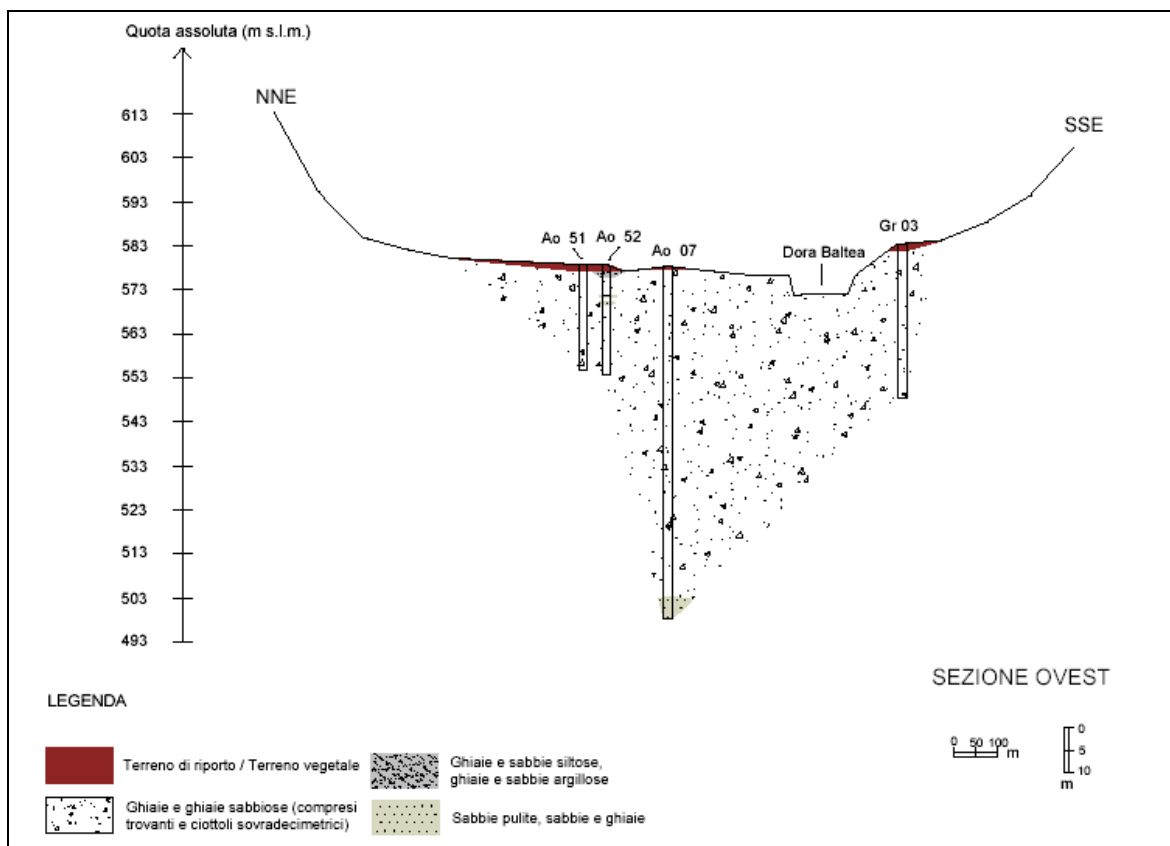


Figura 4.4 – Sezione W - trasversale ovest - della piana di Aosta

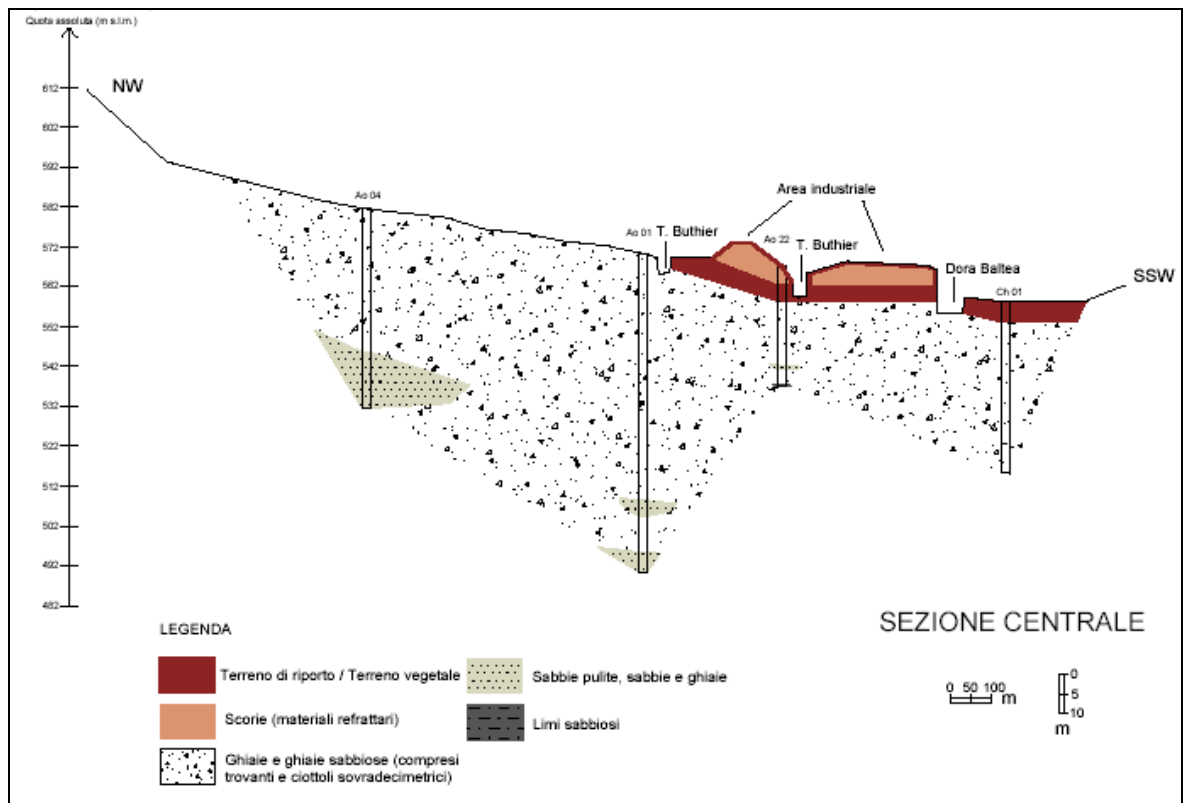


Figura 4.5 – Sezione C - trasversale centrale - della piana di Aosta

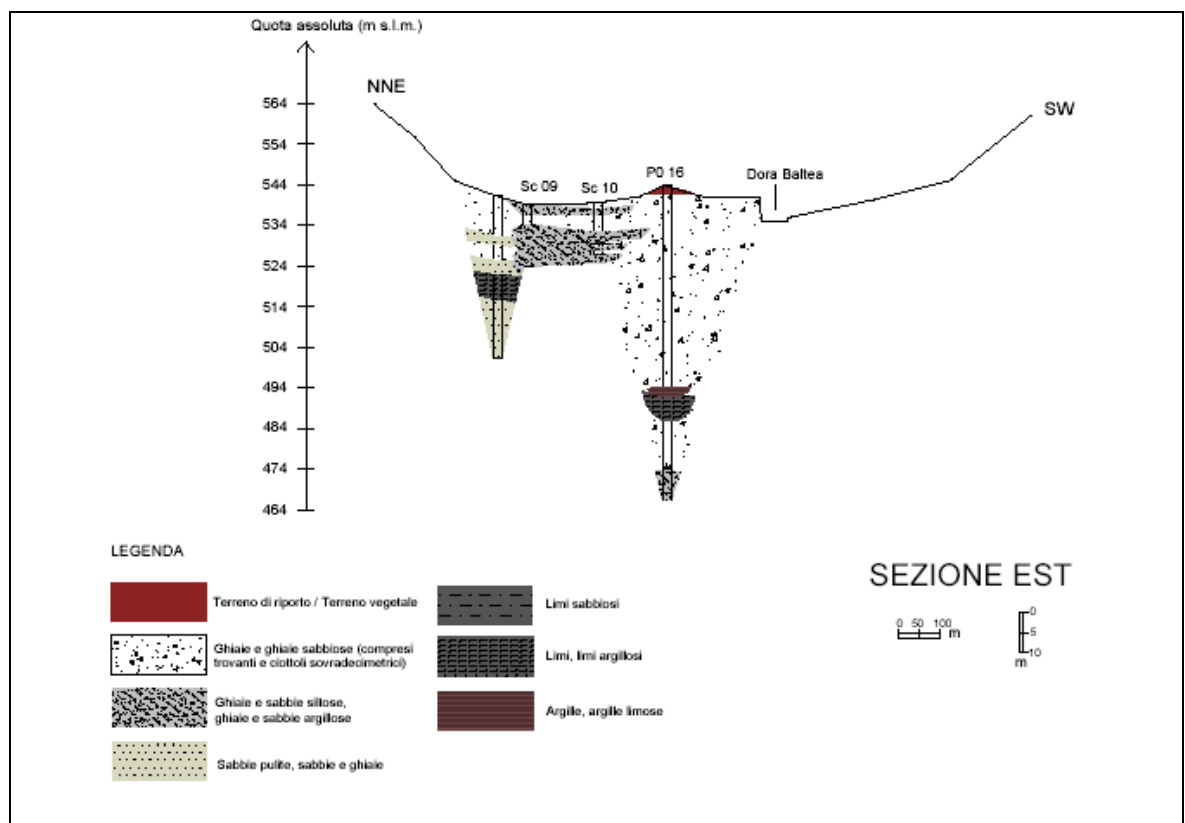


Figura 4.6 – Sezione E - trasversale est - della piana di Aosta

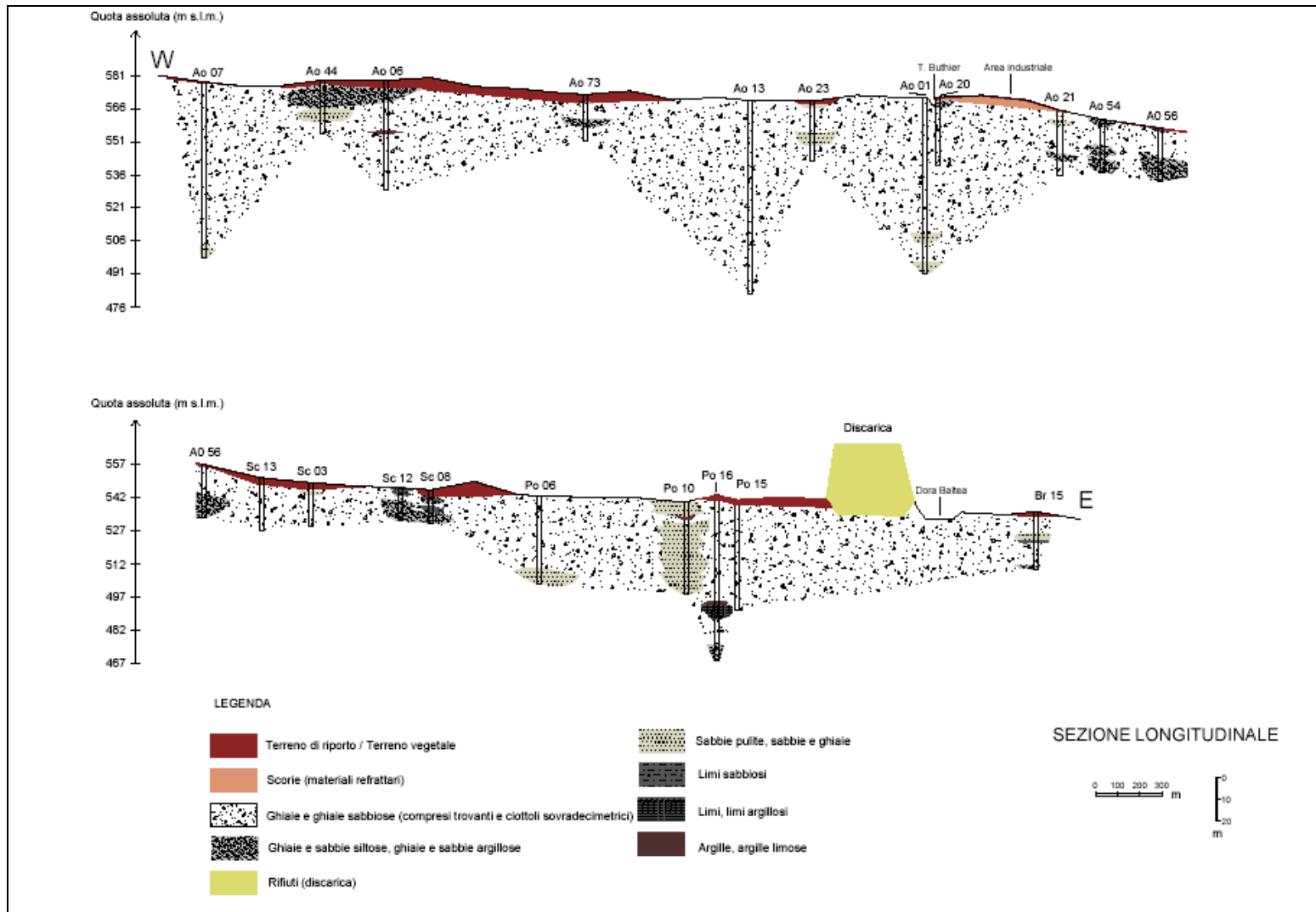


Figura 4.7 – Sezione L - longitudinale - della piana di Aosta

Dall'esame complessivo delle sezioni emerge che tutta la piana di Aosta (fino ad una profondità massima di 88 metri, relativa alle stratigrafie più profonde) è caratterizzata dalla presenza di un materasso alluvionale costituito prevalentemente da ghiaie e ghiaie sabbiose; benché siano presenti lenti sabbiose o limose di spessore ridotto, e più raramente lenti argillose, non si individuano livelli continui di spessore rilevante di materiale impermeabile. L'acquifero è pertanto di tipo non confinato contenente una falda a superficie libera.

Dall'analisi delle sezioni si può inoltre notare come in nessun tratto della piana di Aosta siano stati raggiunti i limi di probabile origine lacustre, depositi in seguito alla formazione di un lago nella conca aostana formatosi contemporaneamente al progressivo ritiro del Ghiacciaio della Dora Baltea (cfr par. 2.5). La presenza di questo tipo di depositi posti alla base di quelli quaternari è stata messa in evidenza dalle indagini geofisiche, sia di tipo fisico che elettrico, eseguite da Armando *et al.* (cfr par. 3.1), ad una profondità compresa tra 4 e 16 m, a seconda dello spessore dei materiali sovrastanti.

Pertanto le evidenze di quest'ultimo studio - peraltro effettuato nel 1970, con pochi dati stratigrafici esistenti - non risultano congruenti con le sezioni sopra illustrate e con le stratigrafie attualmente a disposizione.

4.1.2 Piana di Verrès-Issogne-Arnad

Nella piana di Verrès si dispone in totale di n. 8 stratigrafie con profondità variabile tra 13 ed 72 m, concentrate in corrispondenza degli stabilimenti industriali di Verrès e di Arnad; i cui dati sono riassunti in tabella 4.2 (con la medesima scala cromatica della figura 4.2).

Anche in questo caso le stratigrafie più profonde sono relative alla realizzazione di pozzi ad uso industriale e potabile, mentre i sondaggi più superficiali sono stati eseguiti per la messa in opera di piezometri (Fig. 4.8).

Tabella 4.2 – Catasto delle stratigrafie della piana di Verrès-Issogne-Arnad.

X	Y	ID	Denominazione	Tipologia	Comune	Proprietario	Ubicazione	Metodo di perforazione	Profondità (m)	Colore legenda	Quota p.c.(m)	Prof. Ass.(m)
0400020	5055583	Ar1	Pozzo 2 (sud)	Pozzo attivo industriale e potabile	Arnad	Olivetti I-jet	Portineria stabilimento	Non definito	72		350,6	278,6
0399868	5055731	Ar5	Pozzo 1 (nord)	Pozzo inattivo potabile	Arnad	Olivetti I-Jet	Stabilimento	Non definito	72		353,1	281,1
0397483	5057537	Ve5	Pozzo P1 Verrès SpA	Pozzo attivo potabile industriale antincendio	Verrès	Verrès SpA	Lato ovest stabilimento	Non definito	47		361,9	314,9
0397487	5057536	Ve6	Pozzo P2 Verrès SpA	Pozzo industriale inattivo	Verrès	Verrès SpA	Prato lato ovest stabilimento	Non definito	39		365,11	326,11
0397888	5057378	Ve2	Pozzo Meridian	Pozzo attivo industriale	Verrès	Meridian	Stabilimento vicino a Ve3	Rotopercolazione	32		364,4	332,4
0397511	5057638	Ve11	Piez. Rivoira	Piezometro	Verrès	Rivoira SpA		Carotaggio continuo	30		364,4	334,4
0397891	5057372	Ve3	Piezometro 1	Piezometro	Verrès	Meridian	Stabilimento vicino al pozzo Ve2	Rotopercolazione	13		364,395	351,395
0397885	5057375	Ve4	Piezometro2	Piezometro	Verrès	Meridian	Stabilimento	Rotopercolazione	13		364,341	351,341

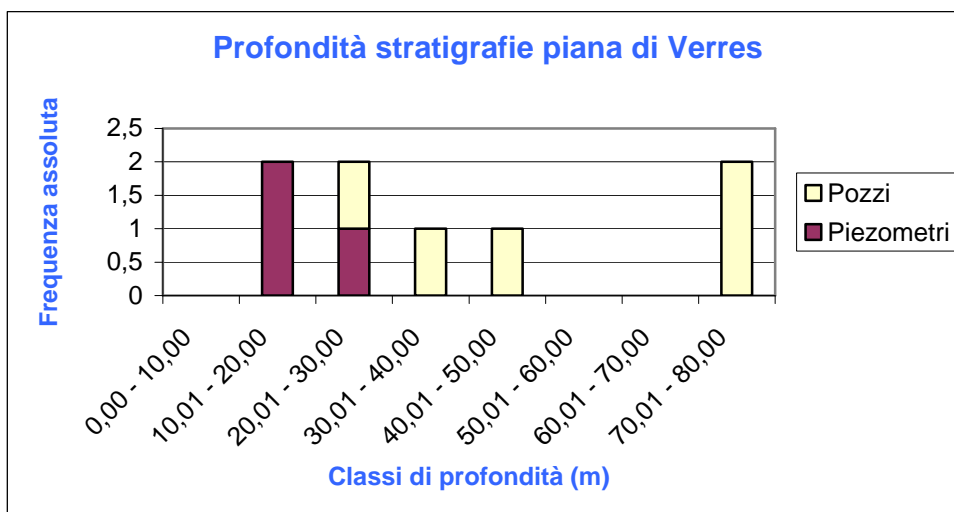


Figura 4.8 - Istogramma relativo alle classi di profondità delle stratigrafie realizzate nella piana di Verrès-Issogne-Arnad.

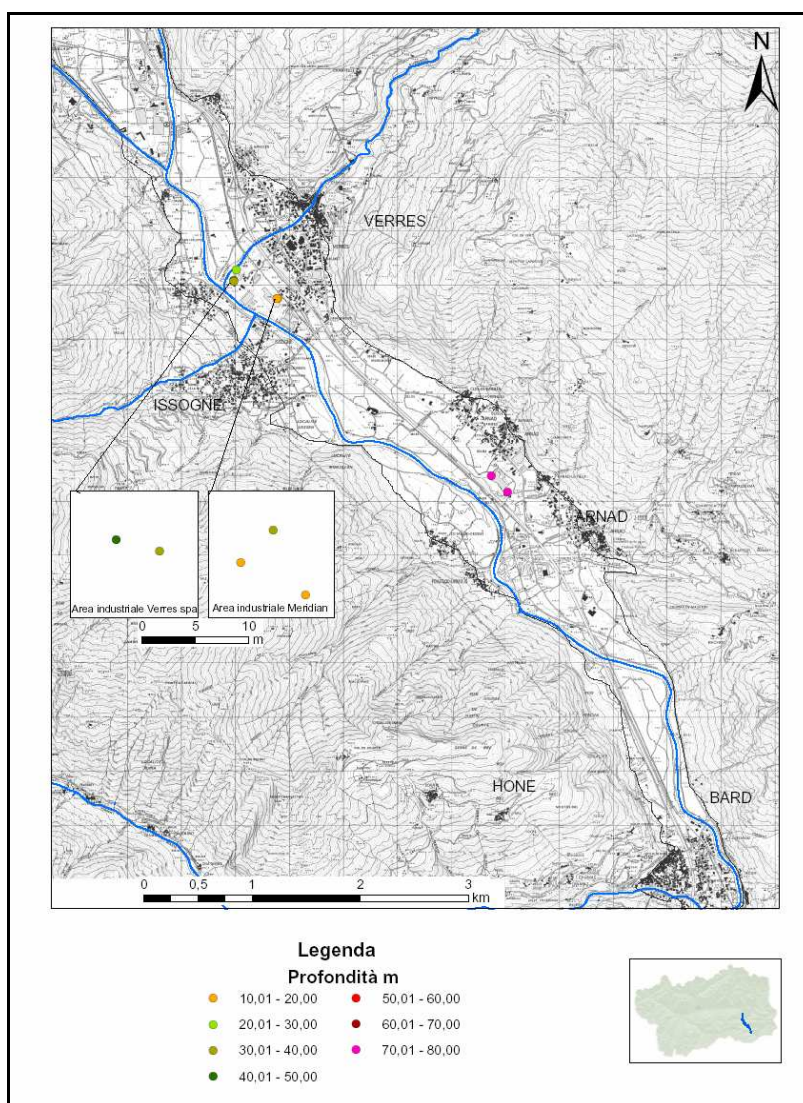


Figura 4.9 - Ubicazione in carta delle stratigrafie disponibili per la piana di Verrès-Issogne-Arnad riportate con le relative classi di profondità.

In quest'area, dato lo scarso numero di stratigrafie a disposizione non è stata ricostruita alcuna sezione di riferimento, ma è stata presa come modello esemplificativo del sottosuolo una tra le due stratigrafie più profonde (72 m), identificata con il codice Ar5 (Fig 4.10).

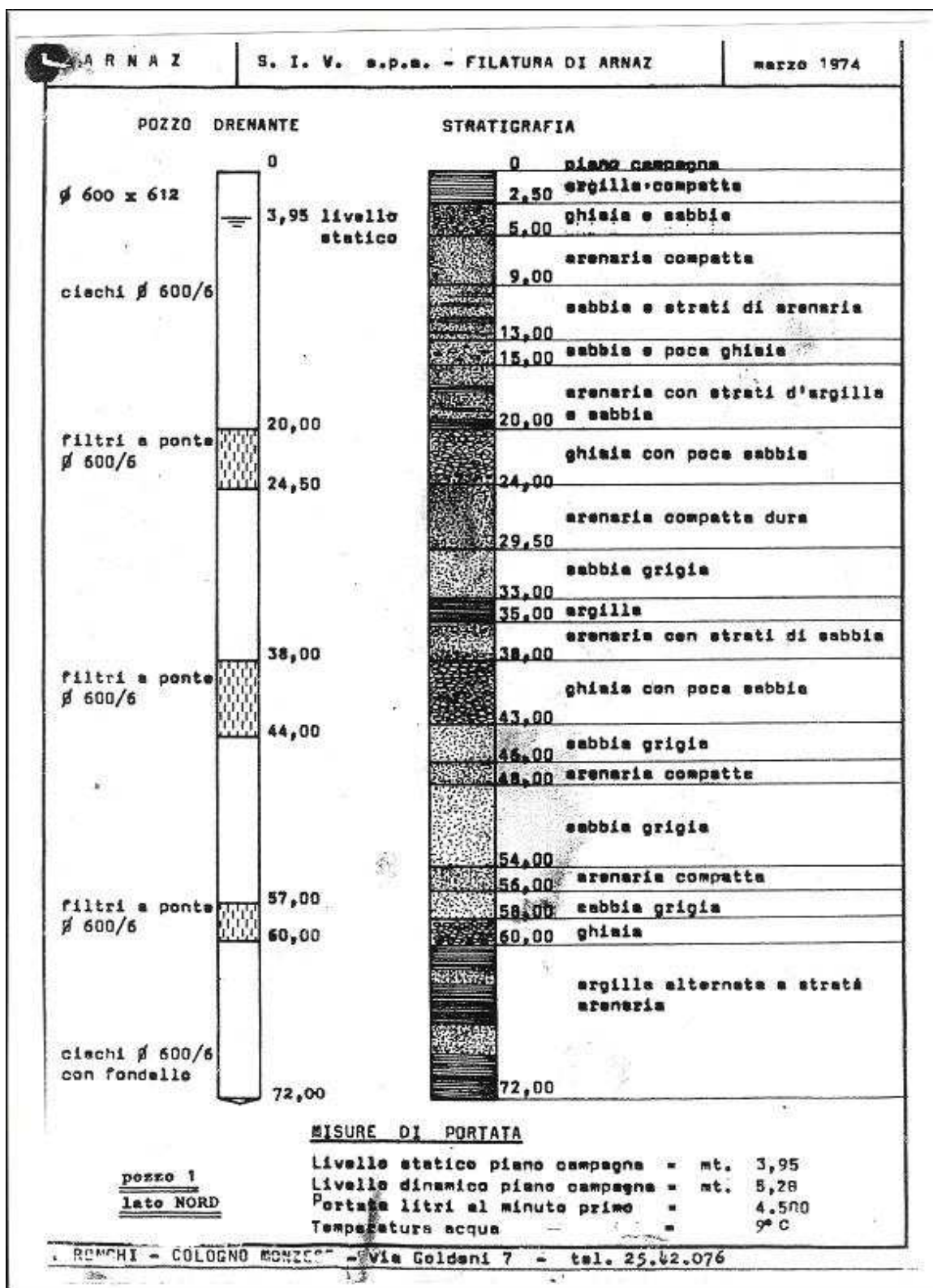


Figura 4.10 – Stratigrafia del pozzo Ar5 nel comune di Arnad (stabilimento industriale Olivetti I-Jet)

Si nota la presenza di materiali a granulometria più fine rispetto a quelli incontrati nella piana di Aosta: predominano infatti le sabbie, intercalate da strati definiti, dal sondatore, "arenarie

compatte” presumibilmente corrispondenti in realtà a sabbie molto compatte. Inoltre, la presenza di uno strato di argilla con potenza di circa due metri a 33 m di profondità può far supporre l’esistenza di un acquifero confinato, se tale strato si rilevasse anche nell’area circostante. In tal caso il pozzo, vista la posizione dei filtri, capterebbe due acquiferi.

4.1.3 Piana di Donnas-Pont Saint Martin

Come per la piana di Verrès, in quella di Pont Saint Martin le stratigrafie a disposizione non sono molte: in questo tratto di fondovalle sono stati eseguiti n. 16 sondaggi con profondità variabile tra i 10 e gli 80 m. L’istogramma riportato in figura 4.11 e la tabella 4.3 sono analoghi a quelli esaminati sopra.

Tabella 4.3 - Catasto delle stratigrafie della piana di Donnas-Pont Saint Martin.

X	Y	ID	Denominazione	Tipologia	Comune	Proprietario	Metodo di perforazione	Profondità	Colore legenda	Quota p.c.	Prof. Ass.
0405516	5050125	PSM3	Cascine 2 nuovo	Pozzo idropotabile inattivo	Pont St. Martin	Comune (gestione SICEA)	Non definito	80		320	240
0404570	5050973	Do7	Pozzo acquedotto 2	Pozzo idropotabile	Donnas	Comune	Non definito	44		315,53	271,53
0402640	5050995	Ba1	Pozzo Forte di Bard	Pozzo idropotabile	Bard	Finbard	Non definito	27		330	303
0405436	5050700	Do8	Pozzo autolavaggio	Pozzo	Donnas	Distributore Agip	Non definito	27		319,6	292,6
0406414	5049111	PSM4	Pozzo SIAD	Pozzo industriale inattivo	Pont St. Martin	SIAD	Percussione	26		307,17	281,17
0406345	5049067	PSM6	Pz1 Siad - valle	Piezometro di monitoraggio	Pont St. Martin	SIAD	Carotaggio continuo	12		306,19	294,19
0406250	5049241	PSM7	Pz2 Siad - monte	Piezometro di monitoraggio	Pont St. Martin	SIAD	Carotaggio continuo	12		308,45	296,45
0404986	5050727	Do15	Pz7 Gelmini - Dalle	Piezometro di monitoraggio	Donnas	Gelmini - Dalle	Carotaggio continuo	10		310,85	300,85
0404987	5050679	Do16	Pz8 Gelmini - Dalle	Piezometro di monitoraggio	Donnas	Gelmini - Dalle	Carotaggio continuo	10		310,65	300,65
0405007	5050714	Do17	Pz9 Gelmini - Dalle	Piezometro di monitoraggio	Donnas	Gelmini - Dalle	Carotaggio continuo	10		310,56	300,56
0405060	5050762	Do18	Pz10 Gelmini - Dalle	Piezometro di monitoraggio	Donnas	Gelmini - Dalle	Carotaggio continuo	10		310,59	300,59
0405035	5050696	Do19	Pz11 Gelmini - Dalle	Piezometro di monitoraggio	Donnas	Gelmini - Dalle	Carotaggio continuo	10		310,4	300,4
0405031	5050654	Do20	Pz12 Gelmini - Dalle	Piezometro di monitoraggio	Donnas	Gelmini - Dalle	Carotaggio continuo	10		309,87	299,87
0405088	5050691	Do21	Pz13 Gelmini - Dalle	Piezometro di monitoraggio	Donnas	Gelmini - Dalle	Carotaggio continuo	10		310,01	300,01
0404926	5050750	Do22	Pz14 Dalle	Piezometro di monitoraggio	Donnas	Dalle	Carotaggio continuo	10		312,5	302,5
0404917	5050713	Do23	Pz15 Dalle	Piezometro di monitoraggio	Donnas	Dalle	Carotaggio continuo	10		311,4	301,4

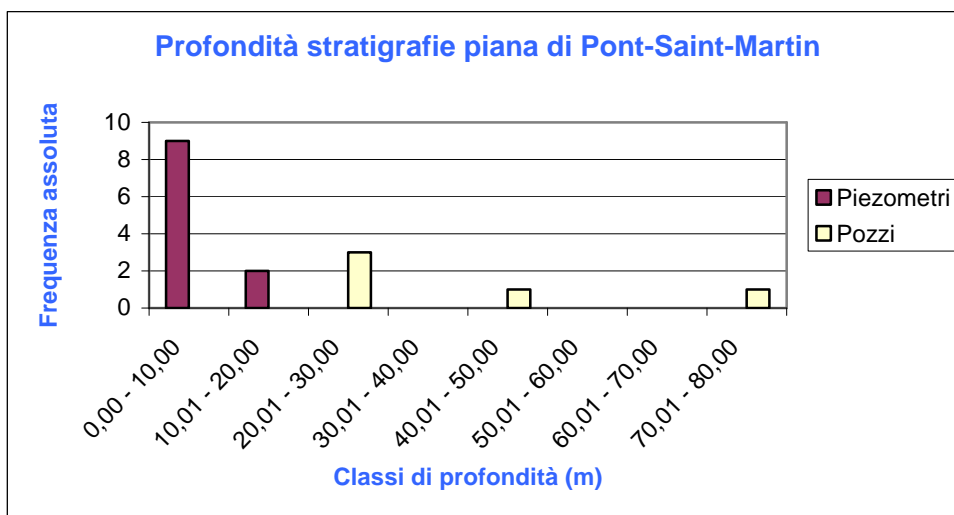


Figura 4.11 - Istogramma relativo alle classi di profondità delle stratigrafie realizzate nella piana di Donnas-Pont Saint Martin.

Gran parte delle stratigrafie sono concentrate, come si può osservare dalla carta riportata in figura 4.12, in un'area di estensione estremamente ridotta (piezometri adibiti al monitoraggio di un sito contaminato).

Come nel caso della piana di Verrès, non sono state elaborate sezioni, ma è stata presa come schema del sottosuolo la stratigrafia che raggiunge la profondità maggiore (80 m): identificata con il codice PSM3 (Fig. 4.13).

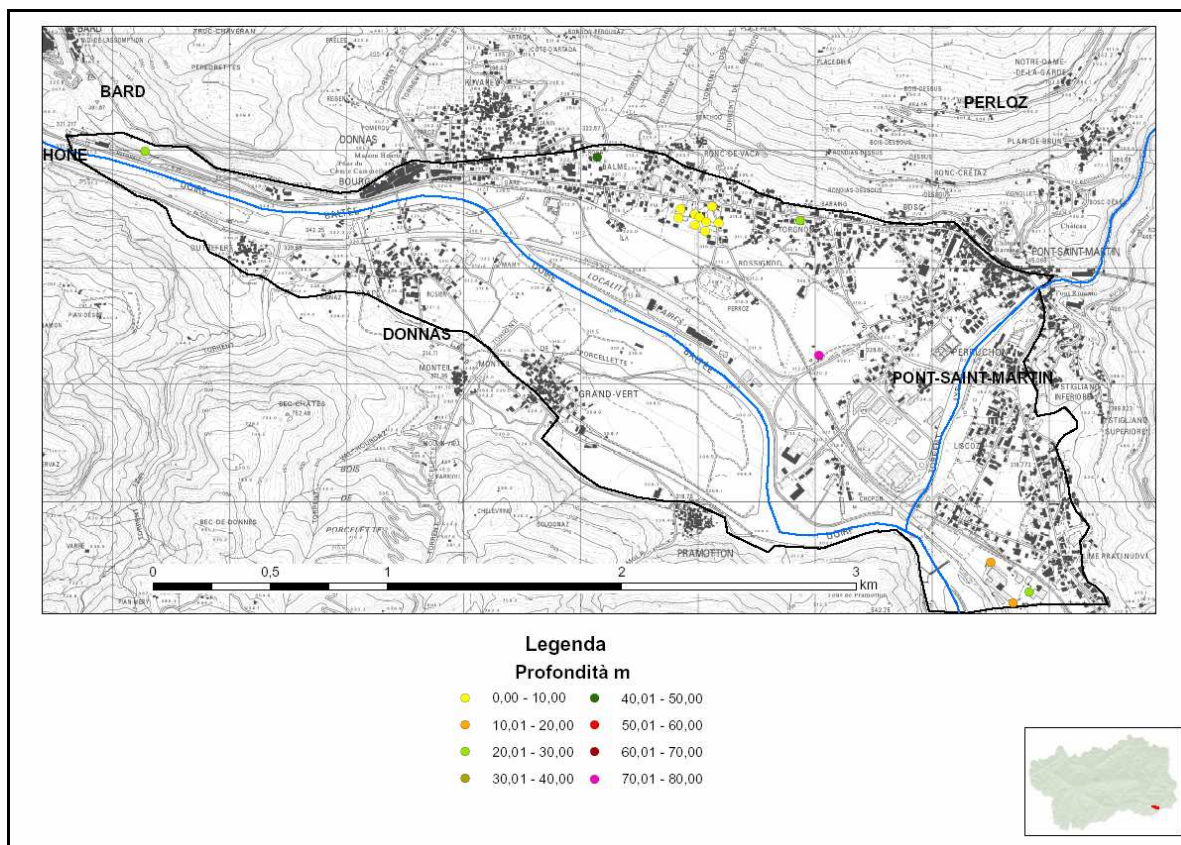


Figura 4.12 - Ubicazione delle stratigrafie disponibili per la piana di Donnas-Pont Saint Martin, con relative classi di profondità.

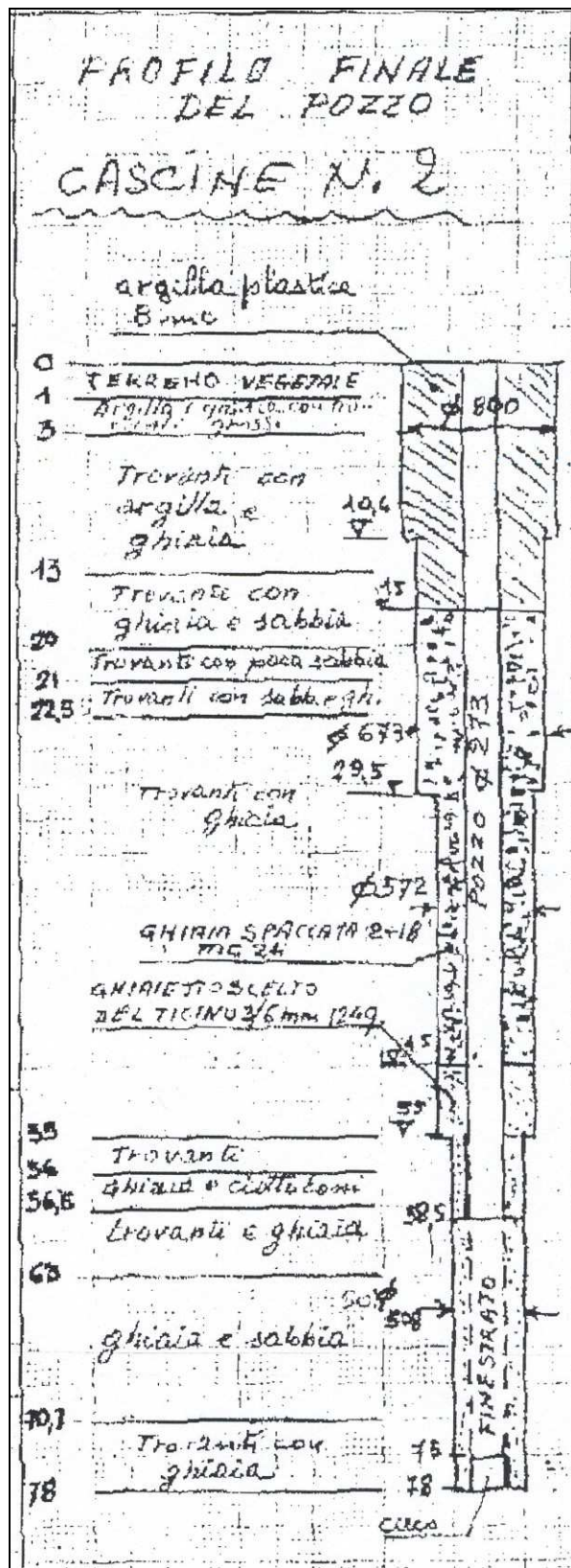


Figura 4.13 – Stratigrafia del pozzo PSM3 ad uso idropotabile, attualmente inattivo, nel comune di Pont Saint Martin.

Sebbene la descrizione non sia accurata, si vede che la granulometria è tendenzialmente grossolana.

4.2 Monitoraggio quantitativo

Come già detto, il monitoraggio quantitativo delle acque sotterranee – così come quello qualitativo - viene eseguito da ARPA Valle d'Aosta² nell'ambito dei suoi compiti istituzionali; esso consta di misure del livello piezometrico su tutte e quattro le piane valdostane (semestrali nella piana di Morgex, mensili nelle altre tre piane; Tab. 3.4).

Nel sottoparagrafo 4.2.1 vengono pertanto esaminate dapprima in dettaglio le escursioni piezometriche derivanti dalle suddette misure.

Nei sottoparagrafi successivi vengono prese in considerazione le altre variabili che possono influenzare le escursioni della falda:

- portate dei corsi d'acqua (par. 4.2.2);
- precipitazioni (par. 4.2.3);
- temperatura dell'aria (par. 4.2.4).

Solo valutando le interconnessioni tra le suddette variabili, infatti, si può capire quale sia il principio regolatore delle variazioni piezometriche.

4.2.1 Escursioni piezometriche

Di seguito si illustrano mediante diagrammi i dati di soggiacenza (riportati in Allegato 6) per i quali si dispone delle serie storiche più lunghe (ricordando, come già evidenziato al par. 3.3.3 che le serie storiche disponibili non sono per vari motivi omogenee).

I diagrammi derivano dall'elaborazione di misure mensili effettuate con sondino piezometrico³; sporadiche misure mancanti - che si traducono in interruzioni nella continuità delle serie storiche sui diagrammi - sono dovute, nella grande maggioranza dei casi, all'inaccessibilità invernale del punto di misura causa gelo o neve.

Per ciascun punto sono stati elaborati due grafici relativi alla soggiacenza:

- *figura a*: variazioni a scala pluriennale con evidenziata la linea di tendenza (regressione lineare). Si ricorda che tale aspetto assume particolare importanza nel quadro normativo ai fini della definizione dello "stato quantitativo" dell'acquifero;
- *figura b*: regime della falda in ogni anno di osservazione.

Sono esaminate, procedendo da monte verso valle, la piana di Aosta, la piana di Verrès-Issogne-Arnad e la piana di Donnas-Pont Saint Martin; la piana di Morgex non viene considerata poiché la frequenza di misurazione semestrale non permette una ricostruzione dell'oscillazione della falda.

L'aggiornamento dei dati arriva, ove possibile, all'aprile 2010.

² Tale monitoraggio è eseguito dalla Sezione Acqua, che oltre ad occuparsi delle acque sotterranee, monitora anche i corsi d'acqua superficiali dal punto di vista qualitativo.

³ Salvo quelle relative a Ao50 e SC5 nella piana di Aosta, ricavate dalla registrazione dei dati con sonda collegata a *datalogger*.

4.2.1.1 Piana di Aosta

L'ubicazione dei punti utilizzati per l'elaborazione dei diagrammi è riportata in figura 4.14: si tratta di n. 13 punti (12 piezometri e un pozzo, SC2) posti nella zona urbana di Aosta e nei suoi dintorni, tutti in sinistra idrografica rispetto alla Dora Baltea salvo Po13.

Tre dei piezometri esaminati (Ao32, Ao24 e Ao35) appartengono alla rete di monitoraggio delle aree industriali CAS-ex Cogne e sono stati misurati con cadenza mensile dal proprietario del sito (Structure Vallée d'Aoste) dal 1999 al 2009; essi assumono pertanto una certa importanza in quanto sono gli unici su tutto il territorio valdostano monitorati all'epoca dell'ultimo importante evento alluvionale (autunno 2000). Riguardo a questi tre piezometri è opportuno aggiungere che, benché si trovino all'interno di un'area industriale soggetta a pompaggio continuo da parte di una decina di pozzi industriali, è stato riscontrato da ARPA Valle d'Aosta che – in virtù della grande trasmissività dell'acquifero (evidenziata al par. 2.7) – essi risultino solo in piccola parte influenzati dai coni di depressione di tali pozzi.

Due piezometri (Ao50 e SC5) essendo allestiti con sonda collegata a *datalogger* dispongono di un numero di dati molto superiore a quella degli altri piezometri⁴; per tale motivo è stato elaborato anche il diagramma di Ao50, seppure la sua serie storica sia inferiore a due anni (ottobre 2004-agosto 2006). L'altra sonda, tuttora in funzione, si trova nel comune di Saint-Christophe presso la sede ARPA Valle d'Aosta (piezometro SC5).

⁴ Viene registrato un valore al giorno, media delle letture effettuate con cadenza oraria.

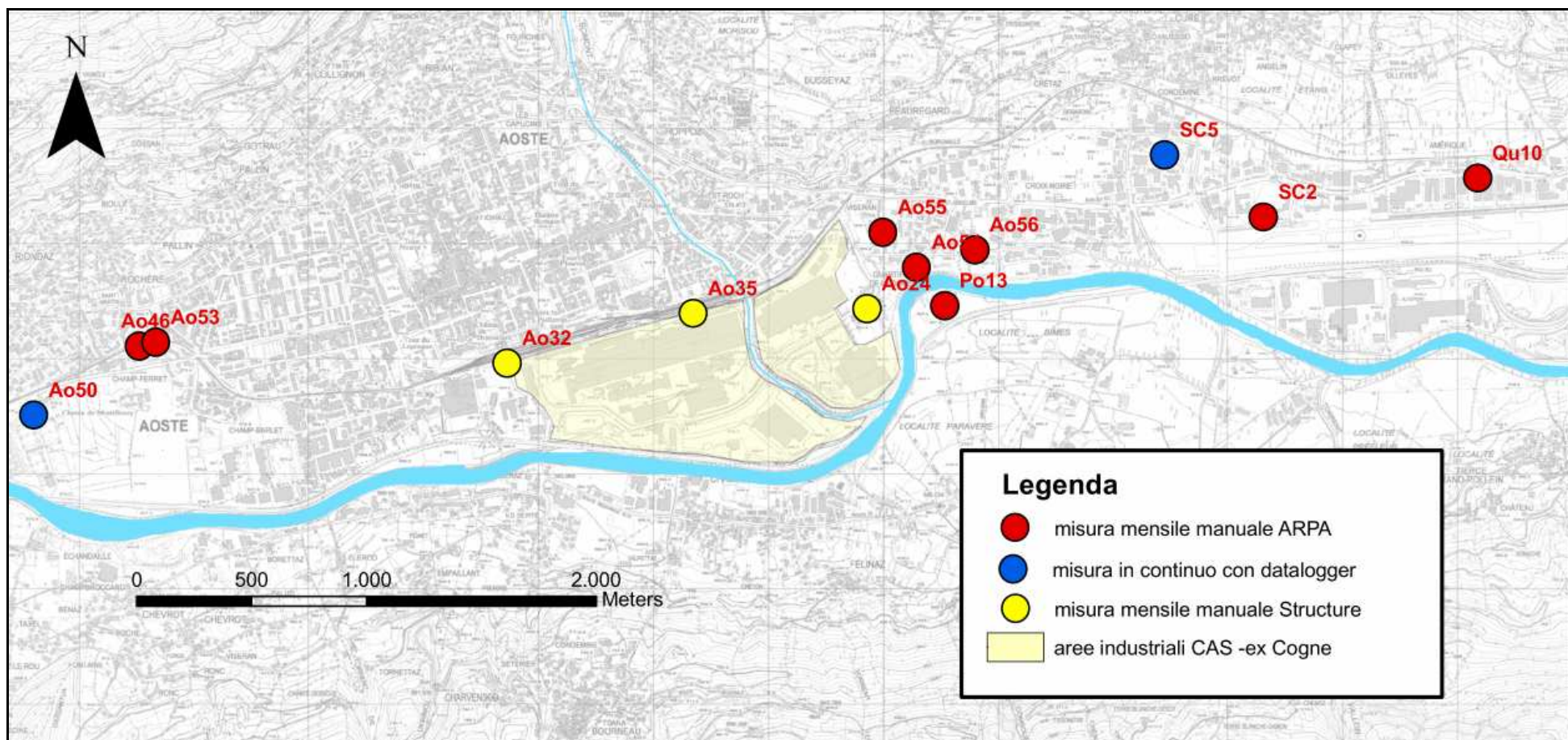


Figura 4.14 – Punti di misura utilizzati per l'esame delle escursioni piezometriche nella piana di Aosta.

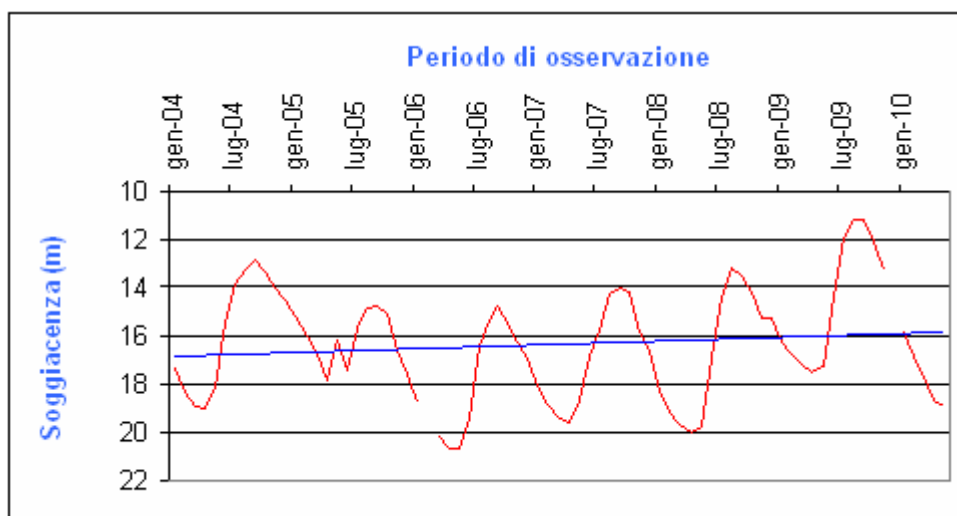


Figura 4.15 a – Andamento complessivo della soggiacenza misurata in corrispondenza del punto di misura A046 nel periodo gennaio 2004 – aprile 2010.

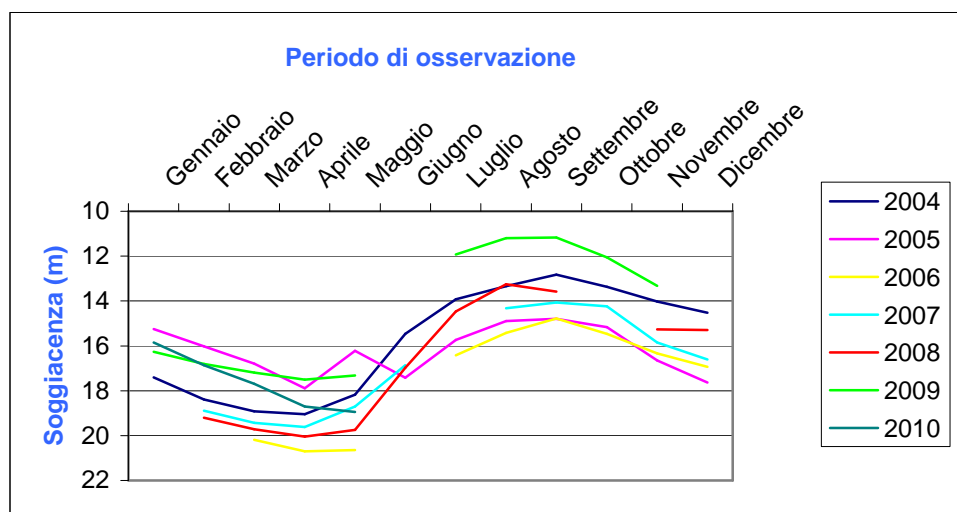


Figura 4.15 b – Andamento annuale della soggiacenza misurata in corrispondenza del punto di misura A046 nel periodo gennaio 2004 – aprile 2010.

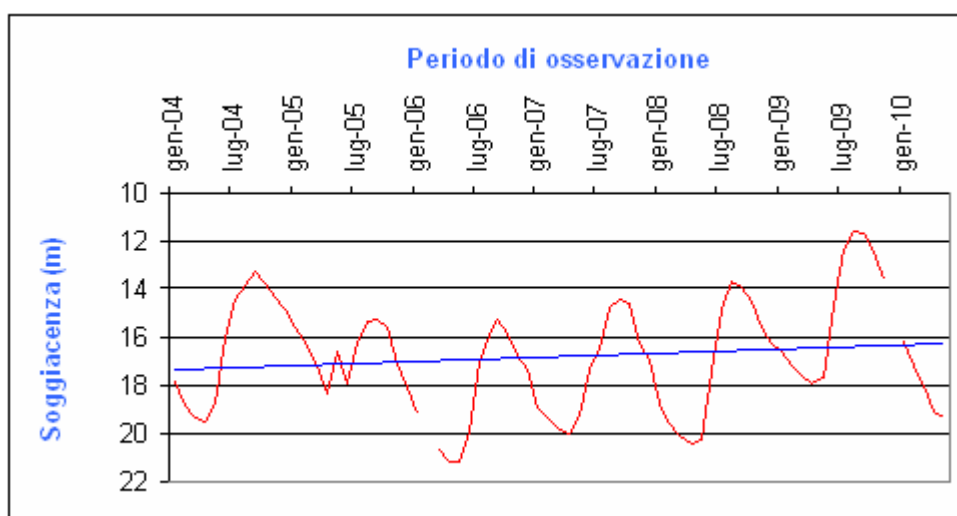


Figura 4.16 a – Andamento complessivo della soggiacenza misurata in corrispondenza del punto di misura A053 nel periodo gennaio 2004 – aprile 2010.

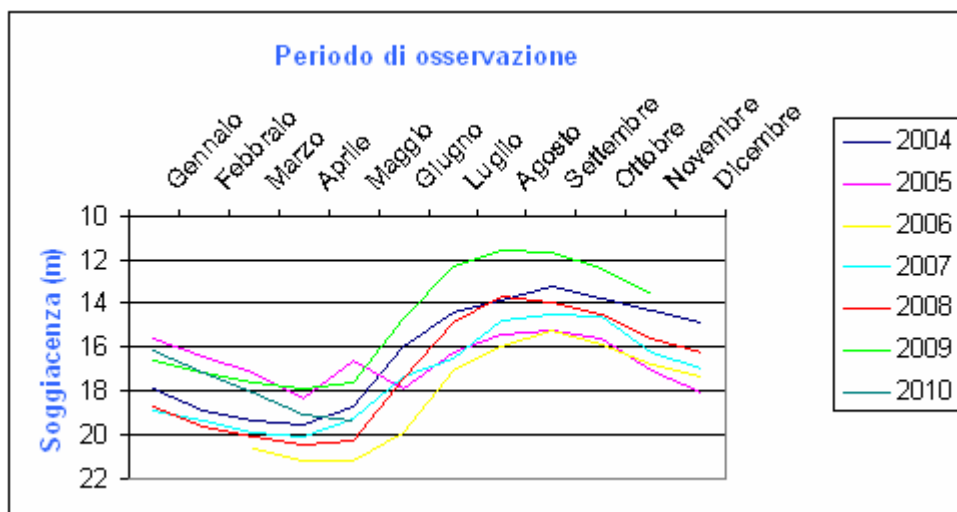


Figura 4.16 b – Andamento annuale della soggiacenza misurata in corrispondenza del punto di misura A053 nel periodo gennaio 2004 – aprile 2010.

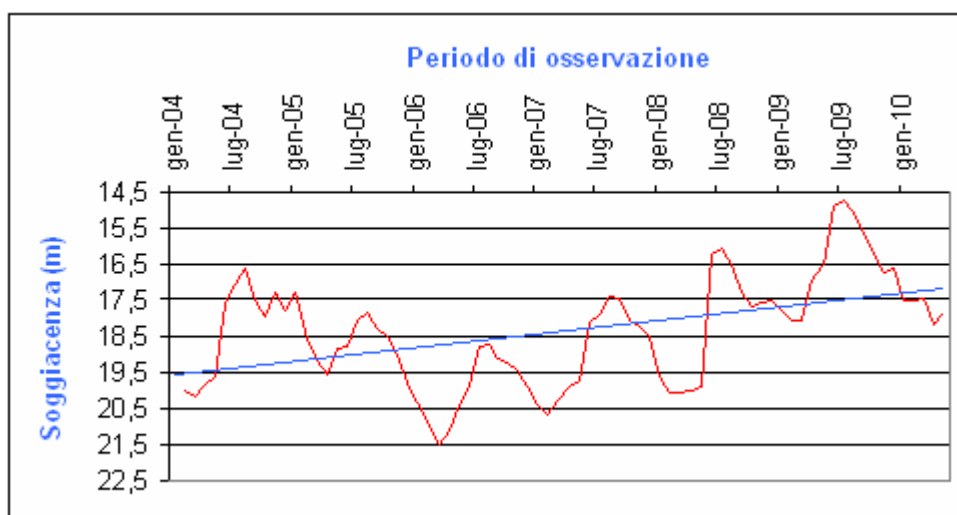


Figura 4.17 a – Andamento complessivo della soggiacenza misurata in corrispondenza del punto di misura A055 nel periodo gennaio 2004 – aprile 2010.

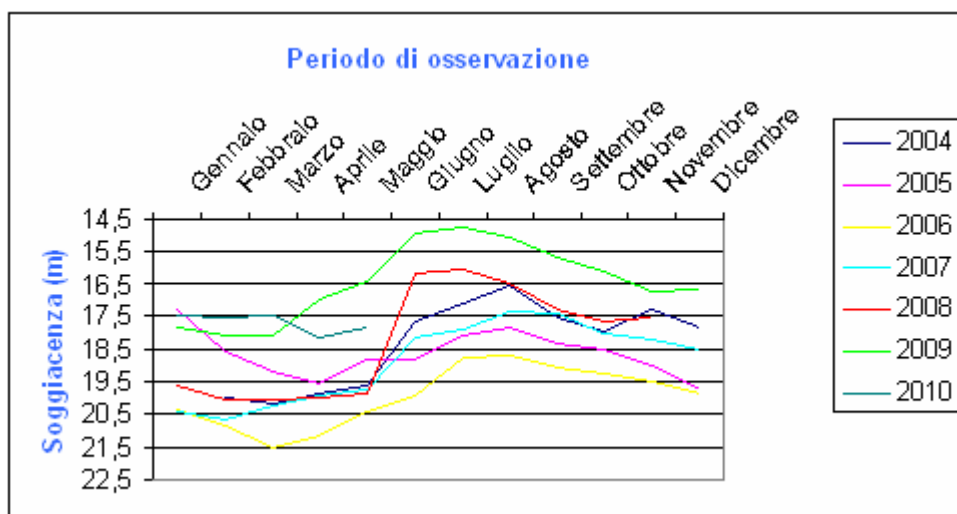


Figura 4.17 b – Andamento annuale della soggiacenza misurata in corrispondenza del punto di misura A055 nel periodo gennaio 2004 – aprile 2010.

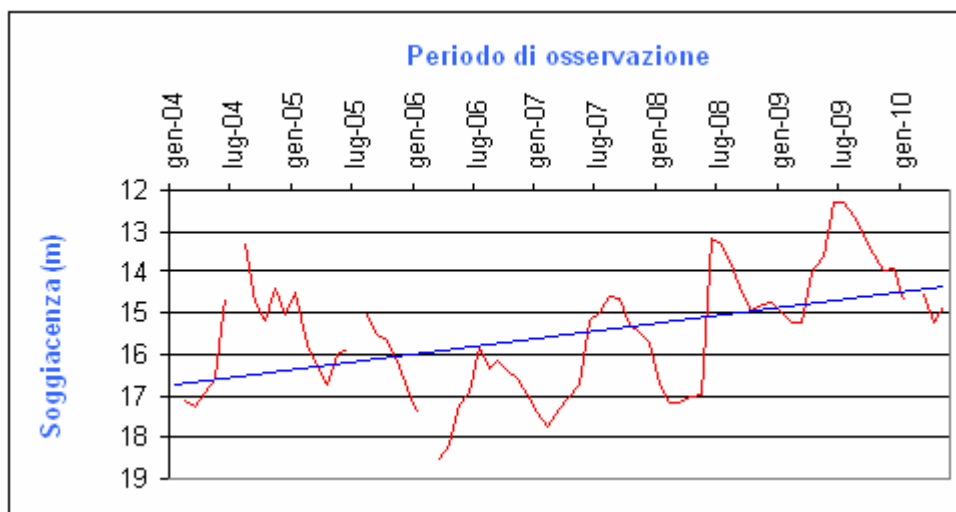


Figura 4.18 a – Andamento complessivo della soggiacenza misurata in corrispondenza del punto di misura Ao54 nel periodo gennaio 2004 – aprile 2010.

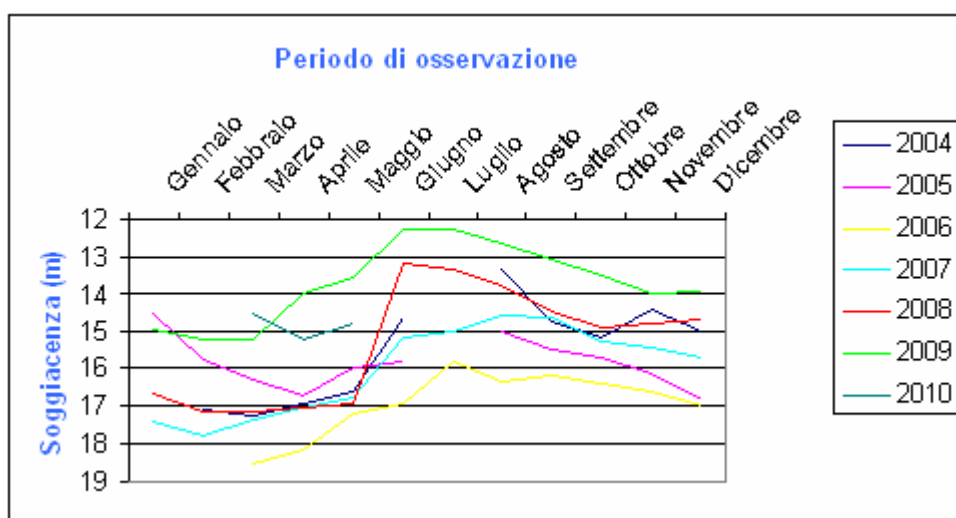


Figura 4.18 b – Andamento annuale della soggiacenza misurata in corrispondenza del punto di misura Ao54 nel periodo gennaio 2004 – aprile 2010.

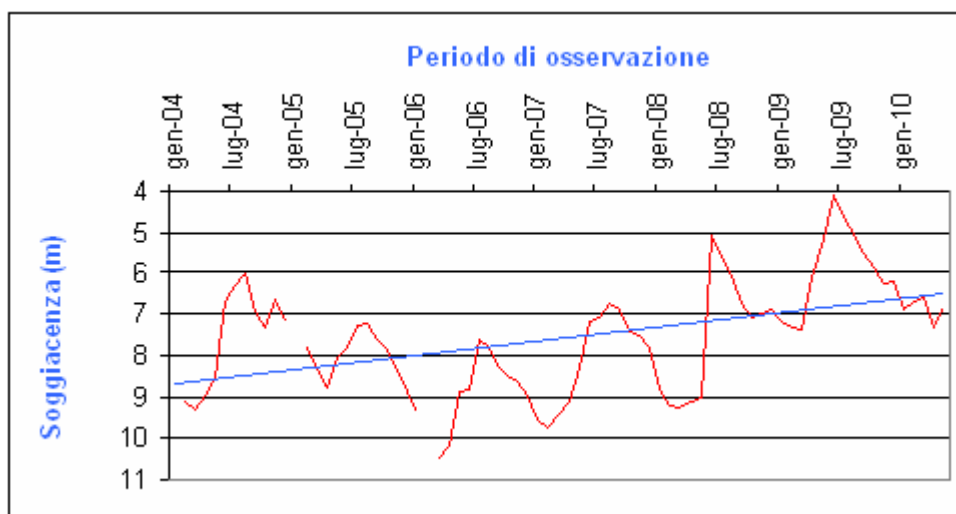


Figura 4.19 a – Andamento complessivo della soggiacenza misurata in corrispondenza del punto di misura Po13 nel periodo gennaio 2004 – aprile 2010.

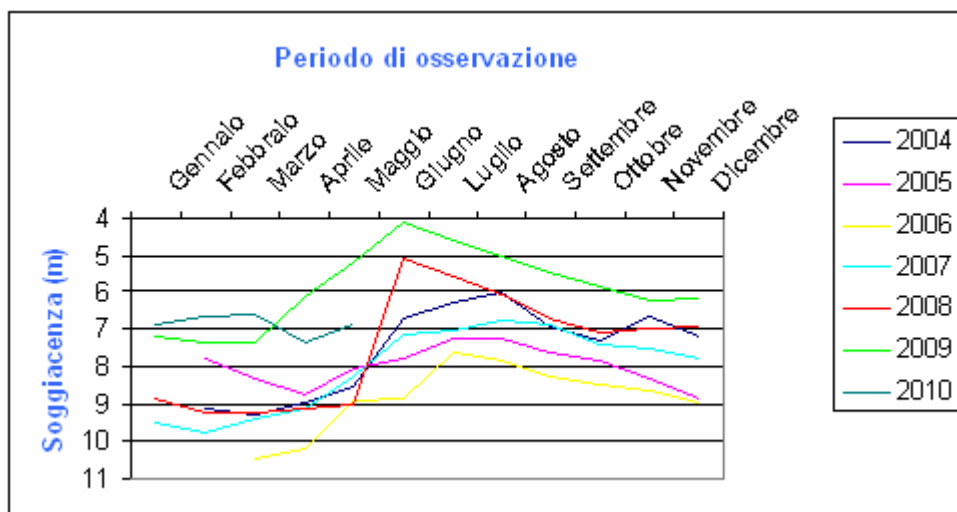


Figura 4.19 b – Andamento annuale della soggiacenza misurata in corrispondenza del punto di misura Po13 nel periodo gennaio 2004 – aprile 2010.

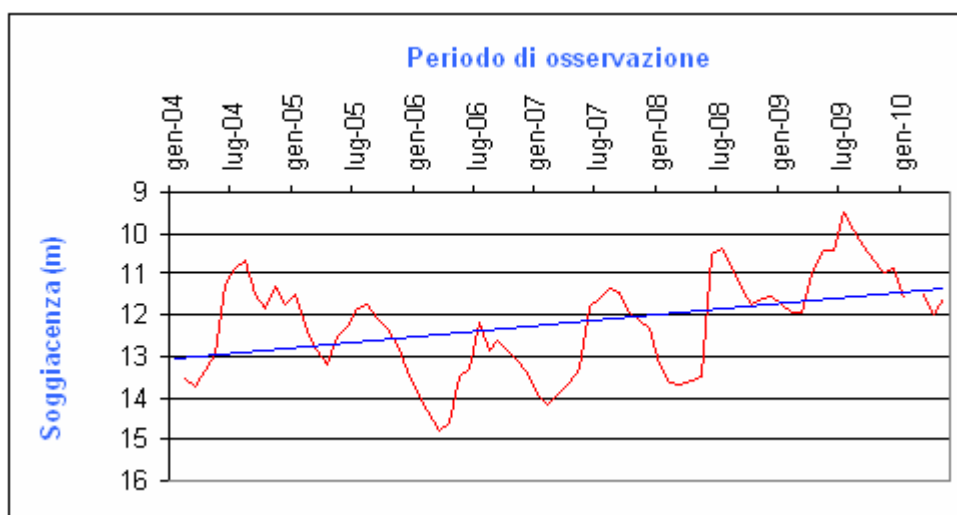


Figura 4.20 a – Andamento complessivo della soggiacenza misurata in corrispondenza del punto di misura Ao56 nel periodo gennaio 2004 – aprile 2010.

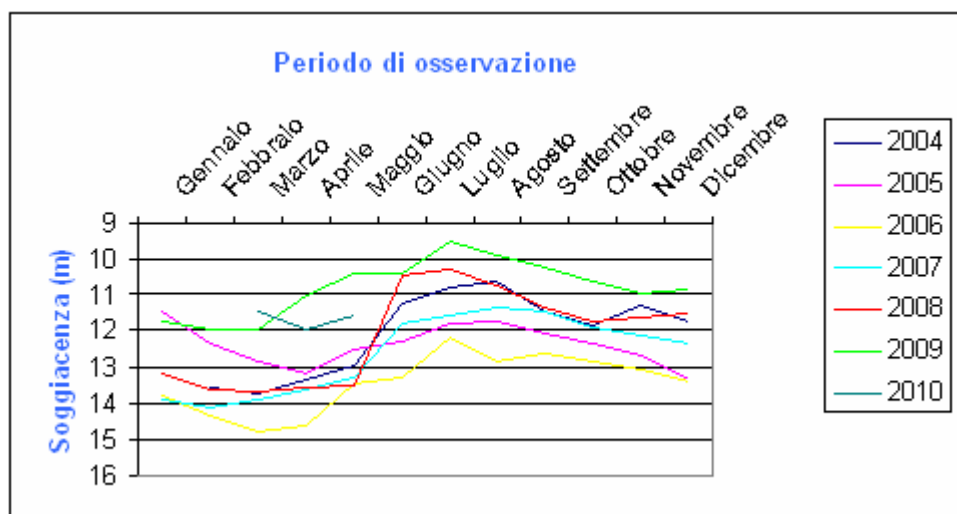


Figura 4.20 b – Andamento annuale della soggiacenza misurata in corrispondenza del punto di misura Ao56 nel periodo gennaio 2004 – aprile 2010.

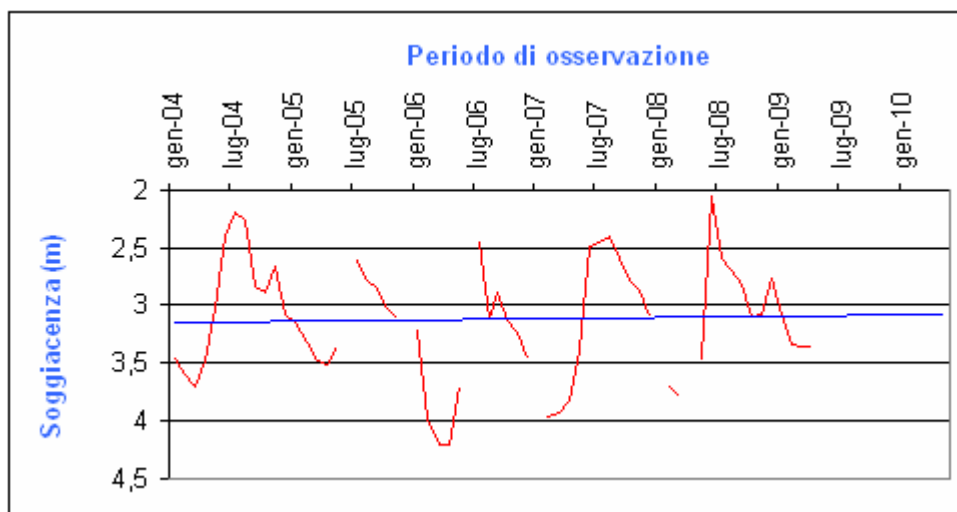


Figura 4.21 a – Andamento complessivo della soggiacenza misurata in corrispondenza del punto di misura SC2 nel periodo gennaio 2004 – aprile 2009 (dopo di che le misure non sono state più possibili causa lavori sul testa pozzo).

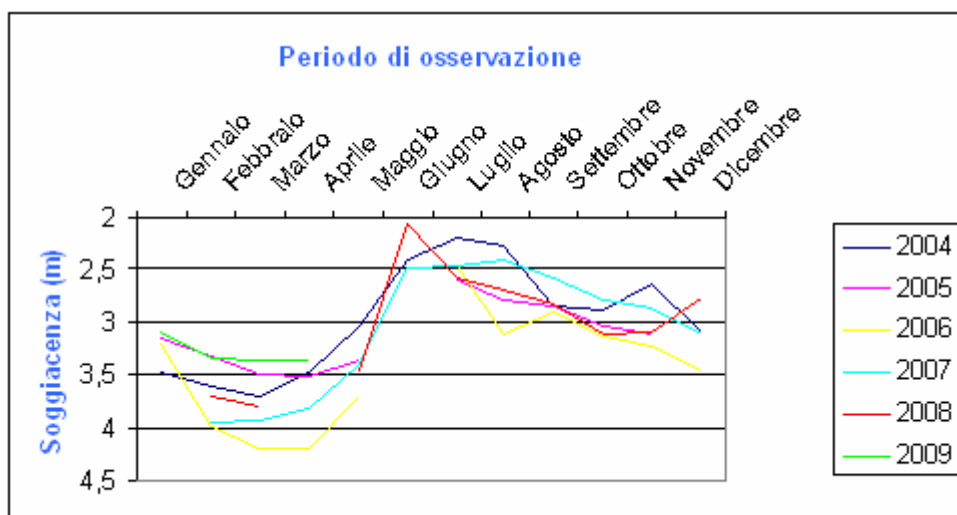


Figura 4.21 b – Andamento annuale della soggiacenza misurata in corrispondenza del punto di misura SC2 nel periodo gennaio 2004 – aprile 2009.

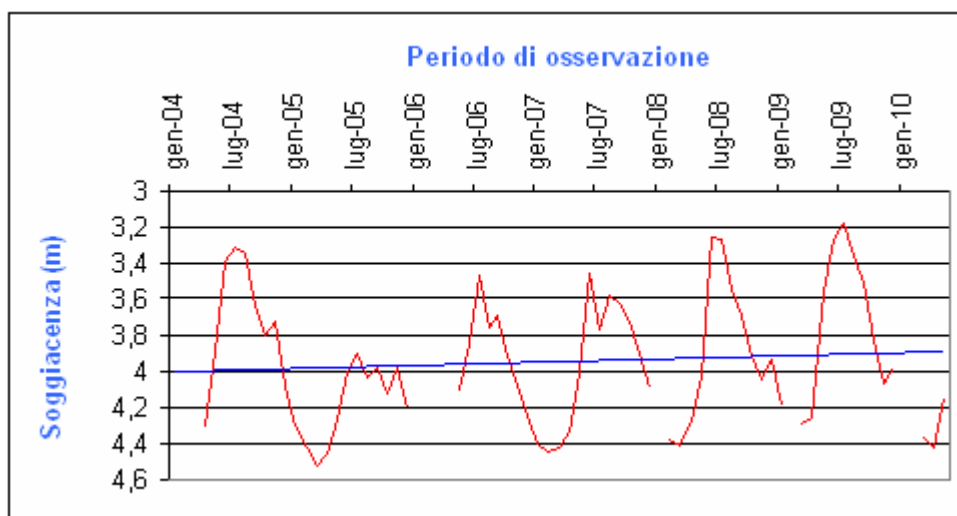


Figura 4.22 a – Andamento complessivo della soggiacenza misurata in corrispondenza del punto di misura Qu10 nel periodo gennaio 2004 – aprile 2010.

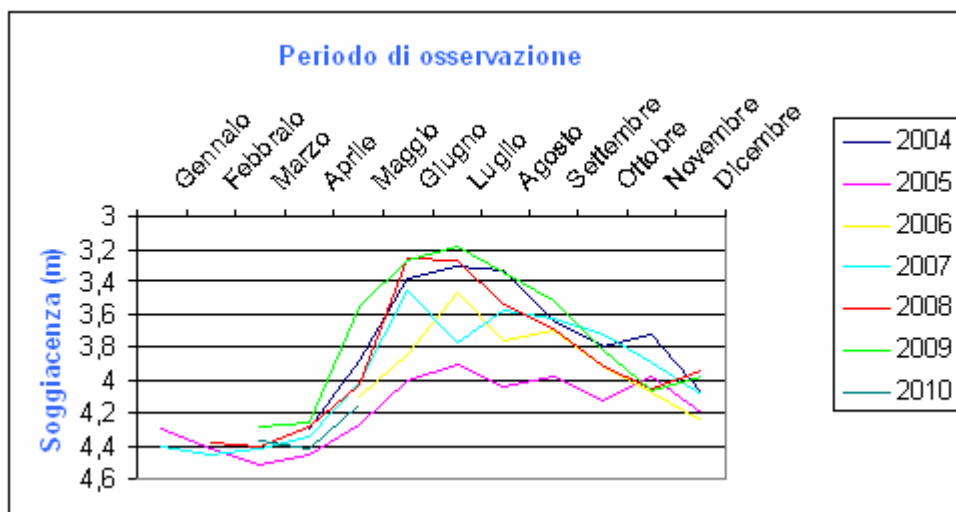


Figura 4.22 b – Andamento annuale della soggiacenza misurata in corrispondenza del punto di misura Qu10 nel periodo gennaio 2004 – aprile 2010.

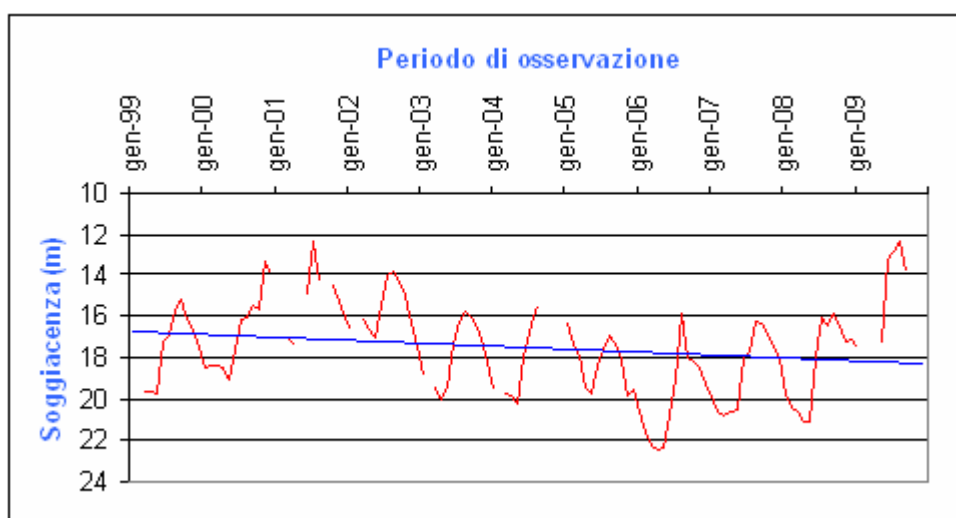


Figura 4.23 a – Andamento complessivo della soggiacenza misurata in corrispondenza del punto di misura Ao32 (ubicato a monte del sito industriale) nel periodo gennaio 1999 – settembre 2009.

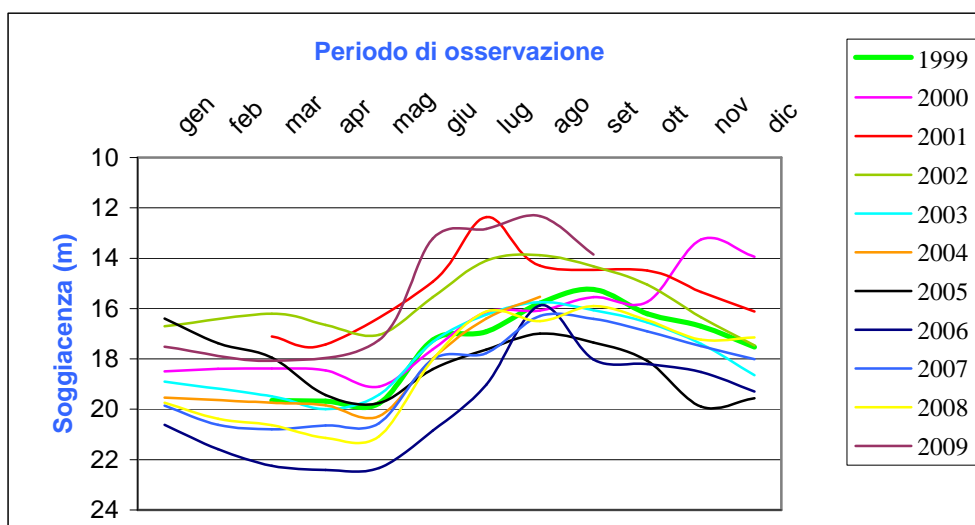


Figura 4.23 b – Andamento annuale della soggiacenza misurata in corrispondenza del punto di misura Ao32 (ubicato a monte del sito industriale) nel periodo gennaio 1999 – settembre 2009.

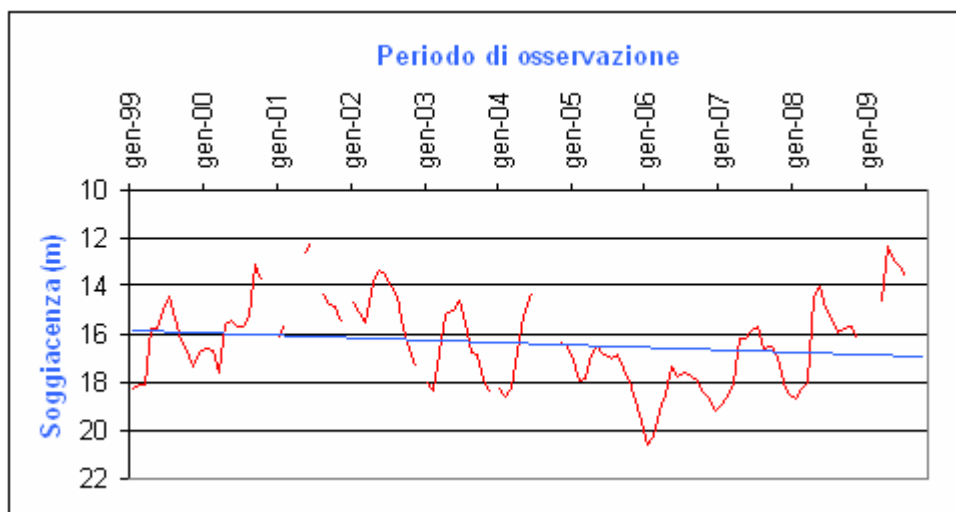


Figura 4.24 a – Andamento complessivo della soggiacenza misurata in corrispondenza del punto di misura Ao24 (ubicato a valle del sito industriale) nel periodo gennaio 1999 – settembre 2009.

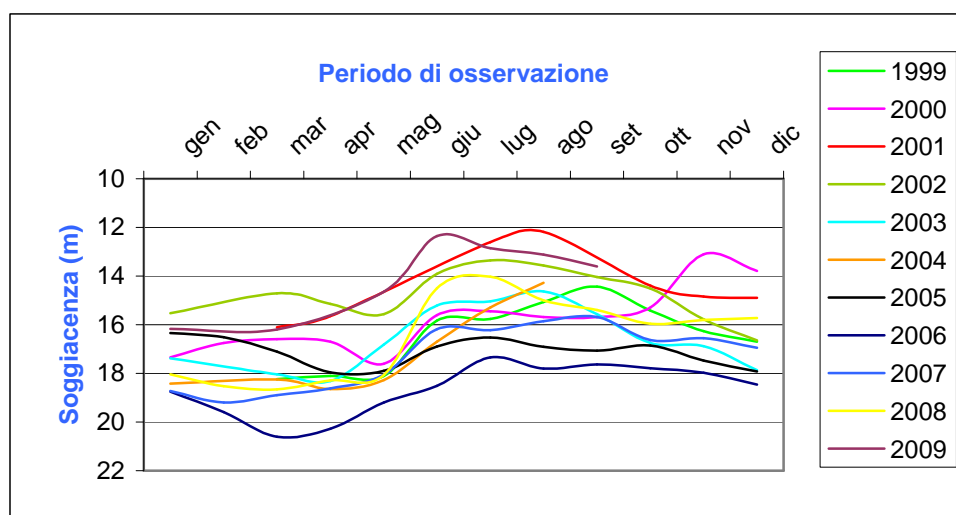


Figura 4.24 b – Andamento annuale della soggiacenza misurata in corrispondenza del punto di misura Ao24 (ubicato a valle del sito industriale) nel periodo gennaio 1999 – settembre 2009.

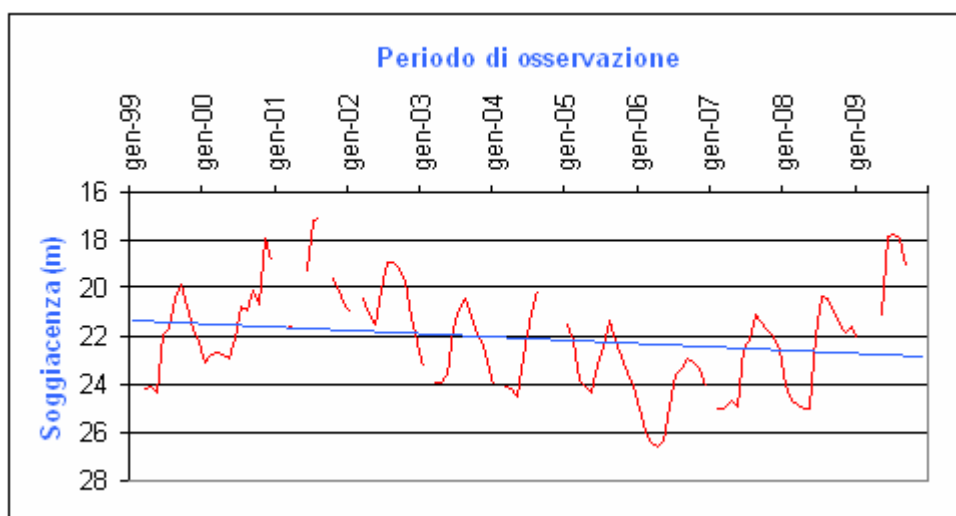


Figura 4.25 a – Andamento complessivo della soggiacenza misurata in corrispondenza del punto di misura Ao35 (ubicato nella parte centrale del sito industriale) nel periodo gennaio 1999 – settembre 2009.

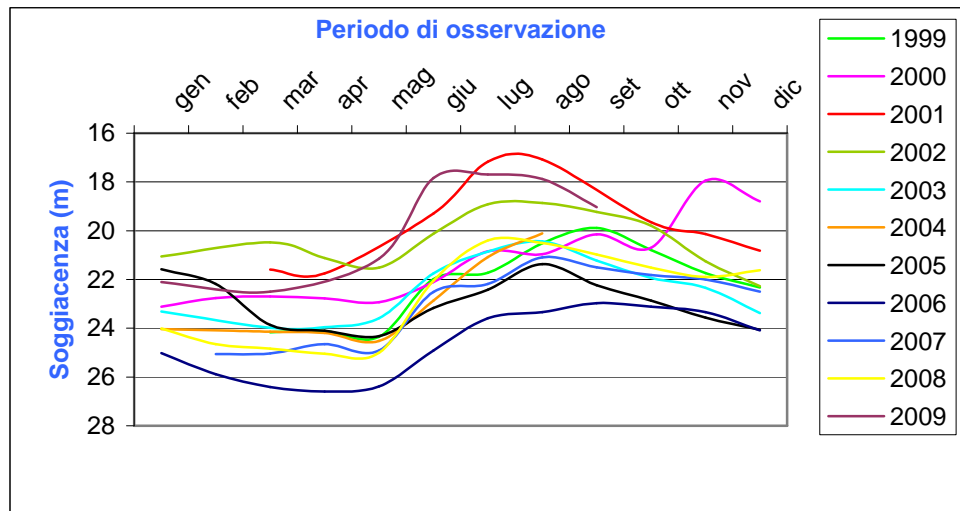


Figura 4.25 b – Andamento annuale della soggiacenza misurata in corrispondenza del punto di misura Ao35 (ubicato nella parte centrale del sito industriale) nel periodo gennaio 1999 – settembre 2009.

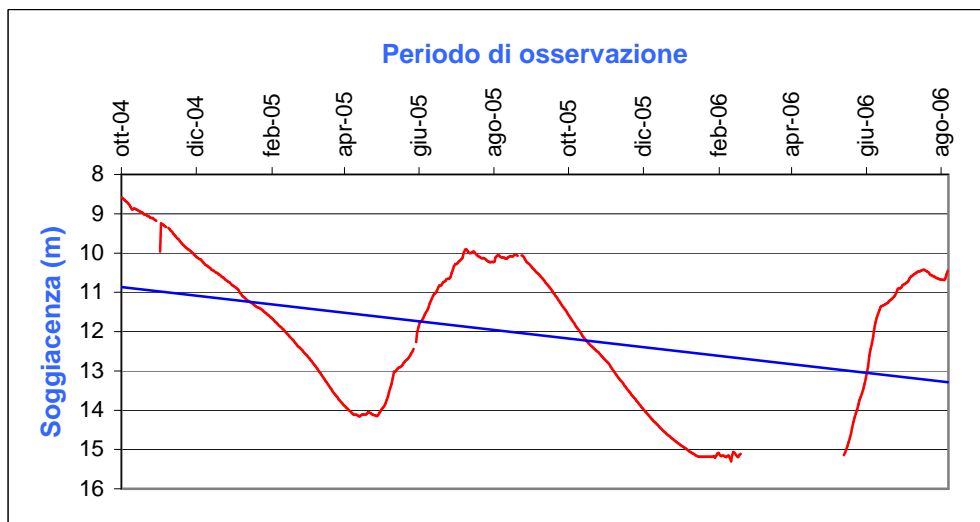


Figura 4.26 a - Andamento complessivo della soggiacenza misurata in continuo in corrispondenza del punto di misura Ao50 nel periodo ottobre 2004 – agosto 2006.

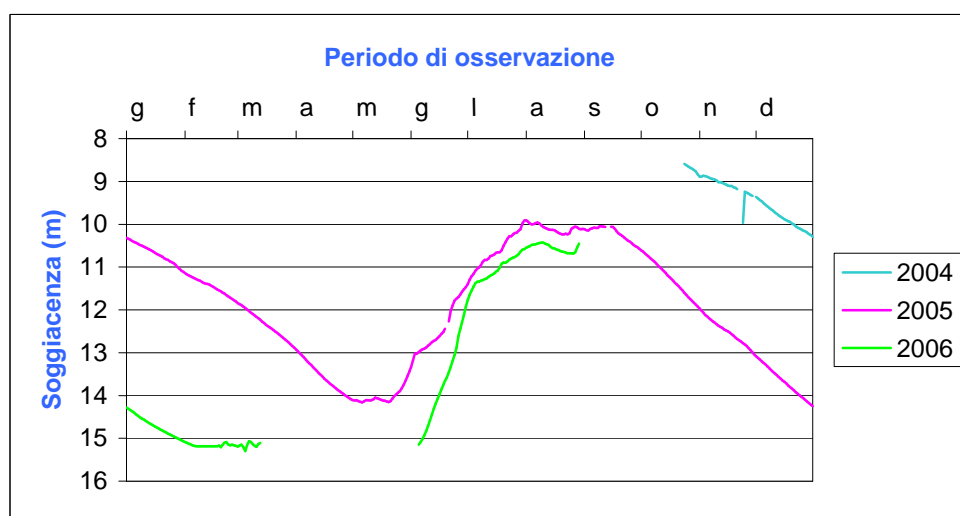


Figura 4.26 b – Andamento annuale della soggiacenza misurata in continuo in corrispondenza del punto di misura Ao50 nel periodo ottobre 2004 – agosto 2006.

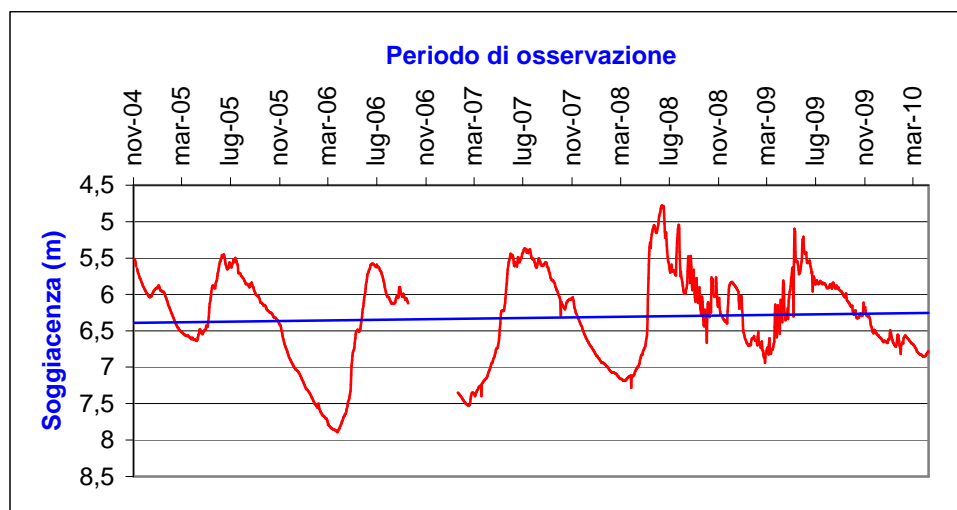


Figura 4.27 a - Andamento complessivo della soggiacenza misurata in continuo in corrispondenza del punto di misura SC5 nel periodo novembre 2004 – aprile 2010.

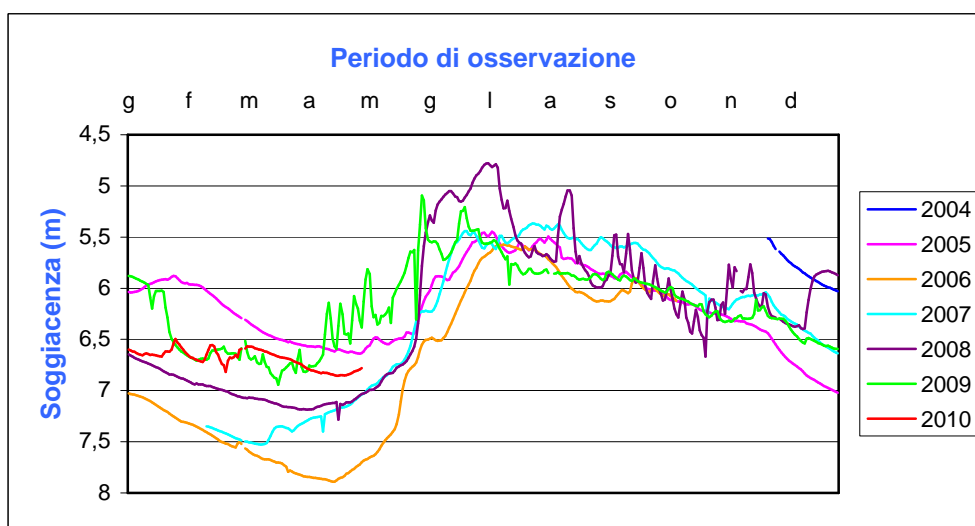


Figura 4.27 b – Andamento annuale della soggiacenza misurata in continuo in corrispondenza del punto di misura SC5 nel periodo novembre 2004 – aprile 2010. Le oscillazioni dei livelli evidenti a partire dalla seconda metà del 2008 fino ad oggi sono causate dal pompaggio di un pozzo poco distante.

Le principali evidenze dei suddetti grafici sono riassunte nella tabella 4.4, nella quale i n. 13 punti esaminati sono riportati procedendo da monte (Aosta ovest) verso valle (Quart).

Tabella 4.4 – Principali evidenze del monitoraggio quantitativo nella piana di Aosta.

Punto di misura	Serie storica	Massimo abbassamento stagionale		Massimo innalzamento stagionale		Massima escursione annuale m	Trend pluriennale
		anno	mese	anno	mese		
Ao50	ottobre 2004 – agosto 2006	2006	aprile- maggio	2005	agosto	5,5	Non desumibile
Ao46	gennaio 2004 - aprile 2010	2006	aprile	2009	agosto	6	Lieve aumento
Ao53	gennaio 2004 - aprile 2010	2006	aprile	2009	agosto	6	Lieve aumento
Ao32	gennaio 1999 - agosto 2009	2006	aprile	2001/ 2009	agosto	6	Decrescita (ca. 1 m)
Ao35	gennaio 1999 - agosto 2009	2006	aprile	2001	luglio/agosto	5	Decrescita (ca. 1 m)
Ao24	gennaio 1999 – agosto 2009	2006	marzo	2001/ 2009	luglio/agosto	4	Decrescita (ca. 1 m)
Ao55	gennaio 2004 -aprile 2010	2006	marzo	2009	luglio	3	Aumento (> 1 m)
Ao54	gennaio 2004 - aprile 2010	2006	marzo	2009	giugno- luglio	3	Aumento (> 1 m)
Po13	gennaio 2004 - aprile 2010	2006	marzo	2009	giugno- luglio	3	Aumento (ca. 2 m)
Ao56	gennaio 2004 – aprile 2010	2006	marzo	2009	luglio	3	Aumento (> 1 m)
SC5	novembre 2004 - aprile 2010	2006	marzo- aprile	2008	luglio	3,5	Stabile/ lieve aumento
SC2	gennaio 2004 - aprile 2009	2006	marzo	2004/2008	giugno/luglio	2	Stabile
Qu10	gennaio 2004 - aprile 2010	2006	marzo	2009	luglio	1	Lieve aumento

Per quanto riguarda le variazioni stagionali della falda, desumibili dai grafici dell'andamento annuale (*figure b*), si nota innanzitutto - in tutti i casi - un andamento

ciclico piuttosto regolare, con un minimo della soggiacenza verso marzo-aprile ed un massimo intorno a luglio-agosto. Si possono inoltre fare le seguenti considerazioni:

- su quasi tutti i punti nel 2006 si verifica il massimo abbassamento estivo della falda; in particolare esso si verifica tendenzialmente ad aprile nella parte ovest (prendendo come riferimento il T. Buthier) della piana, ed a marzo in quella est;
- il massimo innalzamento estivo si verifica – considerando le serie storiche più lunghe - nell'estate 2009; anche in questo caso si ha che nella parte ovest della piana esso è raggiunto tendenzialmente in agosto, mentre in quella est a giugno-luglio;
- l'escursione stagionale annuale è di circa 6 m per la parte ovest della piana di Aosta e si riduce progressivamente verso est (da 3 m nella zona est della città di Aosta sino a 1 m nella zona di Quart- Brissogne);
- l'evento alluvionale dell'autunno 2000 è registrato nei tre piezometri delle aree industriali CAS – ex Cogne come un massimo stagionale primario, superiore a quello normale estivo.

Per quanto riguarda invece l'esame dei *trend* osservabili sul lungo periodo, bisogna innanzitutto premettere che serie storiche relativamente brevi come quelle esaminate non consentono un'analisi dei dati affidabile, in quanto come si vede variazioni anche piccole nell'intervallo delle serie storiche disponibile influenzano fortemente il risultato (i punti la cui serie storica è aggiornata all'aprile 2010 mostrano un *trend* in risalita o lieve risalita, mentre quelli i cui dati si arrestano al 2009 evidenziano un decremento).

Tuttavia si può evidenziare che gli aumenti, o i decrementi, messi in luce dalle serie storiche disponibili sono contenuti nell'ordine di 1-2 m. Tale ordine di grandezza appare poco significativo, a fronte di uno spessore dell'acquifero nella piana di Aosta che – seppure come detto non sia noto – è sicuramente superiore a 100 m.

Le misure di soggiacenza riportate in carta (Fig. 4.28) relative al mese di giugno 2009, mostrano che la soggiacenza della falda è molto più elevata nella parte occidentale della piana e sul conoide del T. Buthier, mentre ad est di Aosta l'acquifero è più superficiale.

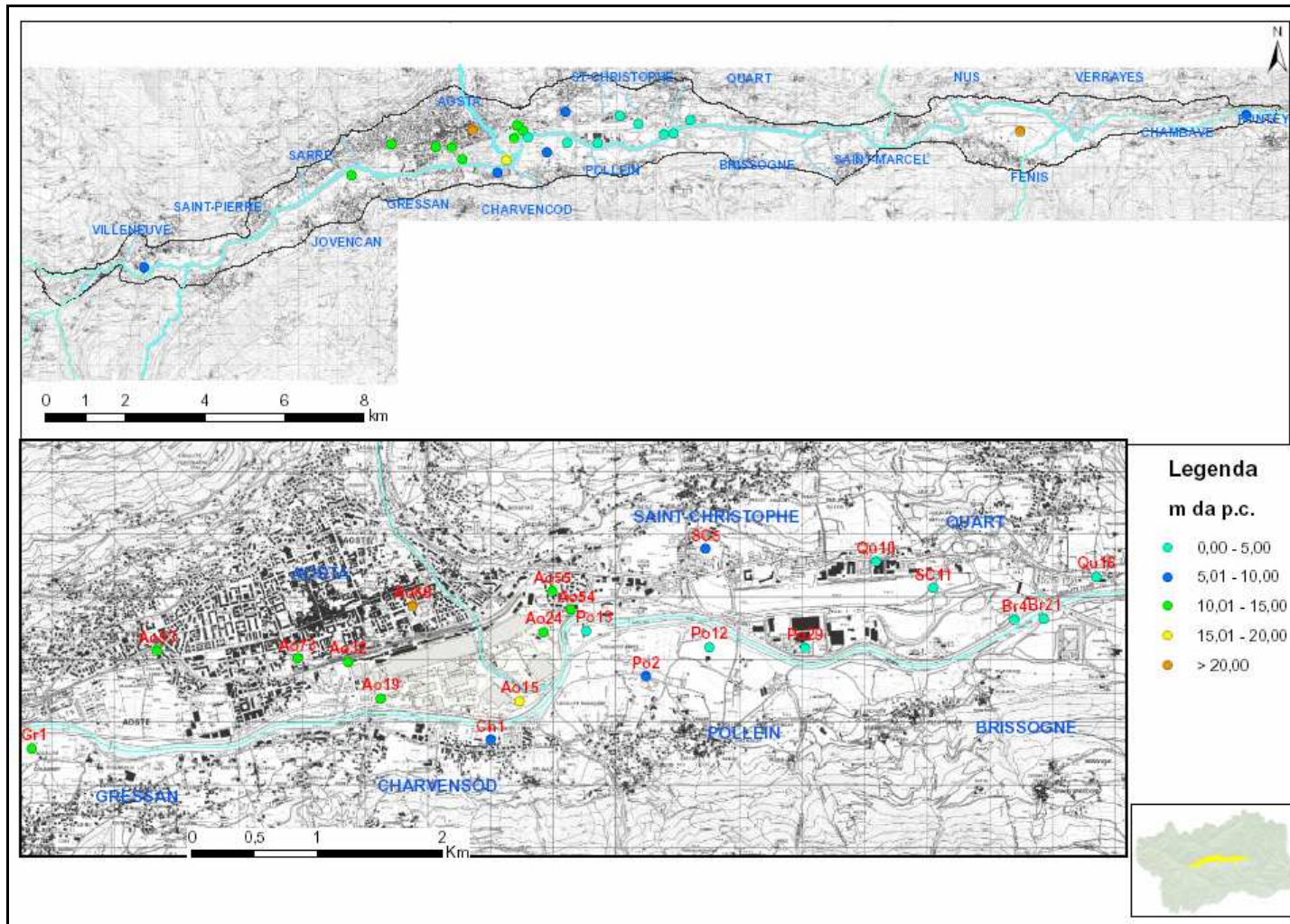


Figura 4.28 – Carta della soggiacenza della piana di Aosta – giugno 2009.

4.2.1.2 Piana di Verrès-Issogne-Arnad

La rete di monitoraggio quantitativa (Fig. 4.29) dell'ARPA Valle d'Aosta è composta da due pozzi (Vè1 e Vè6) ed un piezometro (Vè3), misurati a partire dal 2005.

Inoltre sono presenti tre piezometri monitorati dall'Olivetti nell'area industriale di Arnad a partire dal 2002, tra i quali ne è stato esaminato uno (Ar2).

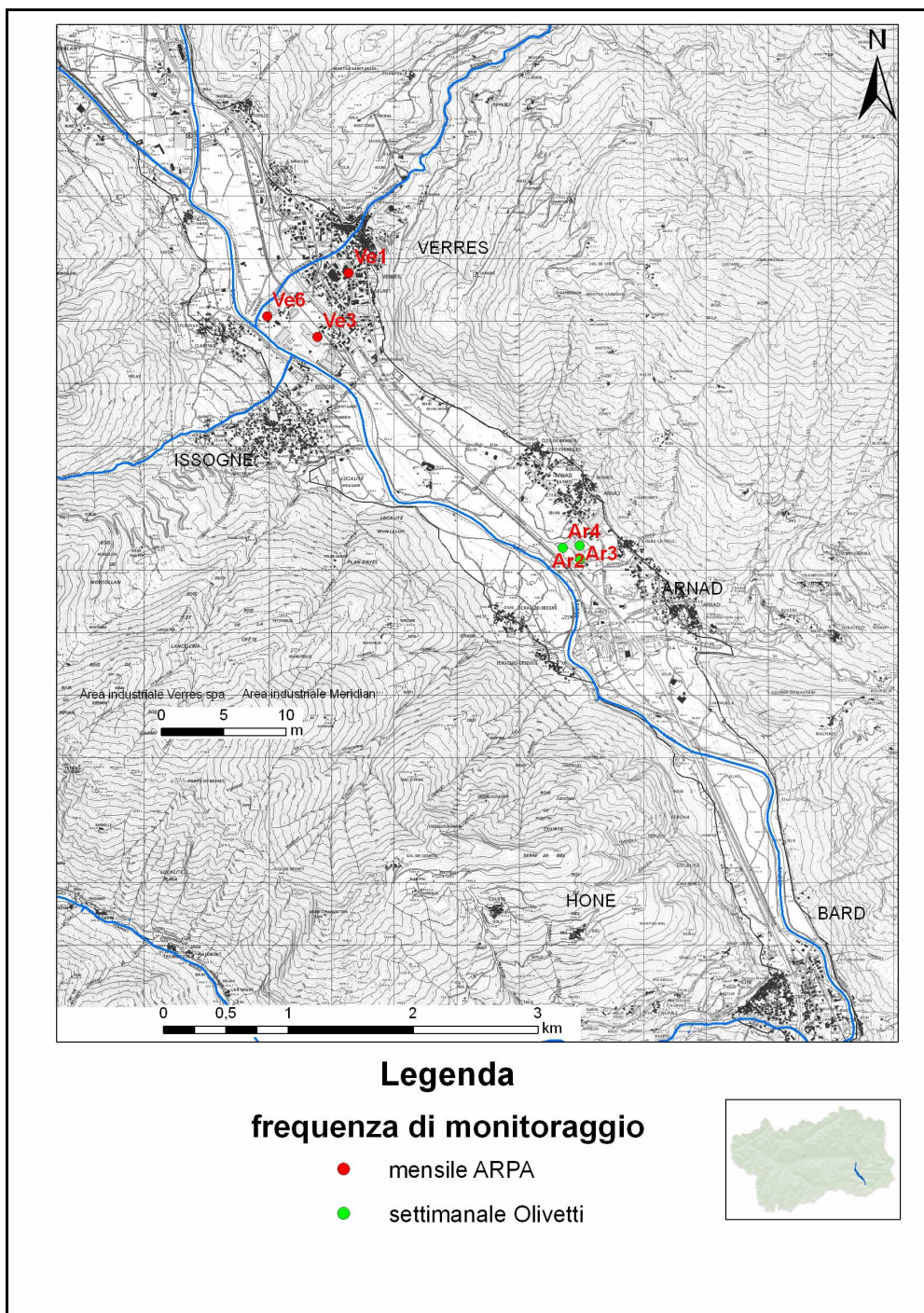


Figura 4.29 - Punti di misura utilizzati per l'esame delle escursioni piezometriche nella piana di Verrès-Issogne-Arnad.

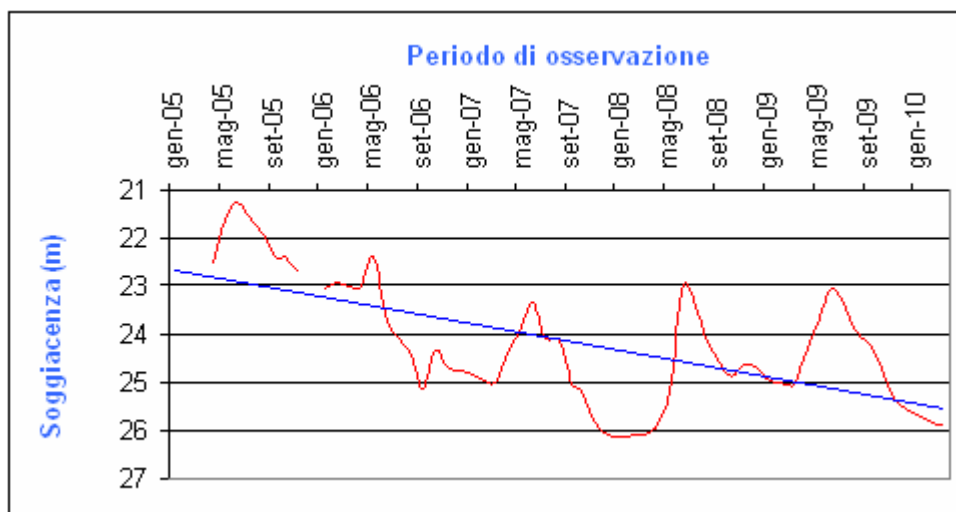


Figura 4.30 a – Andamento complessivo della soggiacenza misurata in corrispondenza del punto di misura Vè1 nel periodo gennaio 2005 – aprile 2010.

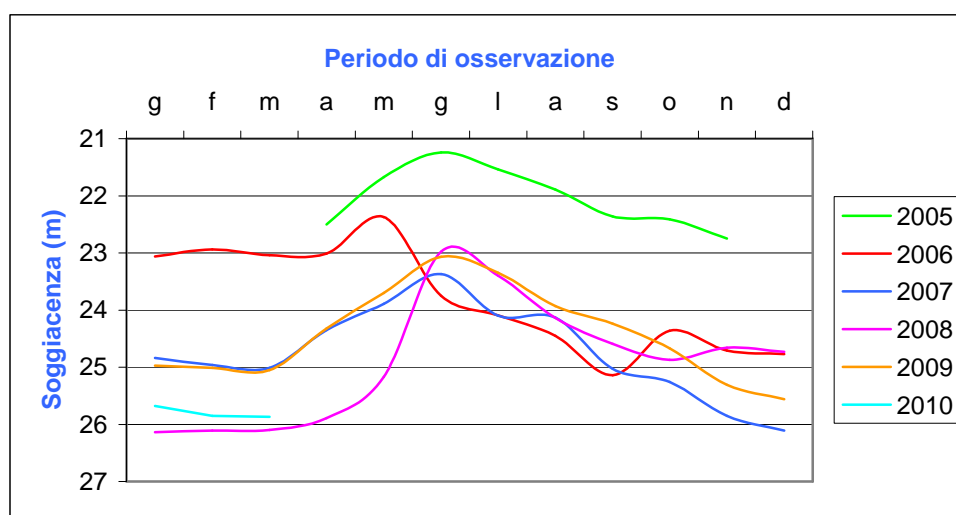


Figura 4.30 b – Andamento annuale della soggiacenza misurata in corrispondenza del punto di misura Vè1 nel periodo gennaio 2005 – aprile 2010.

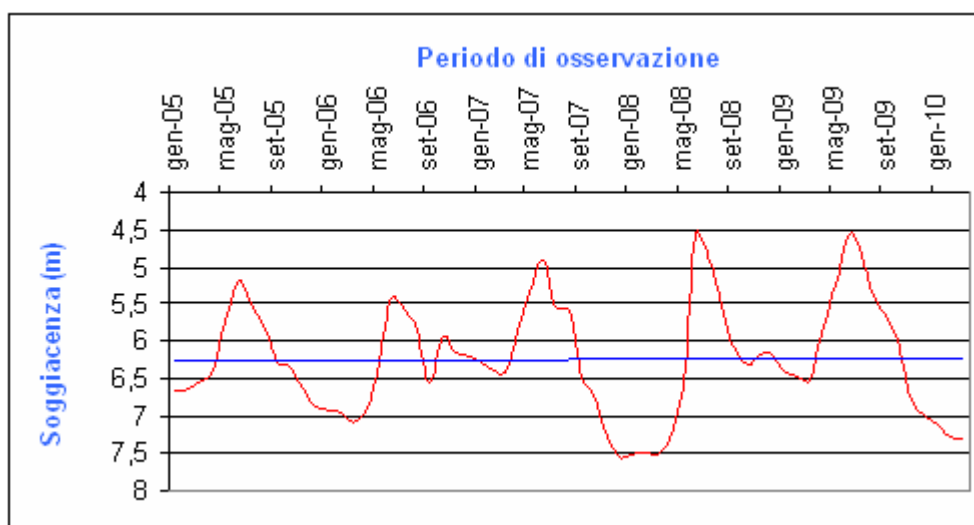


Figura 4.31 a – Andamento complessivo della soggiacenza misurata in corrispondenza del punto di misura Vè3 nel periodo gennaio 2005 – aprile 2010.

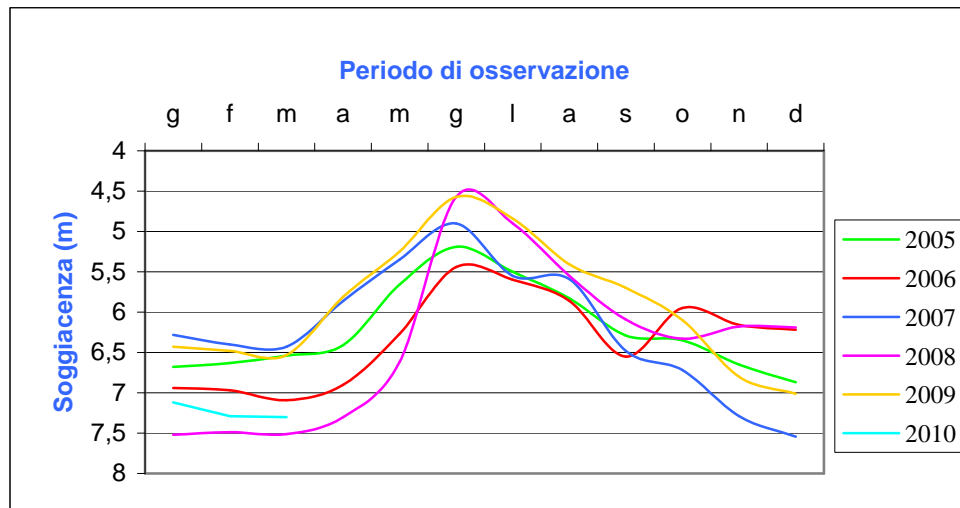


Figura 4.31 b – Andamento annuale della soggiacenza misurata in corrispondenza del punto di misura Vè3 nel periodo gennaio 2005 – aprile 2010.

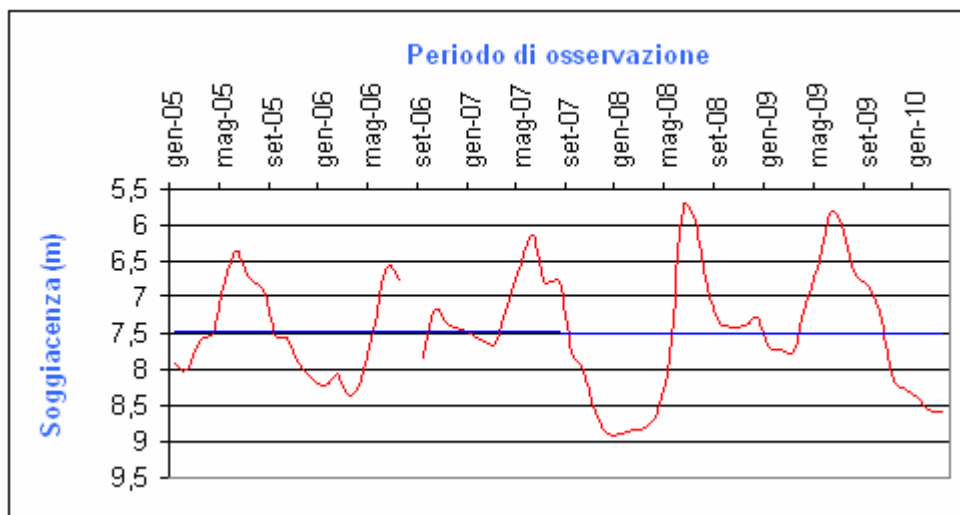


Figura 4.32 a – Andamento complessivo della soggiacenza misurata in corrispondenza del punto di misura Vè6 nel periodo gennaio 2005 – aprile 2010.

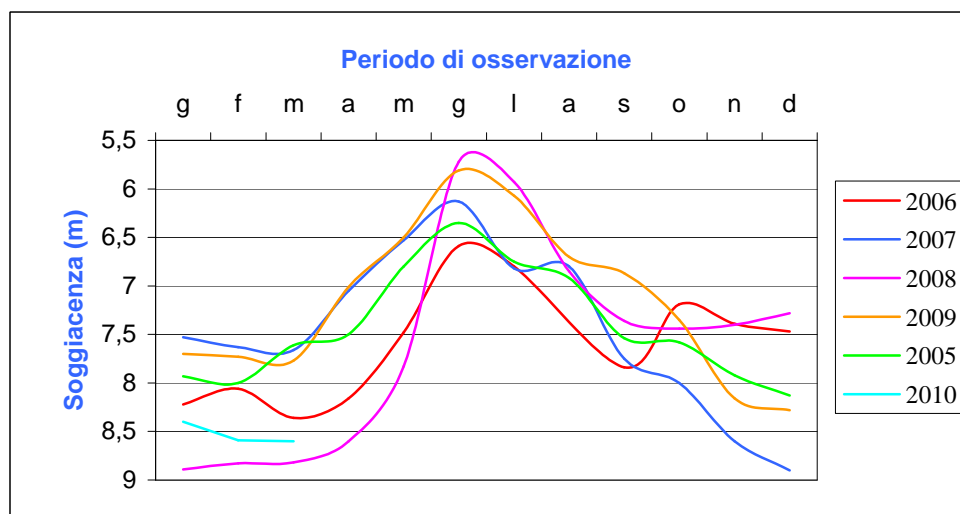


Figura 4.32 b – Andamento annuale della soggiacenza misurata in corrispondenza del punto di misura Vè6 nel periodo gennaio 2005 – aprile 2010.

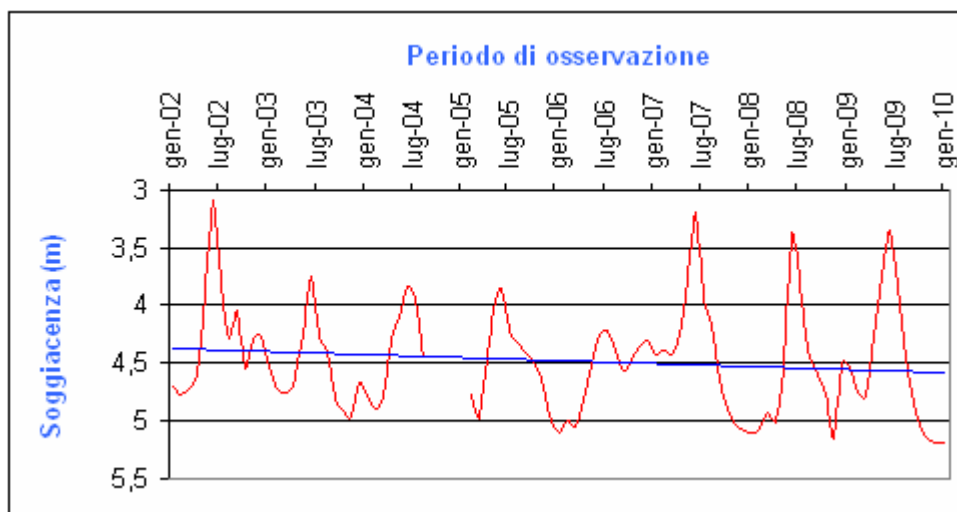


Figura 4.33 a – Andamento complessivo della soggiacenza misurata in corrispondenza del punto di misura Ar2 nel periodo gennaio 2002 – gennaio 2010.

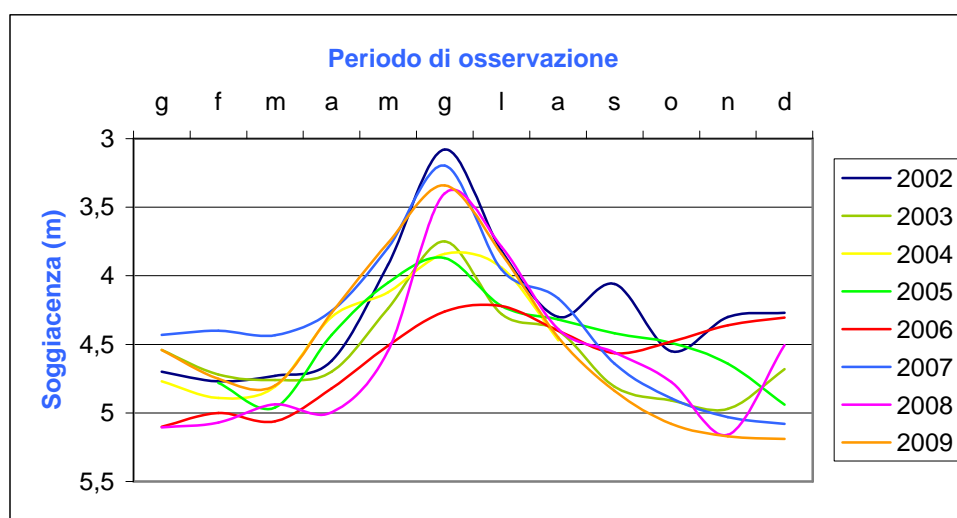


Figura 4.33 b – Andamento annuale della soggiacenza misurata in corrispondenza del punto di misura Ar2 nel periodo gennaio 2002 – gennaio 2010.

Si nota anche in questo caso una regolarità ciclica nelle variazioni stagionali del livello piezometrico, caratterizzato da un massimo ed un minimo annuale; più in particolare, le principali evidenze sono riassunte nella tabella 4.5.

Tabella 4.5 - Principali evidenze del monitoraggio quantitativo nella piana di Verrès.

Punto di misura	Serie storica	Massimo abbassamento stagionale		Massimo innalzamento stagionale		Massima escursione annuale m	Trend pluriennale
		anno	mese	anno	mese		
Vè1	aprile 2005 – aprile 2010	2007	marzo-aprile	2005	giugno	2,5	Decrescita (ca 3 m)
Vè3	gennaio 2005 – aprile 2010	2006	marzo	2008-2009	giugno	2	Stabile
Vè6	gennaio 2005 – aprile 2010	2006	marzo	2008-2009	giugno	4	Stabile
Ar2	gennaio 2002 – aprile 2010	2006	marzo	2002	giugno	1,5	Stabile – lieve decrescita

Come si vede in figura 4.34, i valori di soggiacenza variano da circa 4 (nella piana vera e propria) a 23 m (in corrispondenza del conoide di Verrès).

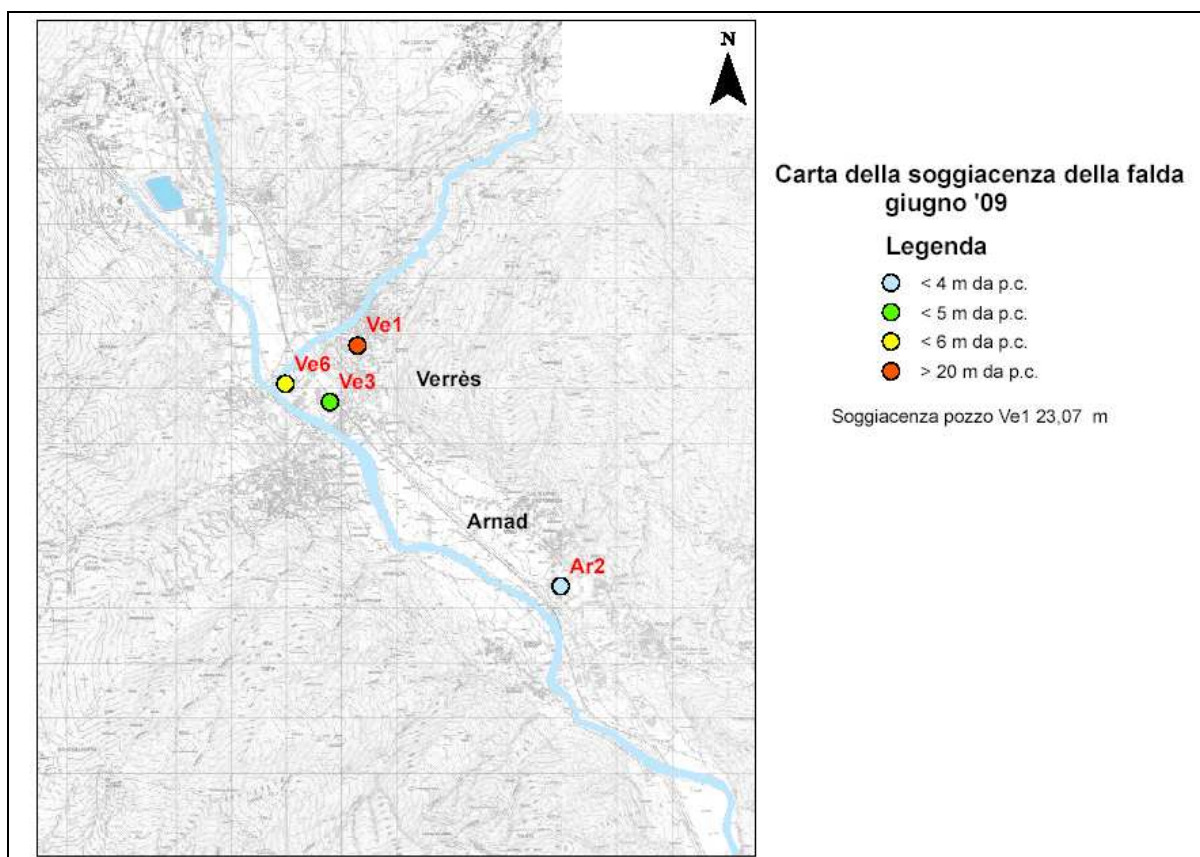


Figura 4.34 – Carta della soggiacenza della piana di Verrès-Issogne-Arnad – giugno 2009 (elaborazione ARPA Valle d’Aosta).

4.2.1.3 Piana di Donnas-Pont Saint Martin

Attualmente vi sono n. 5 punti di monitoraggio misurati mensilmente (Fig. 4.35): tre piezometri (Do2, Do11 e PSM7) e due pozzi (Do4 e Do7).

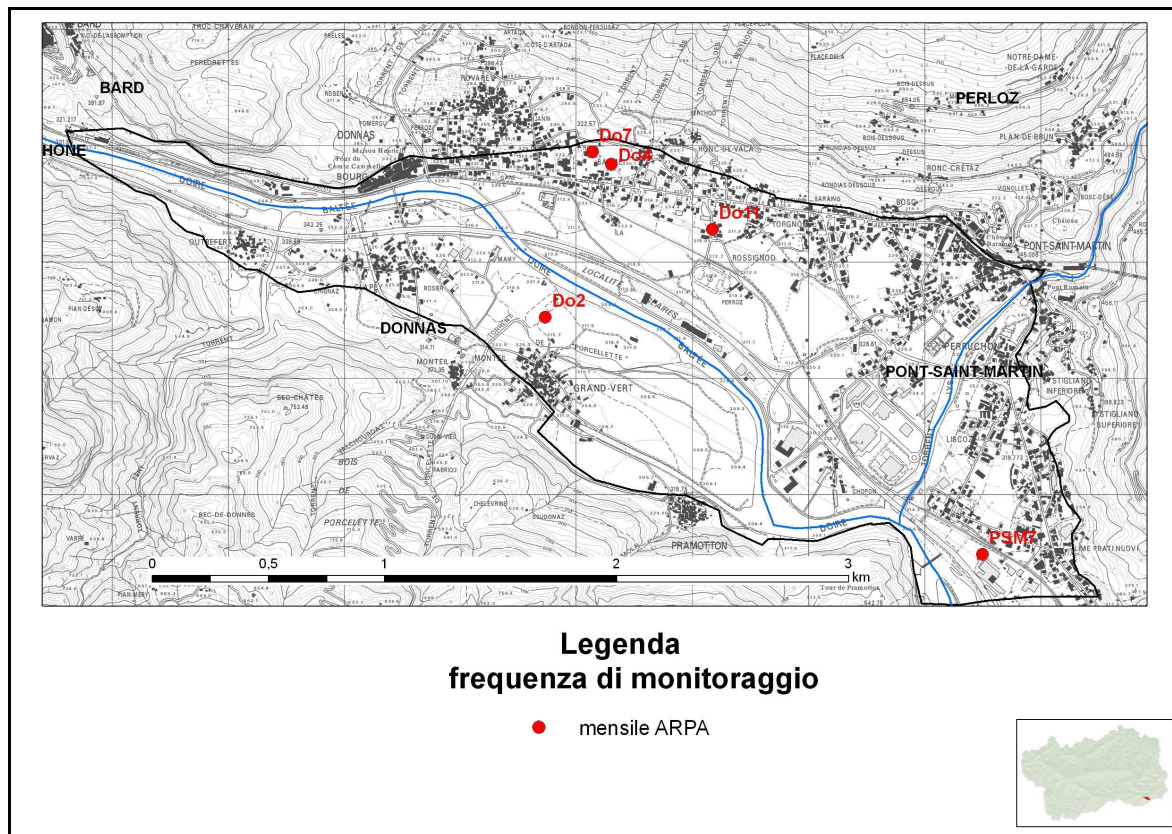


Figura 4.35 – Punti di misura utilizzati per l'esame delle escursioni piezometriche nella piana di Donnas-Pont Saint Martin.

Di seguito si illustrano i diagrammi dei punti aventi le serie storiche più lunghe.

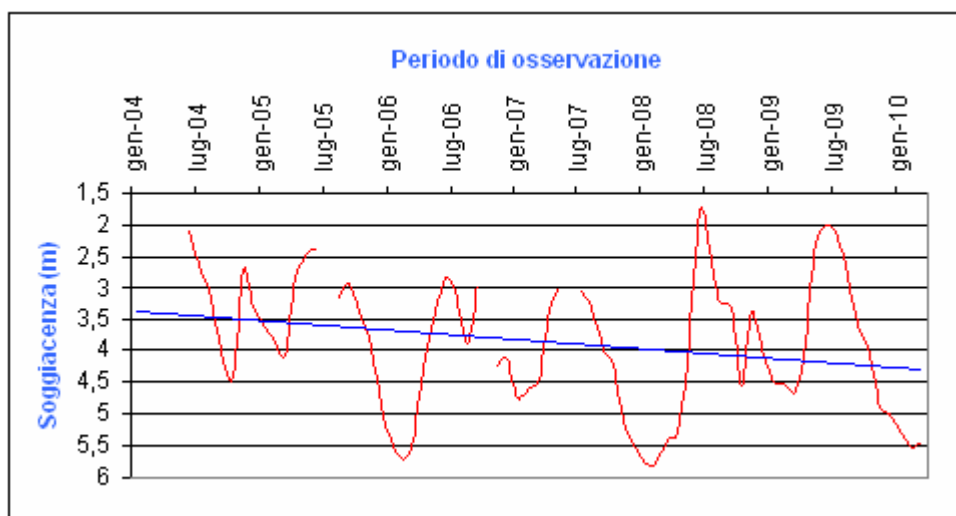


Figura 4.36 a – Andamento complessivo della soggiacenza misurata in corrispondenza del punto di misura Do2 nel periodo giugno 2004 – aprile 2010.

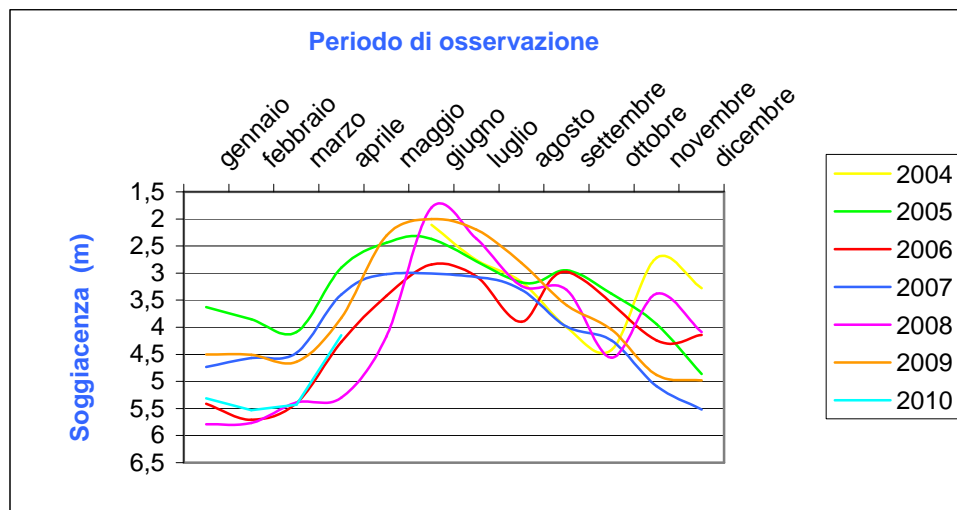


Figura 4.36 b – Andamento annuale della soggiacenza misurata in corrispondenza del punto di misura Do2 nel periodo giugno 2004 - aprile 2010.

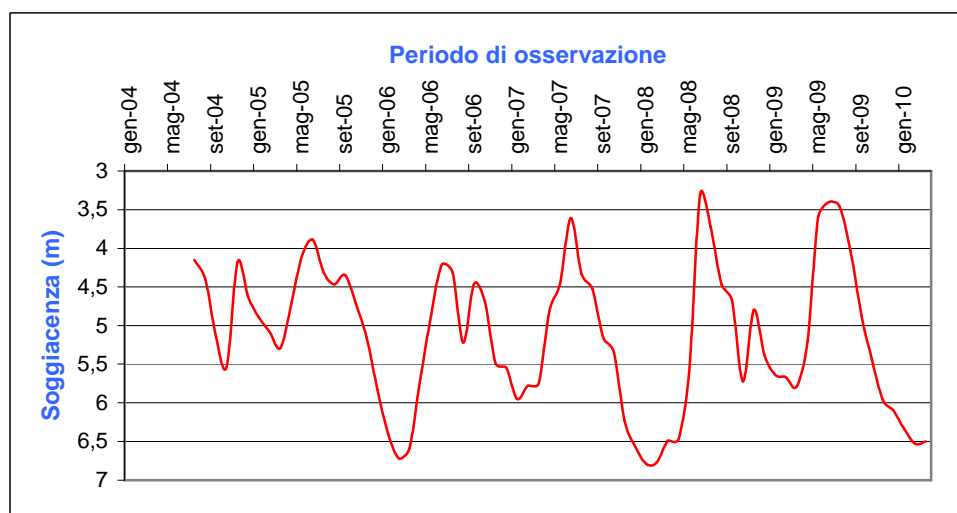


Figura 4.37 a – Andamento complessivo della soggiacenza misurata in corrispondenza del punto di misura Do4 nel periodo luglio 2004 – aprile 2010.

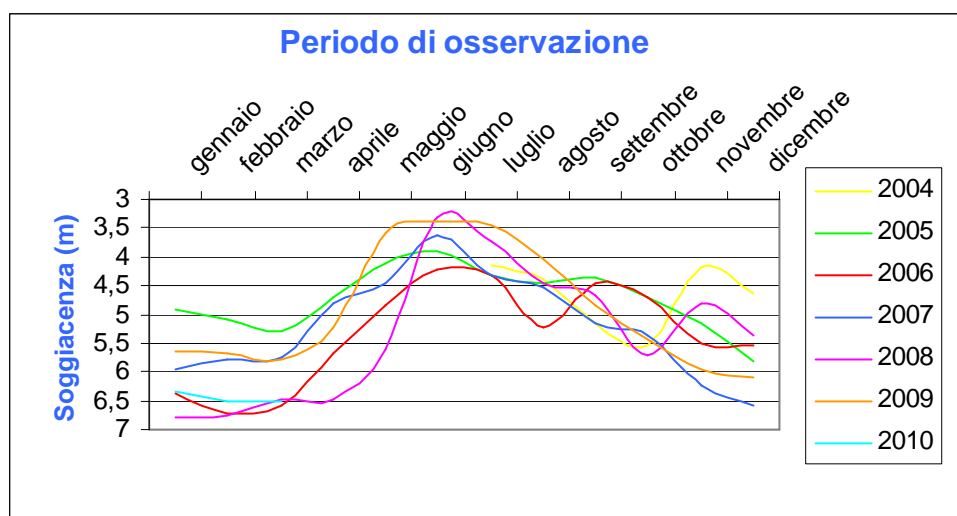


Figura 4.37 b – Andamento annuale della soggiacenza misurata in corrispondenza del punto di misura Do4 nel periodo luglio 2004 – aprile 2010.

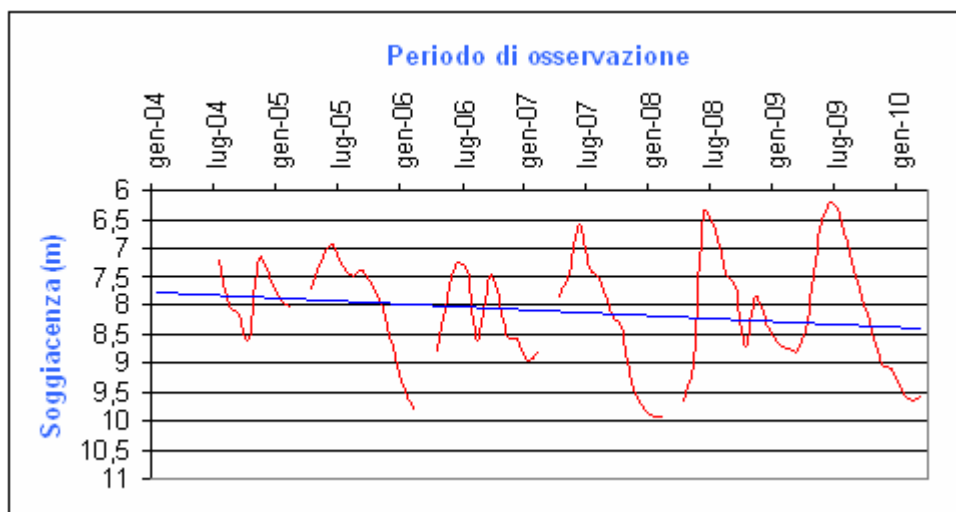


Figura 4.38 a – Andamento complessivo della soggiacenza misurata in corrispondenza del punto di misura Do7 nel periodo luglio 2004 – aprile 2010.

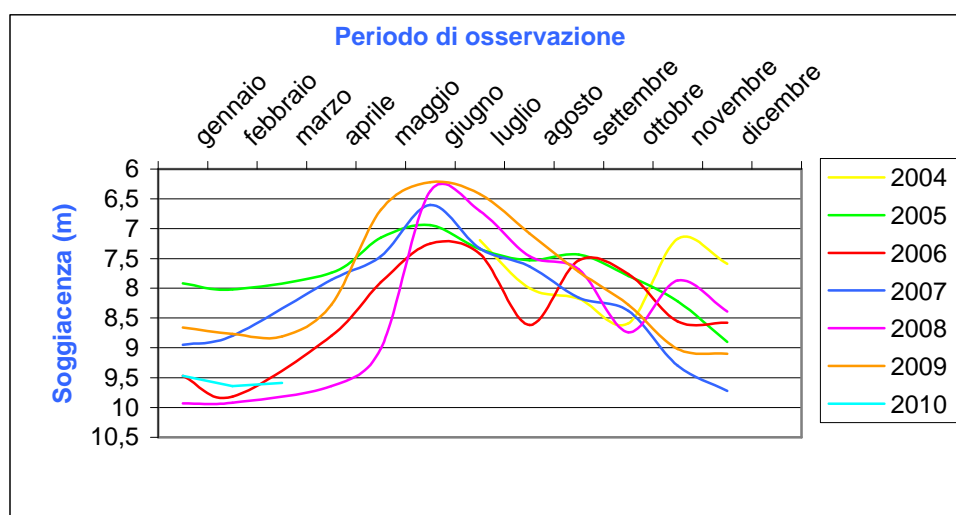


Figura 4.38 b – Andamento annuale della soggiacenza misurata in corrispondenza del punto di misura Do7 nel periodo luglio 2004 – aprile 2010.

Si osserva anche in questo caso una marcata ciclicità nelle variazioni piezometriche; le principali evidenze sono riassunte nella tabella 4.6.

Tabella 4.6 - Principali evidenze del monitoraggio quantitativo nella piana di Pont Saint Martin.

Punto di misura	Serie storica	Massimo abbassamento stagionale		Massimo innalzamento stagionale		Massima escursione annuale (m)	Trend pluriennale
		anno	mese	anno	mese		
Do2	giugno 2004 – aprile 2010	2006-2007	marzo	2008	maggio-giugno	4	Decrescita (ca 1 m)
Do4	luglio 2004 – aprile 2010	2006	marzo	2008-2009	maggio-giugno	3	Decrescita (< 1 m)
Do7	luglio 2004 – aprile 2010	2006	marzo	2009	maggio-giugno	2,5	Decrescita (< 1 m)

I valori di soggiacenza variano da un minimo di circa 1,5 m ad un massimo di all'incirca 10 m di profondità (Fig. 4.39⁵).

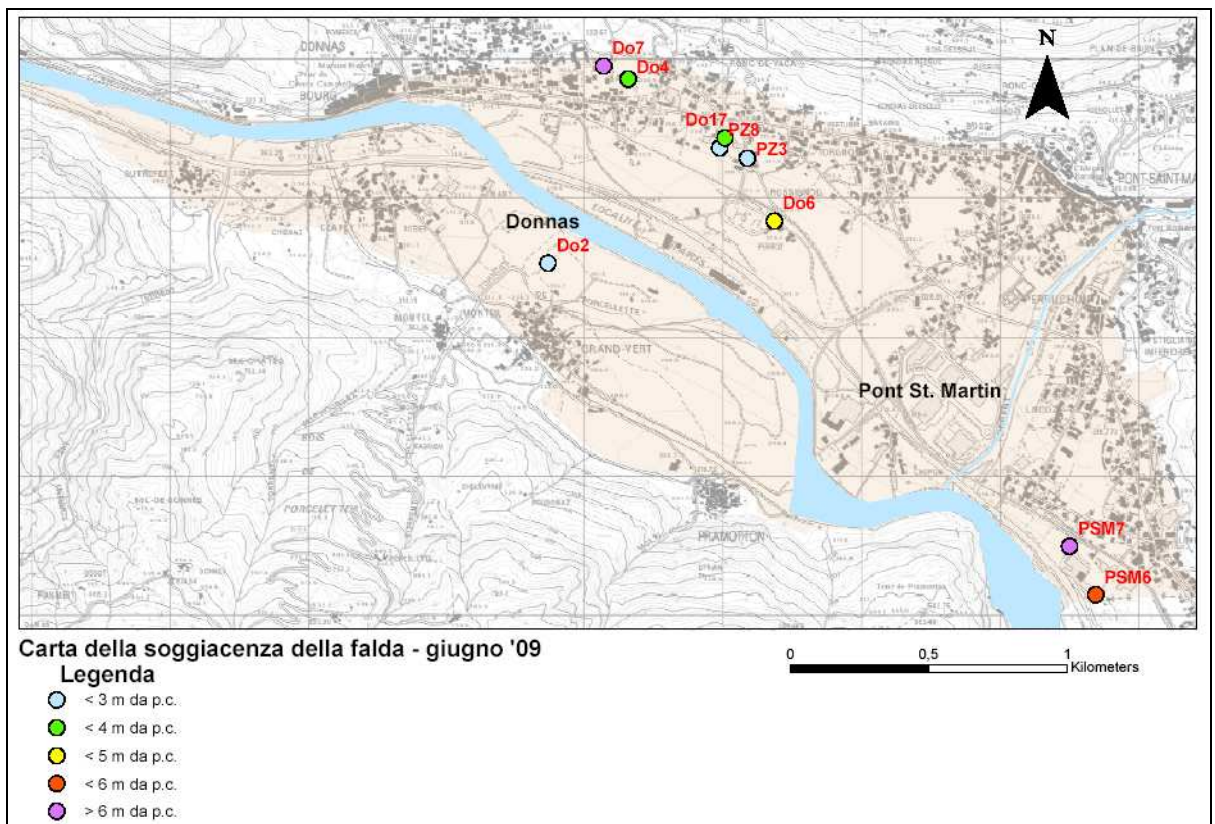


Figura 4.39 –Carta della soggiacenza nella piana di Pont Saint Martin-Donnas – giugno 2009: (elaborazione ARPA Valle d’Aosta).

4.2.2 Portate dei corsi d’acqua

In Valle d’Aosta sono presenti vari idrometri automatici⁶ (Fig. 4.40) che misurano l’altezza d’acqua dell’asta fluviale, dalla quale è possibile - tramite ricostruzione della scala di deflusso (Allegato 7) - ottenere la portata d’acqua corrispondente (portata media giornaliera).

Si premette che – a causa della presenza su tutto il territorio di numerose derivazioni idroelettriche che alterano pesantemente le portate naturali - non è possibile utilizzare i dati di portata disponibili, per la realizzazione di un bilancio idrologico; tuttavia le portate possono essere prese in esame ai fini del presente lavoro, in quanto permettono comunque di ottenere un quadro d’insieme delle variazioni di deflusso nel corso dell’anno.

⁵ Compagnoni in questa figura ulteriori punti rispetto a quelli di norma misurati mensilmente.

⁶ Dati di proprietà dell’Ufficio Idrografico regionale, che ne ha gentilmente concesso l’autorizzazione all’uso per il presente lavoro.

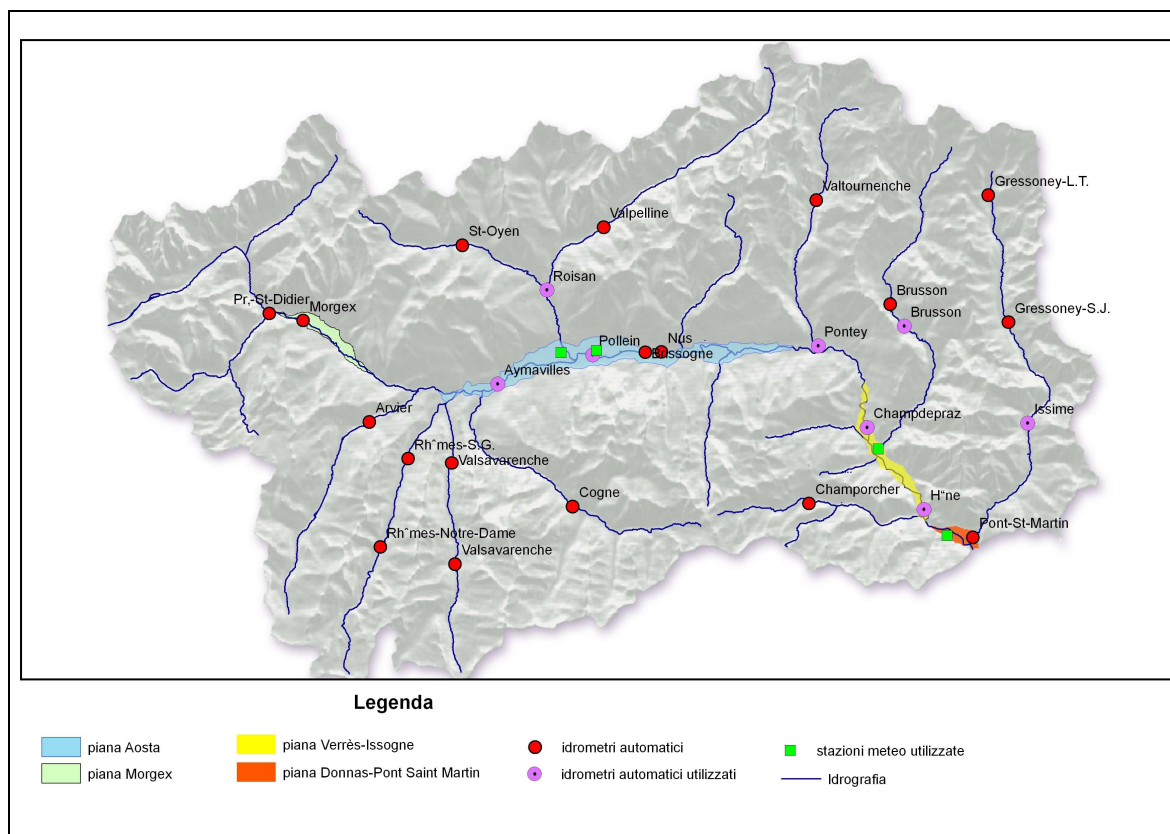


Figura 4.40 – Idrometri automatici e stazioni meteo.

Precisando che l'ufficio regionale preposto ha attribuito ad ogni idrometro un punteggio di affidabilità dei valori di portata calcolati (decrescente da 1 a 3), per il presente lavoro sono stati utilizzati i seguenti idrometri (i cui dati sono riportati in Allegato 8), ubicati nelle aree di interesse⁷ ed aventi codice di affidabilità 1-2⁸:

- n. 5 idrometri sulla Dora Baltea, di cui:
 - n. 3 riferiti alla piana di Aosta:
 - Aymavilles (serie storica di 4 anni);
 - Pollein (serie storica di 8 anni);
 - Pontey (serie storica di 8 anni);
 - uno (Champdepraz) riferito alla piana di Verrès ed avente una serie storica di 5 anni;
 - uno (Hône) ubicato tra la piana di Verrès e quella di Pont Saint Martin ed avente una serie storica di 6 anni.
- n. 3 idrometri su torrenti laterali, di cui:
 - uno (T. Buthier) ubicato nel bacino idrografico del Gran San Bernardo ed alimentante la piana di Aosta, con una serie storica di 3 anni (idrometro di Roisan);

⁷ La piana di Morgex non è stata oggetto di analisi stante la scarsità di dati freaticometrici.

⁸ Oltre a tale codice, i dati di portata a disposizione (riportati in Allegato 8) sono stati esaminati in funzione del relativo periodo di monitoraggio della falda.

- due (T. Evençon e T. Lys) nel bacino idrografico del M. Rosa, alimentanti rispettivamente la piana di Verrès e la piana di Pont Saint Martin, entrambi rispettivamente con una serie storica di 3 e 6 anni (idrometri nell'ordine di Brusson Extrapierraz ed Issime).

Con i dati di ciascun idrometro, al fine di rappresentarne in forma immediata e riassuntiva le caratteristiche, si è proceduto al calcolo e alla rappresentazione dei valori mensili medi ed estremi (massimo e minimo), per tutto il periodo di osservazione disponibile.

Inoltre, allo scopo di evidenziarne il regime di deflusso, per i tre idrometri di Pollein, Roisan e Hône è stato elaborato anche un istogramma delle medie delle portate medie mensili.

Di seguito si presentano i diagrammi dei vari idrometri.

Piana di Aosta

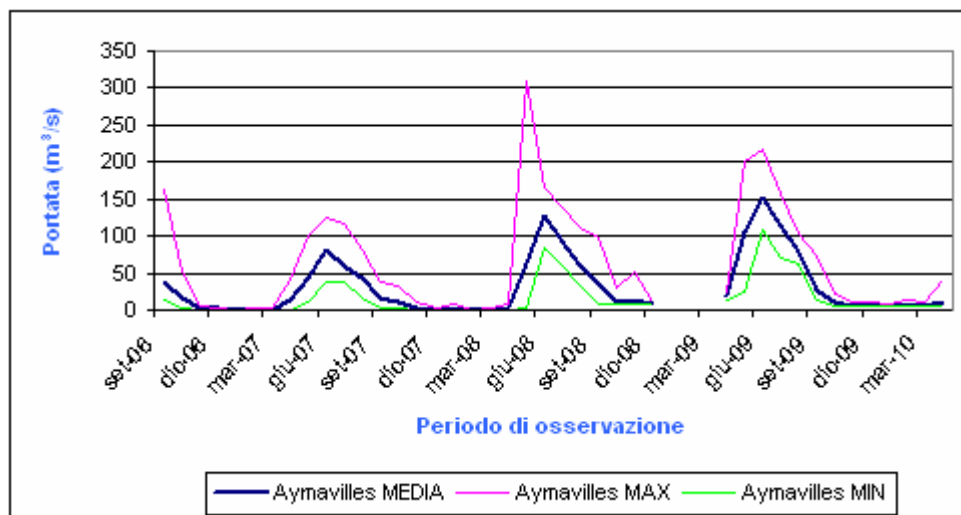


Figura 4.41 - Portata mensile (media, minima e massima) registrata dall'idrometro automatico di Aymavilles (Dora Baltea).

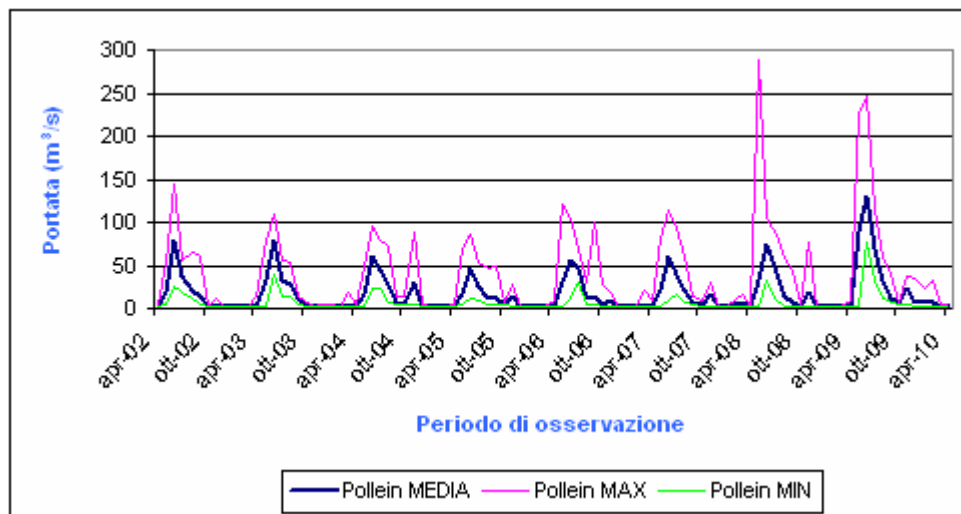


Figura 4.42 a – Portata mensile (media, minima e massima) registrata dall'idrometro automatico di Pollein (Dora Baltea).

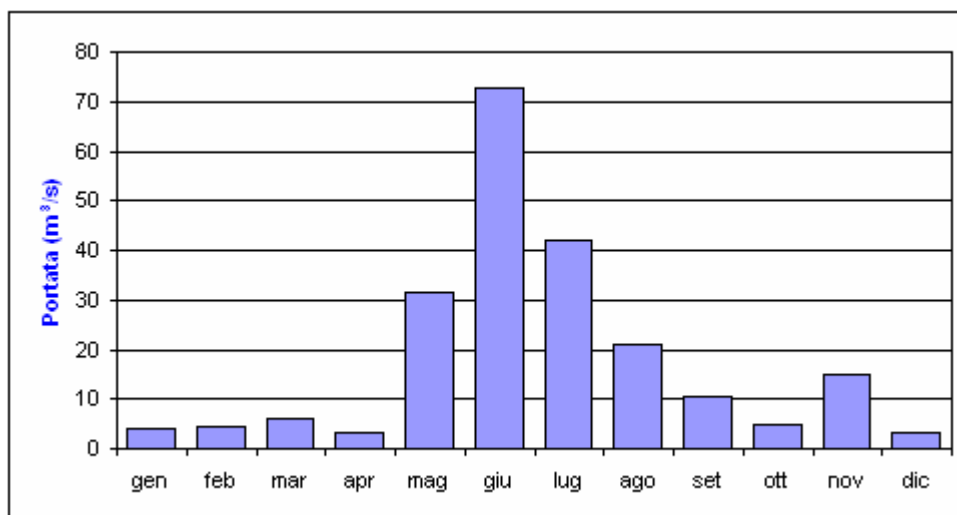


Figura 4.42 b - Medie delle portate medie mensili registrate dall'idrometro automatico di Pollein (Dora Baltea).

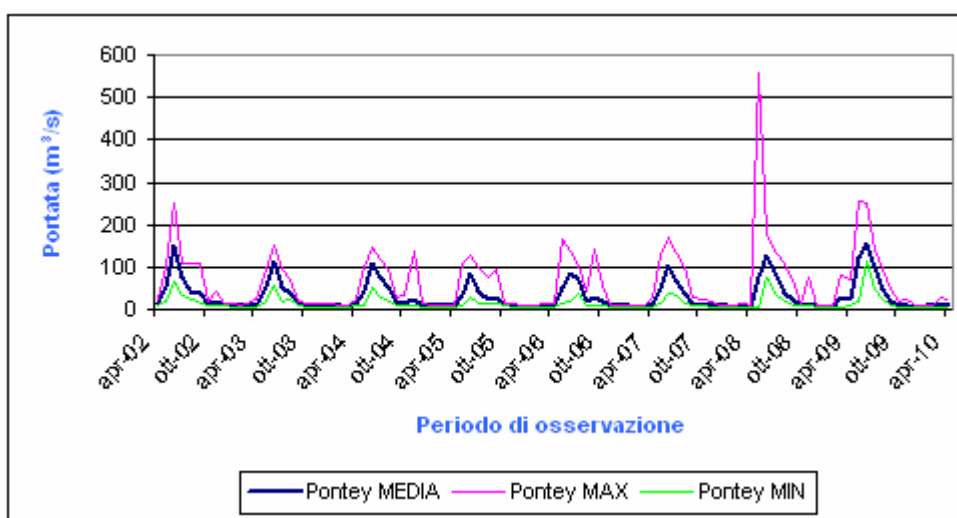


Figura 4.43 – Portata mensile (media, minima e massima) registrata dall'idrometro automatico di Pontey (Dora Baltea).

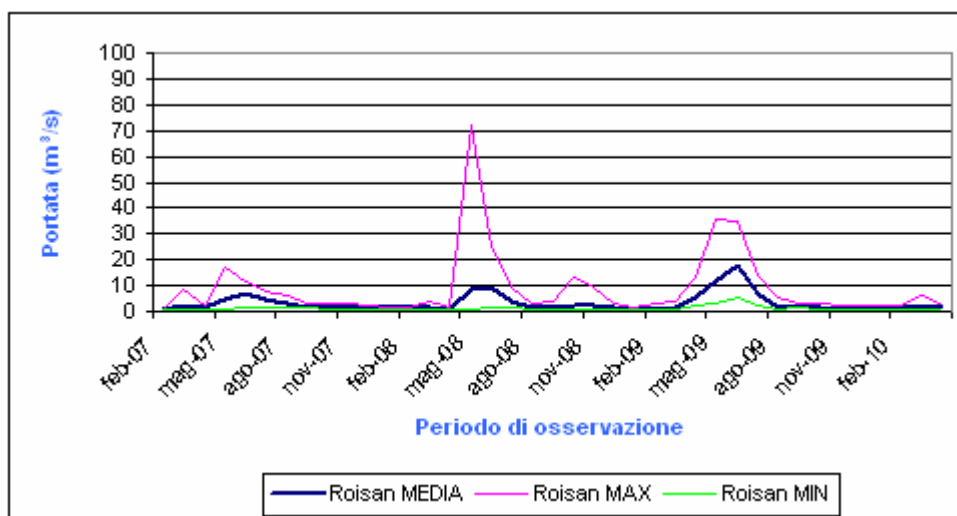


Figura 4.44 a – Portata mensile (media, minima e massima) registrata dall'idrometro automatico di Roisan (T. Buthier).

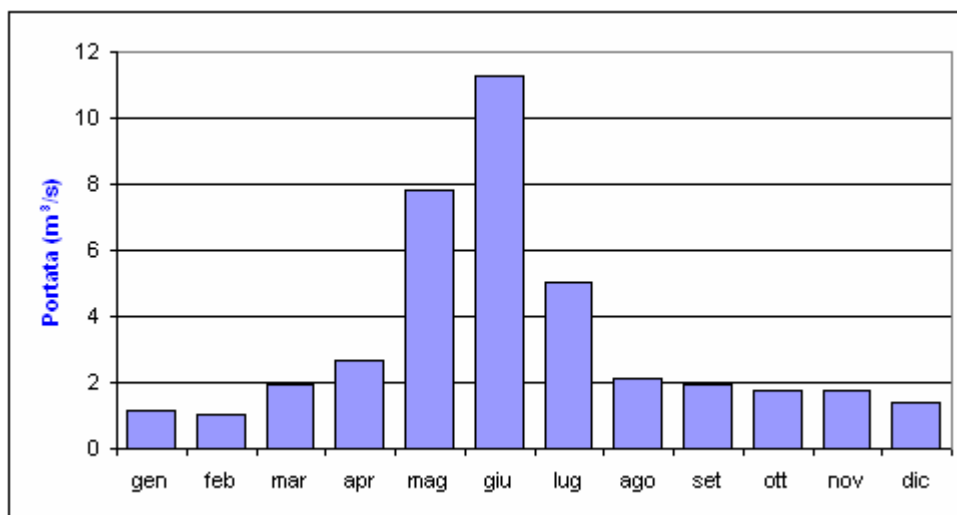


Figura 4.44 b – Medie delle portate medie mensili registrate dall'idrometro automatico di Roisan (T. Buthier).

Piana di Verrès-Issogne-Arnad

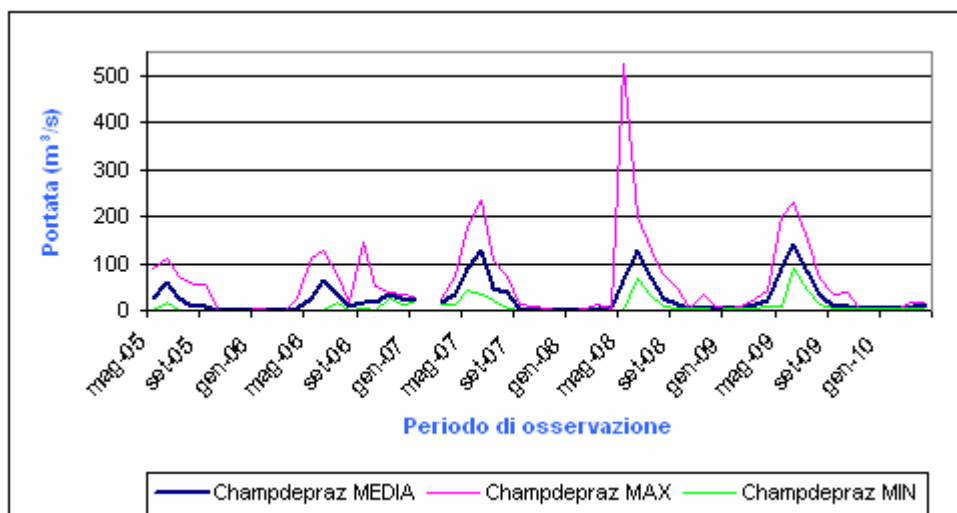


Figura 4.45 – Portata mensile (media, minima e massima) registrata dall'idrometro automatico di Champdepraz (Dora Baltea).

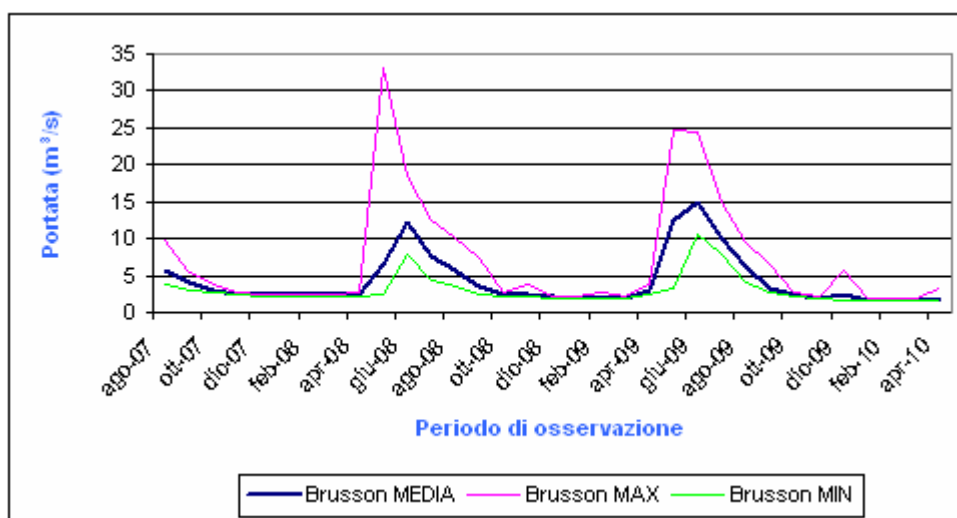


Figura 4.46 – Portata mensile (media, minima e massima) registrata dall'idrometro automatico di Brusson Extrapierraz (T. Evençon).

Piana di Donnas-Pont Saint Martin

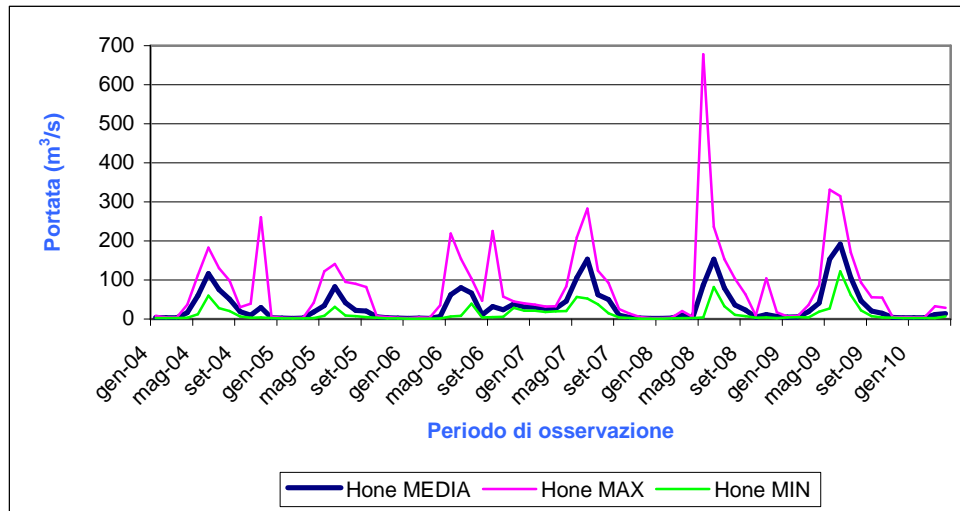


Figura 4.47 a – Portata mensile (media, minima e massima) registrata dall'idrometro automatico di Hone (Dora Baltea).

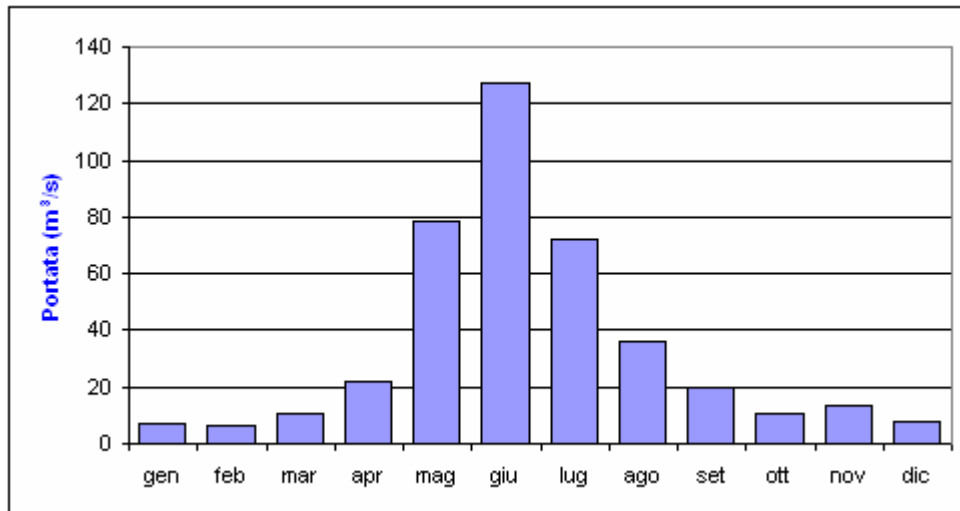


Figura 4.47 b – Medie delle portate medie mensili registrate dall'idrometro automatico di Hone (Dora Baltea).

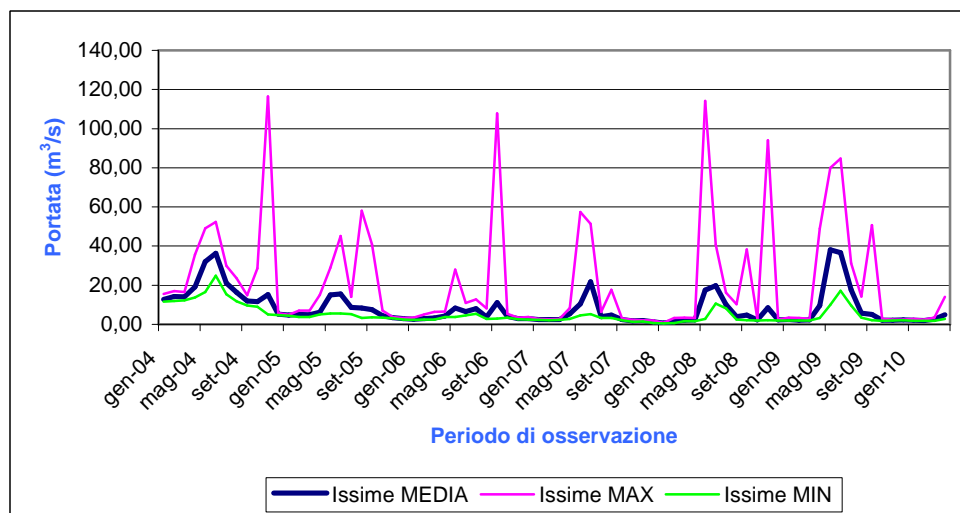


Figura 4.48 – Portata mensile (media, minima e massima) registrata dall'idrometro automatico di Issime (T. Lys).

Le principali evidenze derivanti dall'esame dei grafici – ricordando che trattasi di dati comunque fortemente influenzati da numerose opere di presa e rilascio – sono le seguenti:

- le portate medie mostrano un regime idrologico annuale analogo tra la Dora Baltea ed i torrenti laterali esaminati, caratterizzato da un andamento nel complesso piuttosto regolare, con un massimo estivo ed un minimo invernale;
- la differenza tra i suddetti massimi dà luogo ad una concentrazione dei deflussi nel periodo maggio-settembre, con picco⁹ massimo generalmente nel mese di giugno;
- nei mesi invernali, per un periodo di almeno 3-4 mesi, il deflusso è ridotto o pressoché nullo.

I grafici, in definitiva, non sembrano evidenziare differenze significative tra i regimi di fondovalle e quelli delle vallate laterali, probabilmente anche a causa della durata limitata delle serie storiche (sempre inferiori ai 10 anni).

Con riferimento a quanto riportato al par. 2.4.1, emerge un regime tipico di bacino “nivale puro”: infatti tutta l'area esaminata risulta essere caratterizzata da un unico massimo raggiunto in giugno, con elevate portate già a partire dal mese di maggio (periodo in cui iniziano a fondersi le nevi accumulate ad alta quota). Questi ultimi valori risultano superiori a quelli di agosto; l'entità del deflusso superficiale si riduce notevolmente già nel mese di settembre.

4.2.3 Temperatura dell'aria

I dati di temperatura dell'aria, riportati in Allegato 9, utilizzati ed elaborati nel presente studio derivano da stazioni di proprietà ARPA Valle d'Aosta, ad eccezione di quelli registrati dalla stazione meteo di Verrès appartenenti all'Ufficio meteorologico regionale.

Nello specifico sono stati esaminati i dati termici (per un periodo corrispondente al periodo di monitoraggio della falda) relativi alle seguenti n. 4 stazioni, tutte ubicate sul fondovalle principale (cfr sempre Fig. 4.40):

- stazione di Aosta-Piazza Plouves e Saint-Christophe Aeroporto, per la piana di Aosta;
- stazione di Verrès, per la piana di Verrès-Issogne-Arnad;
- stazione di Donnas, per la piana di Donnas-Pont Saint Martin.

Le stazioni raccolgono misure termiche giornaliere; nei diagrammi, per una migliore visualizzazione, si è riportata anche la media mobile (escludendo quindi i picchi anomali e le oscillazioni riconducibili alle escursioni termiche giornaliere).

⁹ Tali eventi di piena che si verificano stagionalmente sono denominati “morbide”.

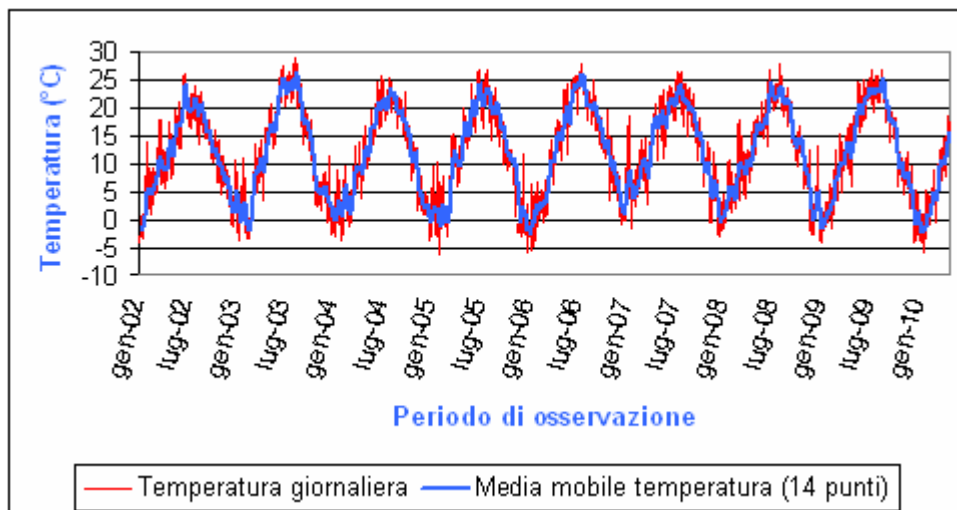


Figura 4.49 – Temperatura dell'aria registrata nella stazione meteo di Aosta (Piazza Plouves).

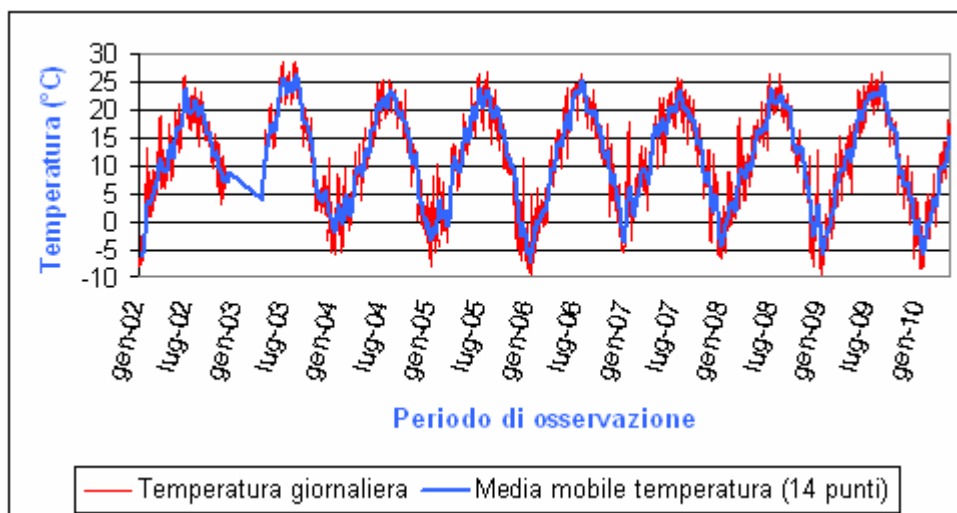


Figura 4.50 – Temperatura dell'aria registrata nella stazione meteo di Saint-Christophe.

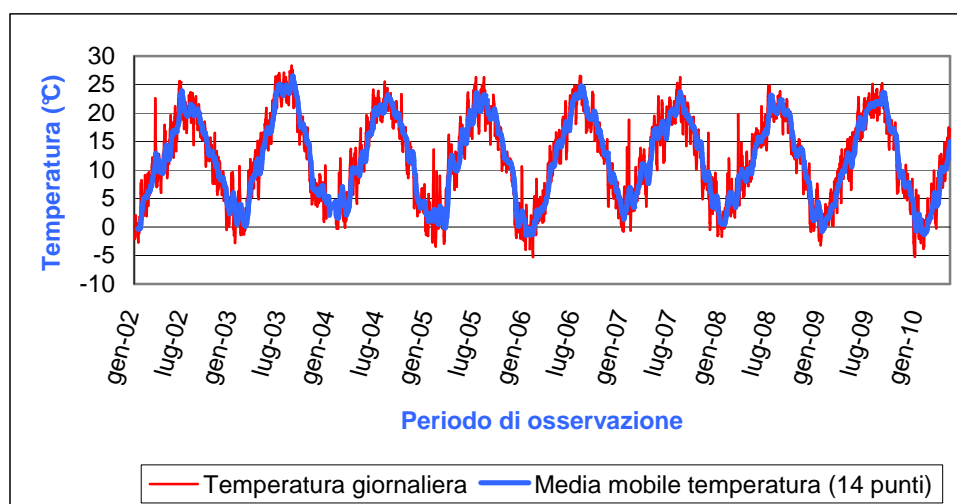


Figura 4.51 – Temperatura dell'aria registrata nella stazione meteo di Verrès.

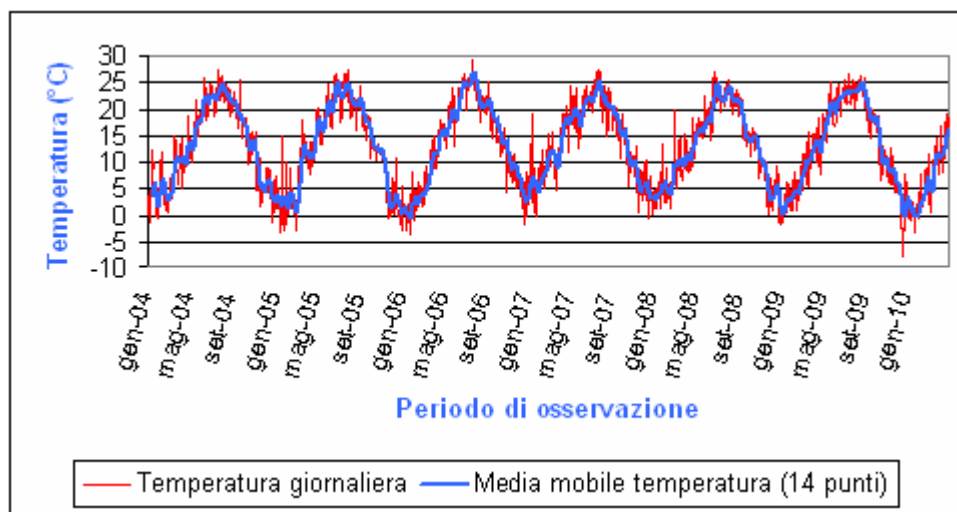


Figura 4.52 – Temperatura dell'aria registrata nella stazione meteo di Donnas.

Rimandando al par. 2.3.1 per considerazioni di ordine più generale, si osserva in tutte le quattro stazioni un andamento estremamente regolare, con un massimo nella stagione estiva ed un minimo in quella invernale.

La stazione di Saint-Christophe – posta ad una quota altimetrica maggiore di quelle di Donnas e Verrès, in una zona meno soleggiata rispetto ad Aosta piazza Plouves - presenta i valori minimi di temperatura più bassi.

4.2.4 Precipitazioni

I dati di precipitazione, riportati in Allegato 9, analizzati derivano dalle stesse quattro stazioni meteo da cui sono tratte le temperatura dell'aria (cfr sempre Fig. 4.40), le quali registrano – essendo dotate di pluviometro riscaldato - precipitazioni sia piovose che nevose. Benché gli apporti solidi non possano essere distinti da quelli liquidi, sul fondovalle della media e della bassa Valle d'Aosta tale aspetto non riveste primaria importanza considerate la relativamente bassa nevosità e durata della neve al suolo (vedi par. 2.3.3).

Come per i dati termici, le precipitazioni analizzate sono relative al periodo di monitoraggio della falda nelle piane valdostane su cui si effettua il monitoraggio delle acque sotterranee. Di seguito sono riportati i grafici relativi alle precipitazioni mensili.

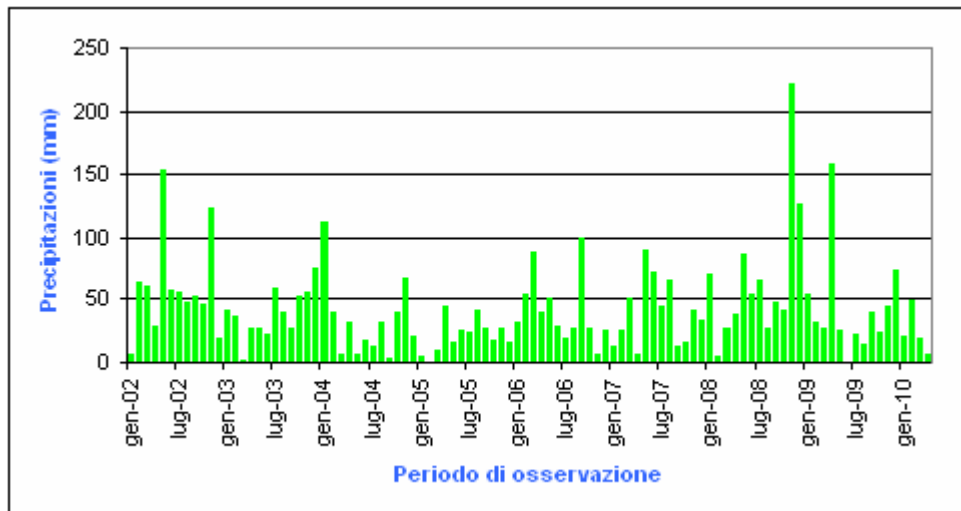


Figura 4.53 – Precipitazioni registrate (sommatoria mensile) nella stazione meteo di Aosta (Piazza Plouves).

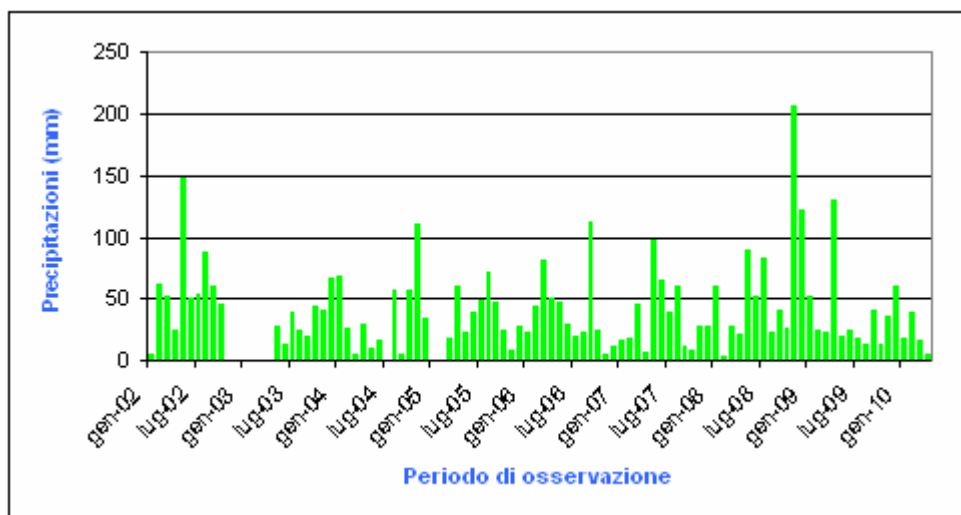


Figura 4.54 – Precipitazioni registrate (sommatoria mensile) nella stazione meteo di Saint-Christophe.

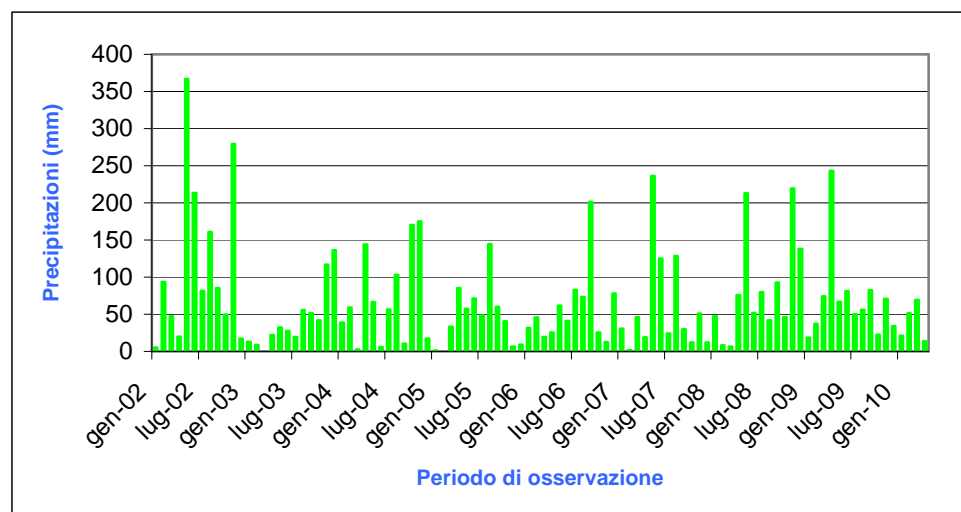


Figura 4.55 - Precipitazioni registrate (sommatoria mensile) nella stazione meteo di Verrès.

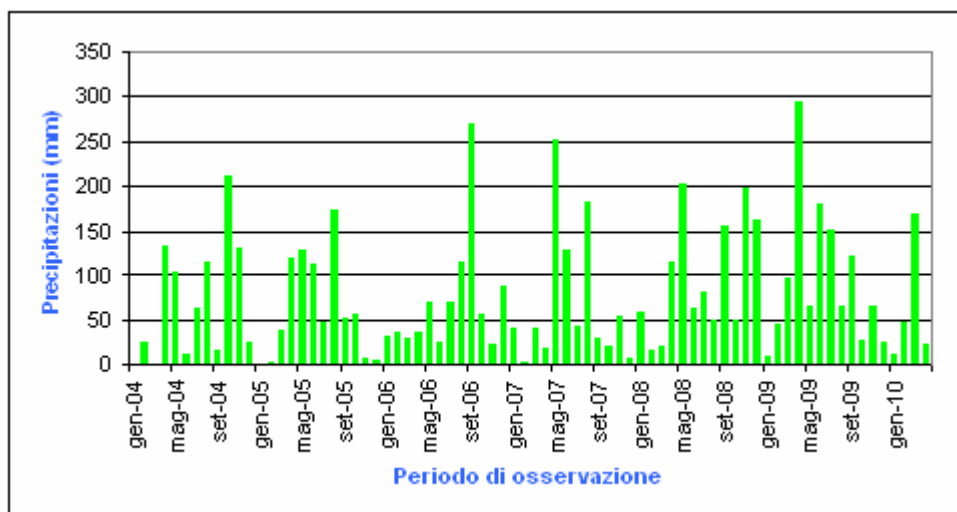


Figura 4.56 – Precipitazioni registrate (medie giornaliere) nella stazione meteo di Donnas.

Rimandando al par. 2.3.2 per considerazioni più generali inerenti tutto il territorio, dai grafici emerge che:

- le precipitazioni, a differenza delle altre due variabili sopra esaminate, non sono caratterizzate da una particolare regolarità nel corso dell'anno; esse risultano diffuse, con frequenza maggiore nel periodo primaverile (soprattutto nel mese di maggio) e in autunno-inverno;
- si osserva una diversa distribuzione delle precipitazioni tra media e bassa Valle d'Aosta: ad Aosta le precipitazioni più consistenti si verificano nel periodo invernale (pertanto in questo caso sono prevalentemente solide), mentre in bassa valle i picchi mensili – solo liquidi - sono concentrati in primavera ed in autunno;
- nella piana di Donnas-Pont Saint Martin, i picchi (precipitazioni superiori ai 100 mm) risultano essere quasi doppi rispetto a quelli della piana di Aosta, che si ricorda essere il luogo meno piovoso dell'intero arco alpino;
- sulla base delle serie storiche sopra rappresentate, si evince che gli anni più piovosi risultano essere il 2008 per la piana di Aosta (780,5 mm/annui medi) e quella di Donnas (1164,8 mm/annui) e il 2002 per la piana di Verrès (1419,6 mm/annui), mentre il più arido è il 2005 per la piana di Aosta (313 mm/annui medi) e di Pont Saint Martin (738 mm/annui) e il 2003 per quella di Verrès (523,8 mm/annui).

4.2.5 Correlazione tra variabili che influenzano le variazioni piezometriche

Sono di seguito esaminate le correlazioni tra le variabili sopra discusse separatamente, in particolare quelle portata-temperatura e portata-precipitazioni¹⁰.

¹⁰ La correlazione temperatura-precipitazioni, priva di particolare significato sul fondovalle, è discussa a livello più generale al par. 2.3.

Sono stati analizzati i dati derivanti da n. 3 idrometri automatici sulla Dora Baltea, rappresentativi delle piane ove essi sono rispettivamente ubicati:

- Piana di Aosta: idrometro di Pollein, esaminato rispetto alla stazione meteo di Saint-Christophe;
- Piana di Verrès: idrometro di Champdepraz, esaminato rispetto alla stazione meteo di Verrès;
- Piana di Pont Saint Martin: idrometro di Hône, esaminato rispetto alla stazione meteo di Donnas.

4.2.5.1 Portata dei corsi d'acqua - temperatura dell'aria

Per ognuna delle tre piane sono state elaborate due rappresentazioni grafiche dell'andamento temperature/portate, a dettaglio temporale crescente:

- *figura a*: complessivo dell'intero periodo di monitoraggio della falda;
- *figura b*: dettaglio di un singolo anno (2009).

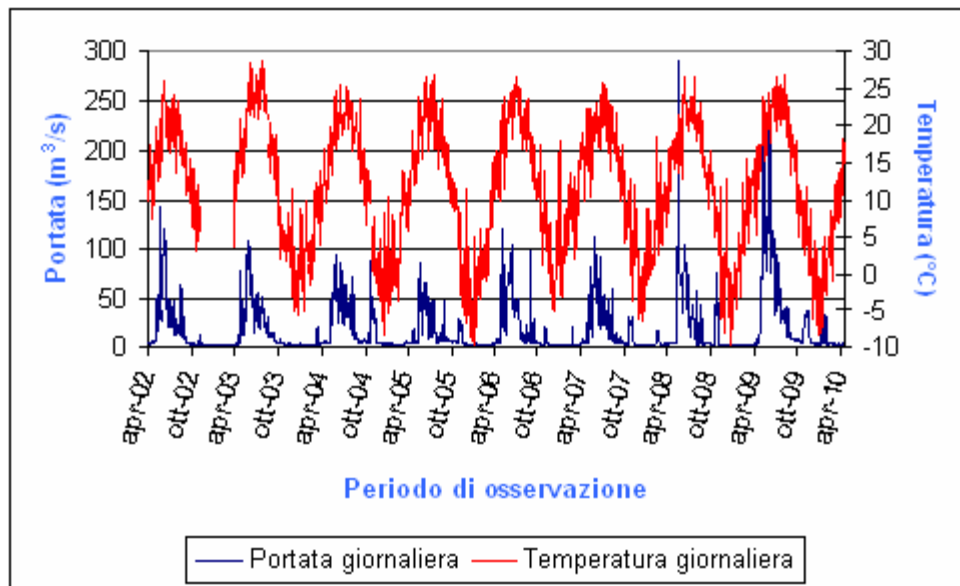


Figura 4.57 a – Correlazione tra portata Pollein e temperatura Saint-Christophe nel periodo aprile 2002-aprile 2010.

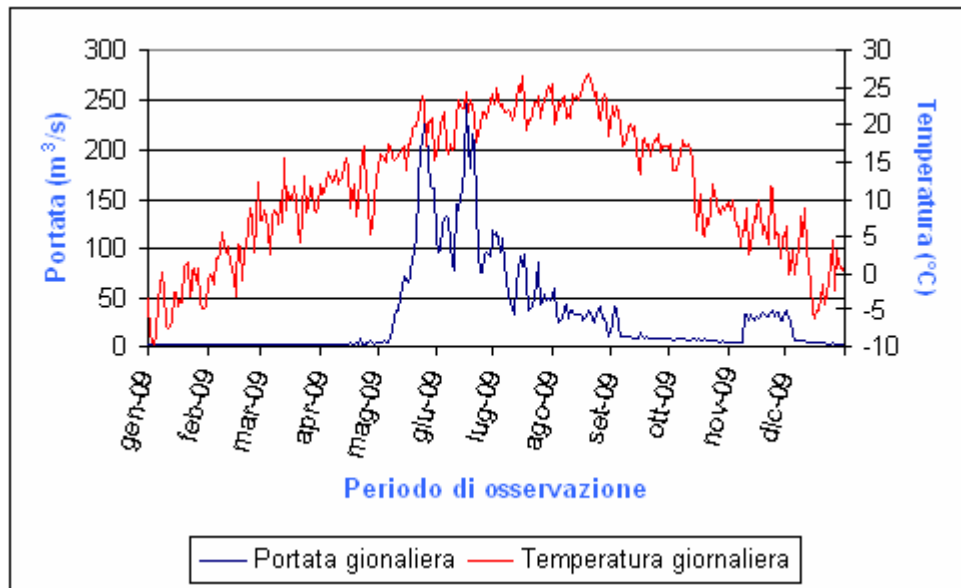


Figura 4.57 b – Correlazione tra portata dell'idrometro automatico Pollein e temperatura Saint-Christophe nel 2009.

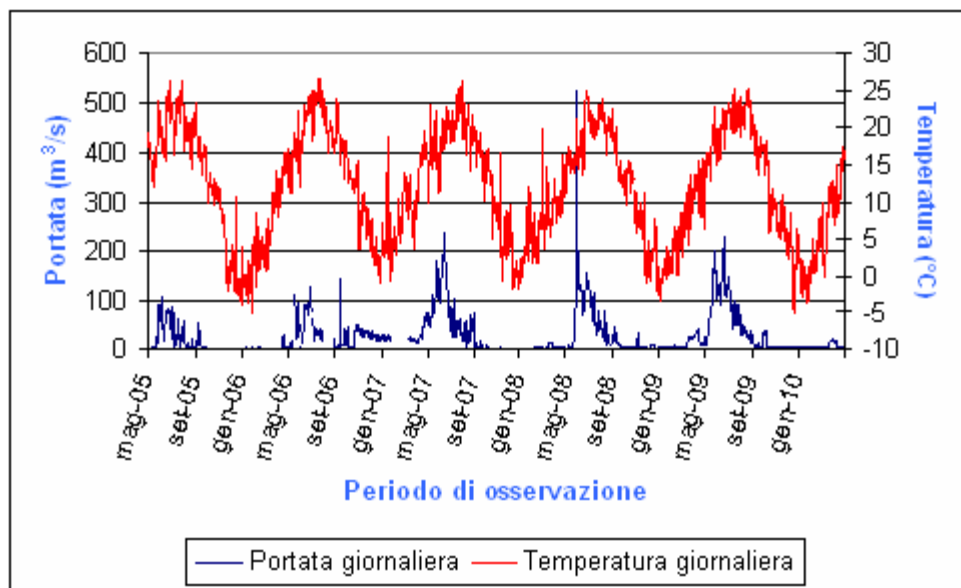


Figura 4.58 a – Correlazione tra portata Champdepraz e temperatura Verrès nel periodo maggio 2005- aprile 2010.

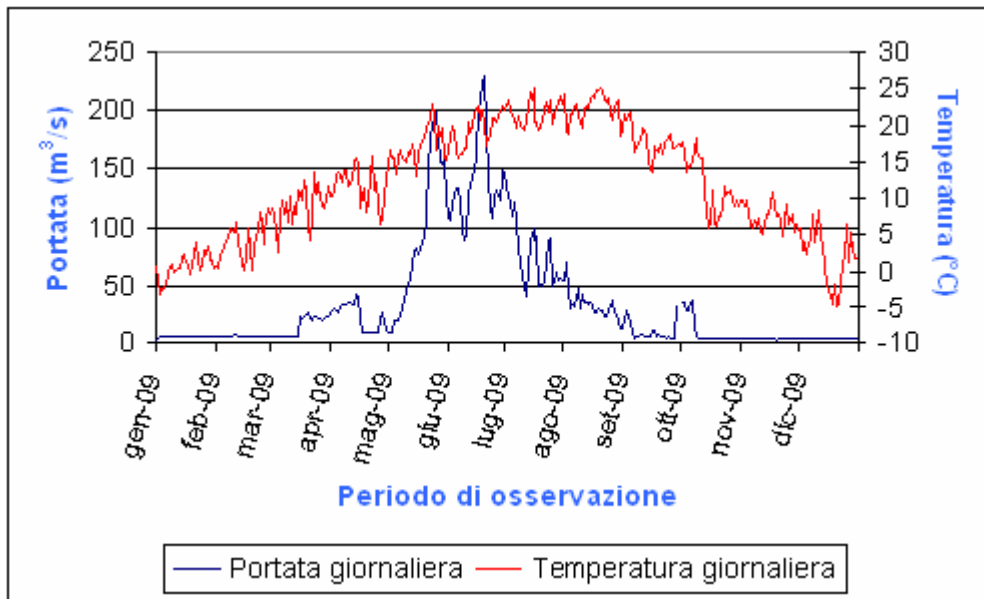


Figura 4.58 b – Correlazione tra portata Champdepraz e temperatura Verrès nel 2009.

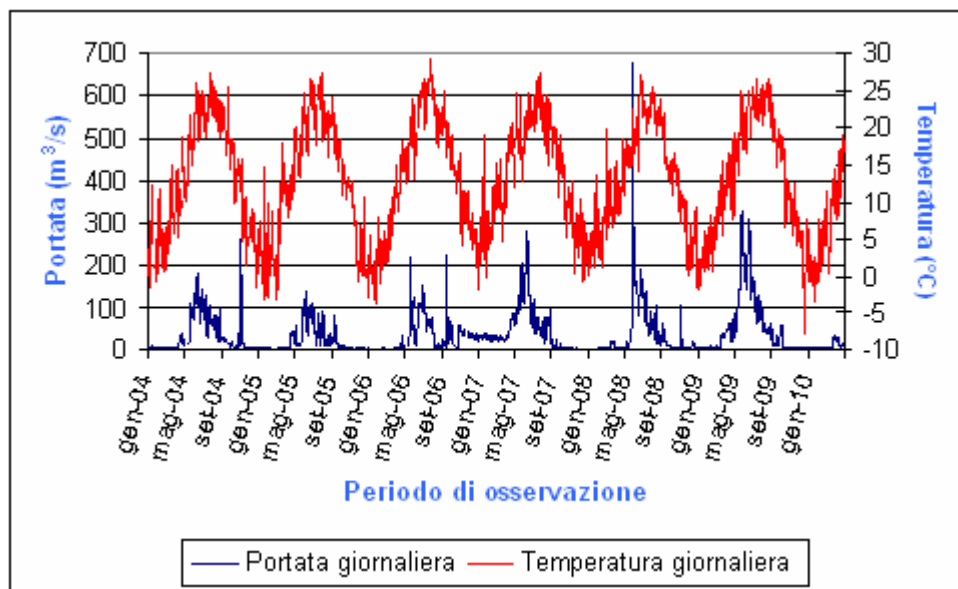


Figura 4.59 a – Correlazione tra portata Hône e temperatura Donnas nel periodo gennaio 2004-aprile 2010.

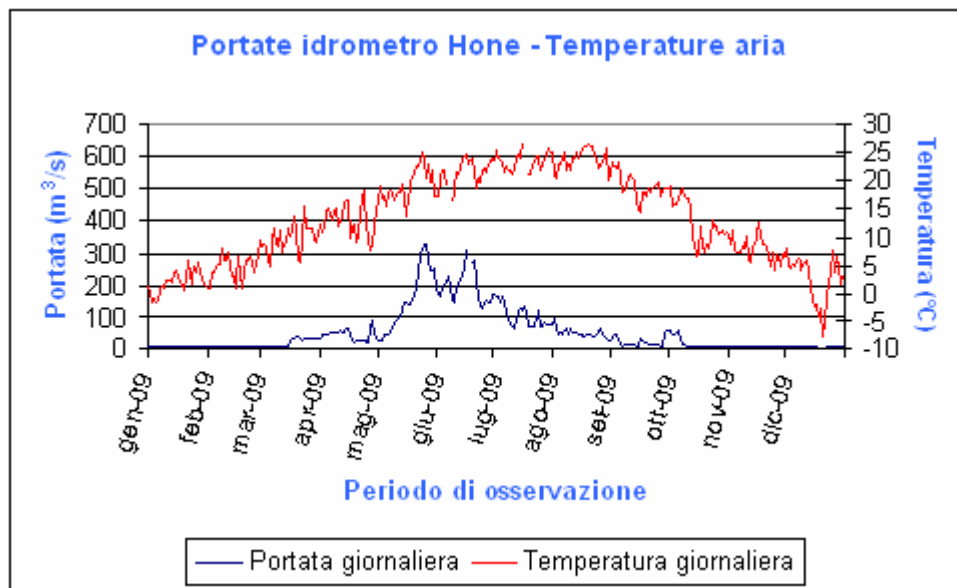


Figura 4.59 b – Correlazione tra portata Hône e temperatura Donnas nel 2009.

Dai diagrammi emerge una forte analogia nell'andamento dei due parametri, per entrambi dei quali era già stata peraltro evidenziata singolarmente, nei paragrafi precedenti, la forte regolarità nel corso dell'anno.

In particolare, la massima portata (collocata come detto a giugno) si verifica in concomitanza con l'inizio dell'aumento delle temperature sul fondovalle principale (con un anticipo di circa un mese e mezzo rispetto al massimo della temperatura);

E' pertanto evidente che l'aumento di portata va correlata con l'aumento delle temperature non sul fondovalle, bensì in quota ove a partire da fine maggio si verifica un repentino aumento dello scioglimento della componente nevosa (cfr Fig. 2.7).

Tale andamento, con riferimento a quanto detto al par. 2.4.1, è tipico di un bacino a regime alpino nivale puro.

4.2.5.2 Portata dei corsi d'acqua – precipitazioni

Per ognuna delle tre piane sono state elaborate tre rappresentazioni grafiche dell'andamento precipitazioni/portate, a dettaglio temporale crescente:

- *figura a*: complessivo dell'intero periodo di monitoraggio della falda;
- *figura b*: dettaglio di un singolo anno (2009);
- *figura c*: dettaglio del periodo primaverile-estivo (maggio-luglio).

Piana di Aosta

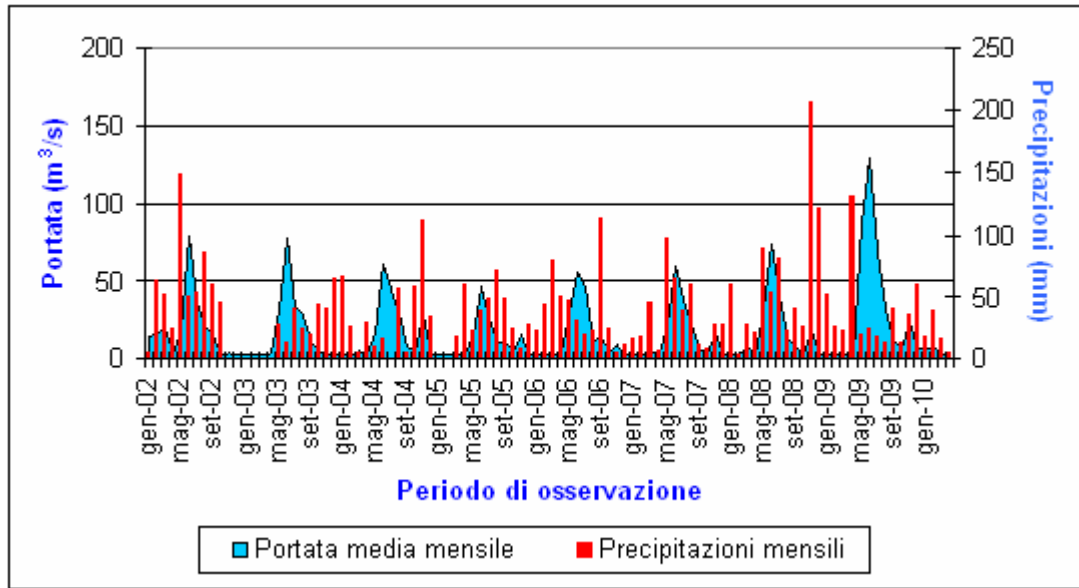


Figura 4.60 a - Correlazione portata Pollein e precipitazioni mensili (sommatoria mensile) Saint-Christophe nel periodo 2002-aprile 2010.

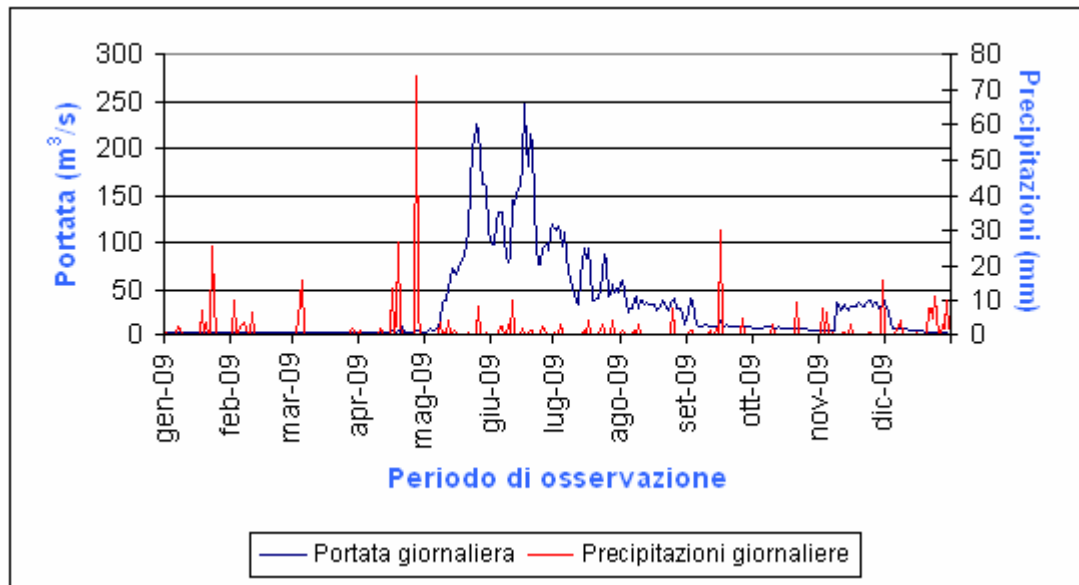


Figura 4.60 b - Correlazione portata Pollein e precipitazioni Saint-Christophe nel 2009.

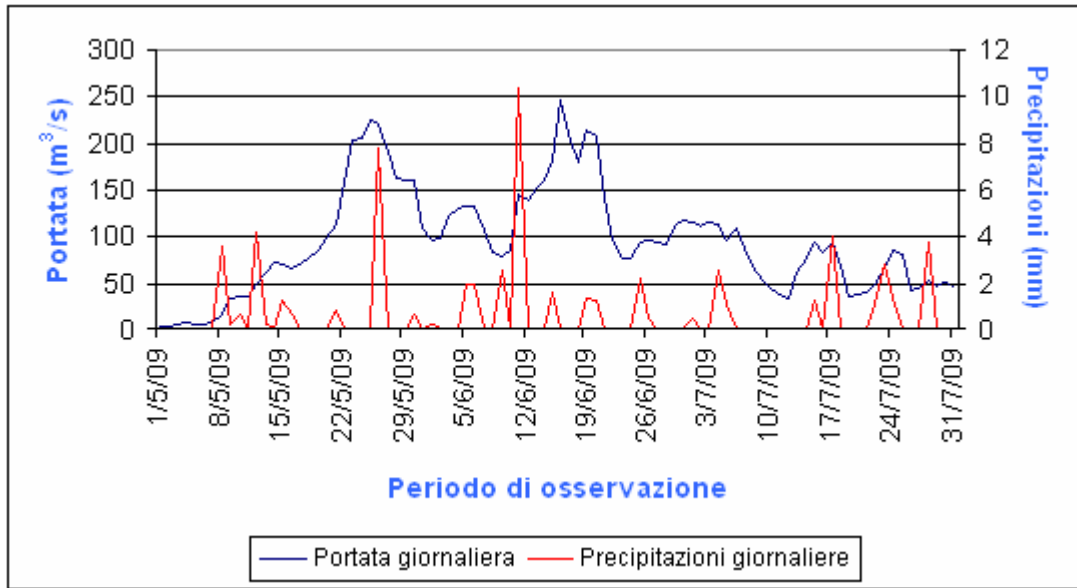


Figura 4.60 c - Correlazione portata Pollein e precipitazioni Saint-Christophe nel periodo maggio-luglio 2009.

Piana di Verrès-Issogne-Arnad

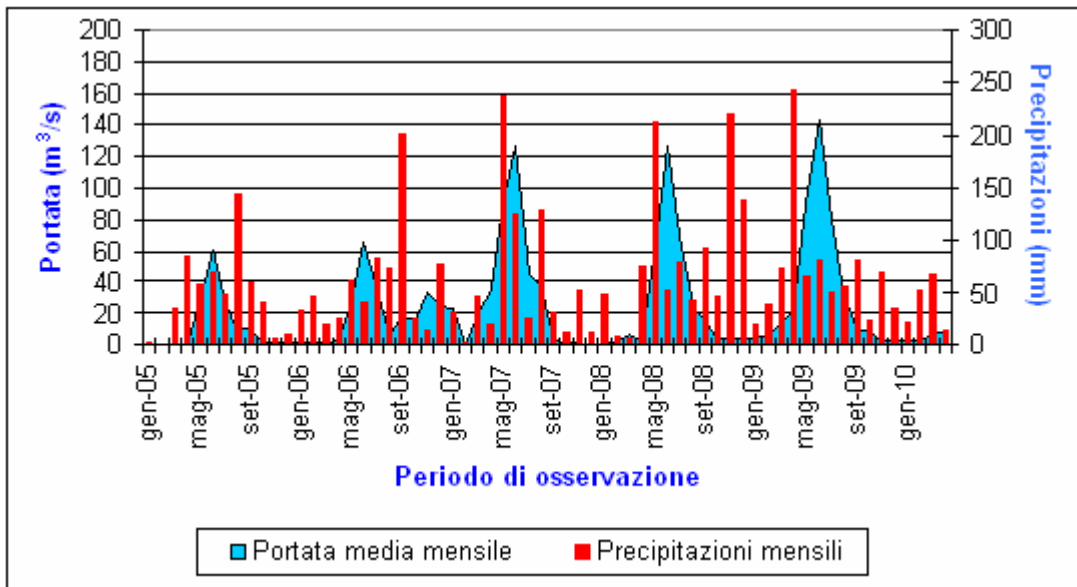


Figura 4.61 a - Correlazione portata Champdepraz e precipitazioni (sommatoria mensile) Verrès nel periodo maggio 2005-aprile 2010.

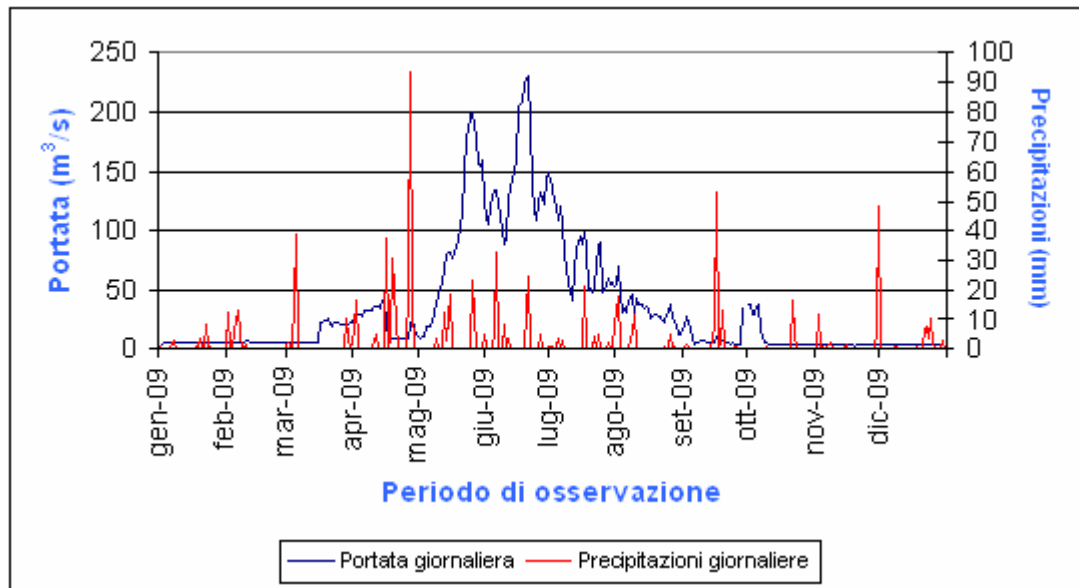


Figura 4.61 b - Correlazione portata Champdepraz e precipitazioni Verrès nel 2009.

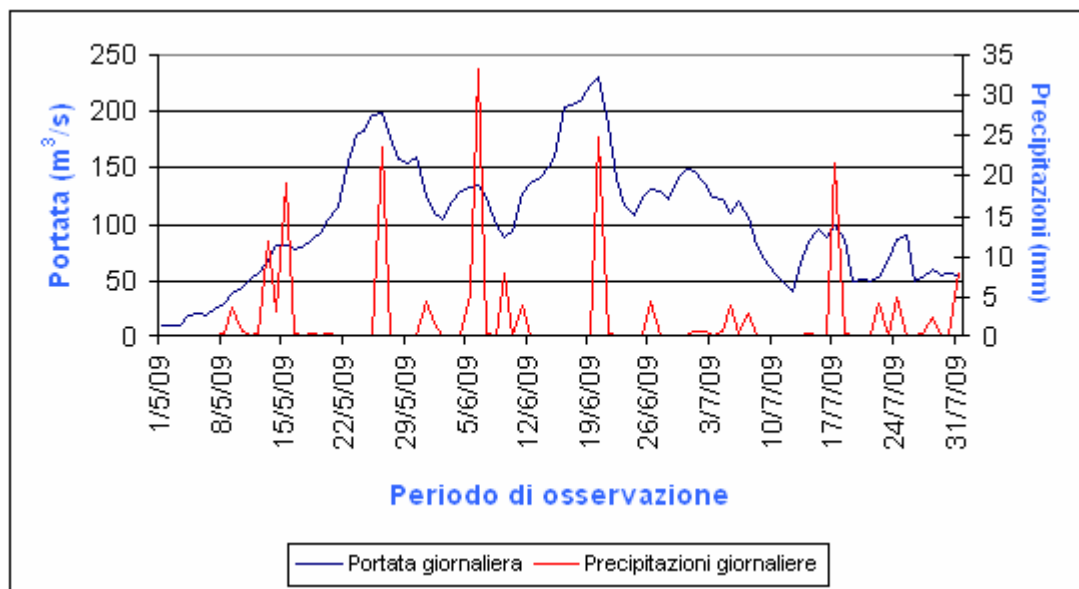


Figura 4.61 c - Correlazione portata Champdepraz e precipitazioni Verrès nel periodo maggio-luglio 2009.

Piana di Donnas-Pont Saint Martin

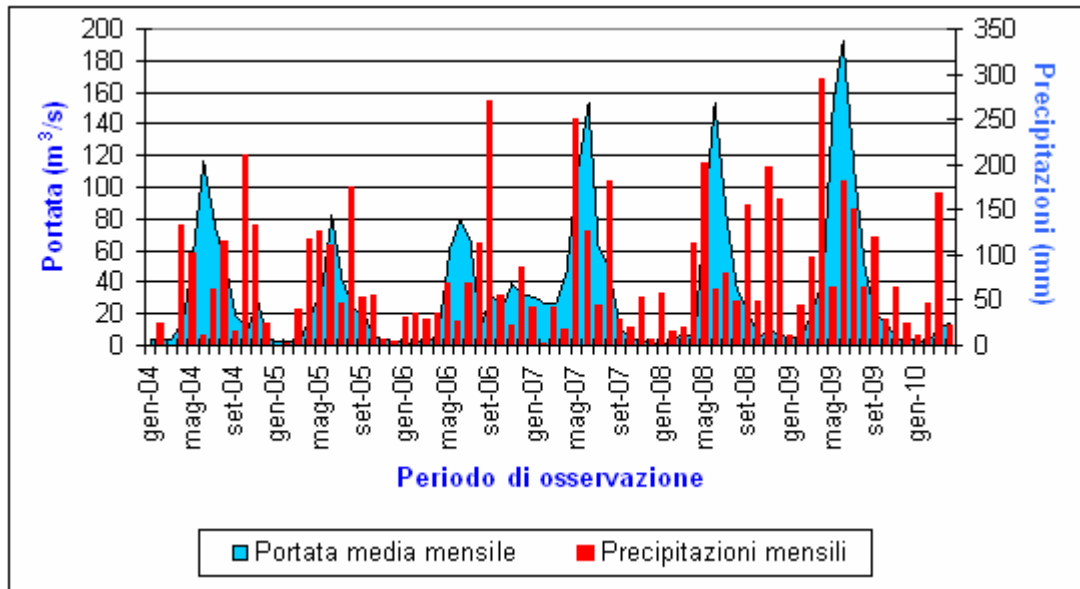


Figura 4.62 a - Correlazione portata Hône e precipitazioni Donnas nel periodo gennaio 2004-aprile 2010.

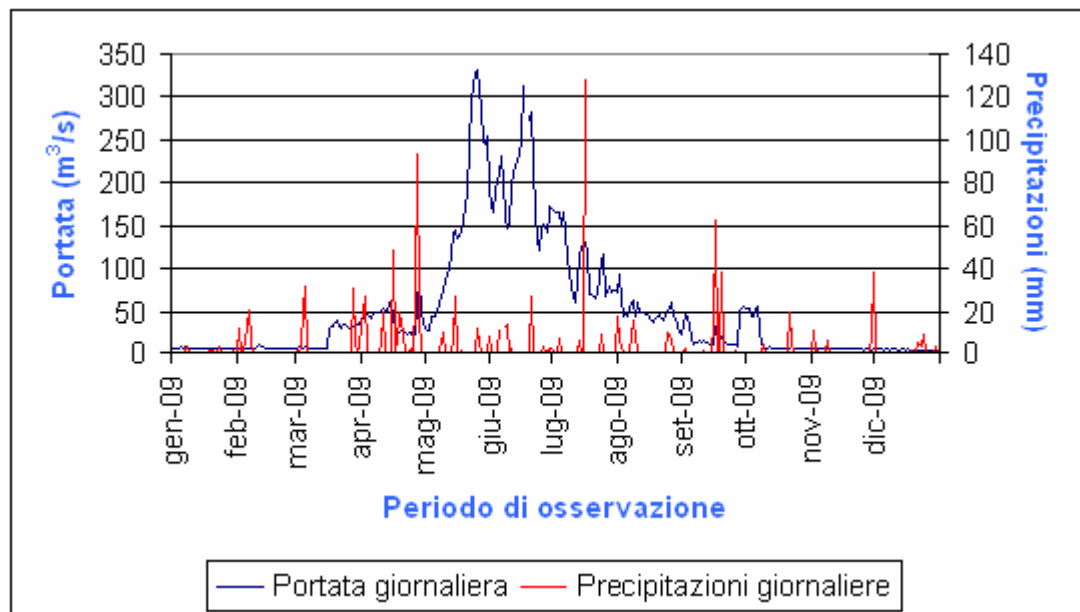


Figura 4.62 b Correlazione portata Hône e precipitazioni Donnas nel 2009.

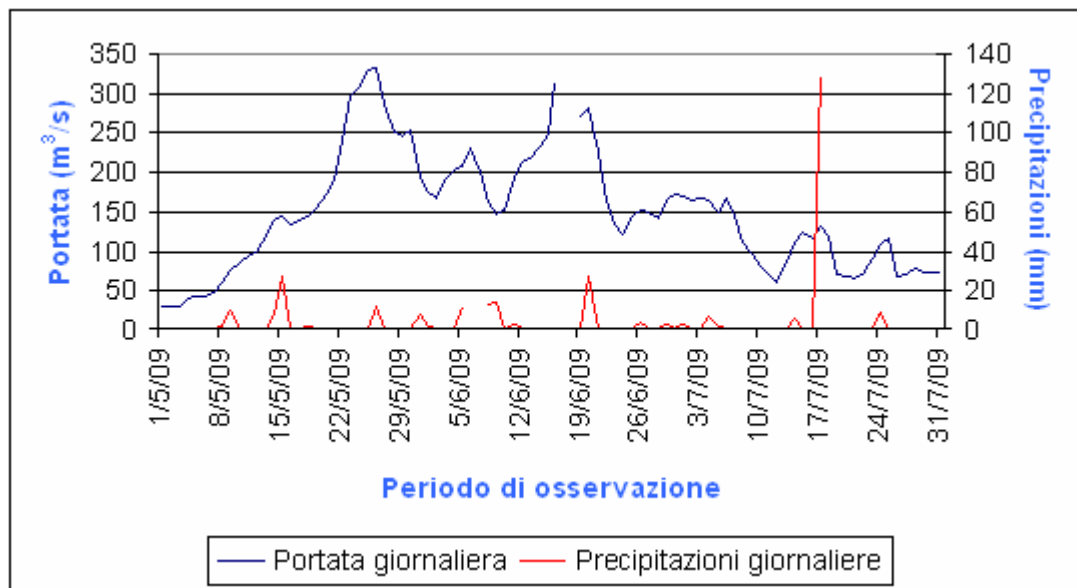


Figura 4.62 c - Correlazione portata Hône e precipitazioni Donnas nel periodo maggio-luglio 2009.

Emergono le seguenti considerazioni:

- sul lungo periodo si evidenzia un legame - benché non diretto - tra regime pluviometrico e portate: a precipitazioni invernali particolarmente consistenti (corrispondenti a precipitazioni nevose in quota) fanno seguito nel periodo maggio-settembre portate mensili di notevoli entità, ascrivibili quindi non a precipitazioni dirette sul bacino bensì allo scioglimento nevoso in quota;
- su scala stagionale od annuale tale correlazione manca: le precipitazioni primaverili ed estive non sono tali da giustificare da sole le portate che si verificano nello stesso periodo, al più vanno a contribuire alla formazione di picchi di portata all'interno della curva di massimo deflusso;
- sul breve periodo si può osservare una correlazione diretta – benché effimera - tra i due parametri: le precipitazioni particolarmente intense comportano un aumento della portata, solo nelle ore o nei giorni immediatamente successivi.

4.2.6 Correlazione tra soggiacenza della falda e parametri che influenzano le variazioni piezometriche (portate, precipitazioni e temperature)

Dopo aver analizzato separatamente da un lato le misure di soggiacenza eseguite sulle tre piane esaminate, dall'altro i parametri che possono influire sulle variazioni piezometriche e le loro correlazioni reciproche, di seguito si valutano i rapporti tra soggiacenza della falda e:

- portata dei corsi d'acqua (par. 4.2.6.1);
- precipitazioni (par. 4.2.6.2);
- temperatura dell'aria (par. 4.2.6.3);

- temperatura della falda (par. 4.2.6.4).

Per le misure di soggiacenza sono stati utilizzati i seguenti punti di misura:

- per la piana di Aosta i piezometri di monitoraggio (Ao50 e SC5) - attrezzati con sonde collegate a *datalogger* per la misura in continuo - rappresentativi rispettivamente del tratto occidentale e orientale – rispetto al T. Buthier - di questa porzione di fondovalle;
- per la piana di Verrès-Issogne-Arnad sono stati presi in esame il pozzo Vè1, che presenta la soggiacenza più elevata dell'intera piana, ed un piezometro dello stabilimento Olivetti di Arnad (Ar2) che presenta, al contrario, dati di soggiacenza minima;
- per la piana di Donnas-Pont Saint Martin è stato considerato il pozzo Do4, che presenta valori medi di soggiacenza rispetto a quella rilevata sulla piana.

Per tutte e tre le piane, analogamente a quanto sopra illustrato per le correlazioni portate/temperatura e portate/precipitazioni, sono stati elaborati grafici a dettaglio temporale crescente, tenendo come riferimento principale l'anno 2009¹¹.

4.2.6.1 Correlazione soggiacenza della falda - portate dei corsi d'acqua

Mettendo a confronto i dati di soggiacenza con le portate dei corsi d'acqua registrate dagli idrometri automatici ubicati lungo il corso della Dora Baltea, sono stati realizzati diagrammi riferiti all'intera serie storica disponibile (*figura a*) ed a un anno di misure (*figura b*).

Piana di Aosta

Si premette che i due piezometri di riferimento si trovano ad una certa distanza (di poco inferiore a 1 km) dalla Dora Baltea, corso d'acqua più prossimo.

¹¹ Salvo che per Ao50 per il quale le misure si riferiscono al 2005 e per SC5 per il quale sono stati elaborati i dati relativi sia al 2005 che al 2009, per permettere un confronto con Ao50.

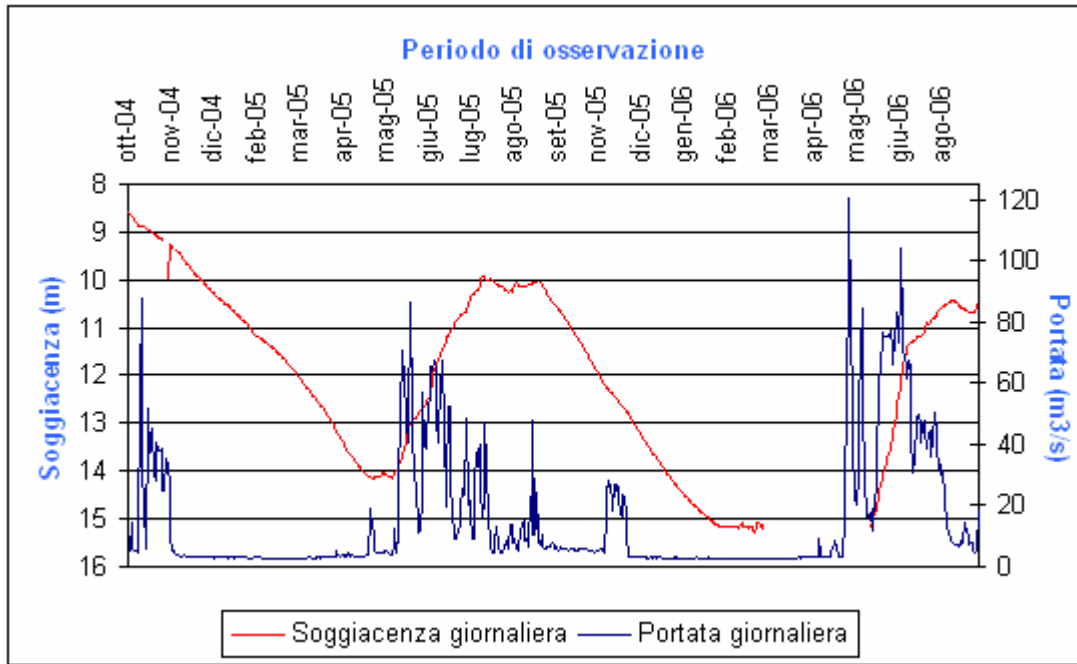


Figura 4.63 a - Correlazione soggiacenza del punto di misura Ao50¹² e portate Pollein nel periodo ottobre 2004-agosto 2006.

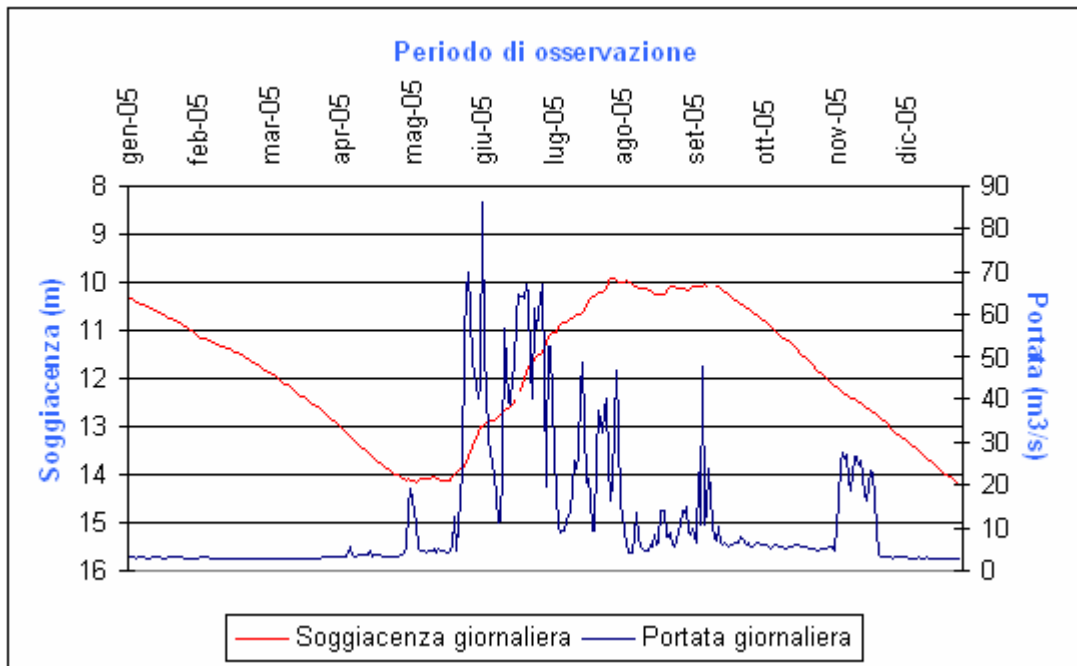


Figura 4.63 b - Correlazione soggiacenza del punto di misura Ao50 e portate Pollein nel 2005.

¹² Questa correlazione, piuttosto aleatoria vista la distanza tra Ao50 e l'idrometro di Pollein, è stata effettuata per mancanza di dati di portata a monte (idrometro di Aymavilles) nel periodo di funzionamento della sonda.

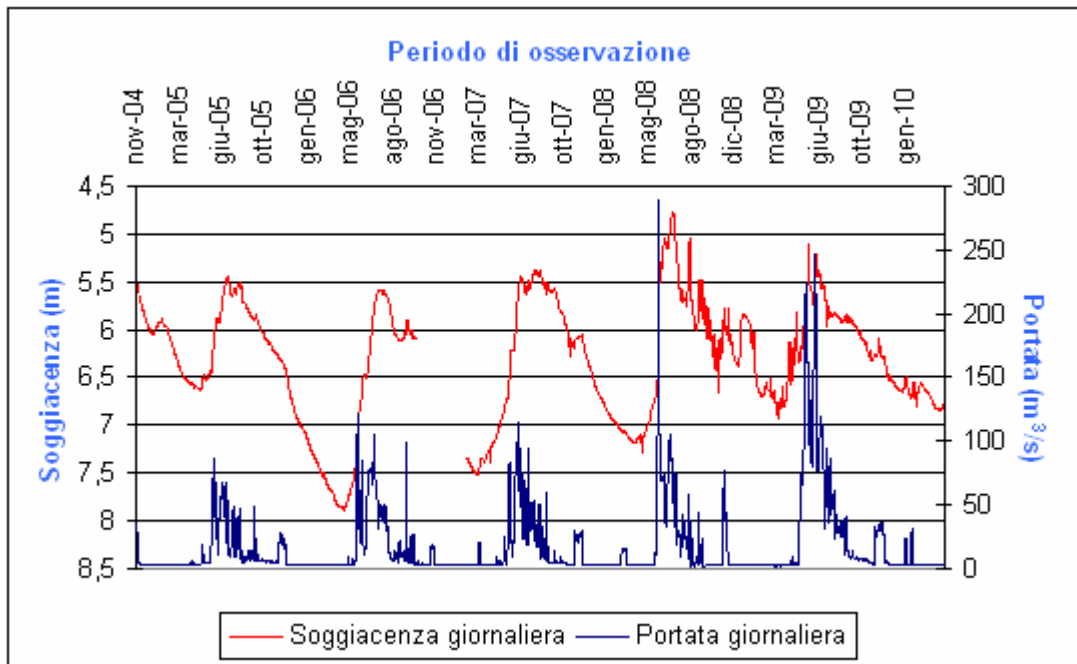


Figura 4.64 a - Correlazione soggiacenza del punto di misura SC5 e portate Pollein nel periodo novembre 2004 -aprile 2010.

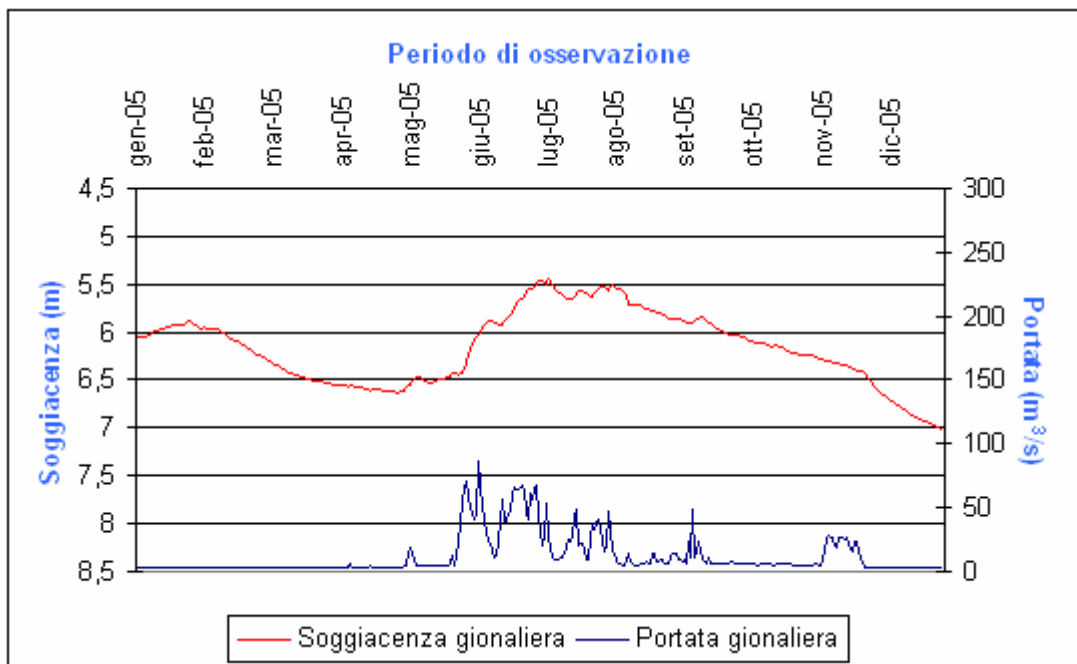


Figura 4.64 b - Correlazione soggiacenza del punto di misura SC5 e portate Pollein nel 2005.

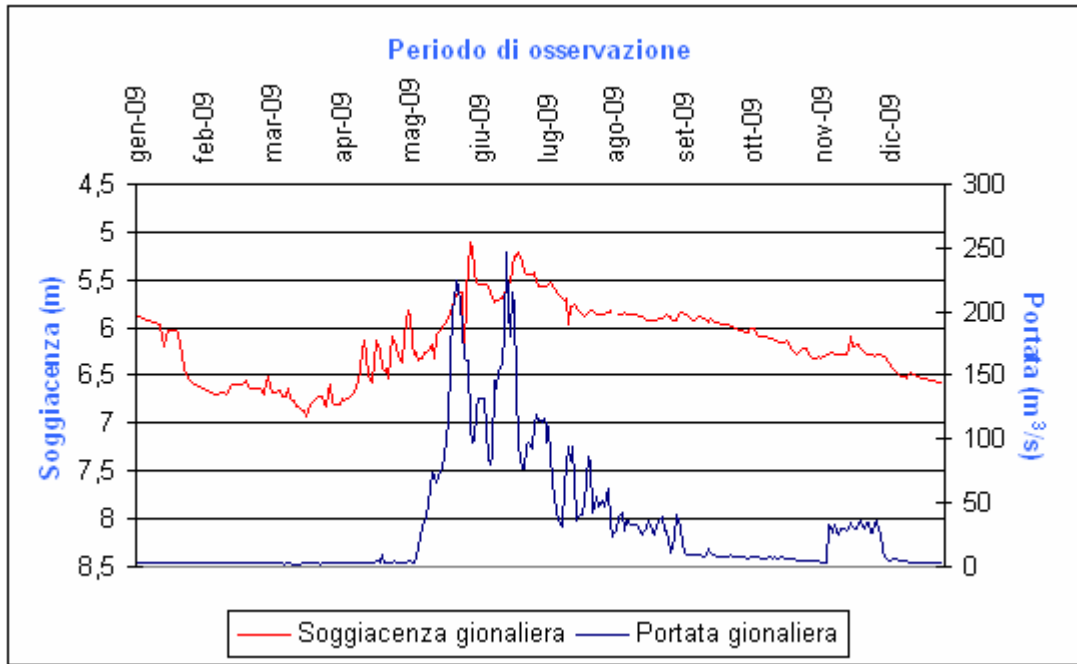


Figura 4.64 c - Correlazione soggiacenza del punto di misura SC5 e portate Pollein nel 2009.

Piana di Verrès

I due punti considerati si trovano piuttosto distanti dalla Dora Baltea; Ar2 si trova nella piana vera e propria, Vè1 è sul conoide del T. Evençon.

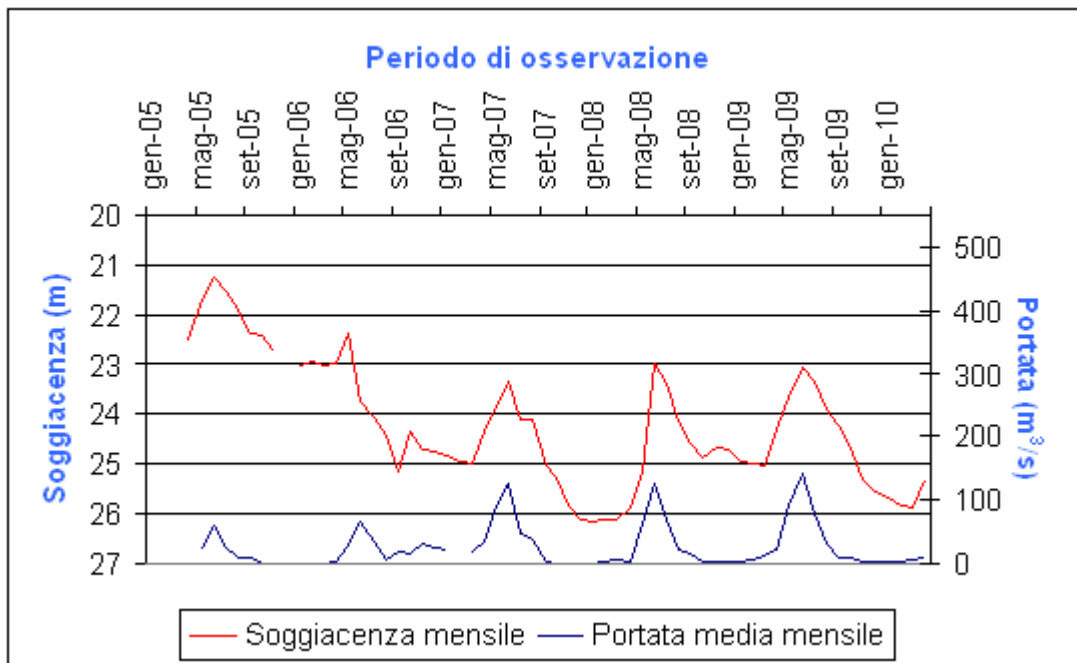


Figura 4.65 a - Correlazione soggiacenza del punto di misura Vè1 e portate Champdepraz nel periodo gennaio 2005-aprile 2010.

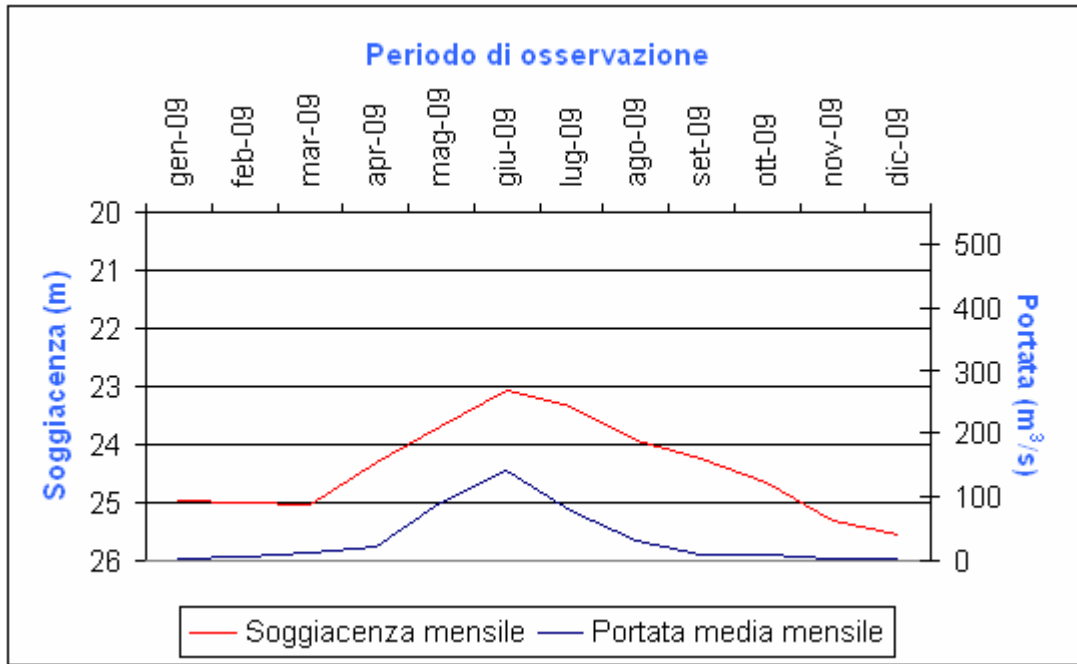


Figura 4.65 b - Correlazione soggiacenza del punto di misura Vè1 e portate Champdepraz nel 2009.

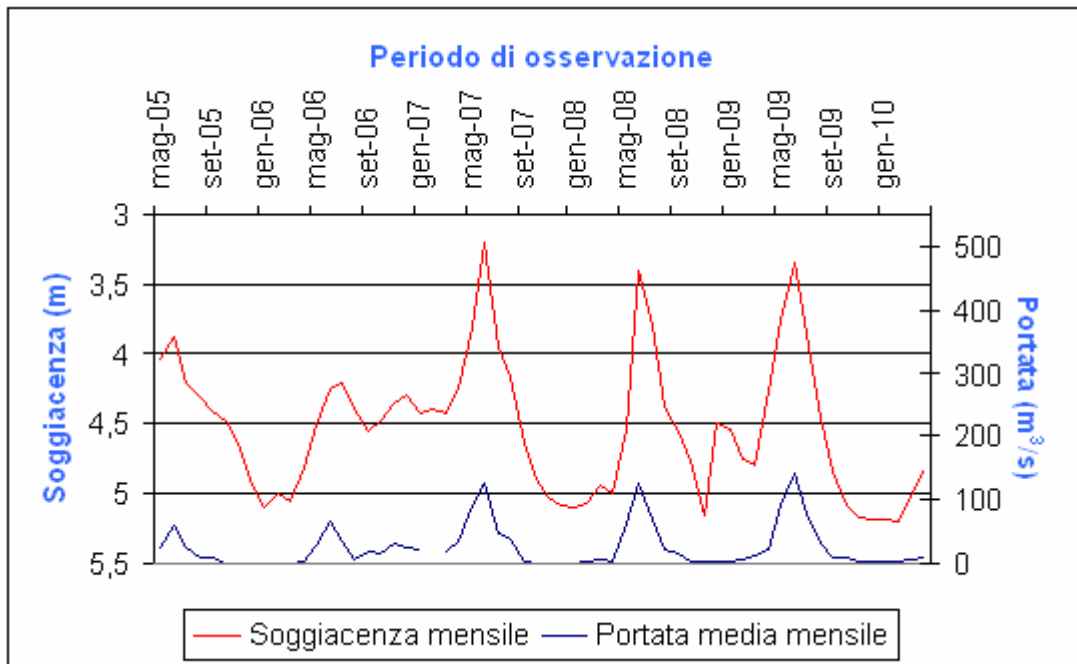


Figura 4.66 a - Correlazione soggiacenza del punto di misura Ar2¹³ e portate Champdepraz nel periodo gennaio 2002-aprile 2010.

¹³ Questa correlazione è limitata al periodo 2005-2010 per mancanza di dati di portata antecedenti.

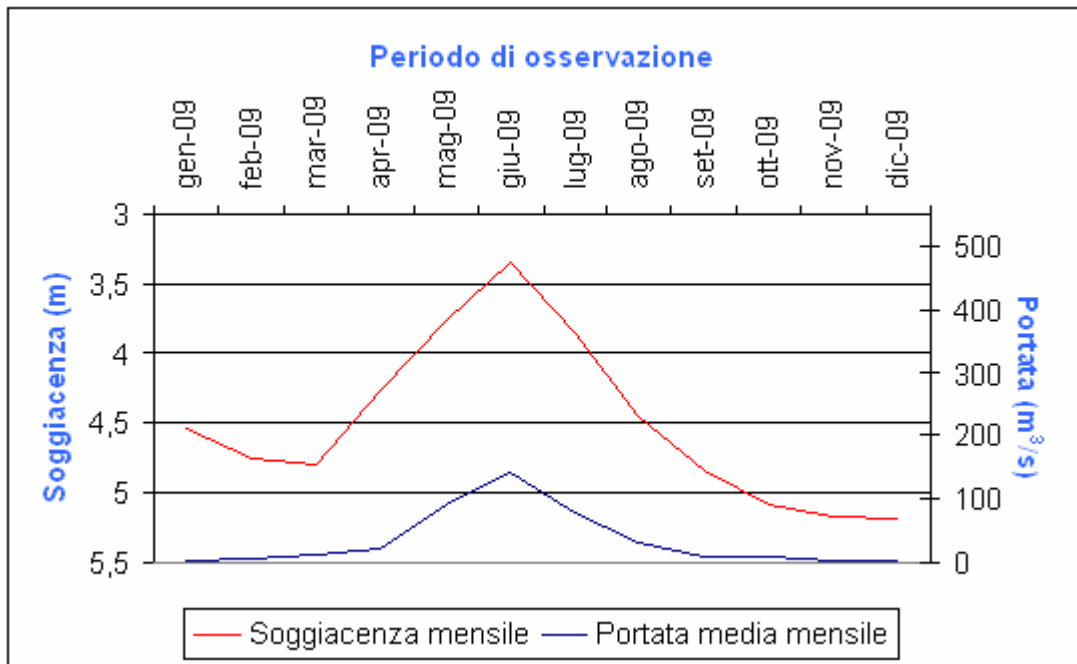


Figura 4.66 b - Correlazione soggiacenza del punto di misura Ar2 e portate Champdepraz nel 2009.

Piana di Pont Saint Martin

Il punto preso in esame (Do4) si trova piuttosto distante dalla Dora Baltea.

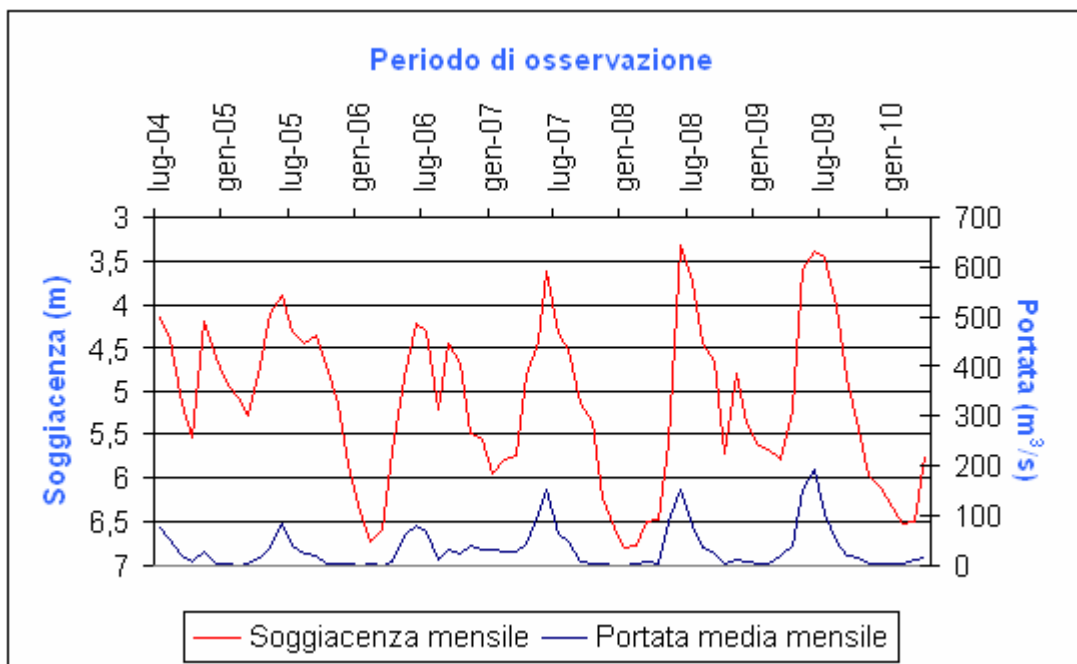


Figura 4.67 a - Correlazione soggiacenza del punto di misura Do4 e portate Hône nel periodo luglio 2004-aprile 2010.

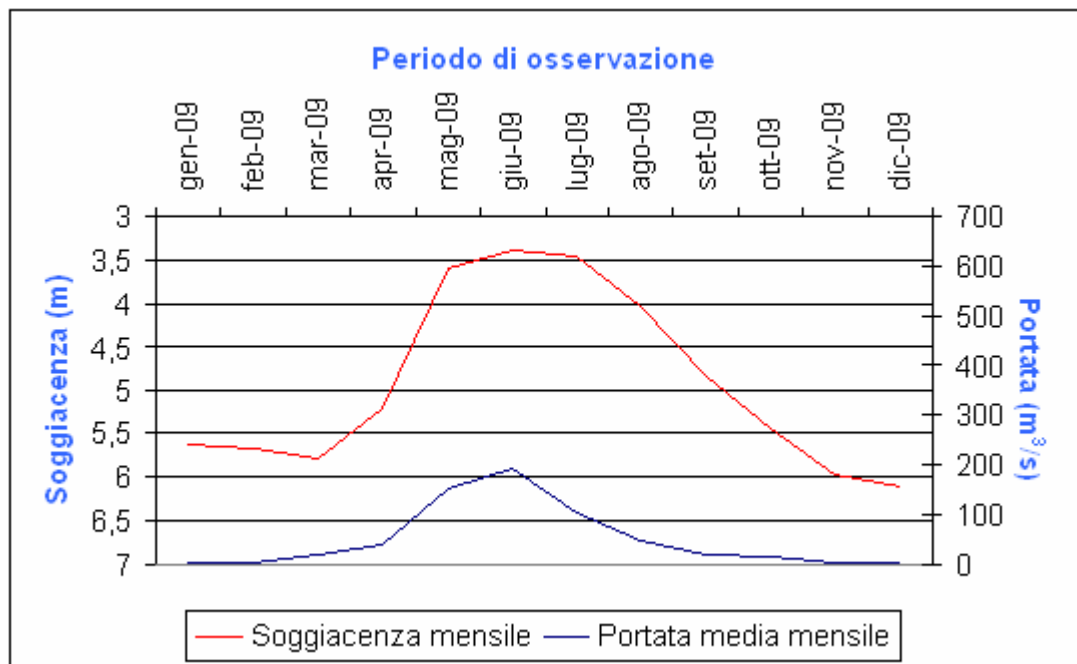


Figura 4.67 b - Correlazione soggiacenza del punto di misura Do4 e portate Hône nel 2009.

Le misure di soggiacenza variano regolarmente al variare delle portate dei corsi d'acqua: ad un aumento del deflusso superficiale corrisponde generalmente un innalzamento della tavola d'acqua, e viceversa.

La soggiacenza del livello piezometrico aumenta gradualmente, al contrario della rapida diminuzione del deflusso superficiale, a conferma che – come già detto al cap. 1 - trattasi di due sistemi interconnessi ma caratterizzati da diversi tempi di risposta. Più in particolare si possono notare diversi tempi di risposta tra l'andamento delle portate e quello di soggiacenza:

- nella piana di Aosta nei primi anni di osservazione (2004-2007) si vede un lieve ritardo - quantificabile in pochi giorni - nella risposta della falda all'incremento di portata, mentre per gli anni successivi (dal 2007 in poi) si nota un innalzamento anticipato del livello della falda rispetto all'aumento di deflusso superficiale;
- in bassa valle, la diminuzione di soggiacenza ha inizio sempre con un certo anticipo rispetto all'aumento delle portate che defluiscono nei corsi d'acqua.

4.2.6.2 Correlazione soggiacenza-precipitazioni

Con i medesimi criteri adottati al paragrafo precedente sono stati elaborati i seguenti diagrammi.

Piana di Aosta

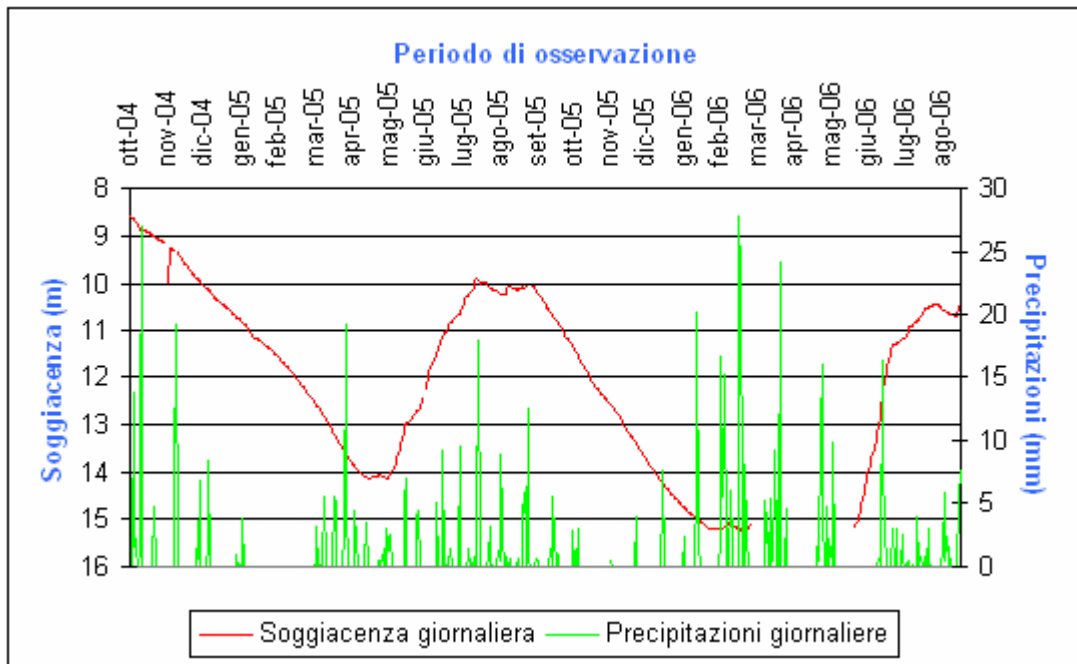


Figura 4.68 a - Correlazione soggiacenza Ao50 e precipitazioni Aosta (Piazza Plouves) nel ottobre 2004- agosto 2006.

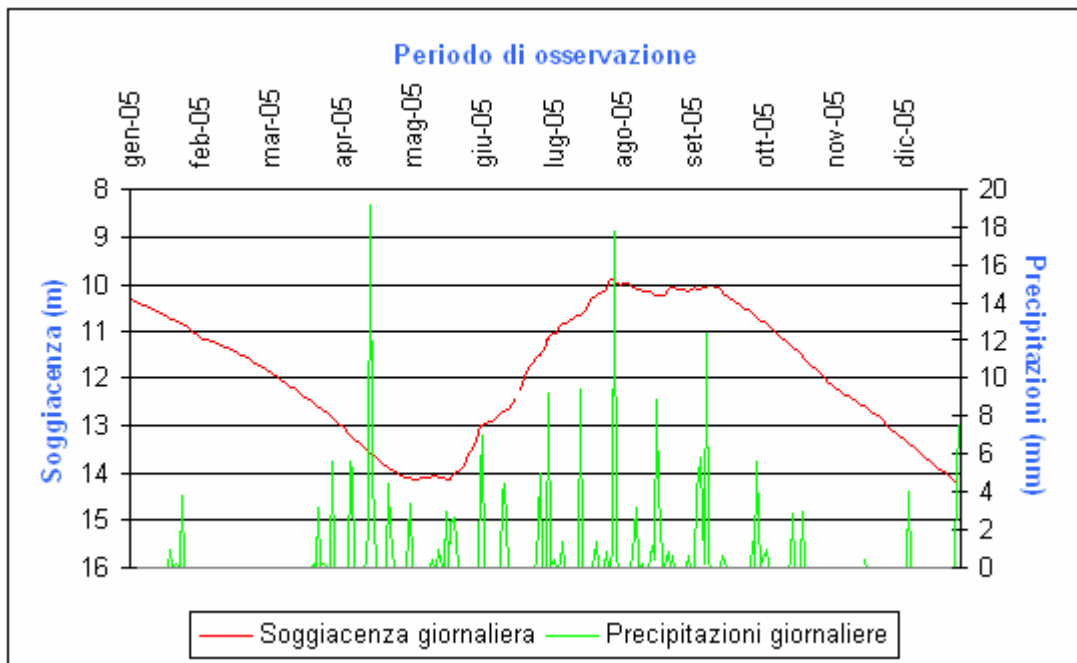


Figura 4.68 b - Correlazione soggiacenza Ao50 e precipitazioni Aosta (Piazza Plouves) nel 2005.

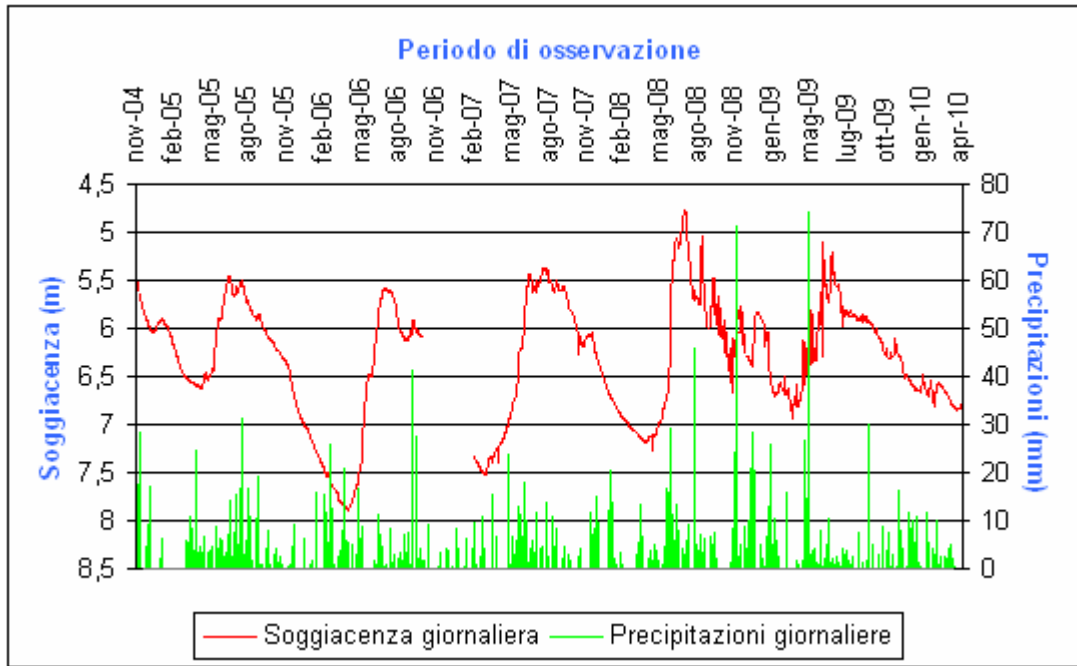


Figura 4.69 a - Correlazione soggiacenza SC5 e precipitazioni Saint-Christophe nel periodo novembre 2004- aprile 2010.

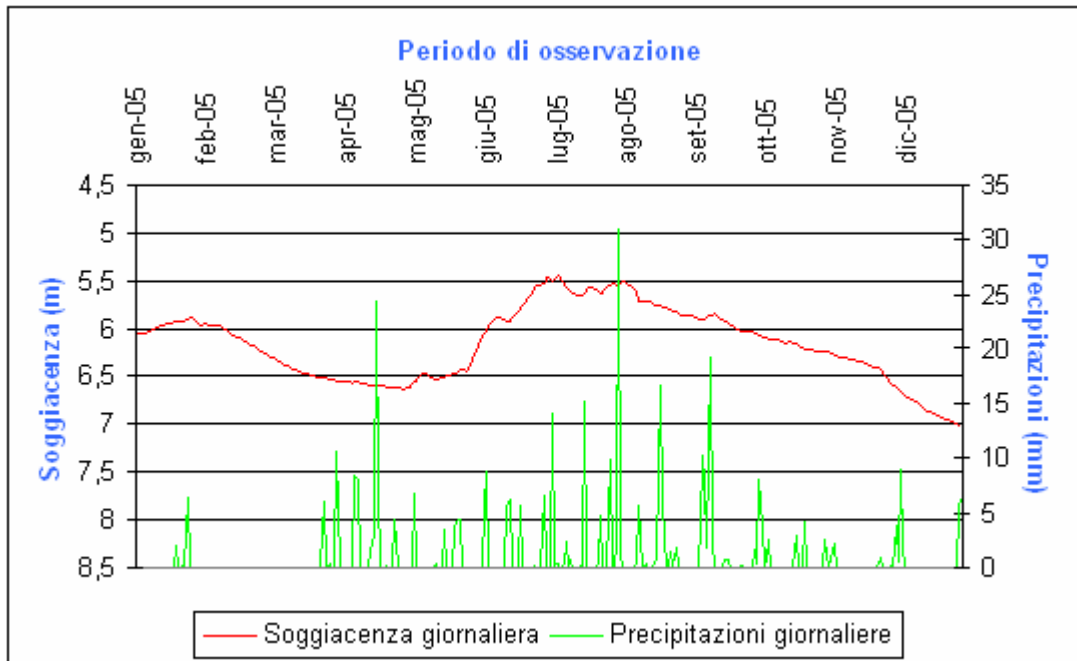


Figura 4.69 b - Correlazione soggiacenza SC5 e precipitazioni Saint Christophe nel 2005.

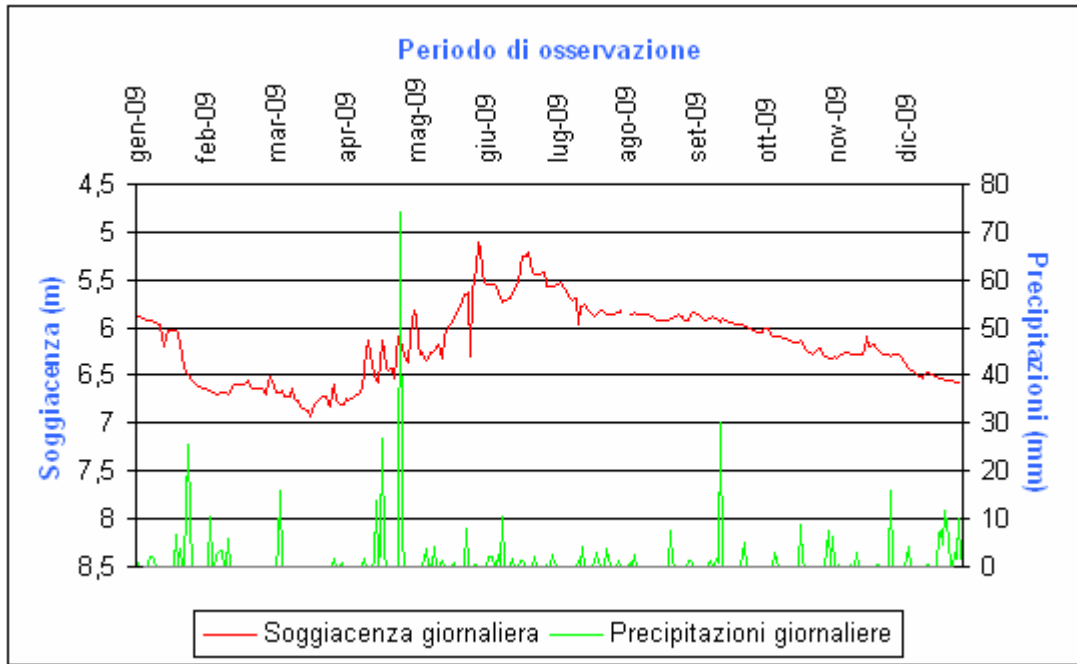


Figura 4.69 c - Correlazione soggiacenza SC5 e precipitazioni Saint Christophe nel 2009.

Piana di Verrès

In tale correlazione, è possibile analizzare l'intera serie storica di dati di soggiacenza a disposizione per il punto di misura Ar2.

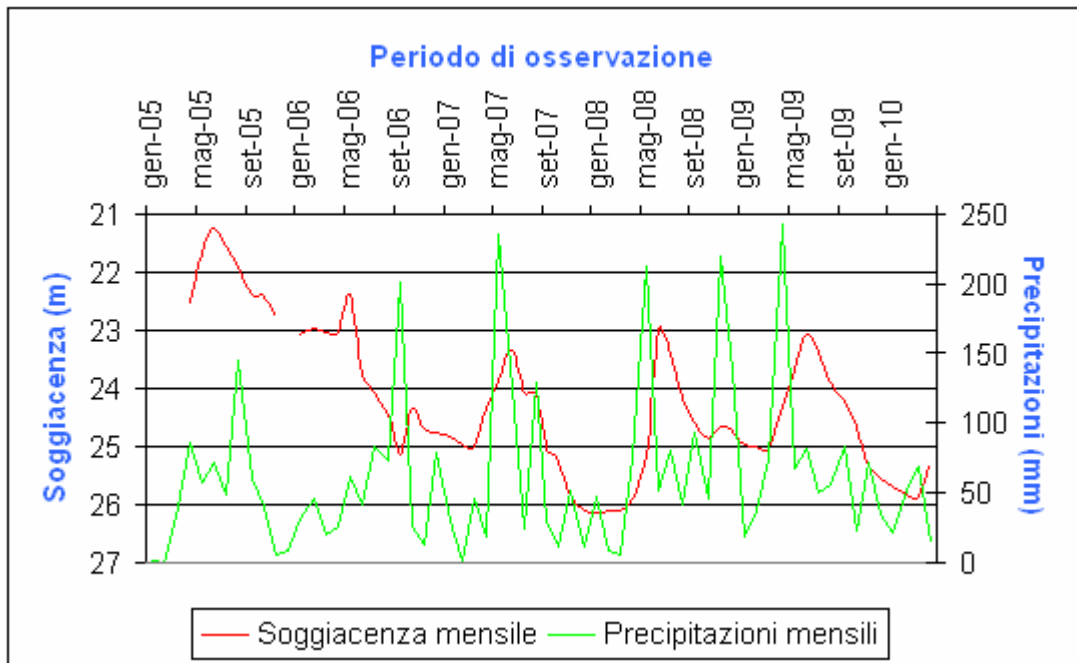


Figura 4.70 a - Correlazione soggiacenza Vè1 e precipitazioni Verrès nel periodo gennaio 2005-aprile 2010.

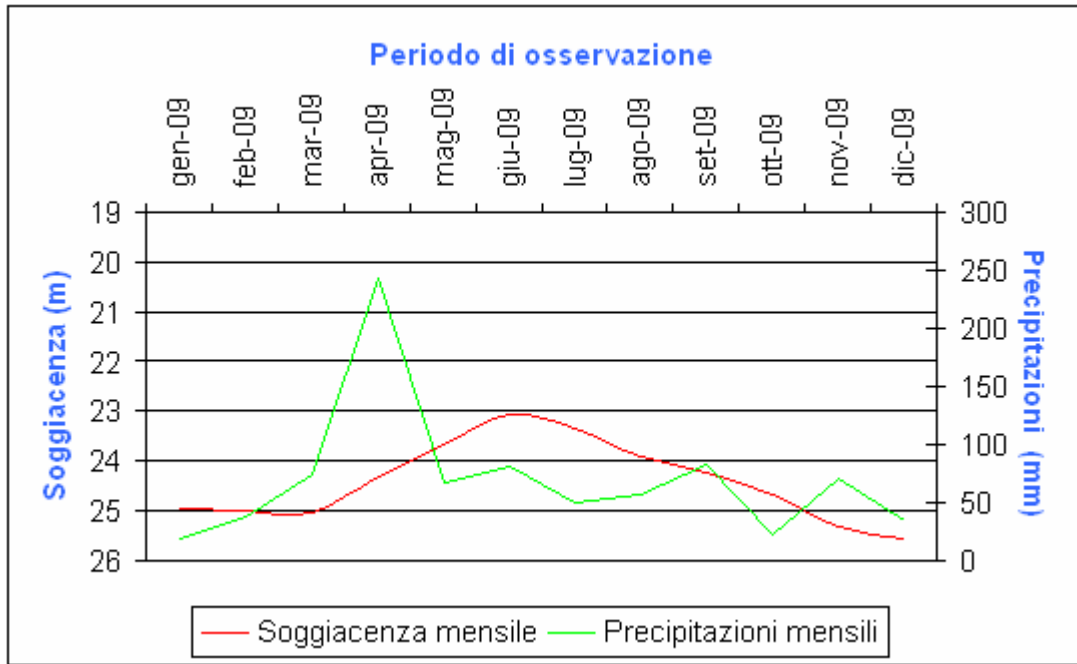


Figura 4.70 b - Correlazione soggiacenza Vè1 e precipitazioni Verrès nel 2009.

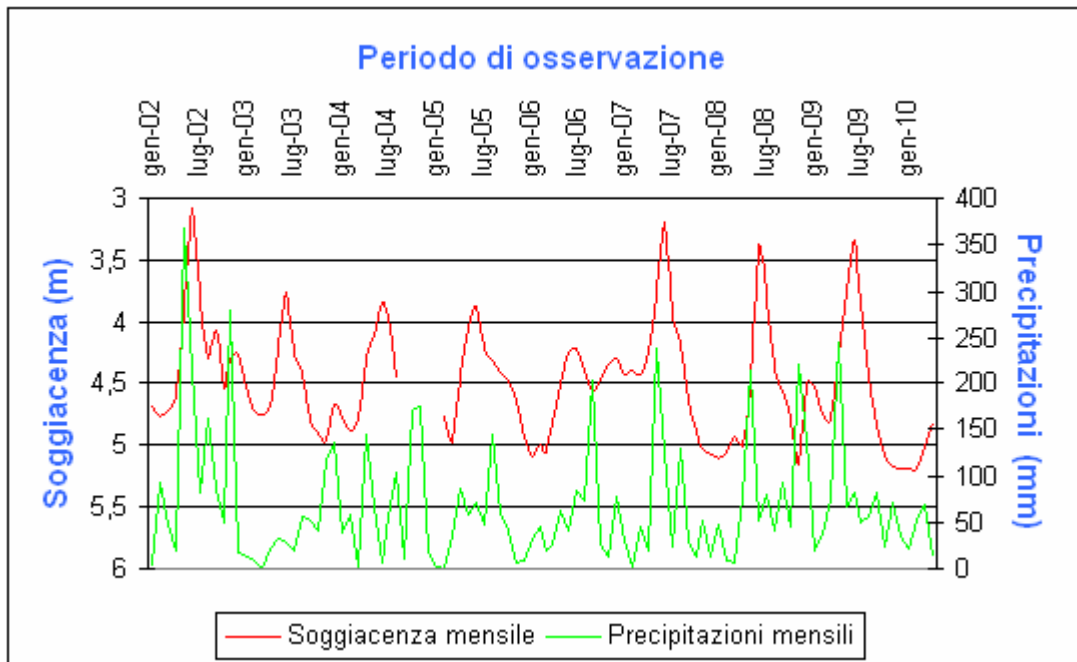


Figura 4.71 a - Correlazione soggiacenza Ar2 e precipitazioni Verrès nel periodo gennaio 2002-aprile 2010.

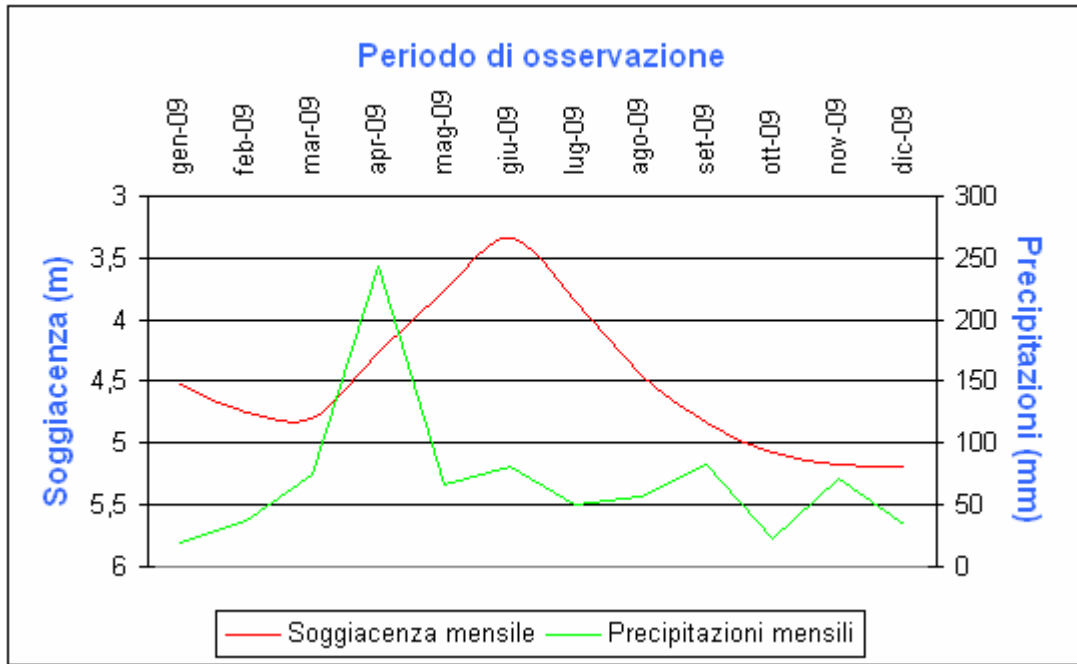


Figura 4.71 b - Correlazione soggiacenza Ar2 e precipitazioni Verrès nel 2009.

Piana di Donnas – Pont Saint Martin

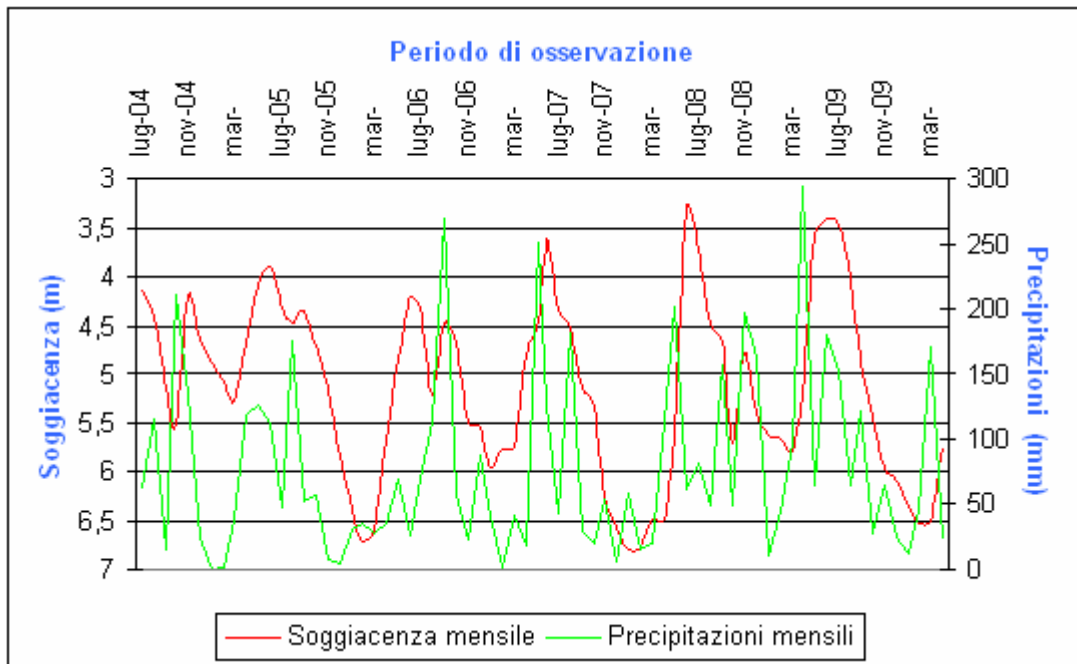


Figura 4.72 a - Correlazione soggiacenza Do4 e precipitazioni Donnas nel periodo luglio 2004 - aprile 2010.

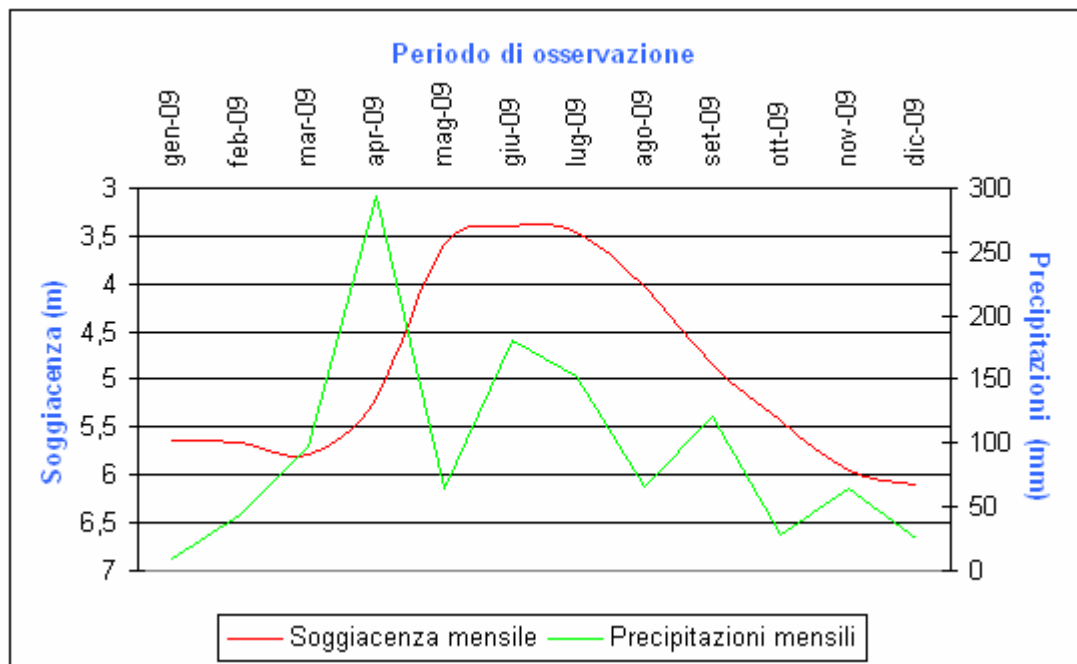


Figura 4.72 b - Correlazione soggiacenza Do4 e precipitazioni Donnas nel 2009.

Dai diagrammi si evince che le precipitazioni – caratterizzate come detto da una certa irregolarità - non influiscono in maniera diretta sul massimo innalzamento del livello piezometrico, avente un andamento ciclico regolare.

Tuttavia le precipitazioni influenzano in una certa misura il livello piezometrico nel periodo primaverile ed autunnale: in bassa valle gli abbondanti apporti primaverili causano in tutto il periodo di osservazione un innalzamento della falda anticipato (evidenziato sopra al par. 4.2.6.1) rispetto all'incremento delle portate.

Nella piana di Aosta questo fenomeno è evidente solo negli ultimi anni monitorati (dal 2007 in poi), caratterizzati da precipitazioni più consistenti che in quelli passati (vedasi sempre par. 4.2.6.1).

Pertanto, in definitiva, le precipitazioni in primavera ed autunno causano un innalzamento della falda dando luogo a picchi piezometrici secondari, mentre lo scioglimento degli accumuli nevosi incide in maniera preponderante sul massimo innalzamento della falda.

4.2.6.3 Correlazione soggiacenza-temperatura dell'aria

Piana di Aosta

In questo settore di fondovalle, disponendo di dati di soggiacenza giornalieri (*datalogger*) si è scelto di correlare questi ultimi, solo per una questione prettamente grafica, con la media mobile di settimo grado delle temperature medie giornaliere, anziché con i dati termici originali registrati dalle stazioni meteo considerate, in modo tale da smorzare i picchi derivanti dalle variazioni giornaliere.

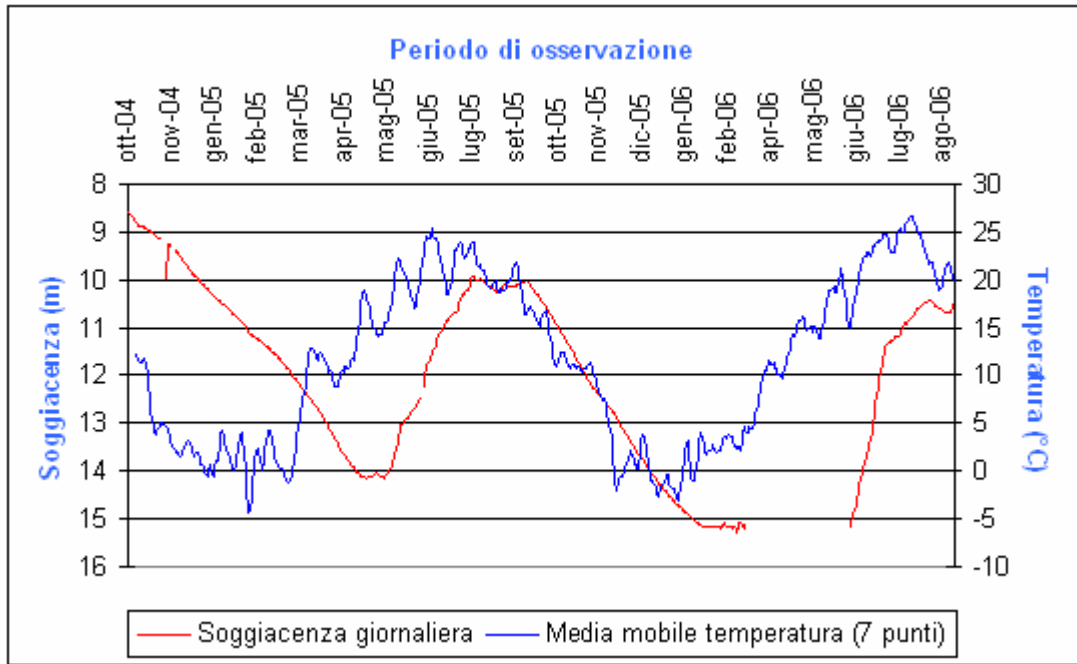


Figura 4.73 a - Correlazione soggiacenza Ao50 e media mobile delle temperature giornaliere di Aosta (Piazza Plouves) nel periodo ottobre 2004-agosto 2006.

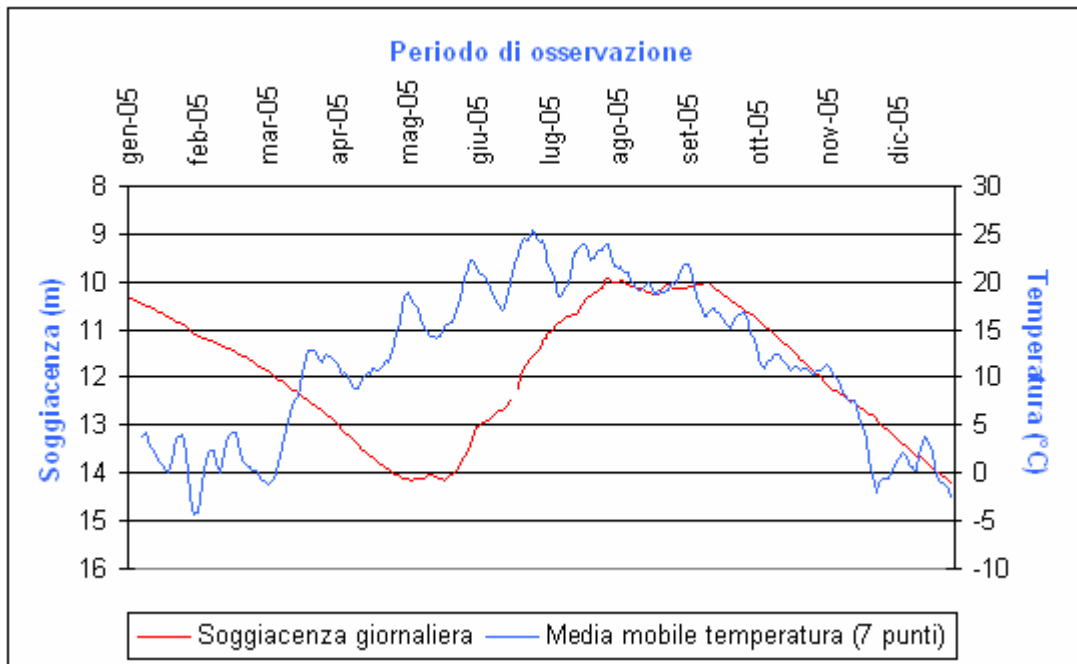


Figura 4.73 b - Correlazione soggiacenza Ao50 e media mobile delle temperature giornaliere di Aosta (Piazza Plouves) nel 2009.

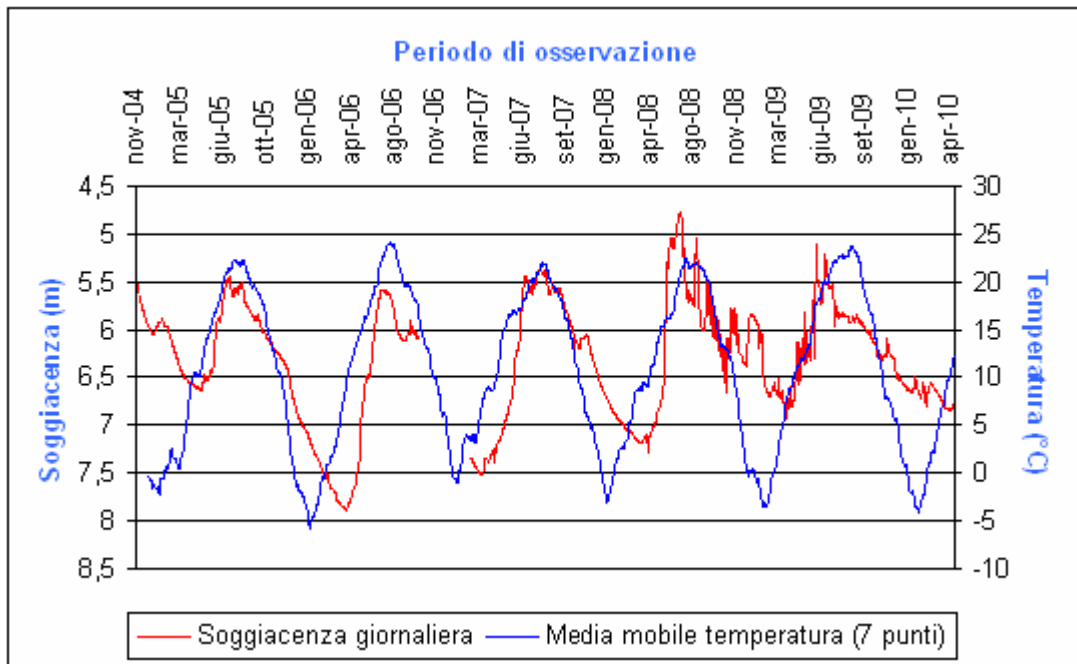


Figura 4.74 a - Correlazione soggiacenza SC5 e media mobile delle temperature giornaliere di Saint Christophe nel periodo novembre 2004- aprile 2010.

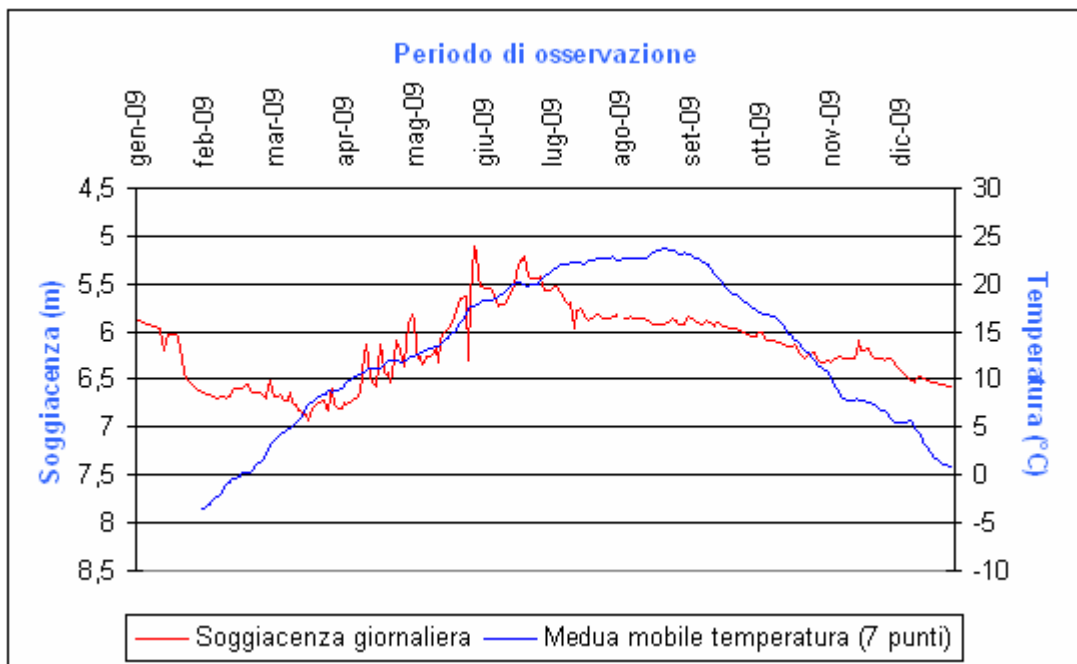


Figura 4.74 b - Correlazione soggiacenza SC5 e media mobile delle temperature giornaliere di Saint Christophe nel 2009.

Piana di Verrès

Avendo a disposizione in questo caso solo dati piezometrici misurati mensilmente, si è stabilito di correlarli con dati di temperatura media mensili.

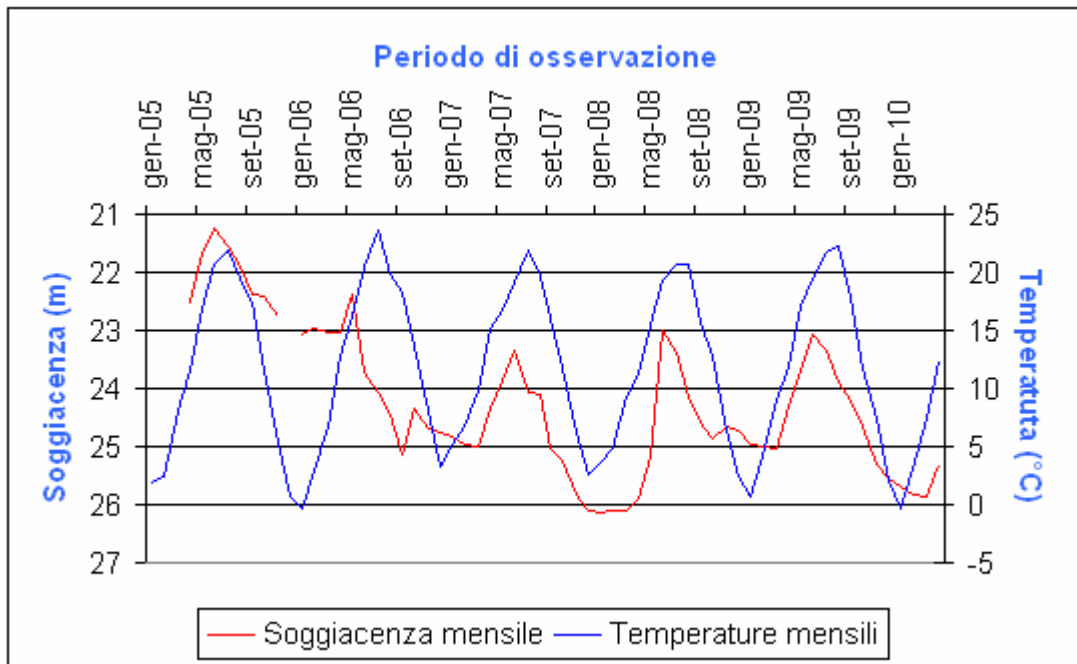


Figura 4.75 a - Correlazione soggiacenza Vè1 e temperature Verrès nel periodo gennaio 2005-aprile 2010.

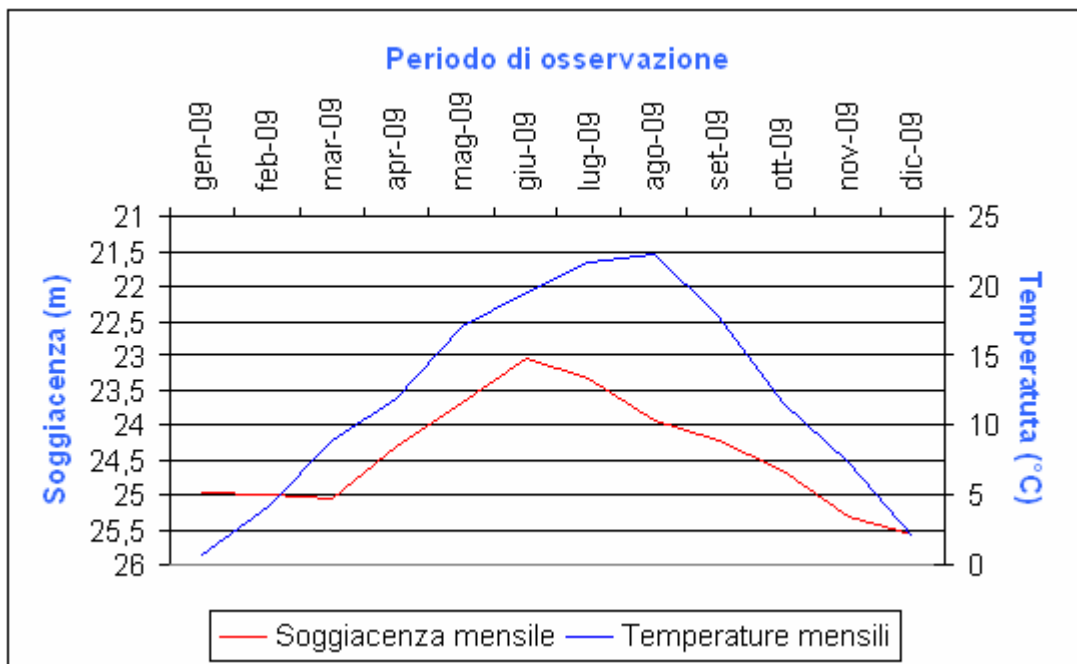


Figura 4.75 b - Correlazione soggiacenza Vè1 e temperature Verrès nel 2009.

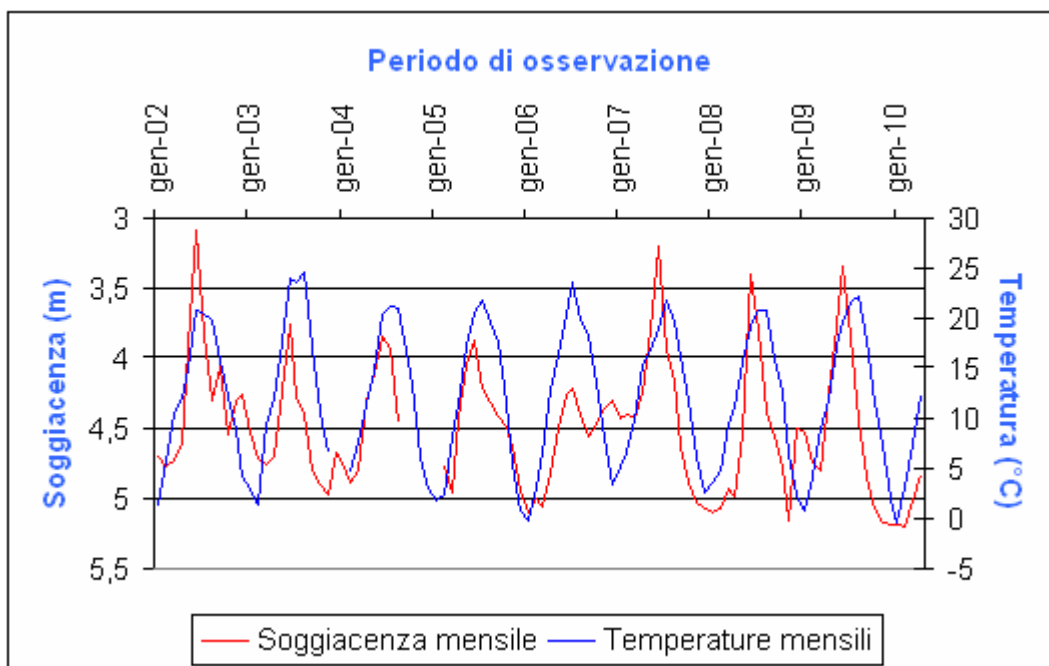


Figura 4.76 a - Correlazione soggiacenza Ar2 e temperature Verrès nel periodo gennaio 2002-aprile 2010.

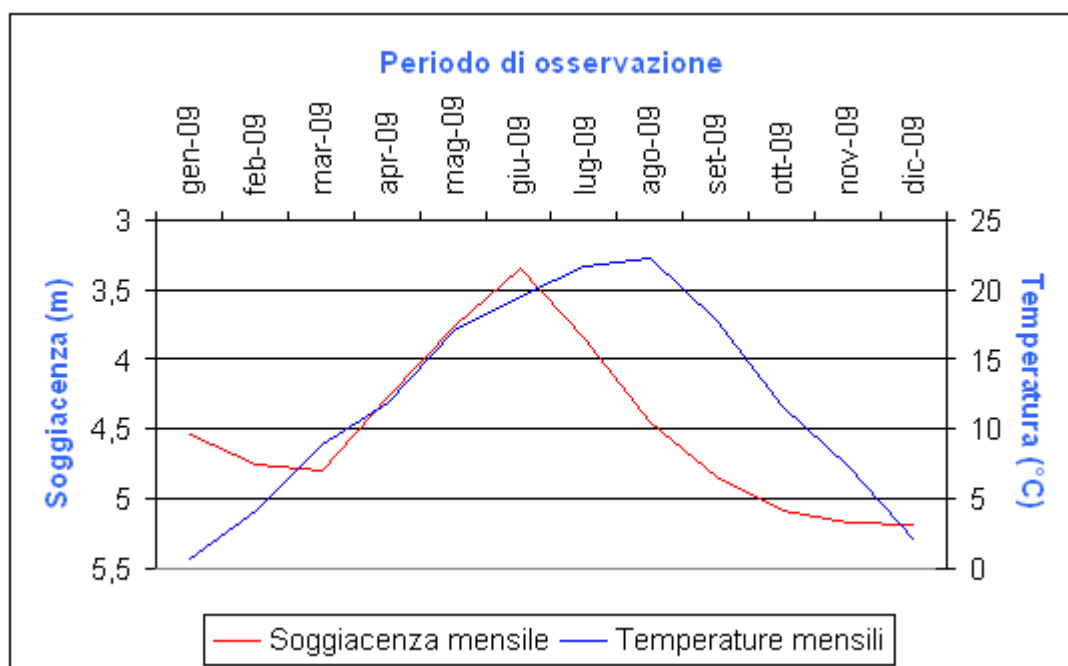


Figura 4.76 b - Correlazione soggiacenza Ar2 e temperature Verrès nel 2009.

Piana di Donnas – Pont Saint Martin

Come per la piana precedente vengono correlati dati di soggiacenza e di temperatura mensili.

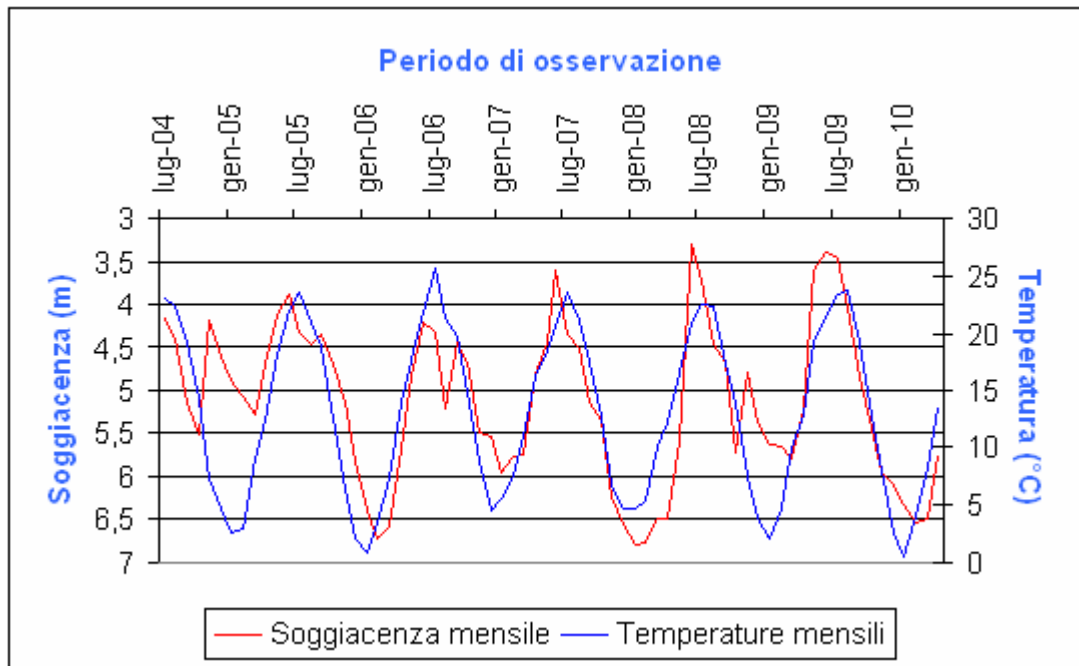


Figura 4.77 a - Correlazione soggiacenza Do4 e temperature Donnas nel periodo luglio 2004-aprile 2010.

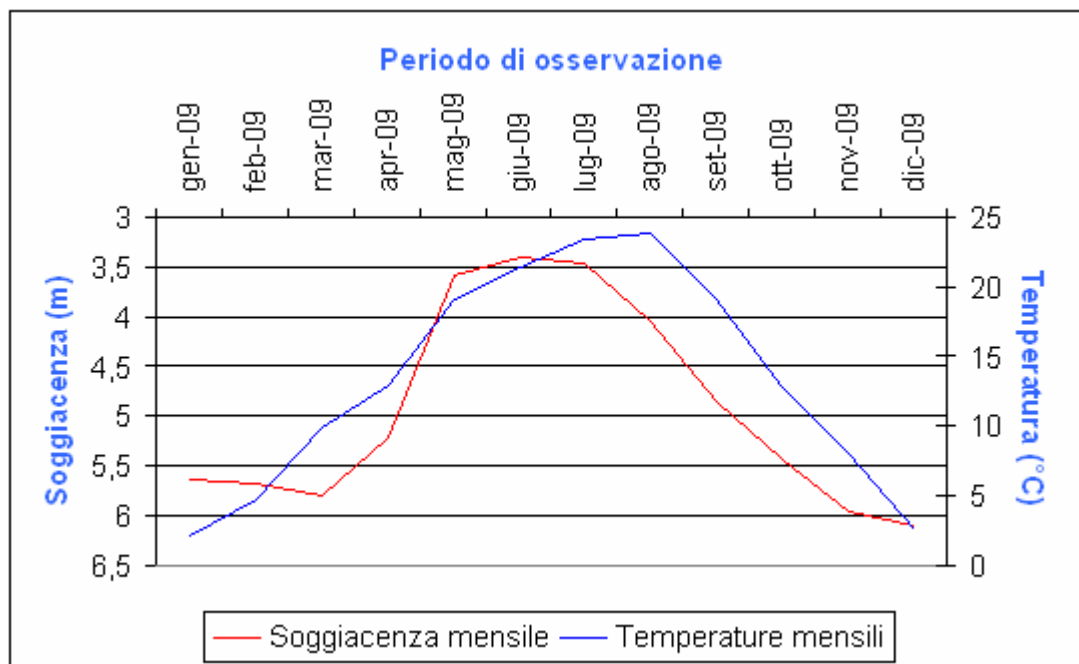


Figura 4.77 b - Correlazione soggiacenza Do4 e temperature Donnas nel 2009.

Si evince che le variazioni termiche sono correlate alle escursioni del livello piezometrico: un innalzamento della temperatura corrisponde ad un innalzamento della falda. Più in particolare, però, è la variazione della temperatura in quota – e non sul fondovalle – ad influenzare l'escursione della falda.

L'aumento termico in quota comporta, a partire circa dal mese di maggio alla quota di 2000 m (che si ricorda essere circa la quota media dell'intero territorio valdostano; cfr Fig.

2.7) un incremento della fusione delle masse nevose che qui si sono accumulate durante l'inverno.

In assenza di precipitazioni importanti, alla fusione segue dapprima un aumento della portata dei corsi d'acqua e poi l'innalzamento della falda freatica.

Secondariamente, nel fondovalle temperature al di sopra degli 0°C (specie quindi in bassa valle) possono influenzare ulteriormente la diminuzione di soggiacenza, in quanto le precipitazioni - se consistenti - si trovano già allo stato liquido e possono andare ad alimentare l'acquifero.

Si può dunque, concludere che il fattore primario che incide sulle variazioni piezometriche è quello termico, soprattutto in quota.

4.2.6.4 Correlazione soggiacenza - temperatura della falda

Da ultimo, si fa di seguito qualche considerazione in merito alla temperatura dell'acqua di falda; pur rappresentando essa un parametro non di primaria importanza ai fini del presente studio, si dispone comunque di alcune misure – oltre che discrete, fatte in occasione di ogni prelievo – in continuo dai *datalogger* che la rilevano assieme alla soggiacenza. Il diagramma di figura 4.78 evidenzia in sintesi un'escursione ad andamento regolare nell'arco dell'anno, di pochi gradi centigradi.

Si osserva inoltre che, inaspettatamente, l'andamento è opposto a quello della temperatura in aria (massimo invernale e minimo estivo): in prima analisi ciò potrebbe essere dovuto al fatto che la falda d'estate risente dell'alimentazione da parte del reticolo idrografico superficiale (avente una temperatura notevolmente minore rispetto a quella della falda) e della fusione delle neve.

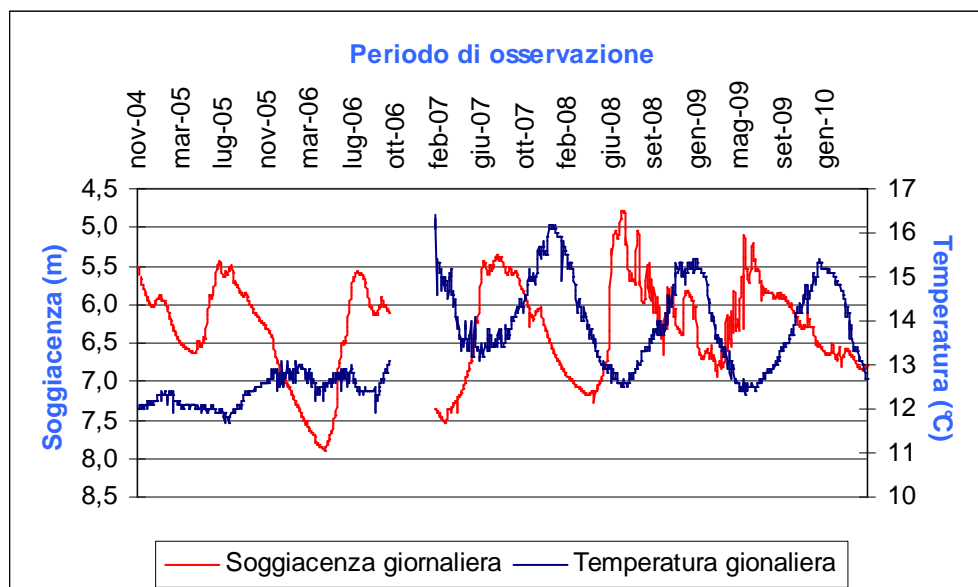


Figura 4.78 – Correlazione temperatura dell'acqua di falda nel piezometro SC5 e soggiacenza nel periodo novembre 2004 – aprile 2010.

Tali osservazioni tuttavia non possono essere al momento generalizzate vista la scarsità di dati a disposizione; esse dovranno pertanto essere verificate in futuro sulla base di dati rilevati anche in altre località e di serie storiche più significative.

4.3 Piezometria della piana di Aosta

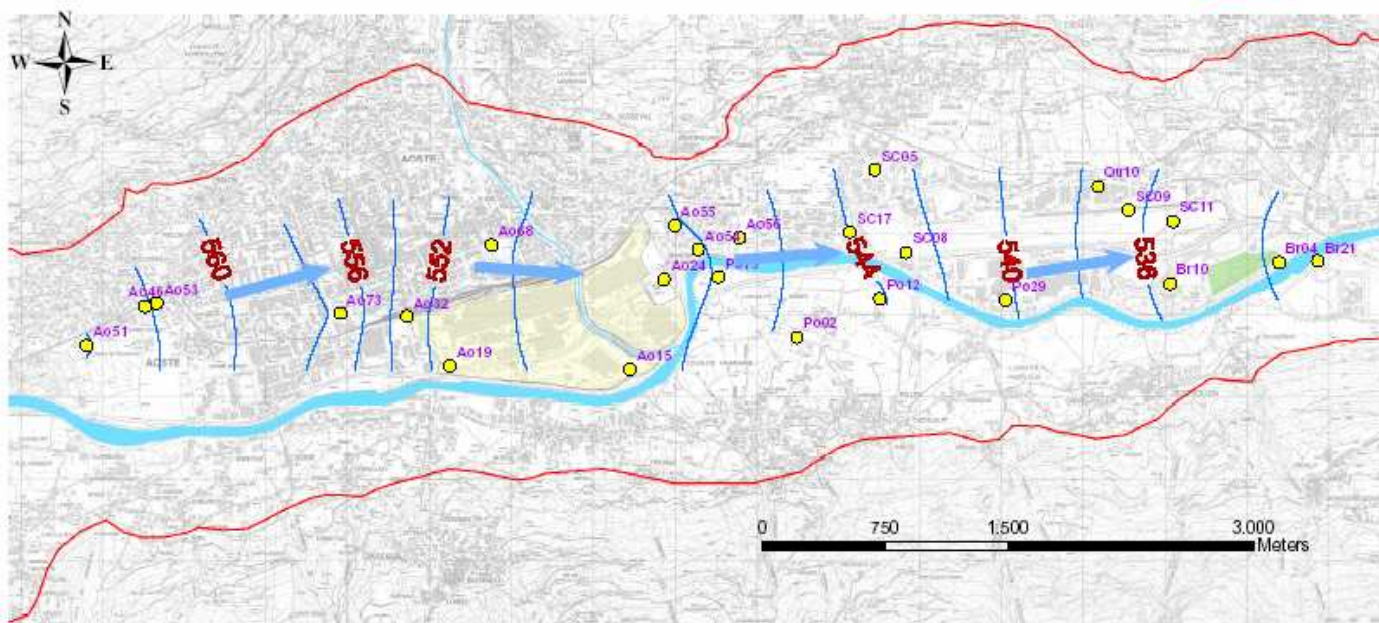
Come già detto al par. 3.4.5, tra i settori di fondovalle monitorati solo la piana di Aosta presenta una densità di punti di misura sufficiente per l'elaborazione di una carta piezometrica; peraltro tali condizioni si verificano limitatamente al tratto ubicato in sinistra idrografica, esteso circa 9 km lungo il corso della Dora Baltea, che va dal comune di Gressan a monte a quello di Brissogne a valle.

Queste carte sono realizzate da ARPA Valle d'Aosta normalmente¹⁴ per almeno tre periodi dell'anno (aprile, giugno e dicembre); a titolo di esempio in figura 4.79 si riporta la carta relativa al mese di giugno 2010, dalla quale si può evincere che l'andamento delle isopieze è piuttosto regolare e poco perturbato, con direzione principale di deflusso orientata da ovest verso est, all'incirca parallela rispetto al corso della Dora Baltea; il valore medio del gradiente idraulico (piuttosto variabile nei vari settori della piana) è di circa 0,005.

Il confronto tra carte redatte nel corso degli anni consente di evidenziare che la suddetta morfologia della falda e le direzioni di deflusso non si modificano sensibilmente nel corso dell'anno, passando dai periodi di massimo (estivo) a quelli di minimo (invernale) piezometrico stagionale; tuttavia si può osservare una variazione della spaziatura delle isopieze tra estate ed inverno nel settore a valle (est) del T. Buthier che suggerisce una marcata azione di alimentazione di quest'ultimo sulla falda (peraltro giustificata dal considerevole bacino – comprendente l'intera valle del Gran San Bernardo - presente a monte di detto torrente).

¹⁴ Le carte sono realizzate in automatico con *Surfer* e verificate, ove necessario, a mano col metodo della triangolazione.

Carta delle isofreatiche della piana di Aosta- Giugno 2010



Legenda

- punti di misura
- linee isofreatiche (m s.l.m.)
- ➔ direzioni principali di deflusso della falda
- limiti della piana
- aree industriali CAS - ex Cogne
- discarica di Brissogne

ARPA VdA - Sezione Acqua

Figura 4.79 – Carta delle isopieze della piana di Aosta – giugno 2010 (elaborazione ARPA Valle d'Aosta).

4.3.1 Rapporti tra acque sotterranee e superficiali

A causa della scarsità di punti di misura sui conoidi ed in destra idrografica rispetto alla Dora Baltea, sulla base dei dati ad oggi disponibili non si possono fare ulteriori considerazioni – oltre a quelle riportate sopra relative al T. Buthier e quelle bibliografiche (sintetizzate al par. 3.1) - riguardo al rapporto tra l'acquifero e l'idrografia superficiale.

Nel presente studio, si è comunque cercato di approfondire tale aspetto, provando a correlare le misure di falda del giugno 2010 (utilizzate per elaborare la carta in figura 4.79) con misure di livello del pelo libero dell'acqua¹⁵ da tre ponti sulla Dora Baltea ed uno sul T. Buthier (vedi ubicazione in figura 4.87).



Figura 4.80 – Passerella di Gressan (vista verso valle).



Figura 4.81 – Pont Suaz (vista da lato Aosta).

¹⁵ Benché tali misure siano state effettuate circa un mese dopo quelle di soggiacenza, esse sono comunque utilizzabili a questo fine avendo verificato dalle serie storiche degli idrometri che le variazioni del pelo libero dell'acqua tra giugno e luglio sono contenute (circa 30 cm).

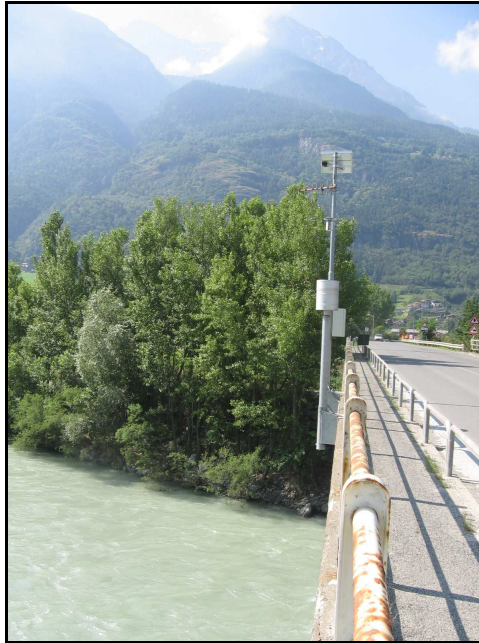


Figura 4.82 – Ponte di Pollein (vista da lato Aosta; si può osservare l'idrometro automatico).



Figura 4.83 - T. Buthier dal ponte nei pressi dell'Arco d'Augusto (vista verso valle).

Le misure sono illustrate nella tabella riportata di seguito (Tab. 4.7).

Tabella 4.7 – Quote topografiche dei ponti considerati e del pelo libero dei corsi d'acqua.

Ponte	Gressan	Pont Suaz	Pollein	Aosta (Arco d'Augusto)
Quota ponte (m s.l.m.)	577,86	570,03	548,60	581,40
Distanza pelo libero (m)	5,75	8,00	7,10	5,30
Quota pelo libero (m s.l.m.)	572,11	562,03	541,50	576,10

La carta di figura 4.87 mostra quindi l'elaborazione della carta delle isopieze realizzata mediante il metodo della triangolazione utilizzando anche le misure del pelo libero sulla Dora Baltea. Non è, invece, stata utilizzata la misura sul T. Buthier in quanto palesemente non correlabile con la quota di falda, essendo quest'ultima più bassa di oltre 20 m.

Da una prima analisi della carta realizzata si evidenzia la suddivisione in tre settori del tratto di piana esaminato, caratterizzati da un diverso rapporto fiume-falda:

- settori I e II: settori ovest e centrale della piana, con andamento delle isofreatiche che mostrano un'alimentazione da parte del corso d'acqua nei confronti della falda;
- settore III: settore est della piana, caratterizzato dal comportamento inverso rispetto ai precedenti.

Più in particolare osservando la suddetta carta si evince che:

- nel settore I la correlazione tra le quote della Dora Baltea (a Gressan e a Pont Suaz) con quelle della falda, mostra un andamento delle isopieze tipico di un'alimentazione diretta della falda da parte del corso d'acqua, rapporto schematizzato in figura 4.84.

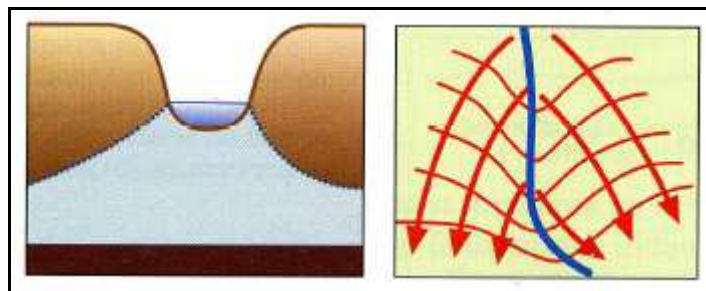


Figura 4.84 – Schematizzazione dei rapporti fiume-falda – falda drena fiume, contatto diretto (CIVITA, 2005).

Tale correlazione porta a risultati apparentemente poco realistici, sia per quanto riguarda il gradiente idraulico (molto elevato in corrispondenza dei due suddetti punti), sia per quanto riguarda la direzione di deflusso principale, che assumerebbe localmente una direzione SO-NE opposta al gradiente topografico e nettamente diversa da quella evidenziata negli altri settori¹⁶. In tale settore parrebbe pertanto più ragionevole ipotizzare una situazione del tipo di figura 4.85, in cui si verifica un'alimentazione dal fiume alla falda senza un contatto diretto tra i due sistemi.

¹⁶ Tali anomalie – di gradiente e di direzione di deflusso - non sono peraltro giustificate da condizioni di pompaggio da parte dei pozzi esistenti nella zona, quali quelli del Comune di Aosta (uso idropotabile) e delle aree industriali CAS-ex Cogne (uso industriale), per i quali l'abbassamento dinamico è stato valutato dell'ordine di soli 1-1,5 m.

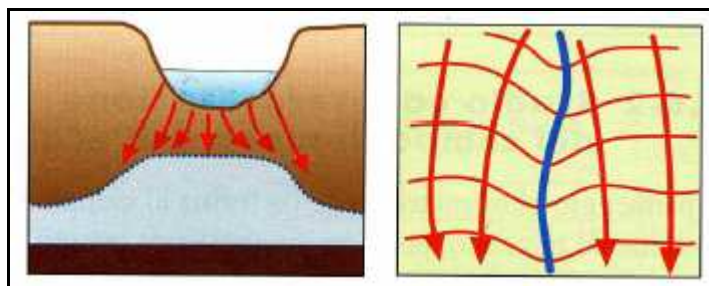


Figura 4.85 – Schematizzazione dei rapporti fiume-falda – falda drena fiume, assenza di contatto diretto (CIVITA, 2005).

Quest'ultimo schema di alimentazione è solitamente applicato per un corso d'acqua impostato in un complesso scarsamente permeabile, situazione non rappresentativa del tratto di piana in esame caratterizzato come detto dalla presenza di ghiaie e sabbie; pertanto si può ipotizzare per questa porzione di fondovalle una via di mezzo tra le due ipotesi di alimentazione (con e senza contatto) sopra riportate. Questa determinerebbe una risalita quasi verticale della superficie piezometrica al di sotto dell'alveo del corso d'acqua generata da un'alimentazione diretta "a caduta" da parte della Dora nei confronti del corpo idrico sotterraneo;

- nel settore II – ove si ricorda, come evidenziato al par. 3.1, il livello del fiume e quello della falda tendono via via a collimare procedendo verso valle – la morfologia della tavola d'acqua risulta del tutto analoga a quella mostrata in figura 4.79. In tale settore è ragionevole ipotizzare un rapporto diretto fiume-falda (schematizzato sempre in figura 4.84) in cui comunque il corso d'acqua alimenta l'acquifero (come nel caso precedente) e le direzioni del flusso sotterraneo tendono a divergere rispetto a quella del corso d'acqua;
- procedendo verso valle, in corrispondenza del settore III le isopieze cambiano il proprio andamento (da concavo a convesso). Nello specifico, inizialmente, le isopieze mostrano un rapporto tra falda e corso d'acqua pressoché indifferente, infatti, tali linee si presentano all'incirca perpendicolari al corso della Dora; mentre all'estremità est della piana le isopieze presentano una convessità verso monte, andamento che esprime il passaggio da un comportamento di alimentazione ad uno di drenaggio della falda da parte del corso d'acqua, rapporto schematizzato in figura 4.86.

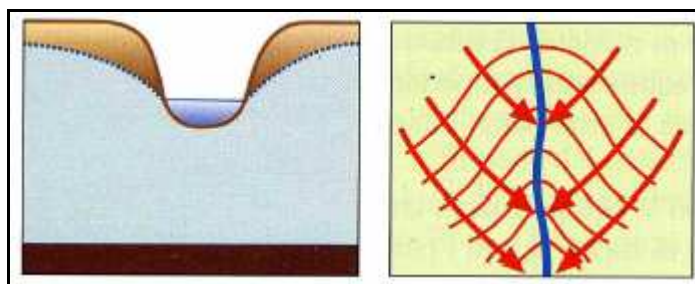


Figura 4.86 – Schematizzazione dei rapporti fiume-falda – fiume drena falda (CIVITA, 2005).

Il diverso comportamento sopra descritto nei tre suddetti settori sembrerebbe essere dovuto essenzialmente alla differenza di livello tra fiume e falda, in quanto nell'alveo del tratto in esame della Dora Baltea non risultano opere di impermeabilizzazione artificiali (esempio plateazione).

In definitiva il rapporto tra i due corpi idrici analizzati rimane, nel tratto occidentale della piana, tuttora da definire. In quest' area appare evidente che l'esecuzione di sondaggi attrezzati a piezometro, nelle immediate vicinanze dei corsi d'acqua, risulterebbe molto utile al fine di poter valutare con precisione l'andamento della superficie piezometrica. Negli altri due settori in cui è suddivisa la piana di Aosta il rapporto falda-fiume può essere definito con chiarezza anche sulla base degli studi pregressi.

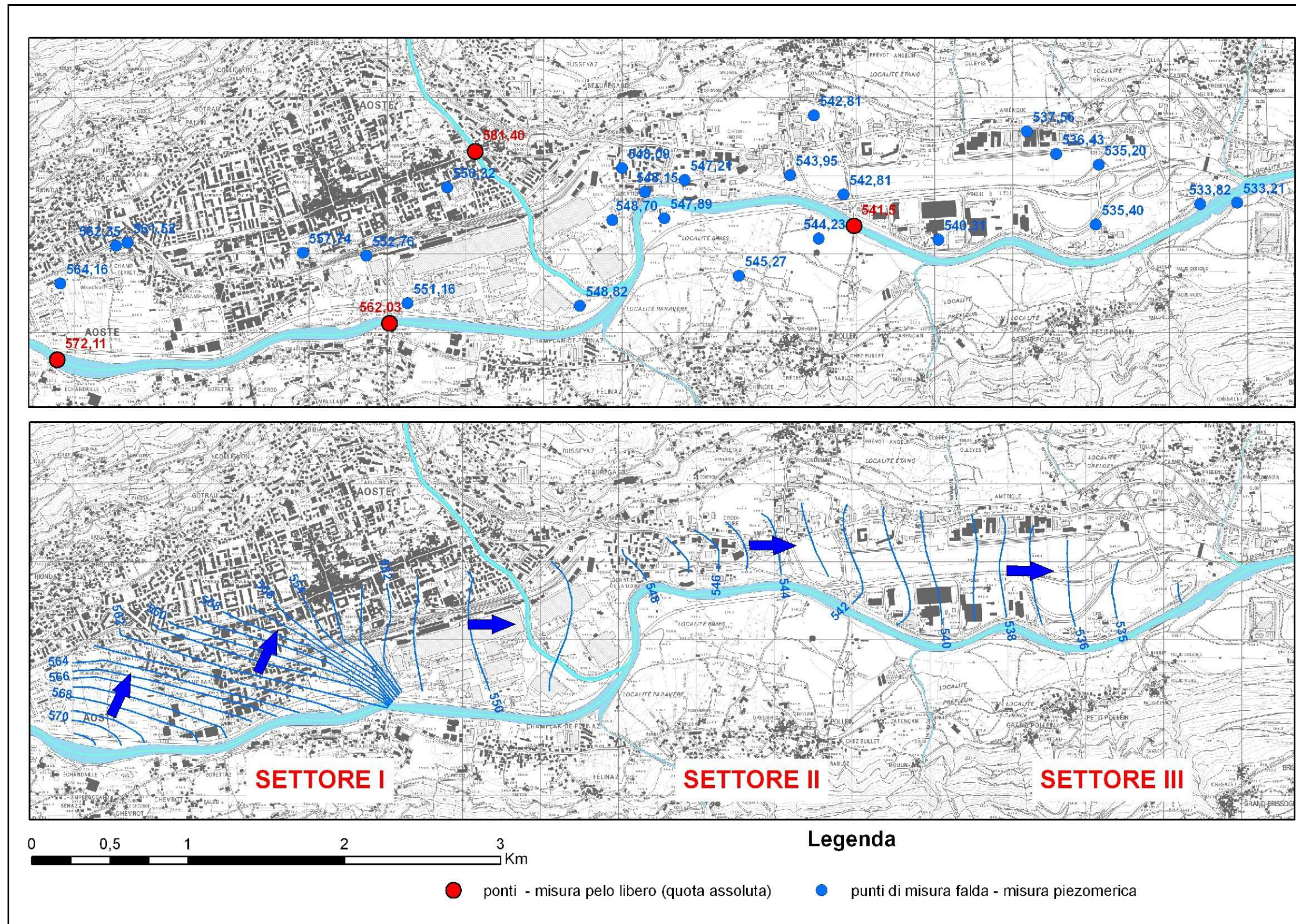


Figura 4.87 – Carta piezometrica della piana di Aosta, elaborata utilizzando anche le misure sulla Dora Baltea – giugno 2010. Le frecce blu indicano la direzione di flusso, mentre le linee blu rappresentano le isopieze.

4.4 Qualità delle acque sotterranee

Nel presente paragrafo viene brevemente trattato – dopo l'aspetto quantitativo del monitoraggio, di maggiore interesse per il presente lavoro – anche l'aspetto qualitativo¹⁷. Non verranno ovviamente affrontate le tematiche legate all'analisi di laboratorio, di competenza strettamente chimica, bensì quelle riguardanti il campionamento e le analisi di campo.

4.4.1 Campionamento

Obiettivo del prelievo è quello di ottenere un'aliquota rappresentativa dell'acqua appartenente all'acquifero di cui si vuole conoscere lo stato chimico-fisico in un determinato momento; è quindi essenziale che le procedure di prelievo - oltre che di conservazione, trasporto, preparazione e analisi del campione - siano idonee a mantenere intatta la sua rappresentatività.

Nel caso di pozzi in attività (cfr par. 3.3.1) – ove cioè l'acqua nelle tubazioni non è stagnante ma continuamente prelevata dall'acquifero - è possibile prelevare direttamente il campione d'acqua dal pozzo, o in prossimità del boccapozzo, tramite rubinetto.

Nel caso di piezometri invece inattivi - affinché il campione di acqua rappresenti effettivamente la falda nell'intorno del punto di misura - prima del prelievo bisogna effettuare uno spurgo per l'eliminazione dell'acqua stagnante, non rappresentativa delle condizioni dell'acquifero in quanto rimasta a contatto con l'aria atmosferica e con le pareti del tubo del piezometro. Pertanto in questo caso ci si deve avvalere di apposita pompa idrosommersibile, calata al di sotto del livello della falda¹⁸.

Lo spurgo¹⁹ deve normalmente assicurare la rimozione di 3-5 volumi di acqua stagnante, oppure la stabilizzazione dei principali parametri chimico-fisici dell'acqua misurati in campo (temperatura, pH, conducibilità); la sua durata dipende pertanto dalle caratteristiche tecniche del piezometro (diametro e profondità), dalla trasmissività dell'acquifero e dalla portata della pompa utilizzata. Nel caso del fondovalle valdostano, ad esempio, lo spurgo dei piezometri (profondi mediamente 20 m) deve avere solitamente una durata di un quarto d'ora-venti minuti circa.

¹⁷ In tale lavoro si prende in considerazione solo l'aspetto qualitativo delle acque sotterranee, aspetto però trattato da ARPA Valle d'Aosta anche per le acque superficiali.

¹⁸ Tale attività comporta l'utilizzo di altri dispositivi necessari a fornire l'energia per il sollevamento dell'acqua (motogeneratore, frequenzimetro).

¹⁹ Da non confondere con lo sviluppo del piezometro, effettuato una tantum dopo il suo allestimento e protratto sino ad ottenimento di acqua chiara.



Figura 4.88 - La pompa idrosommersibile viene calata all'interno del tubo piezometrico.



Figura 4.89 - Sonde portatili per la misura dei parametri chimico-fisici.

Dopo lo spurgo si procede al prelievo di campioni, costituiti da una quantità d'acqua concordata con il laboratorio di analisi. I campioni sono raccolti in contenitori di tipologia differente a seconda delle analisi che devono essere condotte.



Figura 4.90 - Alcune tipologie di vetreria utilizzate in campo.

4.4.2 Qualità delle acque sul fondovalle valdostano

Con riferimento alla rete di monitoraggio esistente sul territorio regionale - descritta in dettaglio al cap. 3 e sintetizzata in tabella 3.3 - in figura 4.91 è visualizzato, a titolo esemplificativo, il risultato del monitoraggio qualitativo relativo al primo semestre 2009 ai sensi del D.Lgs. 30/09.

Risulta evidente che le criticità sono concentrate, salvo un unico punto nella piana di Pont Saint Martin, esclusivamente nella piana di Aosta, come detto quella più interessata dalla presenza di insediamenti industriali di una certa rilevanza. Sul resto del territorio regionale la qualità delle acque sotterranee è buona.

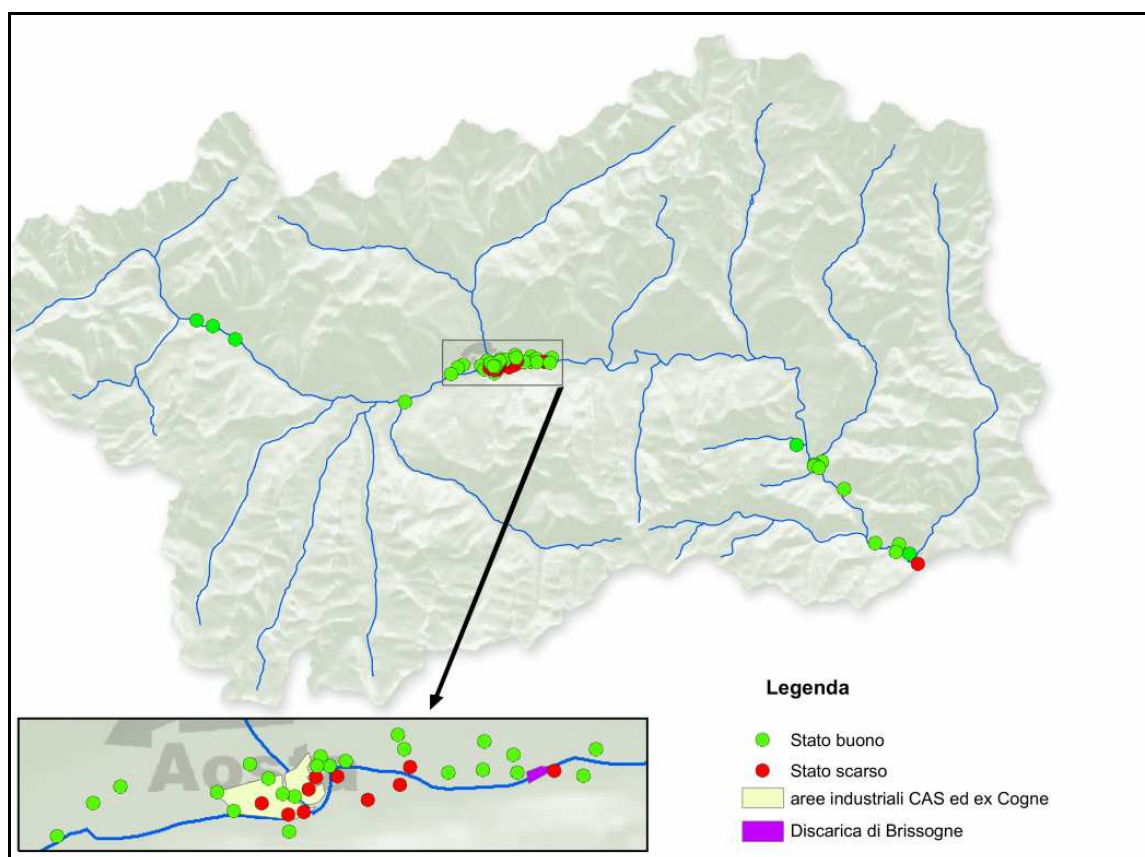


Figura 4.91 - Stato chimico ai sensi del D.Lgs. 30/09 – 1° semestre '09.

Per meglio evidenziare quanto riportato al par. 3.2.2 in merito al recente cambiamento della normativa di riferimento, nella figura 4.92 viene riportata la classificazione riferita al medesimo periodo, elaborata secondo il D.Lgs. 152/99 precedentemente in vigore.

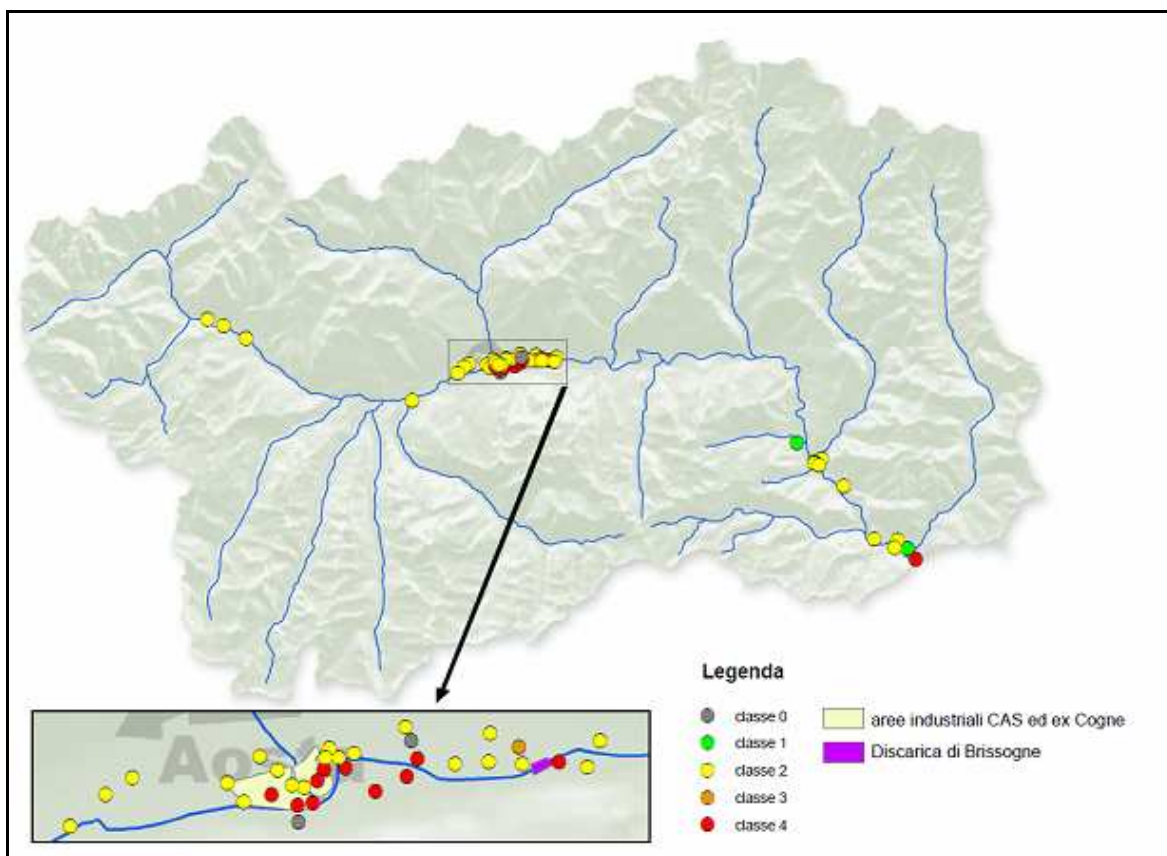


Figura 4.92 - Stato chimico ai sensi del D.Lgs. 152/99 – 1° sem estre '09.

Come si vede la differenza tra le due classificazioni non è sostanziale, in quanto in entrambe le carte sono evidenti le criticità date da inquinamenti di origine antropica (stato “scarso” e classe 4); per il resto la vecchia normativa dava un dettaglio maggiore sullo stato di qualità, distinguendo anche i punti con situazioni particolari non dovute a fattori antropici (classe 0).

4.4.3 Qualità delle acque nella piana di Aosta

Come già anticipato sopra commentando le figure 4.91 e 4.92, nella piana di Aosta sussistono le maggiori criticità del territorio regionale inerenti la qualità delle acque sotterranee.

Nella figura 4.93 si è riassunto il quadro qualitativo della falda prendendo a riferimento sempre giugno 2009, con un dettaglio tale da illustrare anche i superamenti delle massime concentrazioni previste dalla normativa²⁰.

²⁰ Intendendo qui con tale termine tutte le varie normative ad ora vigenti sulle acque sotterranee ed illustrate al par. 3.2.2 - D.Lgs.152/06 (siti contaminati), D.Lgs.30/09 (monitoraggio) e D.Lgs.31/01 (acque potabili) – nelle quali, come detto, le massime concentrazioni ammissibili per i vari parametri restano, con poche eccezioni, sostanzialmente le medesime.

La suddetta figura mostra innanzitutto che la maggior parte dei punti presenta concentrazioni sempre entro i limiti per tutti i parametri considerati, e che le suddette criticità sono essenzialmente due:

- una contaminazione da Cromo VI che si origina dall'interno delle aree industriali CAS-ex Cogne (esistenti da quasi un secolo) che fuoriesce verso valle dal perimetro industriale, interessando soprattutto la sponda idrografica destra (comune di Pollein). Questo *plume* inquinante dà luogo alla quasi totalità dei punti in stato scarso e classe 4 rispettivamente nelle figure 4.91 e 4.92;
- elevate concentrazioni di alcuni parametri (tipicamente Ferro e Manganese) nei dintorni della discarica di Brissogne, non imputabili all'attuale impianto di discarica bensì alla presenza in quest'area di vecchi rifiuti smaltiti negli scorsi decenni.

Queste problematiche non riguardano l'intera piana, ma sono localizzate in due settori a valle – rispetto alla direzione principale di deflusso della falda - dell'area urbana di Aosta; a tale proposito si precisa che i pozzi ad uso idropotabile comunali sono ubicati appunto in corrispondenza della zona urbana, e non risultano pertanto interessati dai sopraindicati inquinamenti.

Secondariamente, sull'area urbana di Aosta è presente una contaminazione diffusa da solventi clorurati (tetracloroetilene), rilevabili in concentrazioni in alcuni casi (due nel caso di giugno 2009) appena superiori ai limiti molto restrittivi posti dalla normativa per questi composti (1,1 µg/l per il tetracloroetilene). Si tratta di un inquinamento privo di un'unica sorgente di contaminazione essendo dovuto presumibilmente a diverse perdite da insediamenti artigianali (esempio lavanderie) verificatesi negli scorsi decenni (tali composti infatti non si degradano) quando la manipolazione e lo smaltimento di tali prodotti non erano regolamentati.

Oltre alle criticità sopra citate di origine antropica – tutte, come si è visto, di origine in gran parte non recente - si hanno i seguenti superamenti dei limiti normativi, di origine esclusivamente naturale²¹:

- per quanto riguarda i solfati, si rileva costantemente - in tutte le campagne di prelievo – un superamento dei limiti di legge (250 mg/l) sempre in un solo pozzo (Ch1, nel comune di Charvensod); ciò è presumibilmente ascrivibile ad fascia di gessi non affiorante nel versante a monte²²;
- il Nichel, invece, può superare occasionalmente la propria concentrazione massima ammissibile dalla normativa (20 µg/l) in diversi punti di prelievo, a seconda della campagna considerata (nel caso specifico solo il pozzo Jo1 nel

²¹ Classificabili come classe 0 ai sensi del D.Lgs. 152/99 e come stato buono ai sensi del D.Lgs. 30/09.

²² L'origine naturale del superamento può essere confermata anche dai valori piuttosto alti in solfati nelle acque superficiali del torrente di Gressan.

comune di Jovençon). Tale superamento è esclusivamente legato alla diffusa presenza di “rocce verdi”, associate ai calcescisti, nel territorio della piana di Aosta e, di conseguenza, nel materiale alluvionale all’interno del quale scorrono le acque sotterranee. Tali litotipi presentano infatti un alto tenore in questo minerale, assieme ad altri come Ferro e Manganese i quali possono a loro volta eventualmente superare (benché ciò non accada nella campagna di giugno 2009 qui considerata) i valori posti dalla normativa (pari rispettivamente a 200 e a 50 µg/l).

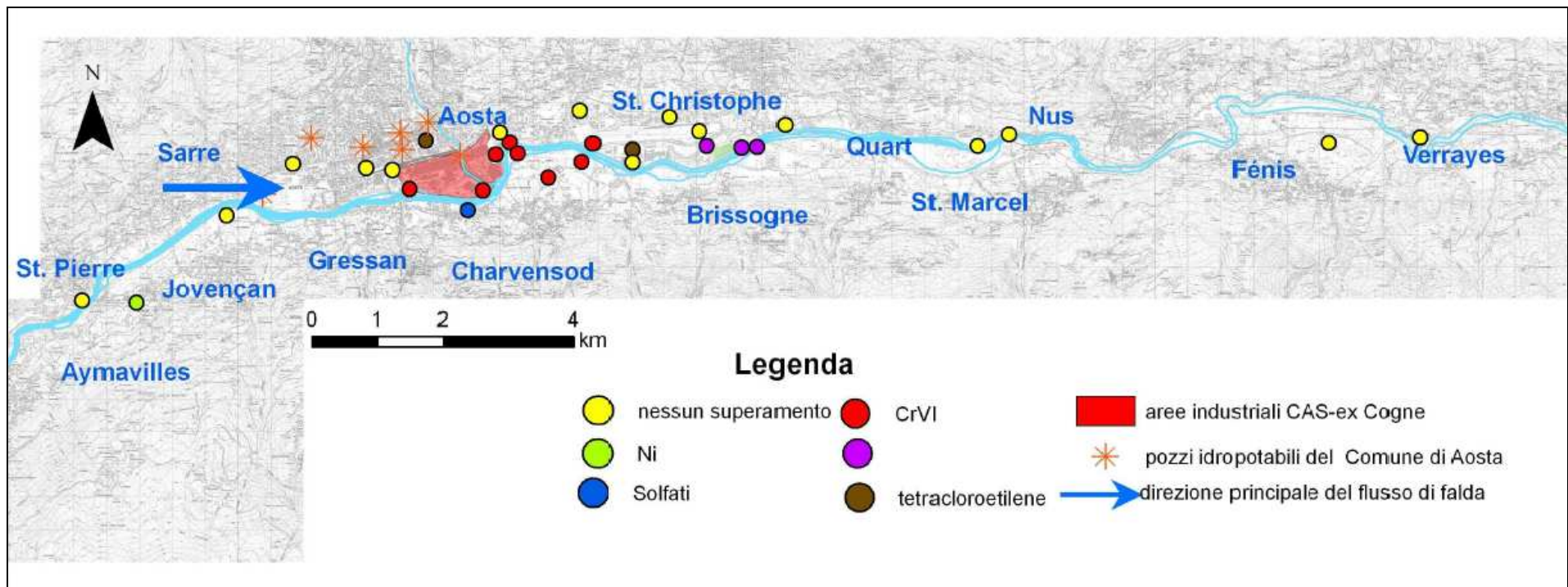


Figura 4.93 – Superamenti dei limiti normativi nella campagna di Giugno 2009 ed ubicazione dei pozzi idropotabili del Comune di Aosta e (ubicati come si vede a monte delle principali criticità).

Per quanto riguarda gli aspetti idrochimici, dalle analisi di laboratorio dei campioni prelevati è possibile elaborare il diagramma di Schoeller, che permette di confrontare agevolmente le facies idrochimiche di differenti campioni d'acqua sulla base delle concentrazioni, espresse in milliequivalenti/litro, dei principali cationi (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+) e anioni (HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^-) presenti in soluzione.

Si riporta in figura 4.94, a titolo esemplificativo, il diagramma di Schoeller realizzato a seguito della campagna semestrale di monitoraggio qualitativo di giugno 2009, sopra illustrata.

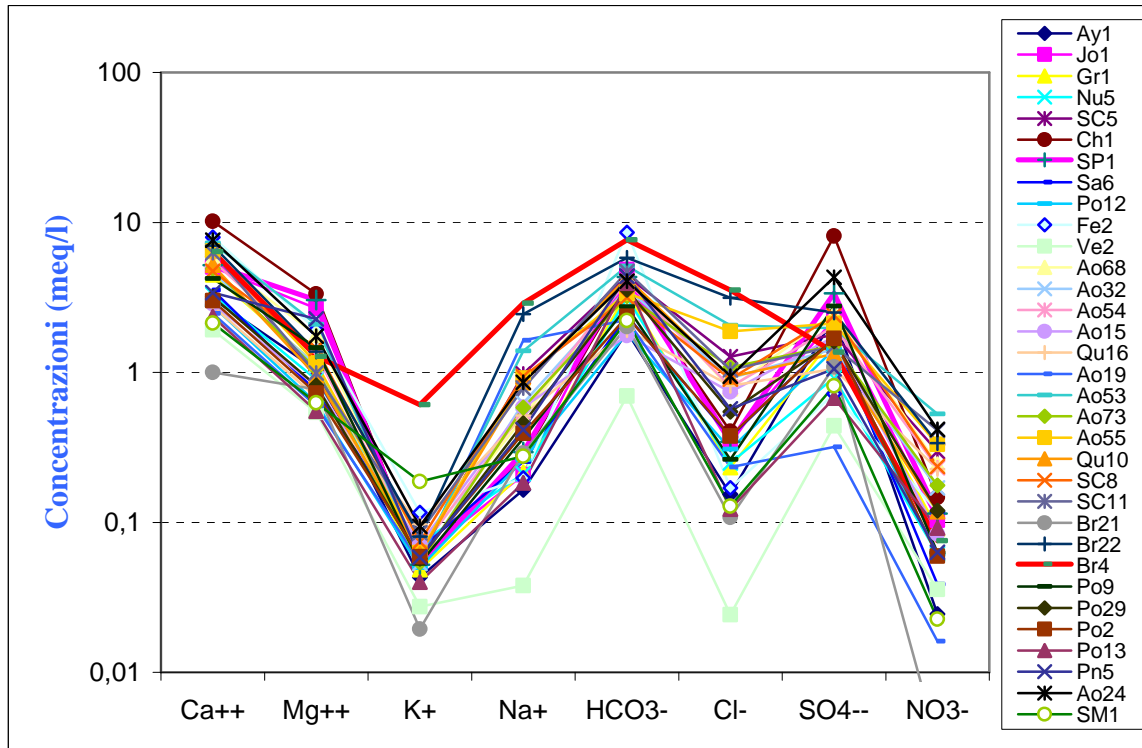


Figura 4.94 – Diagramma di Schoeller – giugno 2009.

Le specie ioniche prevalenti sono per i cationi il calcio (secondariamente il magnesio), mentre per gli anioni i bicarbonati (in misura minore i solfati), per cui il chimismo prevalente – rappresentato dal fascio di spezzate tra loro parallele - è di tipo bicarbonato calcico-magnesiaco. La correlazione con i litotipi presenti risulta complessa, stante la varietà di rocce che costituiscono il materasso alluvionale provenienti dall'intero bacino a monte, in cui sono prevalenti rocce silicatiche, con subordinate rocce carbonatiche non pure (calcescisti). Lo ione bicarbonato può quindi, in questo caso, derivare oltre che dalla dissoluzione dei carbonati soprattutto dalla CO_2 atmosferica.

Nel diagramma si evidenziano inoltre quali eccezioni gli andamenti - con riferimento a quanto sopra detto - di Ch1 (facies solfato-calcica) e Br4-Br22 ubicati nei pressi della discarica di Brissogne ove come detto il chimismo naturale della falda è fortemente alterato (si nota infatti un elevato contenuto in NaCl , superiore ad 1 meq/l). Infine, si nota che il campione avente la minore mineralizzazione è il pozzo Ve2, ubicato nel comune di Verrayes, all'estremità est della piana.

5 – DISCUSSIONE E CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

La parte sperimentale del presente studio è consistita dapprima nell'esame indipendente dei dati riguardanti il livello piezometrico nella media e bassa Valle d'Aosta ed altre variabili naturali che possono influenzarlo (temperatura dell'aria, portata dei corsi d'acqua e precipitazioni) e, successivamente, nella ricerca di correlazioni tra il livello di falda e le suddette variabili; ciò al fine di individuare le interconnessioni esistenti tra sistema idrico sotterraneo e superficiale.

5.1 Difficoltà incontrate nella ricerca

Le principali difficoltà hanno riguardato i punti esaminati nei seguenti sottoparagrafi.

5.1.1 Affidabilità dei dati

Riguardo alle variabili esaminate si osserva che:

- benché le misure di soggiacenza siano in sé affidabili - in quanto rilevate con uno strumento dedicato (sondino piezometrico con nastro in polietilene centimetrato) avente un errore intrinseco di misura trascurabile a fronte della precisione richiesta - tuttavia i dati sono rilevati in campo con cadenza mensile, pertanto i diagrammi risultanti hanno un dettaglio relativamente basso, soprattutto per quanto riguarda l'identificazione precisa dei massimi e dei minimi assoluti. Solo per la piana di Aosta sono disponibili dati misurati in continuo, in cui un *datalogger* registra una misura giornaliera. D'altro canto, si può osservare che i diagrammi risultanti dai suddetti *datalogger* e dalle misure manuali sono tra loro confrontabili, per cui emerge una sostanziale significatività dei dati manuali mensili, perlomeno per gli scopi del presente lavoro;
- anche le misure di portata dei corsi d'acqua presentano problemi di significatività dei dati, in primo luogo perché le portate naturali sono fortemente modificate da numerose prese e rilasci idroelettrici su tutto il corso sia della Dora Baltea che dei torrenti laterali; secondariamente, bisogna anche considerare che il dato di portata non è una misura diretta bensì un'elaborazione a sua volta dipendente da altre variabili e soggetta ad errori di calcolo (tanto che ogni idrometro è contraddistinto da un proprio codice di affidabilità). I dati di portata pertanto sono utilizzabili solo per valutazioni qualitative di massima (avere un'idea degli incrementi e delle diminuzioni di portata e dei periodi in cui tali episodi si manifestano con maggiore intensità) e non per bilanci idrologici;

- l'affidabilità è invece alta per temperatura dell'aria e precipitazioni¹, registrate in continuo da apposite stazioni meteo la cui distribuzione sul territorio, inoltre, è funzionale per il presente studio;
- per quanto concerne infine la temperatura della falda (peraltro esaminata solo marginalmente), bisogna considerare che la misura è relativa all'acqua stagnante presente all'interno del tubo piezometrico e non a quella presente nella porzione di acquifero circostante: i valori non sono comunque costanti nel tempo in quanto si riscontrano variazioni dell'ordine di qualche grado centigrado.

5.1.2 Serie storiche

Per ciò che concerne le serie storiche si osserva che:

- la falda dispone complessivamente di pochi anni di misura, limitati a un lasso di tempo variabile tra 5 (in bassa valle) e 10 (piana di Aosta) anni. Sarebbe invece auspicabile ragionare su intervalli almeno decennali;
- analogamente, per la portata dei corsi d'acqua – per i quali a maggior ragione, a causa di quanto sopra evidenziato sull'affidabilità, si necessiterebbe di serie storiche lunghe - si hanno dati relativi solo agli ultimi 3-8 anni, a seconda degli idrometri automatici utilizzati;
- anche in questo caso, temperatura e precipitazioni non costituiscono un problema in quanto - disponendo di dati quindicennali - coprono completamente le serie storiche della falda.

5.1.3 Densità dei punti di misura

Questo parametro, particolarmente importante per l'elaborazione delle carte delle isopieze, è critico su tutto il fondovalle; solo su un settore della piana di Aosta (tratto in sinistra idrografica tra Gressan e Quart, per una lunghezza di circa 9 km) esso risulta sufficiente benché non soddisfacente.

Sia nella bassa che nell'alta valle (piana di Morgex) i punti di misura sono concentrati in un'area limitata del fondovalle e pressoché assenti sui conoidi, tanto da non consentire l'elaborazione delle carte piezometriche.

La ricostruzione in dettaglio della superficie piezometrica è indispensabile ai fini della comprensione dei rapporti falda-fiume.

Bisogna però considerare che tale ricostruzione sarebbe di fatto attuabile solo mediante la terebrazione di un grande numero di nuovi piezometri, in modo tale da ottenere una densità di indicativamente almeno 4 piezometri/km², il che equivarrebbe a un centinaio di

¹ Si evidenzia solo che le precipitazioni nevose non possono essere distinte da quelle liquide, il che non costituisce per il fondovalle – povero di precipitazioni nevose – un problema particolare.

nuovi punti ad esempio nella piana di Aosta; è evidente che si tratterebbe di uno sforzo economico - in termini soprattutto di costi di perforazione e secondariamente di gestione della rete di misura - probabilmente insostenibile per la pubblica amministrazione. Inoltre un problema non secondario consisterebbe nel reperimento di spazi utili per l'ubicazione di detti piezometri. Al momento si può, perciò, solo acquisire ogni nuova perforazione realizzata e ampliare di volta in volta le informazioni a disposizione.

Ciò detto, resta la priorità di disporre di un quadro piezometrico più attendibile per le quattro piane al momento monitorate - specie sulla piana di Aosta ove sono state riscontrate le maggiori criticità – al fine soprattutto di chiarire il ruolo di alimentazione dei conoidi, al momento poco conosciuti, e i rapporti esistenti tra reticolo superficiale ed acquifero.

5.1.4 Densità dei punti di prelievo

Tale aspetto è complessivamente meno critico rispetto al precedente, per i seguenti motivi:

- non esistono indicazioni normative circa la densità dei punti di monitoraggio qualitativo;
- nelle porzioni di fondovalle si dispone di all'incirca 1 punto ogni km², densità che può essere reputata in linea di massima sufficiente e rappresentativa ai fini della definizione dello stato di qualità generale dell'acquifero; a tale riguardo bisogna considerare che ci si trova in una condizione favorevole a causa della limitata estensione degli acquiferi da monitorare in Valle d'Aosta, specie se confrontata con quella di quasi tutte le restanti regioni italiane;
- praticamente tutti i principali centri di pericolo che gravano sulle acque sotterranee (principali insediamenti industriali, discariche, siti contaminati,..) – per lo meno quelli noti – sono controllati nell'ambito dei prelievi istituzionali a cadenza semestrale, o quanto meno sono monitorabili *ad hoc* mediante piezometri di controllo.

Tuttavia va evidenziata la scarsità di punti di prelievo in determinati settori di tutti i territori di fondovalle esaminati.

5.1.5 Stratigrafie

Al di sotto dei 20-30 m il sottosuolo delle quattro piane monitorate è poco conosciuto (se non praticamente sconosciuto come nella piana di Morgex), a seguito del complessivo scarso numero di perforazioni per le quali si dispone di una descrizione stratigrafica sufficientemente accurata.

5.2 Sintesi delle elaborazioni

L'esame dei dati indipendenti mostra le seguenti evidenze:

- le misure del livello piezometrico sul fondovalle principale risultano sempre caratterizzate da un andamento stagionale piuttosto regolare, in cui si individua un innalzamento stagionale minimo invernale ed un massimo estivo. Il raggiungimento dei massimi e dei minimi è differenziato nei vari settori di fondovalle esaminati;
- la temperatura ha un andamento stagionale particolarmente regolare, sia sul fondovalle che in quota (regolato da un gradiente negativo di circa di 0,65°C ogni 100 m di dislivello);
- anche le portate mostrano regimi stagionali regolari, sia nella Dora Baltea che nei torrenti laterali, con un minimo che si estende all'intero periodo invernale e un massimo stagionale ben definito nel mese di giugno (regime idrologico nivale puro);
- le precipitazioni sul fondovalle, invece, hanno una distribuzione tendenzialmente irregolare distribuita nel corso dell'anno, e sono decisamente più abbondanti in bassa valle che nella media valle.

Le correlazioni eseguite tra le suddette variabili evidenziano che il regime termico è il principale fattore regolatore delle escursioni di falda; più in dettaglio la falda risente in modo particolare dell'aumento di temperatura che si verifica ad inizio estate in quota.

Di conseguenza anche la portata dei deflussi superficiali – a sua volta direttamente dipendente dal regime termico in quota - incide in modo rilevante sull'innalzamento o l'abbassamento della falda.

Le precipitazioni sono il parametro meno direttamente influente sul regime sotterraneo: a complessivamente bassi valori di pioggia (specialmente nei dintorni di Aosta, caratterizzata da valori medi attorno a 500 mm annui) si va ad aggiungere una bassa infiltrazione efficace che limita a circa un solo quinto delle precipitazioni totali l'alimentazione del sistema idrico sotterraneo. Tuttavia bisogna considerare che precipitazioni più copiose nei mesi invernali permettono un maggior accumulo nevoso in quota e, di conseguenza, una ricarica maggiore degli acquiferi in estate.

Per quanto riguarda l'andamento della falda, per la piana di Aosta si è tentato di ricostruire una carta delle isopieze in cui si sono correlate misure del livello piezometrico con la quota del pelo libero della Dora, al fine di chiarire i rapporti, al momento poco conosciuti, falda-fiume. Da tale elaborazione risulterebbe che nel settore ovest della piana il rapporto predominante è quello di alimentazione dell'acquifero – non in connessione diretta - ad opera del corso d'acqua principale, mentre ad est il rapporto diventa di drenaggio diretto della falda.

5.3 Approfondimenti

Di seguito si fanno alcune considerazioni più specifiche in merito ad alcuni punti di particolare interesse trattati nei capitoli precedenti del presente lavoro.

5.3.1 Risposta della falda alla precipitazione

Al fine di approfondire quanto evidenziato al par. 4.2.6.2, in figura 5.1 si è cercato di confrontare con maggior dettaglio, tramite le misure giornaliere dei *datalogger*, la rapidità dell'innalzamento piezometrico a seguito delle precipitazioni tra punti di monitoraggio a maggiore (Ao50) e a minore (SC5) soggiacenza.

A conferma di quanto già evidenziato sopra, emerge la sostanziale non influenza delle precipitazioni sulle escursioni della falda, anche nel caso di soggiacenza modesta: a picchi di precipitazione non fanno di norma seguito innalzamenti della falda.

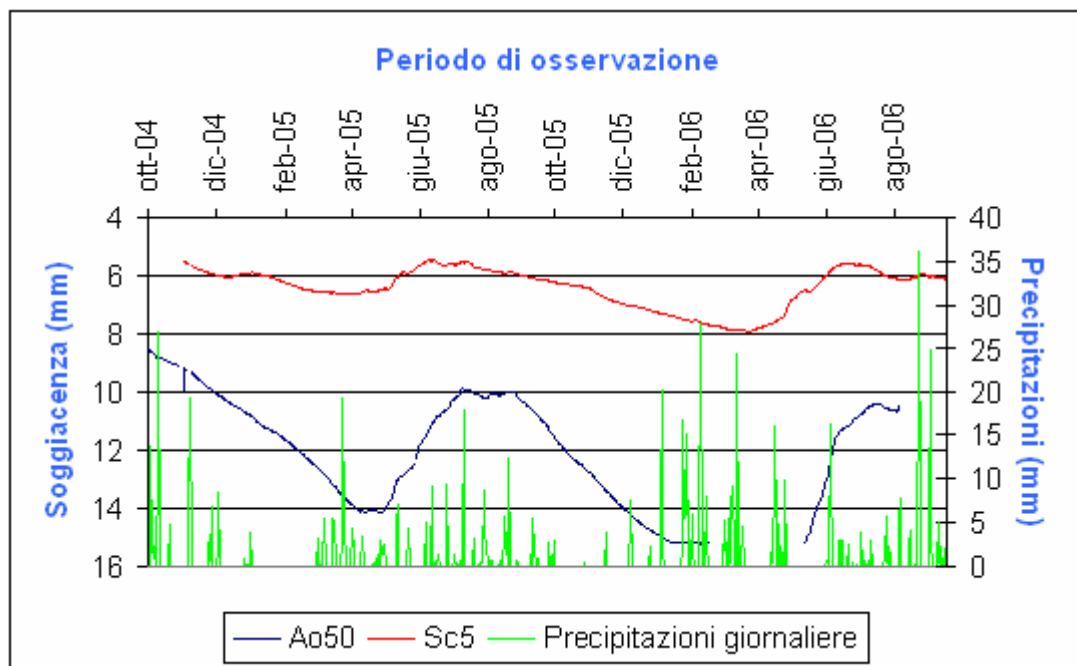


Figura 5.1 – Correlazione precipitazioni Aosta (Piazza Plouves) e soggiacenza giornaliera Ao50 (zona ovest della piana di Aosta) e SC5 (zona est).

Tuttavia bisogna altresì considerare che precipitazioni estreme, come quelle registrate in occasione dell'evento alluvionale dell'ottobre 2000, possono incidere in maniera importante sull'innalzamento della falda: come si vede dal diagramma in figura 5.2 la falda registra con un certo ritardo² il picco di precipitazioni. Tale ritardo è funzione di diversi fattori: soggiacenza iniziale della falda, permeabilità del terreno insaturo, infiltrazione efficace.

² Non determinabile con precisione in questo caso a causa della frequenza mensile delle misure manuali.

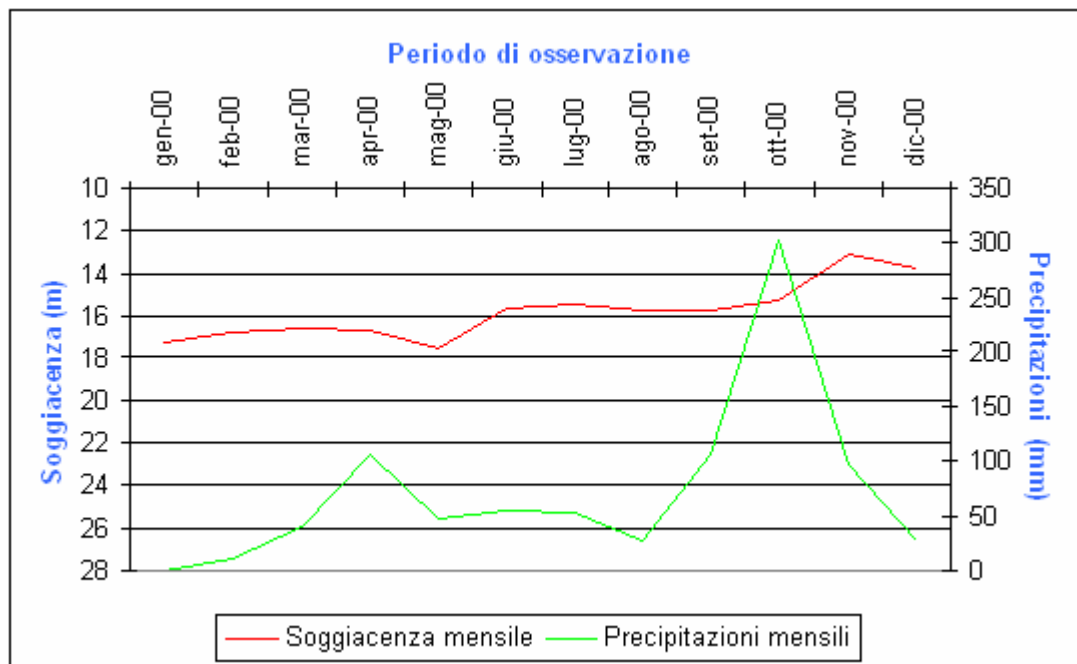


Figura 5.2 – Correlazione tra soggiacenza Ao24 (CAS-ex Cogne) e precipitazioni Aosta (Piazza Plouves) nel 2000.

5.3.2 Diverso andamento della falda sul fondovalle

E' stato evidenziato un diverso andamento dell'escursione di falda tra media e bassa valle (par. 4.2.1): nella piana di Aosta il massimo innalzamento si verifica – a causa presumibilmente dell'influenza del T. Buthier - tra giugno-luglio (nel settore est della piana) o ad agosto (nel settore ovest), mentre nella bassa valle esso cade a maggio-giugno.

Poiché esiste, come detto, una forte correlazione tra falda e portata, si è cercato di valutare tale aspetto alla luce di quanto illustrato al par. 2.4.1 in merito al regime idrologico dei corsi d'acqua montani, che prevede il raggiungimento del massimo sempre nel mese di giugno.

In tutta la regione le massime portate sui corsi d'acqua si registrano – in accordo con quanto esposto a livello generale nel par. 2.4.1³ - generalmente in corrispondenza del mese di giugno (talora a maggio, ad esempio nel 2008).

Il comportamento della falda, dunque, ricalca il regime delle portate salvo che nella zona ovest della piana di Aosta. Ciò potrebbe essere spiegato almeno in parte dalle opere di presa idroelettriche (ve ne è una importante appunto a monte della zona in questione, verosimilmente rilasciata a valle della confluenza del T. Buthier) e dal fatto che in questo settore la Dora Baltea risulta “sospesa” rispetto alla falda.

³ Si ricorda tuttavia che i regimi di portata del suddetto paragrafo sono stati definiti sulla base di vecchie serie storiche e, a seguito dell'arretramento delle masse glaciali, potrebbero non risultare più generalizzabili.

5.3.3 Valutazioni sullo stato quantitativo

Come evidenziato al cap. 3, la classificazione dello stato quantitativo secondo la normativa sulla base delle serie storiche delle misure di soggiacenza è un aspetto problematico: lo stato quantitativo dovrebbe essere valutato sul rapporto tra estrazioni e capacità di alimentazione del corpo idrico sotterraneo, ma di fatto tale valutazione è spesso effettuata con criteri aleatori.

Bisogna a questo proposito fare una premessa circa il significato di stato quantitativo “buono” secondo la normativa, con il quale si intende sostanzialmente uno stato non impattato da attività antropiche; pertanto qualora si osservasse, sulla base delle serie storiche esistenti, un decremento naturale dei livelli della falda (ascrivibile cioè, a titolo esemplificativo, non ad eccessivi prelievi da pozzi bensì ad una minore ricarica a seguito di anni meno piovosi), tale situazione sarebbe in linea di principio da classificare comunque come stato “buono”, e non “scarso”.

Per quanto riguarda la situazione nel territorio esaminato, come sintetizzato nelle tabelle 4.4-4.6 si evince che sul lasso di tempo per cui si dispone di dati (5 anni in bassa valle, un decennio nella piana di Aosta) i livelli piezometrici mostrano sul lungo termine una sostanziale stabilità, oppure un lieve decremento (più raramente un lieve aumento).

Più in particolare, i decrementi (così come gli incrementi) sono dell'ordine di pochi m (3 al massimo), vale a dire molto contenuti se comparati con gli spessori degli acquiferi (superiori a 100 m). Pertanto, anche qualora i suddetti decrementi fossero effettivamente ascrivibili ad estrazioni da parte di pozzi, essi sarebbero comunque trascurabili rispetto alle potenzialità della falda.

D'altra parte si fa presente che l'ipotesi di un eccessivo sfruttamento della falda non sembra realistica per i seguenti motivi:

- nel periodo interessato dalle suddette serie storiche, sulla base delle conoscenze di ARPA Valle d'Aosta, i principali prelievi ad uso idropotabile ed industriali effettuati nella piana di Aosta⁴ e nel polo industriale di Verrès non hanno subito incrementi;
- sulla piana di Pont Saint Martin praticamente non esistono prelievi industriali, e quelli potabili sono estremamente ridotti;
- per alcuni pozzi del Comune di Aosta esistono sporadiche misure di livello relative agli anni '50-'70 che confermano la sostanziale stabilità del livello della tavola d'acqua.

Si può pertanto affermare che i trend negli acquiferi valdostani indicano un buono stato quantitativo e l'assenza di condizioni di sovrasfruttamento.

⁴ Per la massima parte dal Comune di Aosta e dalle acciaierie CAS rispettivamente.

5.3.4 Valutazioni sullo stato qualitativo

La valutazione dello stato qualitativo di un singolo punto è, come si è visto, definita dalla normativa sulla base dei risultati delle analisi chimiche; tuttavia quella dell'intero acquifero – derivante dalla classificazione dei singoli punti - presenta alcuni aspetti problematici, in particolare per quanto riguarda la scelta dei punti di prelievo.

È opportuno premettere che in linea di principio, il monitoraggio istituzionale – mirato come si è detto ad una valutazione complessiva dello stato dell'acquifero su una grande estensione di territorio - non dovrebbe risentire di situazioni locali tali da alterare solo puntualmente le condizioni dell'acquifero, mentre dovrebbe registrare, con il giusto peso, un impatto antropico diffuso sulla falda.

Pertanto i piezometri afferenti ad un piccolo sito contaminato⁵ - interessati da una contaminazione puntuale che non fuoriesce dal perimetro del sito - non dovrebbero essere inclusi nella rete di monitoraggio istituzionale. Qualora invece essi, una volta realizzati, si rivelassero essere non affetti da contaminazioni locali, possono (specie se ubicati in aree precedentemente prive di informazioni, e comunque previo permesso del proprietari) essere successivamente inseriti nell'ambito del monitoraggio sopra citato.

Nel caso invece di un grosso sito contaminato - tale da causare un'alterazione estesa della qualità dell'acquifero – la rete di monitoraggio istituzionale dovrebbe includere un certo numero (proporzionale tra dimensioni del sito contaminato ed estensione dell'acquifero) di piezometri affetti dalla contaminazione derivante dal sito stesso.

Questo concetto è visualizzato nello schema, a carattere del tutto esemplificativo, riportato in figura 5.3, in cui si suppone la presenza in un acquifero di due siti contaminati di piccola dimensione (in giallo) e di uno di dimensioni maggiori (in verde):

- Pz1 e Pz3, interessati da una contaminazione puntuale, non dovrebbero essere presi in considerazione nella rete di monitoraggio istituzionale;
- all'interno del sito contaminato di grandi dimensioni (in cui si individua un *plume* di inquinante che fuoriesce dal perimetro del sito stesso e che ha dimensioni apprezzabili alla scala dell'intero acquifero), su un totale di n. 6 piezometri, di cui 4 interessati dalla contaminazione, alcuni di questi ultimi (in numero proporzionale all'estensione totale dell'acquifero ed al numero di punti di cui si compone la rete) devono essere inclusi nella rete;
- a valle del sito contaminato di grandi dimensioni si potrebbe valutare, sempre sulla base dell'estensione totale dell'acquifero, di includere nella rete almeno un piezometro interessato dalla contaminazione (es. Pz18).

⁵ In un piccolo sito contaminato, secondo le indicazioni del D.M. 471/99, vanno realizzati almeno n. 4 piezometri (vedi par. 3.2.2).

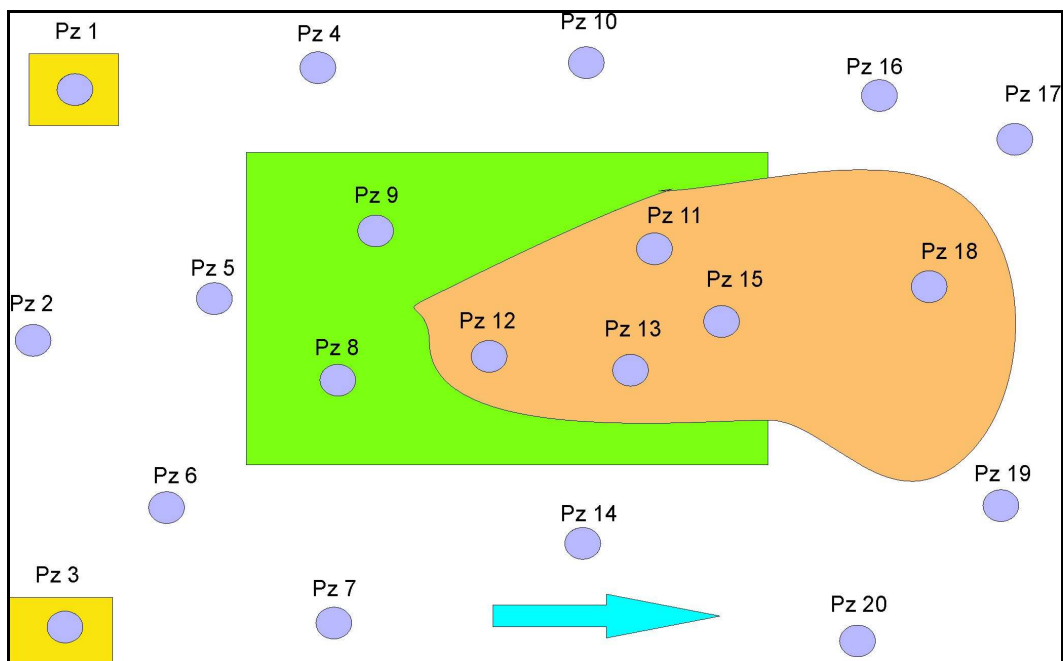


Figura 5.3 – Esempificazione dei piezometri da includere nella rete di monitoraggio nel caso della presenza di siti contaminati. Pz1 e Pz3 rappresentano i piezometri che dovrebbero essere esclusi, mentre a seconda delle dimensioni del sito contaminato di colore verde, si dovrà includere un numero diverso di piezometri contaminati, che sono Pz11, Pz12, Pz13 e Pz15. Sempre a seconda dell'estensione si potrebbe includere anche Pz18.

Come spiegato al par. 3.2.2, nell'attuale normativa questo aspetto ha un'importanza notevole ai fini della classificazione dello stato qualitativo dell'acquifero, determinato appunto dalla percentuale dei punti di monitoraggio - rispetto al totale - in cui si verificano superamenti delle concentrazioni limite: se infatti se la percentuale dei punti in stato "scarso" è minore del 20% lo stato chimico dell'acquifero è "buono", in caso contrario è "scarso".

Un'applicazione pratica di quanto sopra raffigurato è rappresentata dalla scelta dei punti di prelievo da attribuire alla rete di monitoraggio nell'area industriale CAS-ex Cogne riportata al par. 3.4.1.

5.4 Suggerimenti per lo sviluppo della ricerca

Sulla base di quanto sopra evidenziato, nonché sulla base di quanto prescritto dalla normativa nazionale ed europea, uno studio più approfondito del *trend* piezometrico e di quello qualitativo della falda necessiterebbe di quanto segue.

5.4.1 Realizzazione di nuovi sondaggi

Al fine di colmare almeno in parte le lacune sopra evidenziate (relativamente alla carenza di stratigrafie, di punti di misura e di prelievo, e di frequenza delle misure) sulle quattro piane monitorate sarebbe auspicabile la realizzazione di alcuni sondaggi a carotaggio continuo, da attrezzare a piezometro dotato di sonda collegata a *datalogger* per la misura in continuo del livello piezometrico.

Relativamente alla piana di Aosta, in particolare per il tratto Aymavilles-Pollein, si segnala che l'implementazione della rete è già in corso, a seguito dell'indagine commissionata dall'Amministrazione regionale ad ARPA Valle d'Aosta in collaborazione con il DITAG-Politecnico di Torino (cfr par. 3.1); entro la fine del 2010 si reputa pertanto di disporre di n. 6 nuovi piezometri profondi circa 50 m con *datalogger*. Resta comunque da caratterizzare dal punto di vista geognostico la parte più orientale della piana (da Pollein a Nus), particolarmente povera di informazioni.

Per quanto riguarda l'alta e la bassa Valle d'Aosta, sarebbe prioritario poter disporre quantomeno di 1-2 sondaggi per piana, profondi almeno 50-60 m e realizzati a carotaggio continuo. In particolare le porzioni da caratterizzare prioritariamente sarebbero le seguenti:

- nella piana di Morgex, i dintorni della zona urbana di Morgex⁶;
- nella piana di Verrès, il tratto di piana compreso tra Verrès e Arnad;
- nella piana di Pont Saint Martin, il conoide del T. Lys.

Come sopra evidenziato, misure giornaliere del livello di falda consentirebbero di valutare con maggior dettaglio le correlazioni empiriche tra le diverse variabili.

Inoltre, sarebbe utile condurre degli studi sperimentali - soprattutto nella parte ovest della piana di Aosta - con realizzazione di piezometri ubicati il più possibile vicino al corso d'acqua, in modo tale da poter valutare l'andamento della superficie piezometrica nei pressi della Dora Baltea e i rapporti falda-fiume.

5.4.2 Sezione idrologica

Vista la non rappresentatività dai dati di portata a causa delle numerose prese a scopo idroelettrico, sarebbe necessario poter costruire una sezione dove si possa calcolare la reale portata di acqua che defluisce dal territorio regionale, in modo tale da permettere anche un eventuale calcolo del bilancio idrologico.

Essa potrebbe ad esempio essere realizzata in corrispondenza della stretta di Bard (nei pressi dell'omonimo Forte), ove si verifica il massimo restringimento dell'alveo della Dora Baltea tra i versanti in roccia.

5.4.3 Misure del livello dei corsi d'acqua

In concomitanza ad ogni campagna semestrale di monitoraggio sarebbe utile rilevare sempre la misura del livello del pelo libero dei corsi d'acqua, in modo tale da tenere sotto controllo il rapporto che intercorre tra il deflusso superficiale e l'acquifero, al momento ancora poco conosciuto.

⁶ Una sonda collegata a *datalogger* risolverebbe in questo caso il problema legato alle condizioni meteo, che non permettono le misure mensili del livello piezometrico.

Nello specifico, per ciò che si è potuto osservare, quanto detto è conveniente soprattutto per il tratto est della piana di Aosta dove si ha una connessione diretta tra falda e Dora Baltea.

5.4.4 Qualità delle acque superficiali

La comprensione dei rapporti falda-fiume è di fondamentale importanza anche per valutazioni dello stato di inquinamento, visto che la veicolazione delle sostanze inquinanti può avvenire dal sistema superficiale a quello sotterraneo e viceversa. Per tale motivo occorrerebbe affiancare in contemporanea al monitoraggio qualitativo della falda anche alcuni punti del reticolo superficiale, in particolare della Dora Baltea.

5.4.5 Misure sulle sorgenti

Al momento le sorgenti non sono considerate nel monitoraggio istituzionale, benché la Direttiva Europea 2000/60 lo preveda. Tale aspetto appare particolarmente problematico a causa da un lato del grande numero di sorgenti esistenti, dall'altro del fatto che esse sono spesso non raggiungibili nella stagione invernale e non agevolmente misurabili in continuo. Un primo passo dovrebbe comunque consistere nell'individuazione di poche sorgenti giudicate rappresentative sulla base di diversi criteri (geologia, portata, ubicazione,...), sulle quali condurre misure discrete dei principali parametri chimico-fisici e di portata.

5.4.6 Modellistica

Il fine ultimo del monitoraggio quali-quantitativo istituzionale è una gestione globale ed oculata della risorsa idrica sulla base delle pressioni esistenti sul territorio e delle criticità presenti. Ciò può essere realizzato solo attraverso l'implementazione di un modello numerico, nel quale convergano tutti i dati esistenti (geologici, idrogeologici e chimici) e quelli via via raccolti con nuove indagini. ARPA Valle d'Aosta a questo proposito prevede, anche a seguito di una richiesta fatta dall'Amministrazione regionale, di elaborare a breve una prima versione di modello numerico, limitatamente al settore della piana di Aosta meglio conosciuto (da Aymavilles a Pollein).

BIBLIOGRAFIA

AA.VV. (1994) - *Programme International d'Action hydrogéologique en Vallée d'Aoste: Etude Hydrogeologique de la nappe alluviale de la Vallée d'Aoste – Relazione tecnica: FASE I* – Gruppo di lavoro: UNIVERSITA' di Avignon, Chambéry e Torino, Centre de recherches géodynamiques di Thonon, GEOLEP dell'Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, con il coordinamento della Regione Autonoma Valle d'Aosta

AA.VV. (1995) - *Programme International d'Action hydrogéologique en Vallée d'Aoste: Etude Hydrogeologique de la nappe alluviale de la Vallée d'Aoste – Relazione tecnica: FASE II* – Gruppo di lavoro: UNIVERSITA' di Avignon, Chambéry e Torino, Centre de recherches géodynamiques di Thonon, GEOLEP dell'Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, con il coordinamento della Regione Autonoma Valle d'Aosta

AA.VV. (1996) - *Programme International d'Action hydrogéologique en Vallée d'Aoste: Etude Hydrogeologique de la nappe alluviale de la Vallée d'Aoste – Relazione tecnica: FASE III* – Gruppo di lavoro: UNIVERSITA' di Avignon, Chambéry e Torino, Centre de recherches géodynamiques di Thonon, GEOLEP dell'Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, con il coordinamento della Regione Autonoma Valle d'Aosta

AA.VV. (2003) – Coordinatore scientifico: MERCALLI L. – *Atlante climatico della Valle d'Aosta* – Collana "Memorie dell'Atmosfera" 2, SMS Editore, 405 pp

AA.VV. (2008) – Coordinatori scientifici: AMELOT F. & BOLOGNINI D. - *Les plus beaux paysages du Pays du Mont-Blanc* – Tome 1: Le Pays du Mont-Blanc – Programme INTERREG III A ALCOTRA – Presses de Kalistène, Cran-Gevrier, 100 pp

ARMANDO E. (1971) – *Sondaggi elettrici nella piana di Aosta* – Geofisica e meteorologia, n. 20, 155-157 pp

ARMANDO E. & DAL PIAZ G.V. (1970) – *Studio geologico e geofisico della coltre quaternaria nei dintorni di Aosta (osservazioni preliminari)* – Quad. Ist. Ric. Acque, 1-12 pp

BINI A. (1998)– *Idrologia* – Corso di geografia per scienze geologiche – CUEM

BONETTO F. & GIANOTTI F. (1998) – *Giardino delle rocce* – Pieghevole Comune di Pollein

BOSELLINI A. (2005) – *Storia geologica d'Italia. Gli ultimi 200 milioni di anni* – Zanichelli editore, 183 pp

CIVITA M.(2005) – *Idrogeologia applicata e ambientale* – Casa Editrice Ambrosiana – 794 pp

DAL PIAZ G.V. *et al.* (1992) – *Le Alpi dal Monte Bianco al Lago Maggiore* – Guide geologiche regionali a cura della Società Geologica Italiana, BE-MA editrice, 311pp

DE LUCA D.A., MASCIOTTO L., MOTTA E.V. & TONUSSI M. (2004) - *Studio idrogeologico finalizzato alla definizione delle aree di salvaguardia dei pozzi di acquedotto del comune di Aosta* – Relazione finale, Dip. Sc. della Terra di Torino

DE MAIO M. (2010) - *Indagine idrogeologica sul bacino della Dora Baltea da Villeneuve a Nus: studio sui potenziali rischi di inquinamento delle acque sotterranee nonché identificazione dei siti potenzialmente pericolosi e valutazione della vulnerabilità degli acquiferi* – Report finale relazione – DITAG-Politecnico di Torino

FRIED J.J., MOUTON J. & MANGANO F. (1982) – *Studio sulle risorse in acque sotterranee dell'Italia* – Commissione delle Comunità Europee

JANIN B. (1968) – *Le climat* – in: *Le Val d'Aoste, tradition et renouveau*. Allier, Grenoble.

MONEY E. B. (1997) – *Idrogeochimica ed idrologia isotopica della piana di Aosta* – Tesi di laurea (inedita), Fac. Sc. M.F.N., Torino

POLLICINI F. (1994) – *Geologia ed idrogeologia della piana di Aosta* – Tesi di laurea (inedita), Fac. Sc. M.F.N., Torino

REGIONE VALLE D'AOSTA (2006) – *Delibera del Consiglio Regionale della Valle d'Aosta dell'8 febbraio 2006, n. 1788/XII: "Piano regionale di tutela delle acque ai sensi dell'art. 44 del decreto legislativo n. 152/1999"* – Bollettino Ufficiale della Regione Valle d'Aosta del 26 aprile 2006, n.17

REGNO D'ITALIA (1933) - *Regio Decreto dell'11 dicembre 1933, n. 1775: "Testo unico delle disposizioni di legge sulle acque e sugli impianti elettrici"* – G.U.R.I. dell'8 gennaio 1934, n. 5

REPUBBLICA ITALIANA (1988) – *Decreto Presidente 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 (1994) – *Legge del 5 gennaio 1994, n. 36: "Disposizioni in materia di risorse idriche" (Legge GALLI)* – Supplemento ordinario n. 11 G.U.R.I. del 19 gennaio 1994, n.14

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 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

SNAM (1994) – *Indagini ambientali a seguito della rottura di un oleodotto in loc. Gran Vert di Donnas* – Relazione tecnica

TRIGANON A., DZIKOWSKI M., NAVEL J.P., DRAY M., ZUPPI G.M. & PARRIAUX A. (2003) - *Echanges nappes-rivière en vallée alpine: quantification et modélisation (Vallée d'Aoste, Italie)* – In Canadian Journal of Earth Sciences n. 40, 775-786 pp

UNIONE 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

UNIONE 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

RIFERIMENTI WEB

RIF. WEB N. 1 – http://it.encarta.msn.com/media.../Valle_d'Aosta.html