



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

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

*“Studio geologico ambientale della Dora Baltea con  
chiusura a La Salle (AO)”*

Candidato: Francesco Ghia

---

Relatore: Prof. Luciano Masciocco

---

Correlatore: Dott. Pietro Capodaglio

---

Correlatore: Ing. Fulvio Simonetto

---

**Anno Accademico  
2017 - 2018**

## INDICE

<b>1 – INTRODUZIONE</b>	<i>pag. 1</i>
<b>2 - INQUADRAMENTO DELL'AREA DI STUDIO</b>	<i>pag. 3</i>
<b>2.1 – Inquadramento geografico e morfologico</b>	<i>pag. 3</i>
<b>2.2 – Inquadramento geologico</b>	<i>pag. 4</i>
<b>2.2.1 – Struttura della catena alpina</b>	<i>pag. 5</i>
<b>2.2.2 – Litologie affioranti nell'area di studio</b>	<i>pag. 9</i>
<b>2.2.3 – Quaternario</b>	<i>pag. 9</i>
<b>2.3 – Inquadramento climatico</b>	<i>pag. 13</i>
<b>2.3.1 Precipitazioni</b>	<i>pag. 14</i>
<b>2.3.2 Temperature</b>	<i>pag. 17</i>
<b>2.4 – Inquadramento idrografico</b>	<i>pag. 20</i>
<b>2.5 – Inquadramento idrogeologico</b>	<i>pag. 23</i>
<b>2.6 – Inquadramento geomorfologico</b>	<i>pag. 24</i>
<b>3 – STATO DELLE CONOSCENZE</b>	<i>pag. 27</i>
<b>3.1 – Stato delle conoscenze sulla tutela delle risorse idriche</b>	<i>pag. 27</i>
<b>3.1.1 - Evoluzione normativa sulla tutela delle risorse idriche</b>	<i>pag. 27</i>
3.1.1.1 <i>Normativa europea</i>	<i>pag. 27</i>
3.1.1.2 <i>Normativa nazionale</i>	<i>pag. 28</i>
3.1.1.3 <i>Normativa Regionale</i>	<i>pag. 33</i>
<b>3.1.2 - Lavori pregressi riguardanti la tutela delle risorse idriche</b>	<i>pag. 35</i>
<b>3.1.3 - Sfruttamento della risorsa idrica</b>	<i>pag. 43</i>
<b>3.1.4 Monitoraggio ambientale da parte di ARPA Valle d'Aosta</b>	<i>pag. 45</i>
3.1.4.1 <i>Acque Sotterranee</i>	<i>pag. 45</i>
3.1.4.2 <i>Acque Superficiali</i>	<i>pag. 46</i>
<b>3.2 – Stato delle conoscenze sul pericolo idrologico</b>	<i>pag. 47</i>
<b>3.2.1 - Evoluzione normativa sulle alluvioni</b>	<i>pag. 47</i>
3.2.1.1 - <i>Normativa europea</i>	<i>pag. 47</i>
3.2.1.2 - <i>Normativa nazionale</i>	<i>pag. 47</i>
3.2.1.3 - <i>Normativa regionale</i>	<i>pag. 48</i>
<b>3.2.2 Eventi alluvionali che hanno colpito nel passato l'area di studio</b>	<i>pag. 49</i>

<b>4 – SPERIMENTAZIONE</b>	<i>pag. 55</i>
<b>4.1 – Caratterizzazione idrochimica e qualità delle acque superficiali</b>	<i>pag. 55</i>
<b>4.2 – Caratterizzazione idrochimica e qualità delle acque sotterranee</b>	<i>pag. 66</i>
<b>4.3 – Pericolosità idrologica</b>	<i>pag. 73</i>
<b>4.3.1 - Calcolo delle portate di massima piena</b>	<i>pag. 73</i>
<b>4.3.2 Verifiche idrauliche</b>	<i>pag. 87</i>
<b>5 – CONCLUSIONI</b>	<i>pag. 97</i>
<b>BIBLIOGRAFIA</b>	<i>pag. 99</i>
<b>RIFERIMENTI WEB</b>	<i>pag. 102</i>
<b>ALLEGATI</b>	<i>pag. 103</i>

## 1 – INTRODUZIONE

Il lavoro è finalizzato alla valutazione della pericolosità idrologica e della qualità delle acque della Valdigne (AO), a monte della chiusa dell'Equilivaz. Le motivazioni che hanno portato alla scelta dell'argomento sono legate all'acquisizione di esperienze e tecniche utili per la professione di geologo; quelle che hanno portato alla scelta dell'area di tesi sono riconducibili all'interesse personale verso la Valdigne. Questo studio è stato condotto in collaborazione con ARPA VALLE D'AOSTA – SEZIONE ACQUE SOTTERRANEE, Loc. La Maladière, 48 – 11020 Saint-Christophe (AO).

Il lavoro di tesi è stato organizzato nelle seguenti fasi:

Inizialmente, è stato effettuato un inquadramento dell'area di studio, considerando gli aspetti geografici e morfologici, geologici, climatici, idrologici, idrogeologici e geomorfologici (**Cap. 2**).

Successivamente, sono stati reperiti gli studi precedenti sull'argomento di tesi svolti nell'area di studio e le normative relative alla qualità delle acque e alla pericolosità idrologica (**Cap. 3**).

Nel **Capitolo 4** viene descritta la sperimentazione effettuata sul terreno e in laboratorio relativa ai seguenti tre aspetti:

- caratterizzazione idrochimica e qualità delle acque superficiali (**Par. 4.1**);
- caratterizzazione idrochimica e qualità delle acque sotterranee (**Par. 4.2**);
- pericolosità idrologica (**Par. 4.3**).

La caratterizzazione idrochimica e l'analisi qualitativa delle acque superficiali ha previsto il prelievo di dieci campioni di acqua dalla Dora Baltea e dai principali affluenti, le successive analisi di laboratorio, la loro validazione, elaborazione e interpretazione. Infine sono stati valutati i possibili usi per il consumo umano e l'agricoltura.

Lo stato qualitativo e quantitativo delle acque sotterranee è stato valutato prelevandole da quattro piezometri di monitoraggio dell'Arpa Valle d'Aosta; i campioni sono poi stati analizzati nei laboratori di ARPA Valle d'Aosta, per la caratterizzazione idrochimica e per determinarne i possibili usi delle acque analizzate (consumo umano e agricolo). L'aspetto quantitativo è stato valutato dal monitoraggio per un periodo di 8 anni della soggiacenza della falda di Morgex.

La valutazione della pericolosità idrologica è stata effettuata in corrispondenza di tre sezioni fluviali considerate critiche a causa della vicinanza delle abitazioni al corso d'acqua ed ha comportato:

- la valutazione di portate massime di progetto (con tempi di ritorno di 20, 50, 100 e 200 anni);
- il calcolo delle portate massime ammissibili delle tre sezioni in esame.

A tal fine sono state effettuate le seguenti operazioni:

- la modellizzazione del bacino idrografico tramite *software QGIS*;
- l'utilizzo dei dati sulle piogge intense dal Geoportale della Regione Valle d'Aosta per il calcolo delle portate di progetto;
- la misura sul terreno delle dimensioni delle tre sezioni di interesse e la loro restituzione grafica tramite *software AutoCAD*, per il calcolo delle portate massime ammissibili o calcoli di verifica idraulica.

Infine sono state esposte alcune considerazioni conclusive in merito al lavoro svolto (**Cap. 5**).

## 2 - INQUADRAMENTO DELL'AREA DI STUDIO

### 2.1 – Inquadramento geografico e morfologico

L'area oggetto di studio è l'Alta Valle d'Aosta (o Valdigne), che si sviluppa su una superficie di circa 500 km<sup>2</sup>, dal Massiccio del M. Bianco a quota 4810 m s.l.m. fino alla stretta del ponte dell'Equilivaz a quota 790 m s.l.m. (Fig. 2.1, 2.2).

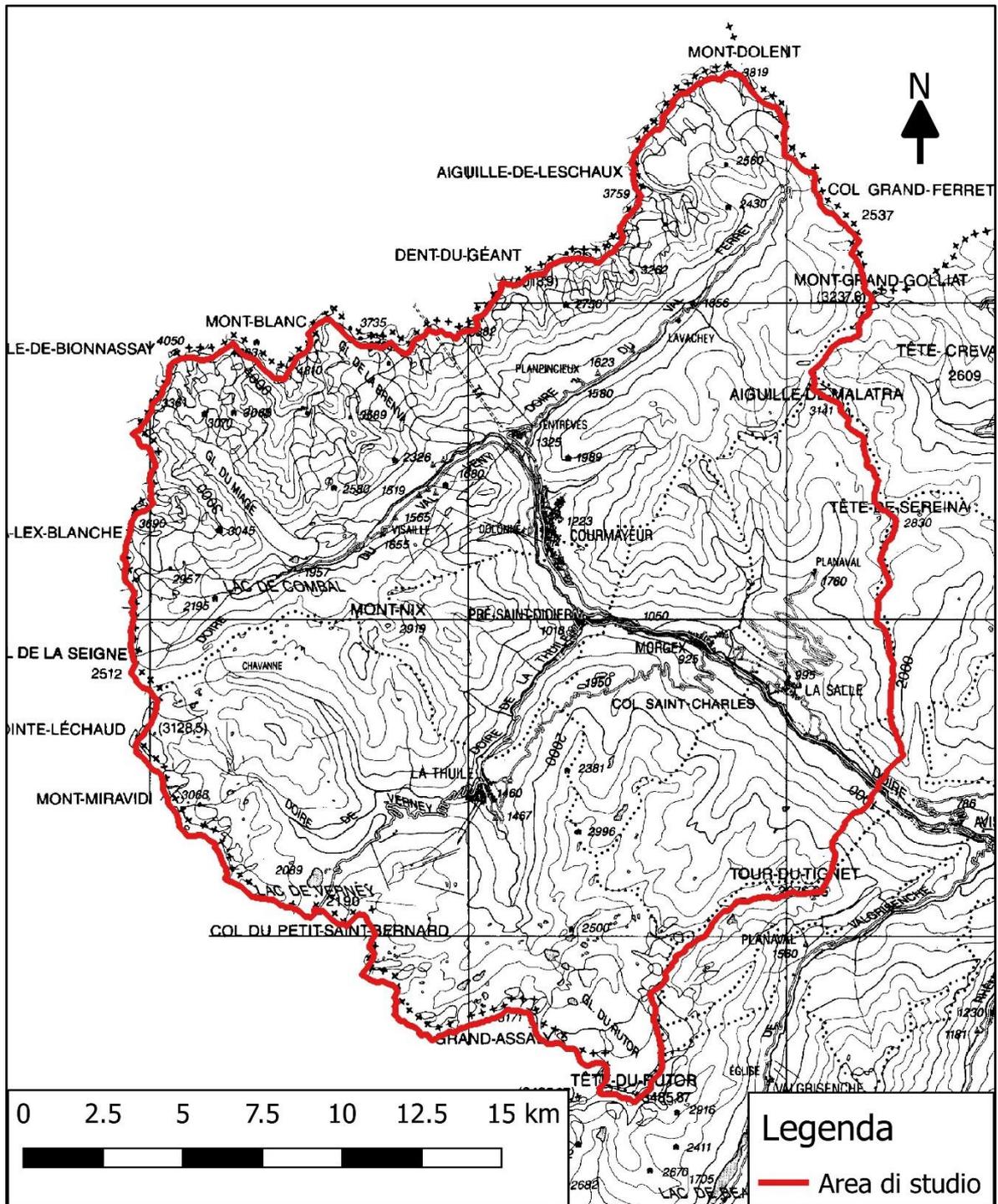


Figura 2.1 – Inquadramento geografico dell'area di studio. (Modificato da CTR 1:250.000)

Il territorio comprende la Val Veny e la Val Ferret, incise dalle rispettive Dore, che confluiscono nell'abitato di Entrèves a formare la Dora Baltea. Questa, dopo avere attraversato Courmayeur (1200 m s.l.m.), in corrispondenza dell'abitato di Pré-Saint-Didier riceve da sud-ovest la Dora di La Thuile, il cui bacino, a partire dal Colle del Piccolo San Bernardo, costituisce quasi un terzo all'area di studio. Da Pré-Saint-Didier, la Dora Baltea prosegue con orientazione NW-SE attraverso la piana di Morgex, oltre l'abitato di La Salle.



**Figura 2.2** – *Visione tridimensionale (da sud-est) dell'area di studio. In primo piano, la stretta dell'Equilivaz e sullo sfondo, il Massiccio del Monte Bianco. (Modificato da Geo3D)*

Dal punto di vista amministrativo, l'area è compresa nei comuni di Courmayeur, Pré-Saint-Didier, La Thuile, Morgex e La Salle che, complessivamente, contano 8758 abitanti. Courmayeur è il comune più popolato, con 2798 abitanti. La zona è raggiungibile da sud tramite l'autostrada A5 fino al casello di Courmayeur oppure dalla SS26; dalla Francia vi si arriva tramite il Colle del Piccolo San Bernardo oppure dal tunnel del Monte Bianco. Fatta eccezione per i pochi centri abitati, la superficie del bacino è occupata tra 800 e 1300 m s.l.m. da boschi di latifoglie alternati a pascoli, tra 1500 e 2000 m s.l.m. da boschi di aghifoglie e fino a 2800 m s.l.m. da prati e arbusti; oltre questa quota ci sono pietraie pareti rocciose e ghiacciai.

## **2.2 – Inquadramento geologico**

La Valle d'Aosta è situata nella catena alpina occidentale, che rappresenta un segmento del grande sistema orogenetico alpino-himalaiano originatosi a seguito della chiusura di

un oceano che separava il paleocontinente euro-asiatico da quello africano-arabico-indiano, e la conseguente collisione fra le due placche.

In estrema sintesi le fasi che hanno portato alla formazione dell'orogene sono:

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

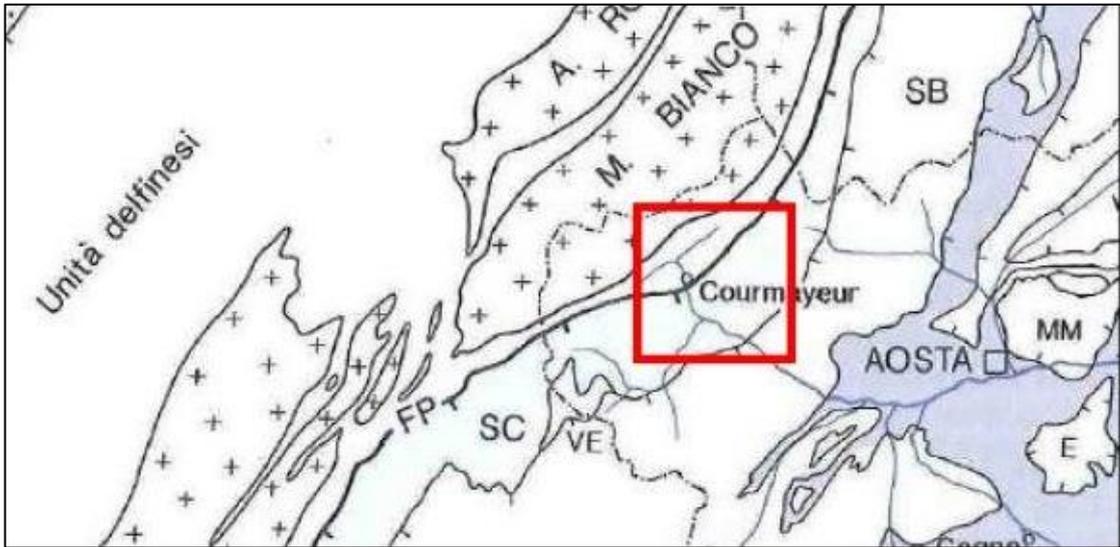
### 2.2.1 – Struttura della catena alpina

La catena alpina è caratterizzata da una struttura a doppia vergenza, tagliata longitudinalmente da una linea tettonica (Linea Insubrica o Linea Periadriatica):

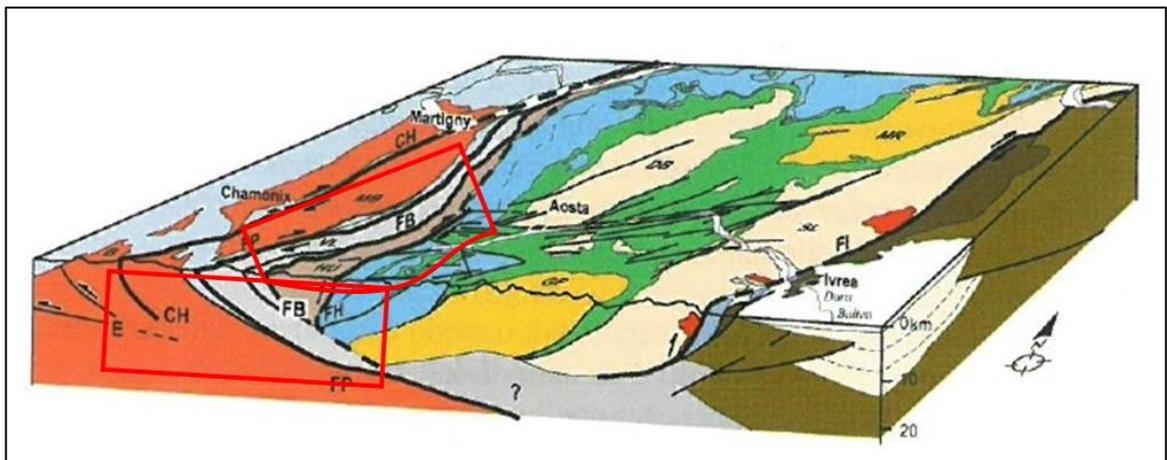
- a nord della Linea Insubrica si ha vergenza "europea", ovvero il trasporto tettonico delle falde è avvenuto verso l'Europa (avampaese). Tale settore delle Alpi è formato da un'imponente pila di falde molto metamorfosate. A grandi linee, dall'alto verso il basso si distinguono tre domini:
  - Dominio Austroalpino, derivante dal margine continentale adriatico (paleoafricano);
  - Dominio Pennidico, derivante dall'oceano Tetide;
  - Dominio Elvetico-Ultraelvetico, derivante dal margine continentale europeo (falda europea).
- a sud della Linea Insubrica la catena ha invece vergenza "africana", ovvero il trasporto tettonico è avvenuto verso l'Africa, ed è rappresentata dalle Alpi Meridionali,

sostanzialmente indeformate e rappresentanti il quarto dominio della catena (Dominio Sudalpino (Fig. 2.3 e 2.4).

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

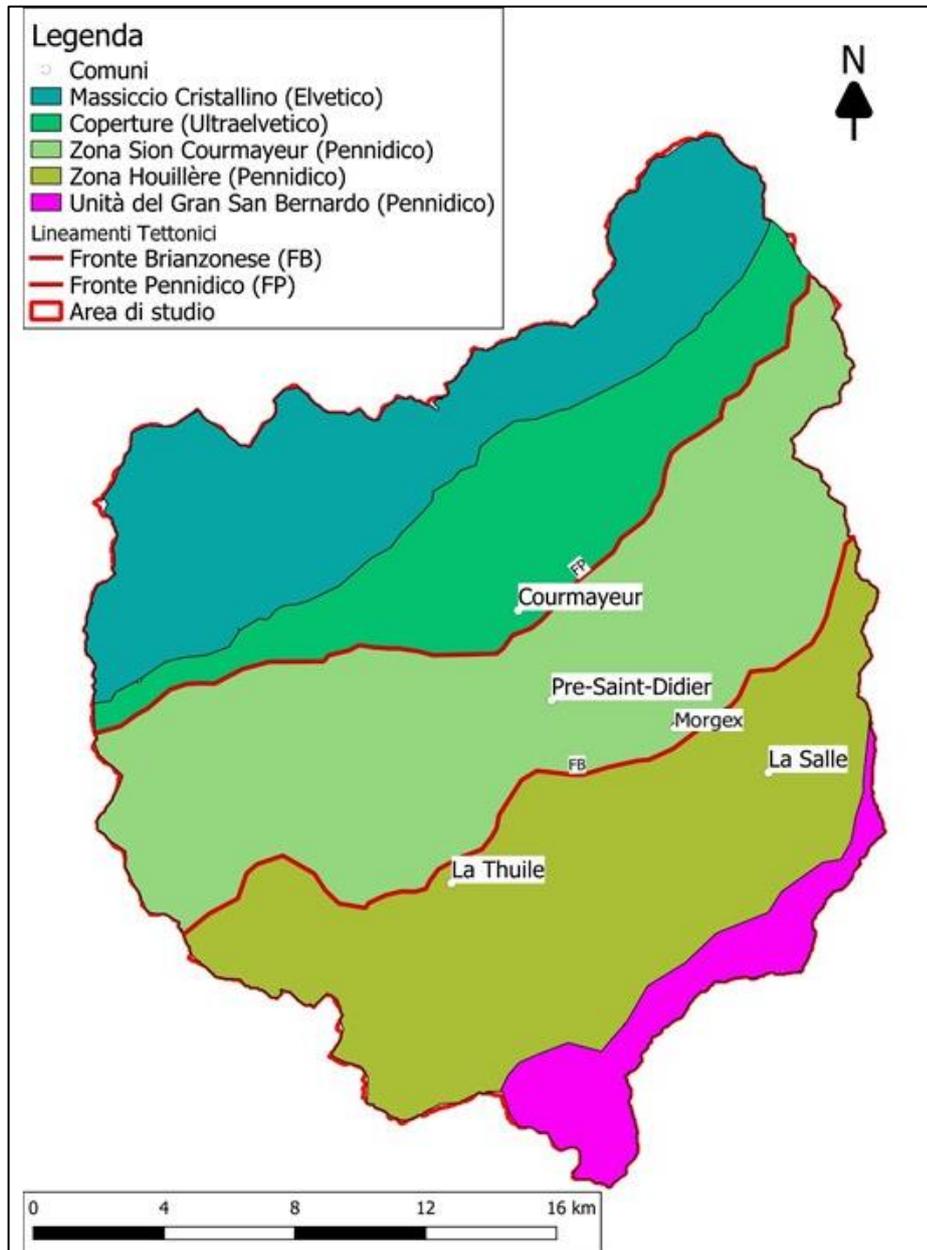


**Figura 2.3.** Stralcio della carta strutturale delle Alpi nord-occidentali (Dal Piazz, 1992). Unità Pennidiche esterne della Valle d'Aosta: unità ofiolitiche del Versoney (VE) e falde di scollamento della Zona Sion-Courmayeur (SC). Fronte Pennidico (FP). Zone esterne: unità di basamento (M. Bianco) e falde Delfinesi, Elvetiche e Ultraelvetiche indifferenziate. Il riquadro rosso indica l'area di indagine. (Modificato da Dal Piazz, 1992)



**Figura 2.4.** Stereogramma tettonico attraverso le alpi valdostane (POLINO et al. 2009). Legenda **B:** Belledonne; **DB:** Dent Blanche; **GP:** Gran Paradiso; **HU:** Zone Houillère; **MB:** Monte Bianco; **MR:** Monte Rosa; **SL:** Sesia Lanzo; **VL:** Unità Vallesane; **?:** Unità pennidiche inferiori e/o mantello. **CH:** Faglia di Chamonix; **FB:** Fronte Brianzonese; **FH:** Fronte interno Houiller; **FI:** Fronte Insubrico; **FP:** Fronte pennidico. Nei riquadri rossi l'area di studio. Polino R. et al. (2009) - Carta geologica d'Italia alla scala 1:50.000, foglio 90 Aosta, Agenzia per la Protezione dell'Ambiente e per i Serv. Tec., Org. Cartogr. dello Stato, Roma, 2009.

Con particolare riferimento all'area di studio del presente lavoro, troviamo in affioramento unità appartenenti al Domino Elvetico-Ultraelvetico e al Dominio Pennidico (Fig. 2.5), di seguito brevemente descritte assieme ai principali lineamenti tettonici.



**Figura 2.5** – Rappresentazione semplificata delle formazioni geologiche presenti nell'area.

Il Dominio Elvetico-Ultraelvetico, che costituisce la parte più recente ed esterna della catena collisionale a vergenza europea, ha subito un metamorfismo di bassissimo grado e delle deformazioni prevalentemente di tipo fragile. È costituito da unità di basamento (massicci cristallini) e relativa copertura; esso è bordato verso nord-ovest dal Fronte Elvetico e verso sud-est dal Fronte Pennidico (DE GIUSTI, 2004). Questo dominio è costituito da diversi "Massicci", ma nell'area di tesi ritroviamo solo il massiccio del Monte

Bianco, strutturalmente sottostante al settore assiale della catena. Il dominio è costituito da un basamento polimetamorfico, da corpi ignei permiani, e da successioni di copertura sia permo-carbonifere sia meso-cenozoiche.

Il Fronte Pennidico è generalmente rappresentato come una successione di scaglie separate da ripetuti contatti tettonici immergenti verso SE di circa 40-50° (ELTER G. & P., 1965) che separa il Dominio Elvetico-Ultraelvetico da quello Pennidico. Le scaglie tettoniche sono composte sia da elementi del Dominio Nord Pennidico che del Dominio Elvetico. Il Fronte Pennidico segna anche un cambio di facies metamorfica, separando rocce che hanno subito un metamorfismo di HP-LT (unità SE), da rocce di grado metamorfico basso o molto basso (unità a NW di cui sopra). In profondità il Fronte Pennidico corrisponde a una discontinuità litosferica immergente verso SE evidenziata da profili sismici a riflessione (NICOLAS et alii, 1990). Tale discontinuità è stata considerata come la sutura cretacea tra la placca europea in subduzione e la placca Adria (POLINO et alii, 1990; ROURE et alii, 1996). Sembra che il Fronte Pennidico abbia accomodato una prima fase di sovrascorrimento verso Nord in condizioni duttili, di probabile età mesoalpina, e una fase successiva, neogenica, di trascorrenza destra associata a movimenti transpressivi.

Il Dominio Pennidico costituisce il settore assiale e il più deformato della catena alpina, ed è composto da unità, sia oceaniche sia continentali, suddivise in quattro settori distinti in base all'origine paleogeografica:

a) Pennidico Esterno, compreso tra il suddetto Fronte Pennidico e il sovrascorrimento delle unità Brianzoni esterne (Fronte Brianzono, passante per Morgex (Fig. 2.6): è costituito dalla Zona Sion-Courmayeur, comprendente una eterogenea e discontinua unità basale, potenti successioni alloctone di Flysch cretaceo (Brecce di Tarantasia) e la sovrastante Zona Houillère (o Zona Permocarbonea Assiale).



**Figura 2.6** – Vista da Morgex verso nord, la presenza del fronte Brianzono è evidenziato dal cambio di vegetazione. (Foto Francesco Ghia)

b) Pennidico Medio, composto da unità di basamento mono e polimetamorfico e/o di copertura del sistema composito Gran San Bernardo (Brianzonese), comprendente anche la Zona del Piccolo San Bernardo al limite con le ofioliti del Versoyen. Metamorfismo alpino in facies scisti blu (post-luteziano) e scisti verdi; metamorfismo varisico in facies anfibolitica (biotite staurolite, cianite, granato), con relitti eclogitici eovarisici o più antichi (NIGGLI et al., 1978; SCHIAVO, 1997; DESMONS et al., 1999).

c) Pennidico Interno rappresentato dalla Falda del Monte Rosa e dalla Falda del Gran Paradiso, non affioranti nell'area di studio.

### *2.2.2 – Litologie affioranti nell'area di studio*

Come detto, nell'area affiorano litotipi appartenenti a due domini tettonici.

#### Dominio Elvetico-Ultraelvetico

Esso affiora come detto nella parte più occidentale dell'area costituendo il massiccio del Monte Bianco, composto in prevalenza da metagraniti e gneiss.

Nell'area delle valli Ferret e Veny troviamo le unità di copertura composte in prevalenza da calcescisti, scisti e calcari che risultano essere molto limitate rispetto al versante nord del massiccio del Monte Bianco.

Alla confluenza delle due valli, a ovest dell'abitato di Courmayeur, si trova il contatto tra Dominio Elvetico e Dominio Pennidico (Fronte Pennidico, vedi sopra) evidenziato da una scaglia tettonica composta da gneiss (Mont Chetif) e marmi (Mont de La Saxe).

#### Dominio Pennidico Esterno

I primi litotipi appartenenti a tale unità coprono una fascia estesa in direzione NE-SO composta da Flysch conglomeratici affioranti in corrispondenza degli abitati di La Thuile e Pré-Saint-Didier. Nella parte più meridionale di questa fascia, affiorano le unità ofiolitiche del Versoyen costituite da prasiniti, calcescisti e serpentiniti.

Nella parte più orientale del bacino, affiorano altri litotipi appartenenti al Dominio Pennidico, più precisamente scisti e micascisti con subordinate carnirole, gessi, calcari e quarziti, questi litotipi sono disposti lungo una fascia, con orientazione paragonabile alla precedente, passante per l'abitato di La Salle.

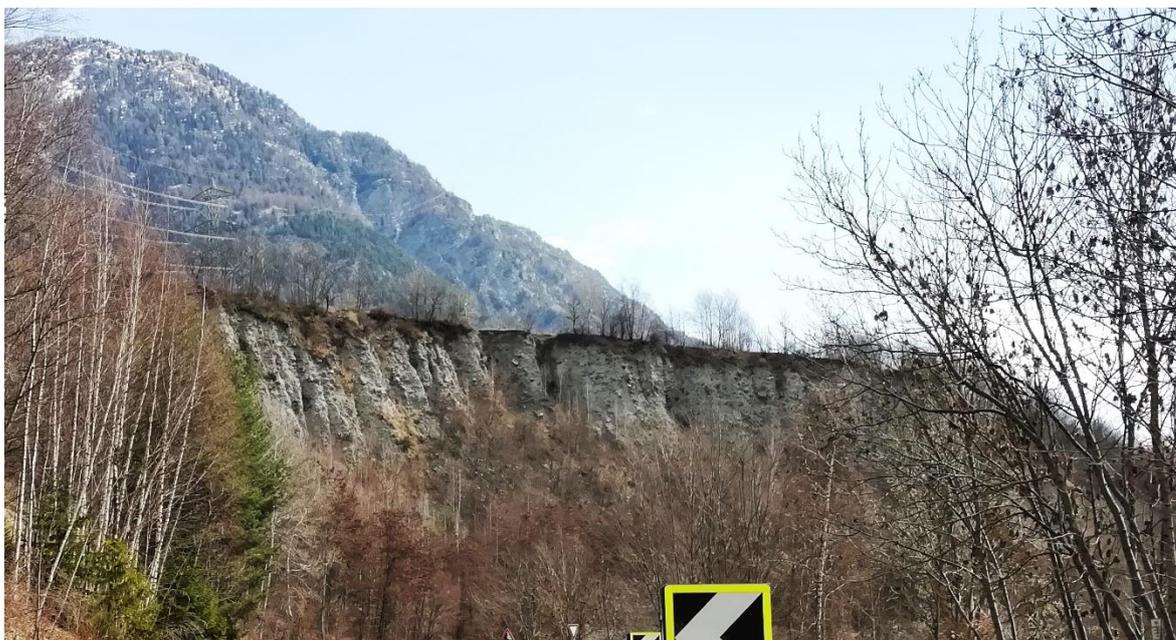
### *2.2.3 – Quaternario*

I depositi formanti la copertura quaternaria conservatisi nel settore montano del bacino della Dora Baltea (di genesi glaciale, alluvionale e gravitativa s.l.) hanno età molto recenti, se rapportati all'intera durata del Quaternario. Essi infatti risalgono in massima parte all'ultimo episodio glaciale del Pleistocene superiore (collocabile cronologicamente all'incirca tra 25.000 e 10.000 anni fa; e al successivo periodo post-glaciale (riferibile



I depositi glaciali sono stati messi in posto durante i vari episodi di espansione glaciale verificatisi nel corso del Quaternario in cui il ghiacciaio della Dora Baltea portò ripetutamente la propria fronte fin oltre lo sbocco della Valle d'Aosta. La conformazione dei versanti di modellamento glaciale è articolata, in senso trasversale all'asse vallivo, in una successione di rotture di pendenza separate da settori maggiormente acclivi.

I depositi glacigenici poggiano su tali superfici in roccia sotto forma rispettivamente di "lembi terrazzati" e di "lembi applicati". Questi depositi sono anche presenti nel fondovalle al di sotto dei depositi alluvionali più recenti, essi però affiorano in alcuni punti del fondovalle, (Fig. 2.8) caratterizzati da morfologia a calanchi, sono costituiti da till di allogamento (diamicton a supporto di matrice, con stratificazione molto inclinata nel senso del pendio, a matrice sabbiosa fine e con ciottoli spigolosi o smussati di prevalenti calcescisti e marmi grigio-azzurri) su cui poggiano sottili livelli discontinui di depositi di contatto glaciale cementati (ghiaie sabbiose stratificate ed inclinate).

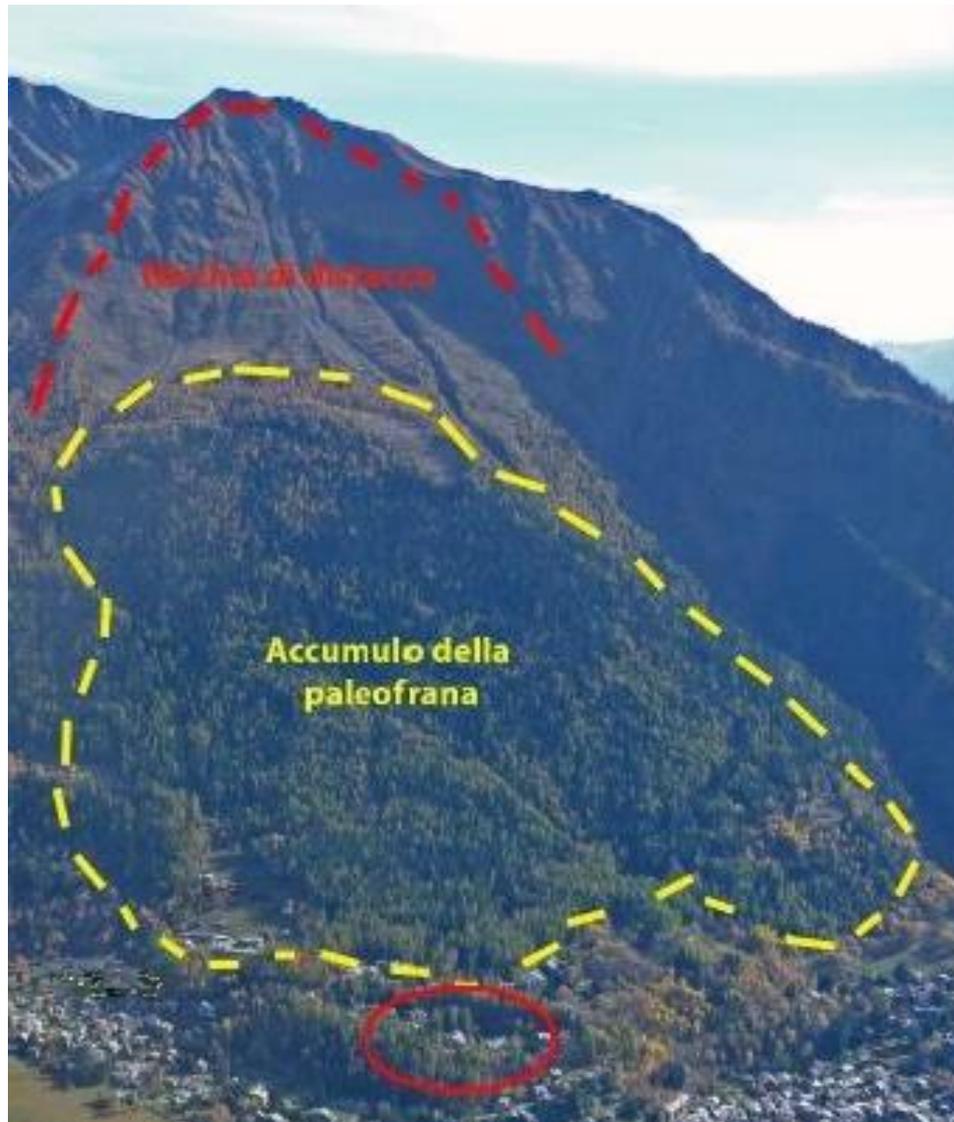


**Figura 2.8** – Affioramento di depositi glaciali nel fondovalle lungo la SS 26. (Foto Francesco Ghia)

Le DGPV si allineano lungo due importanti fasce di scollamento tettonico che attraversano l'intero areale in direzione NE-SO e che sono sottolineate dall'affioramento di gessi e carniole. La prima fascia coincide con il settore di scollamento basale delle Unità Pennidiche su quelle Ultraelvetiche (Zona di Deformazione di Courmayeur), intercettato dalla valle della Dora in corrispondenza di Courmayeur e sul prolungamento del quale si impostano il vallone di Dolonne, il Colle Checrouit ed il versante destro della Val Veny.

Qui sono presenti la DGPV della Testa di La Suche (nota come "paleofrana" di Courmayeur), (Fig. 2.9). il complesso di accumuli gravitativi a grandi blocchi del versante destro del vallone di Dolonne (legati alla DGPV omonima) ed il versante ampiamente

collassato sulla destra della Dora di Veny di fronte al ghiacciaio del Miage (DGPV dell'Alpe Vieille). La seconda fascia di scollamento (Zona di Deformazione del Gran San Bernardo) affiora in posizione tettonicamente più interna, tra il Colle San Carlo ed il Colle del Piccolo San Bernardo, intercettata dalla Valle di Thovex, dalla conca di La Thuile e dal versante destro della valle della Dora di Verney.



**Figura 2.9** – DGPV di Testa di La Suche (Comune Courmayeur)

I depositi alluvionali si ritrovano in corrispondenza agli alvei attuali dei corsi d'acqua (Dora Baltea ed affluenti), ai loro depositi terrazzati potenzialmente soggetti ad alluvionamento ed ai loro conoidi alluvionali.

I depositi alluvionali della Dora Baltea sono costituiti da ghiaie sabbiose a blocchi, con tessitura a supporto di clasti, eterometriche e stratificate. I ciottoli, da smussati ad arrotondati, hanno frequentemente una disposizione embricata. La composizione litologica dei clasti è naturalmente molto varia, riflettendo quella dell'intero bacino della

Valle d'Aosta a monte dell'area considerata. Sono particolarmente frequenti ciottoli e blocchi di graniti e anatesiti provenienti dal massiccio del Monte Bianco.

Sul fondovalle dell'area in esame possiamo distinguere due situazioni di deposizione:

- tra l'Equilivaz e Pré Saint Didier si è formata una vera e propria piana alluvionale (piana di Morgex), del tutto analoga a quelle esistenti su altri settori del fondovalle valdostano (piane di Aosta, di Verrès e di Pont Saint Martin) che ospita un rilevante corpo idrico sotterraneo

a monte di Pré Saint Didier, la Dora Baltea ha approfondito il proprio alveo entro corpi detritico-sedimentari quaternari (falde detritiche, conoidi di genesi mista, conoidi alluvionali, accumuli di frana e depositi glaciali), che colmano lo stretto fondovalle e nei quali il fiume ha modellato scarpate di altezza decametrica. Pur non scorrendo mai il corso d'acqua entro vere e proprie gole (essendo assenti settori di fondovalle in cui affiora estesamente il substrato roccioso), in questo tratto oltre all'alveo di piena ordinaria non si è mai potuta formare una piana alluvionale, ma solo sottili lembi alluvionali terrazzati, larghi qualche decina di metri al massimo, che si alternano lungo le due sponde dell'alveo. I depositi dei corsi d'acqua tributari sono costituiti anch'essi da ghiaie sabbiose con tessitura a supporto di clasti, eterometriche, grossolanamente stratificate (nei settori di conoide) e localmente ben stratificate (nelle ampie piane intravallive), comprendenti un'elevata percentuale di blocchi di varie dimensioni; possono essere presenti delle intercalazioni di *diamicton* massivi, legati ad episodi di *debris flow* o di frana, provenienti per la maggior parte dai valloni laterali e dai versanti. (PERELLO et alii 2011)

### **2.3 – Inquadramento climatico**

Il clima della Valle d'Aosta è fortemente condizionato dalla topografia. Le alte montagne che la circondano impediscono l'accesso a parte delle masse d'aria umide di origine mediterranea o atlantica, determinando nella zona centrale un clima caratterizzato da un elevato grado di aridità, con precipitazioni anche inferiori a 500 mm/anno; le zone di confine, in particolare quelle sud-orientali e le testate delle vallate nord-occidentali presentano, invece, precipitazioni medie superiori a 1400 mm/anno. Durante il periodo invernale, in ragione delle quote mediamente elevate, le precipitazioni sono prevalentemente di carattere nevoso. La stagione estiva è invece caratterizzata da precipitazioni di tipo convettivo, con frequente sviluppo di temporali o rovesci; la stagione primaverile e quella autunnale sono caratterizzate da precipitazioni stratiformi, che possono generare eventi pluviometrici anche di più giorni, con conseguente aumento del pericolo di alluvioni.

### 2.3.1 – Precipitazioni

Per studiare l'andamento delle precipitazioni, sono stati utilizzati i dati relativi a 3 stazioni meteorologiche installate dal Centro Funzionale della Regione Valle d'Aosta rispettivamente nei pressi degli abitati di Courmayeur (1200 m s.l.m.), Pré-Saint-Didier (996 m s.l.m.) e Morgex (938 m s.l.m.). In Figura 2.10, viene visualizzata l'ubicazione delle tre stazioni.

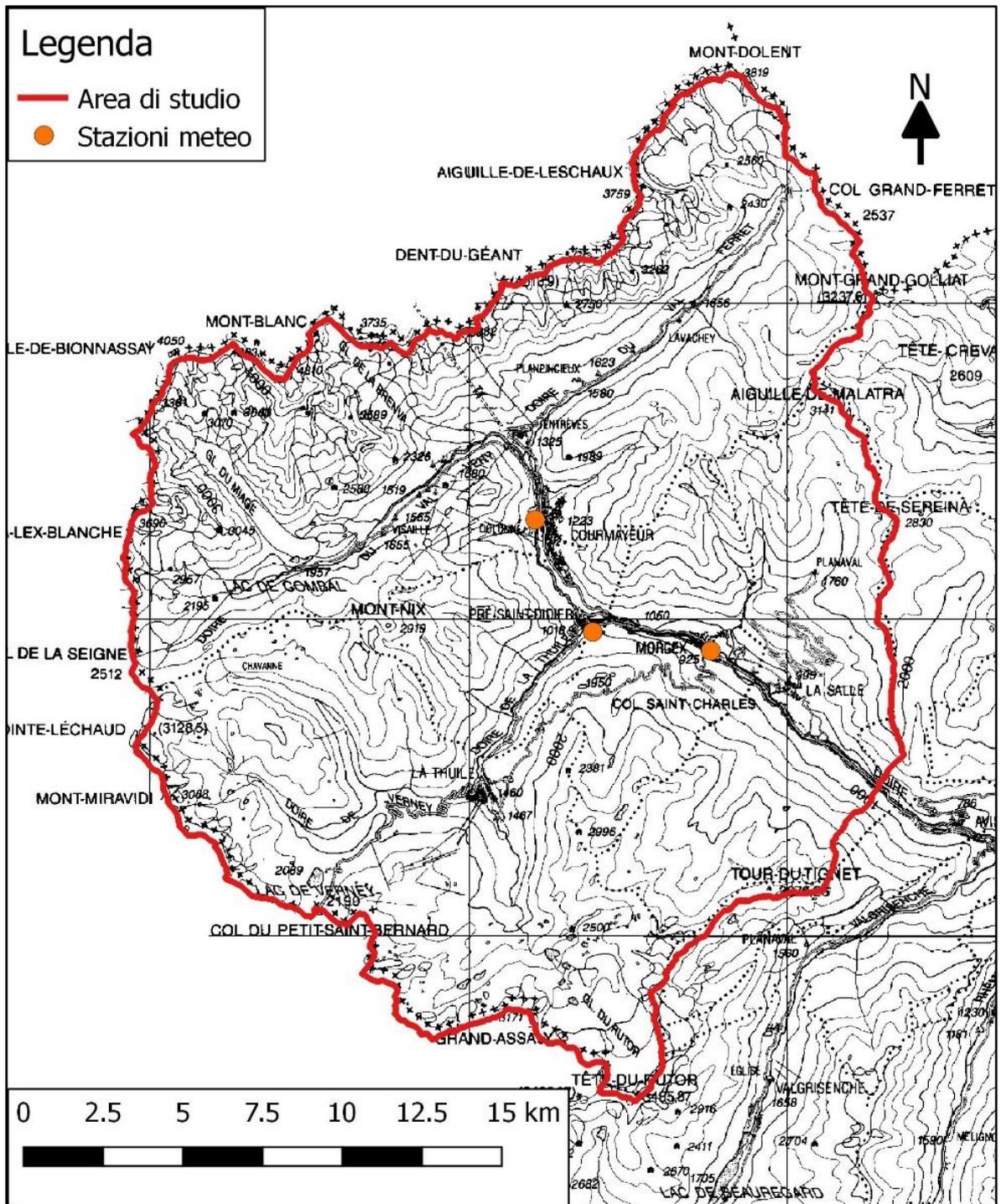
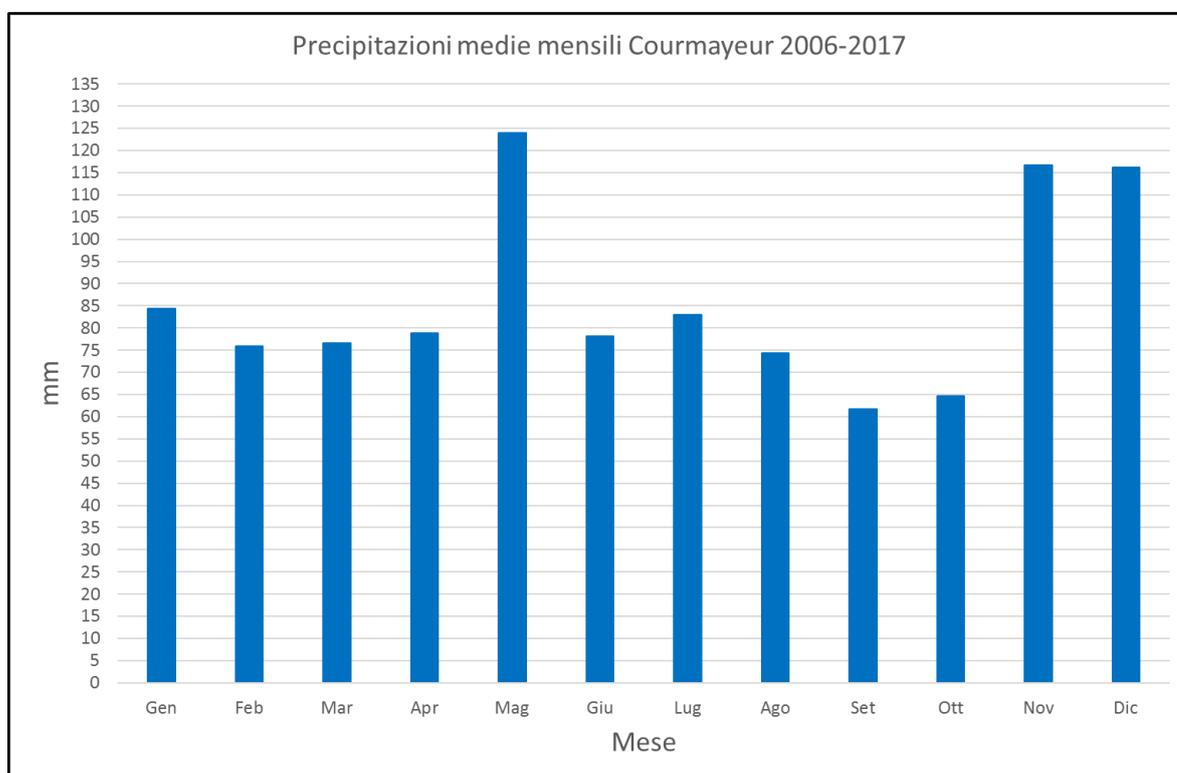
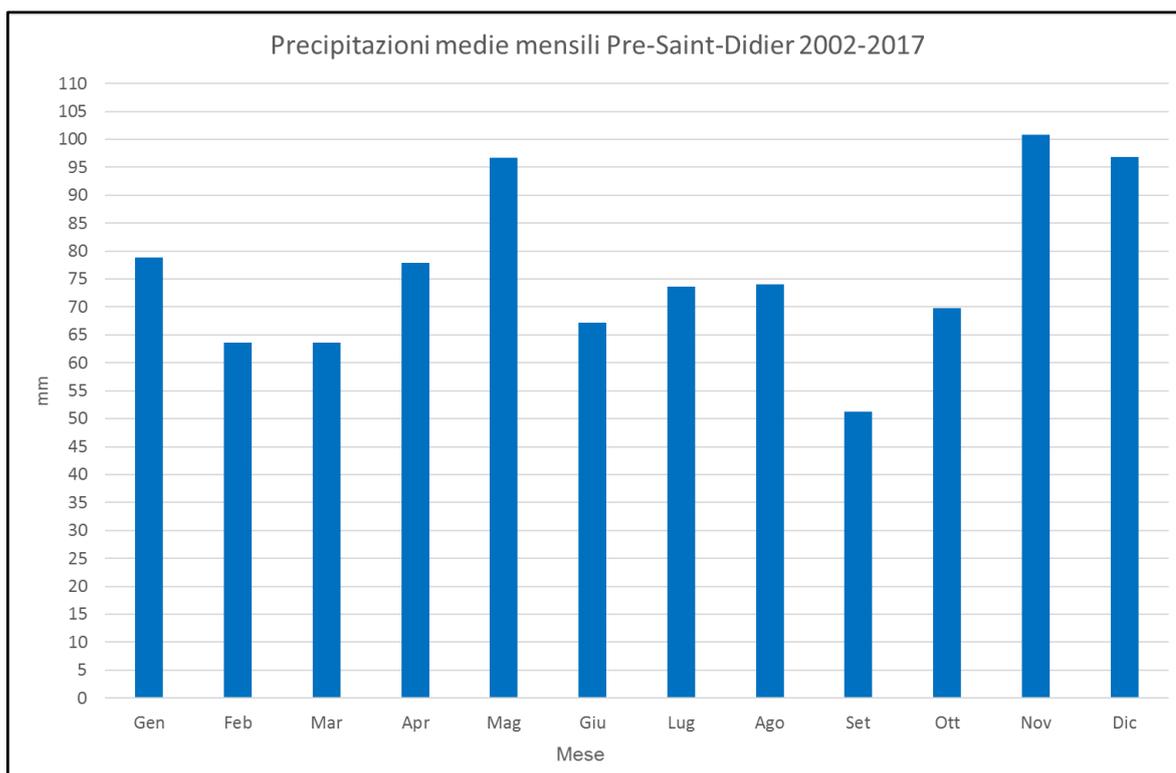


Figura 2.10 – Ubicazione delle stazioni meteorologiche i cui dati di temperatura e precipitazioni sono stati utilizzati nello studio.

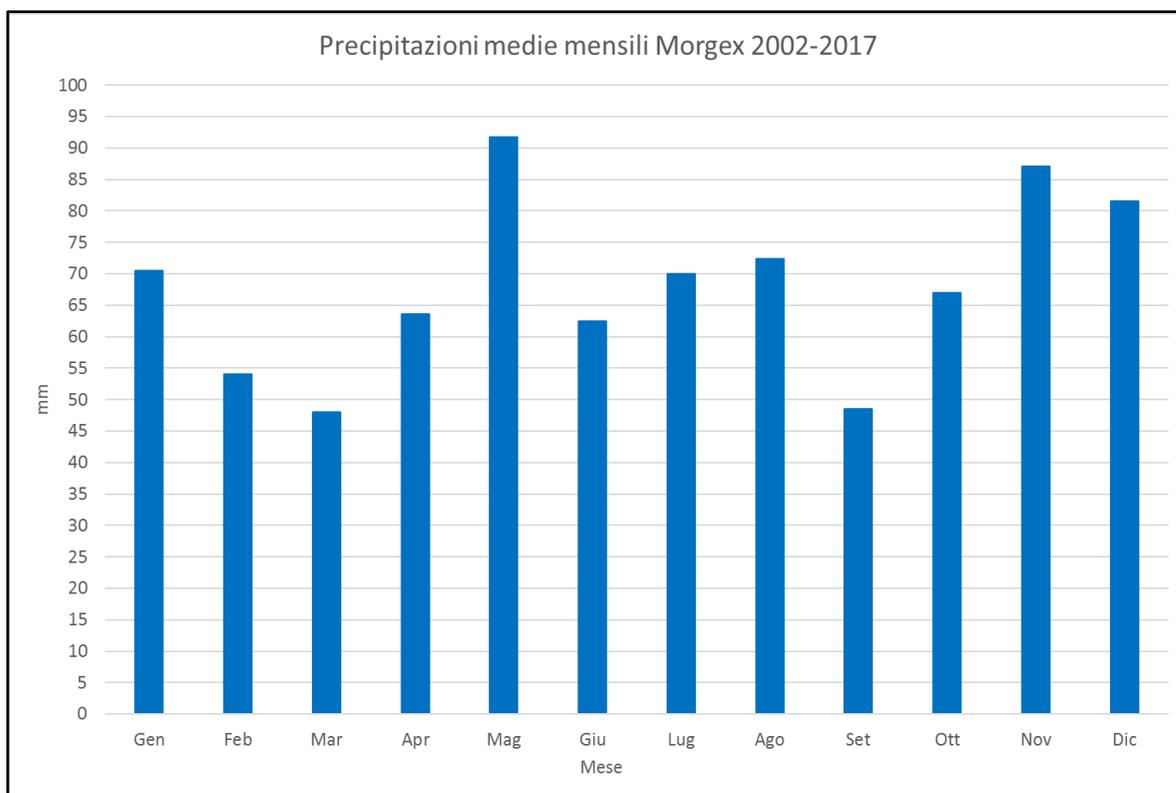
Analizzando i dati pluviometrici della stazione di Courmayeur misurati dal 2006 al 2017 (Fig. 2.11), è possibile notare come si abbia un evidente picco di precipitazioni nel mese di maggio pari a circa 125 mm di pioggia e un altro picco di poco inferiore nei mesi di novembre e dicembre di circa 115 mm di pioggia. I mesi più secchi sono quelli di settembre e ottobre con precipitazioni prossime ai 60 mm di pioggia. La precipitazione media annua è risultata pari a 1034 mm. Per quanto riguarda i dati pluviometrici della stazione di Pré-Saint-Didier rilevati dal 2002 al 2017 (Fig. 2.12), si nota che i mesi più piovosi sono maggio, novembre e dicembre, con una piovosità che si attesta intorno a 100 mm. Il mese con minori precipitazioni è quello di settembre con una media di 50 mm. La precipitazione media annua è risultata pari a 914 mm. Analizzando i dati della stazione pluviometrica nei pressi del centro abitato di Morgex, misurati dal 2002 al 2017 (Fig. 2.13), è possibile vedere che, anche in questa stazione, i mesi con le piogge più abbondanti sono maggio, novembre e dicembre, con precipitazioni medie pari a circa 90 mm, mentre i mesi più secchi sono quelli di settembre e marzo con precipitazioni medie che si attestano poco al di sotto dei 50 mm. Durante i mesi invernali si hanno molte giornate nevose viste le elevate precipitazioni del mese di dicembre e la quota media del bacino. I valori medi annui di precipitazione decrescono come di consuetudine con il diminuire della quota e allontanandosi dal massiccio del Monte Bianco.



**Figura 2.11** – Precipitazioni medie mensili in mm registrate dalla stazione di Courmayeur, nel periodo 2006-2017. La precipitazione media annua è risultata pari a 1034 mm. Elaborazione dati forniti dal Centro Funzionale Regionale



**Figura 2.12** – Precipitazioni medie mensili in mm registrate dalla stazione di Pré-Saint-Didier, nel periodo 2002-2017. La precipitazione media annua è risultata pari a 914 mm. Elaborazione dati forniti dal Centro Funzionale Regionale



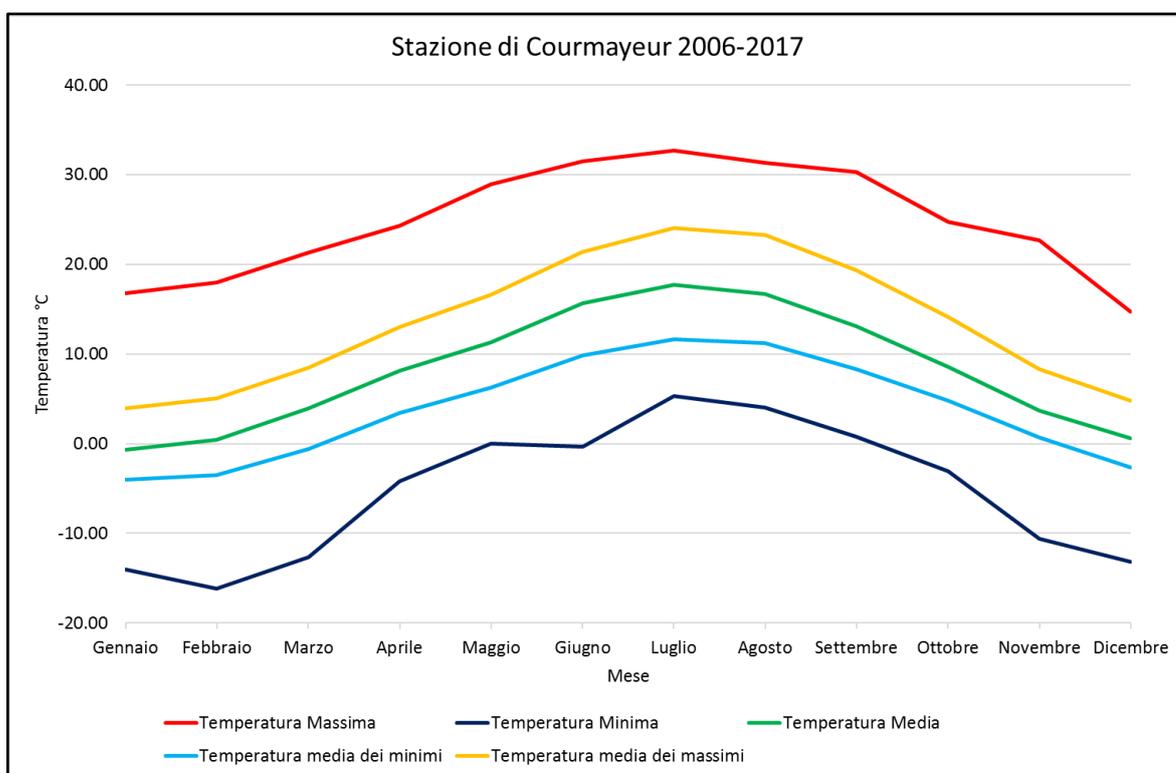
**Figura 2.13** – Precipitazioni medie mensili in mm registrate dalla stazione di Morgex, nel periodo 2002-2017. La precipitazione media annua è risultata pari a 817 mm/anno. Elaborazione dati forniti dal Centro Funzionale Regionale

### 2.3.2 – Temperature

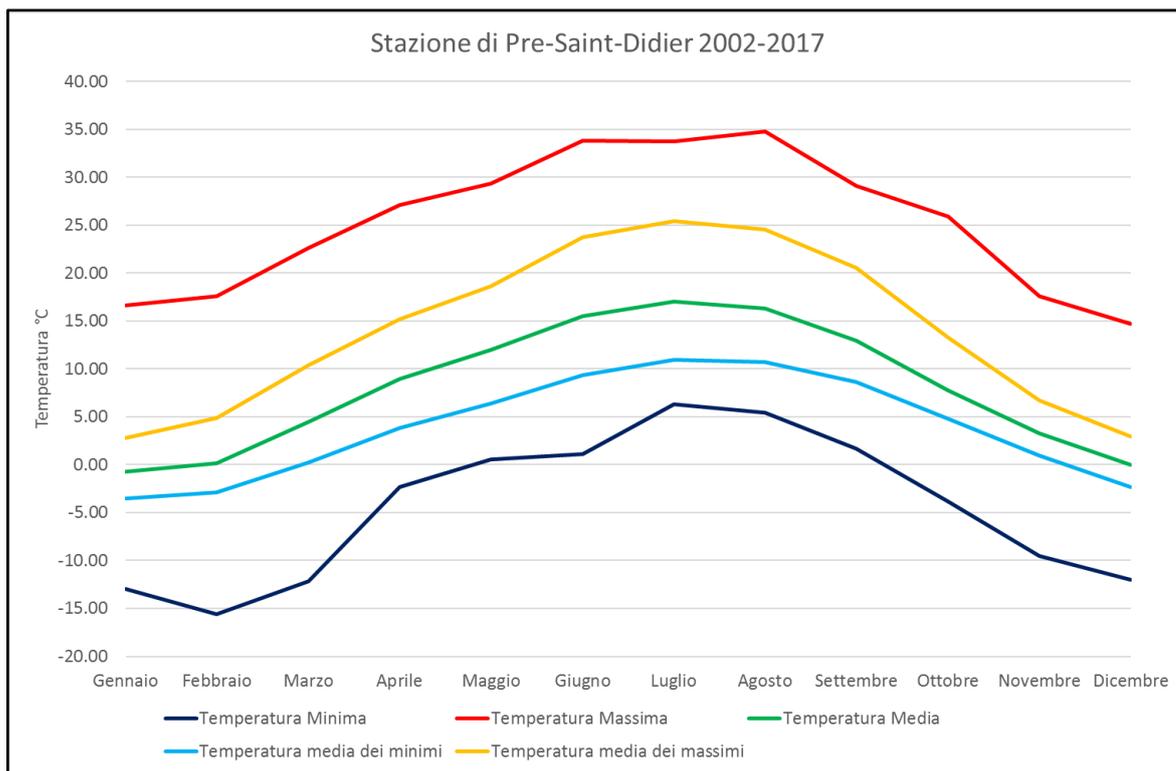
Le variazioni di temperatura sono principalmente legate a tre aspetti:

- periodo dell'anno;
- quota;
- esposizione dei versanti.

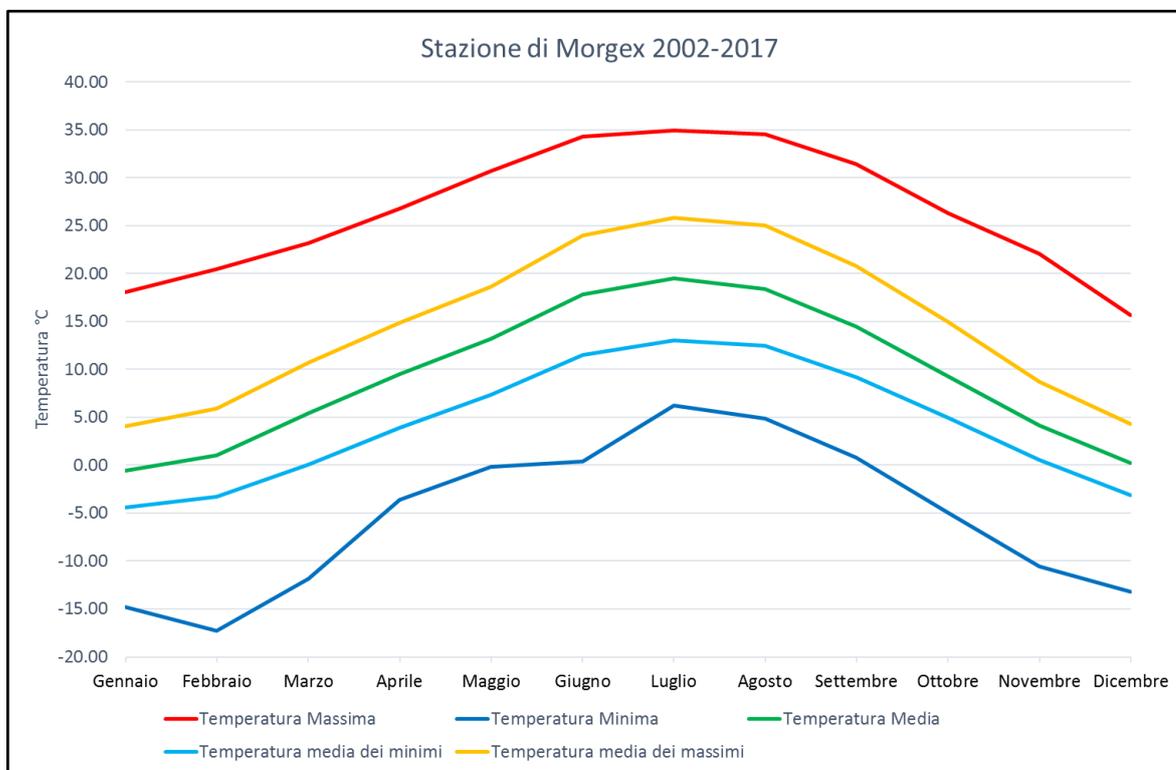
Per quanto riguarda l'andamento delle temperature nell'area studiata, sono stati presi in considerazione i dati misurati presso le stesse stazioni meteorologiche e lo stesso periodo in cui sono stati rilevati i dati pluviometrici. Dai dati relativi alla stazione di Courmayeur (Fig. 2.14), si può osservare come i mesi di dicembre, gennaio e febbraio presentino temperature medie mensili comprese tra -1 °C e 1 °C, mentre i mesi di luglio e agosto presentano temperature medie mensili di 17 °C. Da quelli relativi alla stazione di Pré-Saint-Didier (Fig. 2.15), si può osservare come i mesi di dicembre, gennaio e febbraio presentino temperature medie mensili comprese tra -1 °C e 0 °C, mentre i mesi di luglio e agosto presentano temperature medie mensili di 17 °C. Infine, dai dati relativi alla stazione di Morgex (Fig. 2.16), si può osservare come i mesi di dicembre, gennaio e febbraio presentino temperature medie mensili comprese tra 0 °C e 1 °C, mentre il mese di luglio e agosto fanno registrare una temperatura media mensile di 18 °C.



**Figura 2.14** – Temperatura media, media dei minimi, minima, media dei massimi e massima registrata presso la stazione di Courmayeur, per il periodo 2006-2017. Elaborazione dati forniti dal Centro Funzionale Regionale



**Figura 2.15** – Temperatura media, media dei minimi, minima, media dei massimi e massima registrata presso la stazione di Pré-Saint-Didier, per il periodo 2002-2017. Elaborazione dati forniti dal Centro Funzionale Regionale

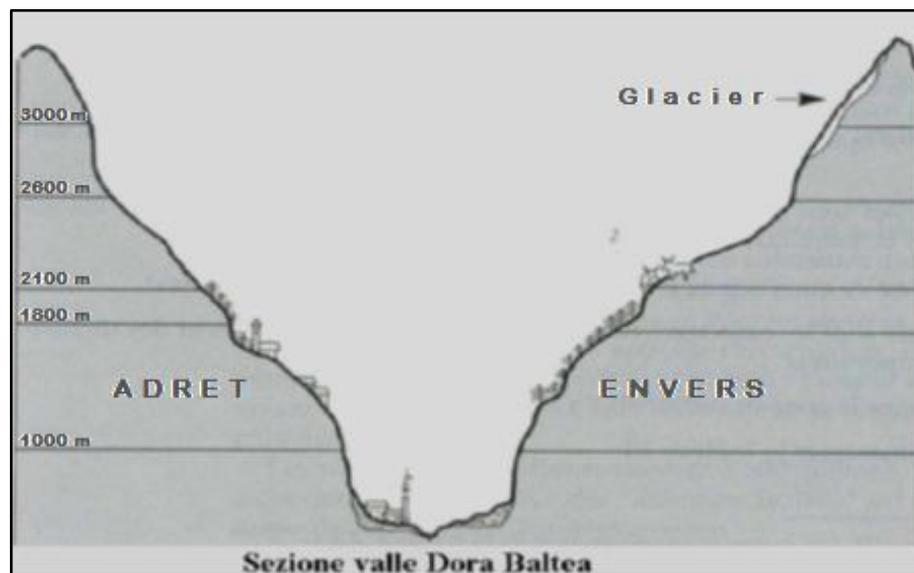


**Figura 2.16** – Temperatura media, media dei minimi, minima, media dei massimi e massima registrata presso la stazione di Morgex, per il periodo 2002-2017. Elaborazione dati forniti dal Centro Funzionale Regionale

Il mese più freddo risulta essere febbraio con temperature minime assolute di -17 °C a Courmayeur, -16 a Morgex e -15 a Pré-Saint-Didier verificatesi il 5 febbraio 2012. Le temperature più elevate sono state registrate nei mesi di luglio e agosto con temperature di 35°C a Pré-Saint-Didier il 5 agosto 2003, 35°C a Morgex fatti registrare il 6 luglio 2015 e di 32°C a Courmayeur il 4 luglio 2015.

Sebbene in generale la quota governi in modo diretto le variazioni di temperatura, con valori più rigidi a quote elevate e viceversa, talvolta si può verificare il contrario. Questo fenomeno è dovuto a saltuari eventi di inversione termica. Esso comporta uno spostamento dell'aria fredda nel fondovalle durante le ore notturne e un conseguente incremento delle temperature sui versanti più elevati dove si va a concentrare l'aria più calda.

Nella media Valle d'Aosta, l'orientazione grossomodo E-W del settore vallivo comporta un'esposizione dei versanti destro e sinistro rispettivamente a nord (*envers*) con temperature più rigide e a sud (*adret*) con temperature meno rigide, in relazione al diverso grado di insolazione (Fig. 2.17). Nell'area in esame questo fenomeno risulta leggermente attenuato essendo la valle orientata in senso NO-SE.



**Figura 2.17** Valle principale della Dora con tipico profilo ad U di origine glaciale (CERUTTI, 2006).

Per quanto riguarda l'escursione termica, nella stazione di Courmayeur si registra l'escursione maggiore nel mese di febbraio e quella minore nel mese di agosto (Tab. 2.1). Nella stazione di Pré-Saint-Didier, l'escursione termica maggiore si registra nel mese di marzo e quella minore nel mese di dicembre (Tab. 2.2). Infine, nella stazione di Morgex l'escursione termica maggiore si registra nel mese di febbraio e quella minore nel mese di dicembre (Tab. 2.3).

**Tabella 2.1** – Valori della temperatura media, massima, minima e dell'escursione termica della stazione di Courmayeur.

Courmayeur	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic
T Media	-0.66	0.41	3.97	8.11	11.28	15.66	17.74	16.69	13.09	8.60	3.69	0.59
T Massima	16.80	18.00	21.30	24.30	28.90	31.50	32.70	31.30	30.30	24.70	22.70	14.70
T Minima	-14.80	-17.30	-11.80	-3.60	-0.20	0.40	6.20	4.90	0.80	-5.00	-10.60	-13.20
Escursione termica	31.60	35.30	33.10	27.90	29.10	31.10	26.50	26.40	29.50	29.70	33.30	27.90

**Tabella 2.2** – Valori della temperatura media, massima, minima e dell'escursione termica della stazione di Pré-Saint-Didier.

Pré-Saint-Didier	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic
T Media	-0.69	0.18	4.48	8.98	12.01	15.52	17.04	16.28	12.97	7.75	3.29	-0.04
T Massima	16.61	17.60	22.64	27.10	29.36	33.84	33.70	34.79	29.13	25.90	17.60	14.71
T Minima	-14.00	-16.20	-12.70	-4.20	0.00	-0.30	5.30	4.00	0.80	-3.10	-10.60	-13.20
Escursione termica	30.61	33.80	35.34	31.30	29.36	34.14	28.40	30.79	28.33	29.00	28.20	27.91

**Tabella 2.3** – Valori della temperatura media, massima, minima e dell'escursione termica della stazione di Morgex.

Morgex	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic
T Media	-0.53	1.03	5.46	9.53	13.16	17.80	19.47	18.42	14.49	9.24	4.14	0.23
T Massima	18.10	20.50	23.20	26.80	30.70	34.30	34.90	34.50	31.40	26.30	22.10	15.70
T Minima	-12.95	-15.60	-12.12	-2.29	0.56	1.10	6.33	5.45	1.70	-3.88	-9.50	-11.96
Escursione termica	31.05	36.10	35.32	29.09	30.14	33.20	28.57	29.05	29.70	30.18	31.60	27.66

## 2.4 – Inquadramento idrografico

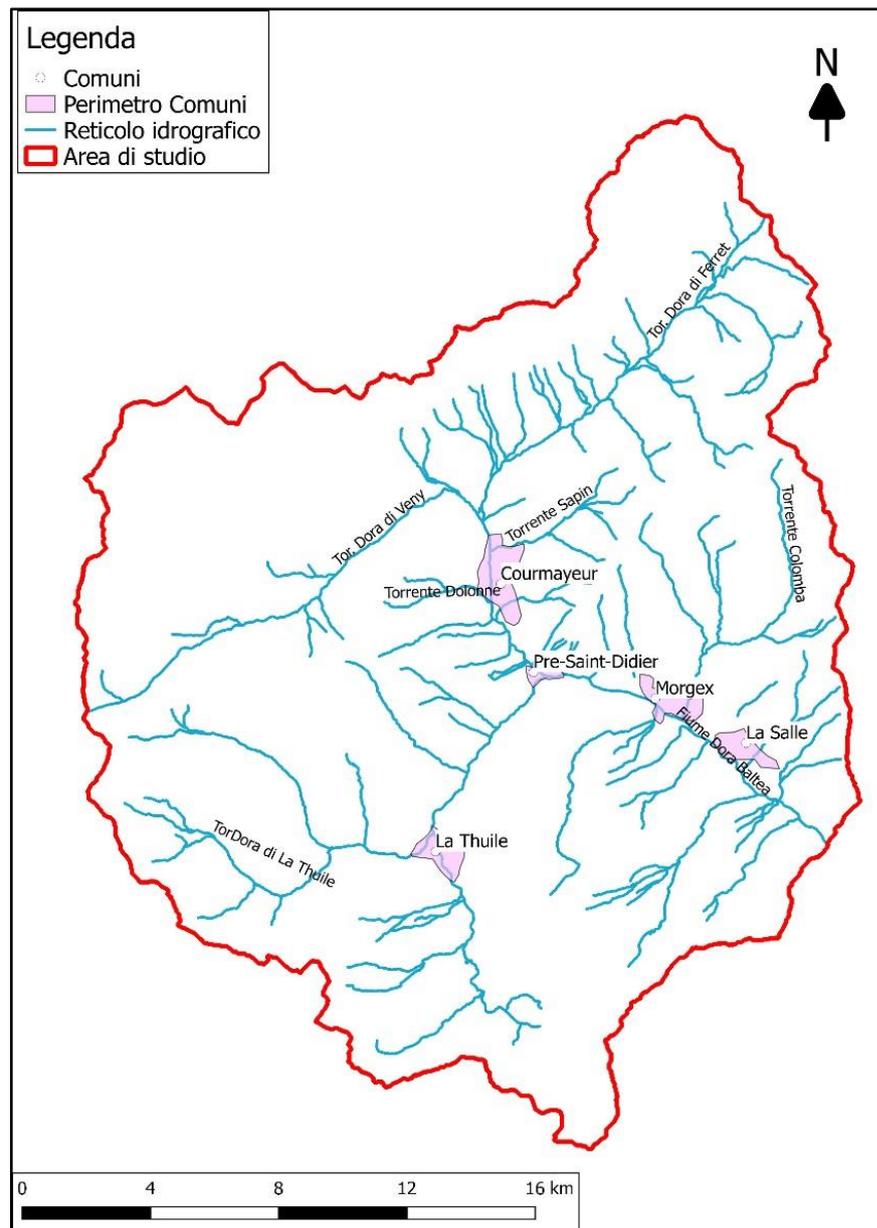
L'area di studio corrisponde all'alta valle della Dora Baltea. Essa nasce dalla confluenza della Dora di Veny e la Dora di Ferret all'altezza della frazione di Entrèves di Courmayeur e scorre per 169 km attraversando la Valle d'Aosta e il Piemonte prima di confluire nel fiume Po nei pressi dell'abitato di Crescentino (VC).

Oltre ai due torrenti da cui nasce, all'interno dell'area di studio la Dora Baltea riceve altri affluenti (Fig. 2.18):

- il T. Sapin, che nasce dalla Tête de la Tronche e il T. Dolonne che nasce dalla Tête d'Arp, rispettivamente in sinistra e destra orografica. Essi confluiscono nella Dora Baltea all'altezza dell'abitato di Courmayeur;
- la Dora di La Thuile che nasce dal ghiacciaio del Rutor e confluisce in destra orografica a Pré-Saint-Didier;
- il T. Colomba che ha le sue sorgenti alle pendici del Mont Grand Rocher e confluisce a Morgex in sinistra orografica.

I corsi d'acqua che interessano la Valdigne, come tutti quelli valdostani, sono alimentati principalmente dall'acqua di fusione delle nevi e dai ghiacciai, quindi si possono distinguere principalmente due tipi di regime: 1. glaciale, nelle porzioni a quote più elevate, caratterizzato da corsi d'acqua che hanno portate praticamente nulle o quasi nella stagione invernale, e massime durante quella estiva, in concomitanza con lo scioglimento dei ghiacciai; 2. nivo-glaciale nelle regioni più a valle. In inverno le precipitazioni sono principalmente sotto forma nevosa e i torrenti valdostani sono poco

alimentati. Con la fusione delle nevi, nel mese di marzo, si ha un repentino aumento delle portate. Successivamente, quando si ha la fusione delle nevi delle zone più alte (maggio e giugno) questi torrenti hanno portata massima, che può essere dieci volte superiore a quella dei mesi invernali. La quantità d'acqua trasportata è notevole in giugno e agosto quando essi sono alimentati dall'acqua di fusione dei ghiacciai. In autunno la portata dei corsi d'acqua diminuisce con il ritorno del freddo considerando che il ghiaccio fonde solo per poche ore al giorno quando le temperature sono più miti.



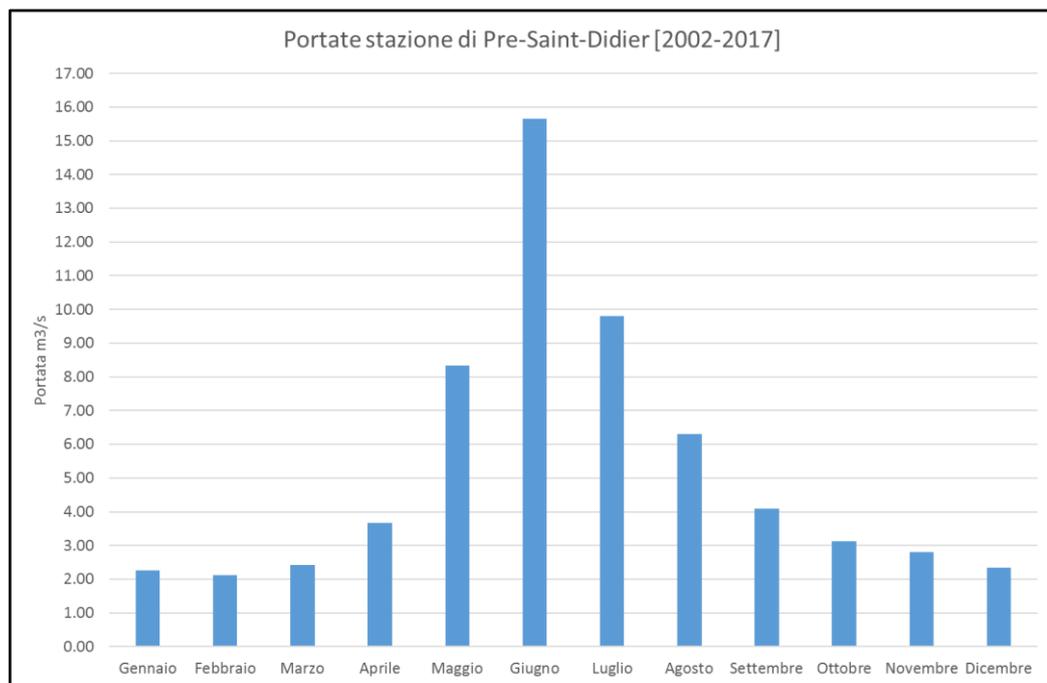
**Figura 2.18** – Idrografia dell'area di studio.

All'interno dell'area di studio è presente un idrometro in corrispondenza della stazione meteo di Pré-Saint-Didier (Fig. 2.19), anch'esso gestito dal Centro Funzionale della

regione Valle d'Aosta. Analizzando i dati che vanno dall'anno 2002 al 2017 dall'idrometro posto sul corso della Dora Baltea è evidente, come in questo tratto, ha ancora un regime prevalentemente torrentizio con portate molto elevate durante i mesi estivi facendo segnare un picco di 16 m<sup>3</sup>/s nel mese di giugno e un minimo di 2 m<sup>3</sup>/s nei mesi di dicembre, gennaio e febbraio (Fig. 2.20).



**Figura 2.19** – Stazione di misura della portata di Pré-Saint-Didier.



**Figura 2.20** – Nel grafico sono riportate le portate medie mensili in m<sup>3</sup>/s registrate presso la stazione di Pré-Saint-Didier, nel periodo 2002-2017 la portata media annua è di 5.3 m<sup>3</sup>/s.

## 2.5 - Inquadramento idrogeologico

L'area oggetto di studio è caratterizzata dal punto di vista idrogeologico da un acquifero alluvionale (piana di Morgex) oltre che da numerose sorgenti distribuite sui versanti dei rilievi. In corrispondenza del fondovalle di Courmayeur è stato inoltre identificato un ulteriore corpo idrico sotterraneo (conca di Courmayeur), di scarsa importanza idrogeologica ma tuttavia monitorato a livello ambientale (par. 3.1.4) (Fig. 2.21).

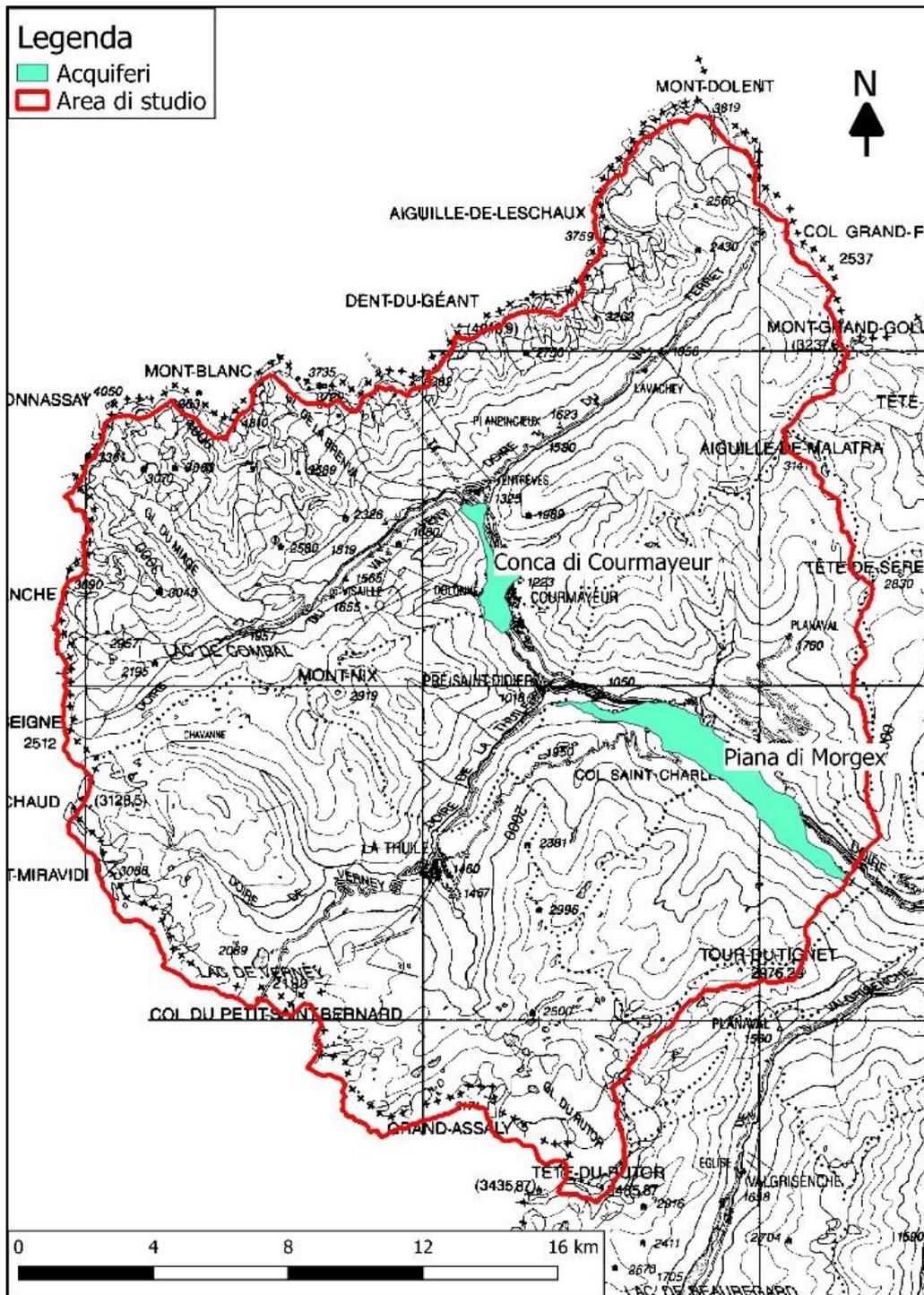


Figura 2.21 – Area occupata dai due corpi idrici sotterranei.

Il corpo idrico sotterraneo della piana di Morgex è costituito da depositi prevalentemente alluvionali con granulometria variabile tra sabbie e ghiaie oltre che, localmente, da depositi lacustri costituiti in prevalenza da limi e sabbie fini. I depositi raggiungono uno spessore massimo di 30 m, come evidenziato da un'apposita indagine geofisica commissionata recentemente da ARPA (par. 3.1.2). Questo acquifero, pur godendo di ottime caratteristiche di trasmissività, risulta di fatto praticamente non sfruttato in quanto gli approvvigionamenti idropotabili sono forniti da sorgenti e insediamenti artigianali-industriali di rilievo sono praticamente inesistenti.

L'acquifero della conca di Courmayeur è invece costituito da depositi di diversa origine con spessore massimo di 35 m eterogenei sia come granulometria che come distribuzione. In particolare, i depositi sono costituiti da depositi gravitativi (sabbie, ghiaie e blocchi), da depositi alluvionali (sabbie e ghiaie), oltre che da depositi glaciali costituiti in prevalenza da till di fondo e depositi lacustri caratterizzati da depositi limosi. Nel complesso in conseguenza di questa eterogeneità granulometrica l'acquifero ha una scarsa produttività.

Per quanto riguarda le sorgenti, esse sono caratterizzate in linea di massima da una portata modesta e comunque variabile stagionalmente (minima portata invernale e massima portata estiva, in funzione dei cicli di gelo e disgelo in quota). Fa eccezione la sorgente di Freboudze, in alta val Ferret, che alimenta l'acquedotto di Courmayeur.

## **2.6 - Inquadramento geomorfologico**

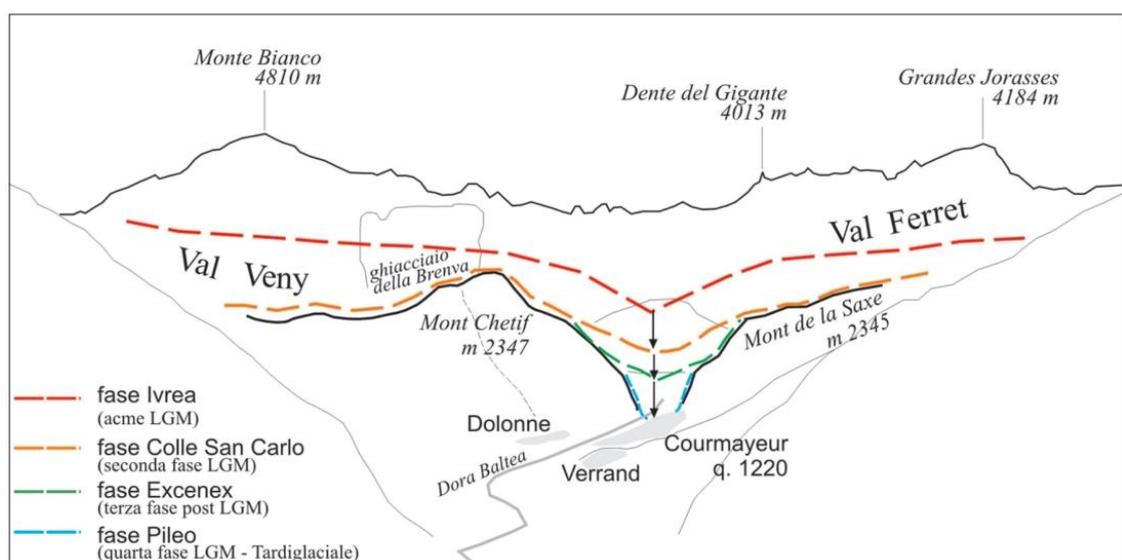
La morfologia delle valli studiate è legata principalmente all'azione erosiva dei ghiacciai nel corso degli ultimi episodi di espansione glaciale e nell'ultimo in particolare (da 25.000 a 11.500 anni fa). Secondo il modello interpretativo (CARRARO & GIARDINO, 2002), il processo morfogenetico si è svolto contemporaneamente ad un marcato approfondimento del reticolato glaciale; l'elevata capacità erosiva è stata determinata non solo dalle dimensioni (in particolare lo spessore) delle singole masse glaciali, dalla litologia e dall'assetto strutturale del substrato roccioso, ma anche dall'attività tettonica. Casi esemplari dell'interazione tra esarazione e approfondimento glaciale sono rappresentati dal profilo della valle principale in corrispondenza della stretta del M. Chetif (ben osservabile dalla Tête d'Arpy a NE del Colle San Carlo (Figg. 2.22 e 2.23).

Oltre ai depositi risalenti all'ultima grande espansione glaciale del Pleistocene superiore, di ampia distribuzione areale, sono qui particolarmente sviluppati gli apparati morenici legati alle avanzate di epoca storica (tra le quali la cosiddetta "Piccola Età del Ghiaccio") di alcuni tra i maggiori ghiacciai alpini (del Miage e del Rutor). Di notevole evidenza è poi lo stretto legame tra l'andamento in affioramento delle due principali zone di deformazione tettonica (del Gran San Bernardo e di Courmayeur), che attraversano tutta l'area in

direzione NE-SW, ed i fenomeni gravitativi più estesi, come le numerose DGPV (es. Testa di La Suche e Alpe Vieille). In generale la morfologia della vallata centrale è da ricondurre alla diversa resistenza e grado di fratturazione della roccia nei diversi settori, rispettivamente rocce meno competenti e più fratturate in corrispondenza dei settori più ampi e invece rocce più competenti e meno fratturate in corrispondenza dei tratti più incisi.



**Figura 2.22** - Il solco vallivo della Dora Baltea termina a monte contro il gruppo del Monte Bianco (veduta dal Colle San Carlo). In secondo piano le dorsali del Mont Chetif-Mont de La Saxe, che causano un restringimento vallivo (Foto Francesco Ghia).



**Figura 2.23** Il profilo trasversale della valle è scomponibile in diversi segmenti, modellati dal ghiacciaio principale nel corso delle varie fasi di approfondimento erosionale dell'ultimo episodio glaciale (PERELLO et alii 2011).

Lungo i settori di affioramento dei gessi si concentra inoltre una limitata morfologia carsica, in particolare le doline del vallone di Thovex nel comune di La Thuile. In Val Veny il lago Checrouit è di probabile genesi mista morenico-carsica, poiché occupa il fondo di una conca circolare interpretabile come dolina, formatasi per dissoluzione dei gessi presenti, sotto una debole copertura di till, lungo la suddetta Zona di Deformazione di Courmayeur. La maggioranza dei laghi, assai numerosi nell'area (le valli di La Thuile ospitano la maggiore superficie lacustre naturale totale della Valle d'Aosta, circa 80 ha) è tuttavia collegata con il glacialismo pleistocenico ed attuale ed è ospitata in conche di esarazione glaciale (come il Lago Verney al Piccolo San Bernardo e i numerosi laghi del Rutor) o entro la depressione interna ad un arco morenico frontale (laghi d'Arpy e de Platte). (PERELLO et alii 2011)

### 3 - STATO DELLE CONOSCENZE

Nel presente capitolo si prenderà in considerazione lo stato delle conoscenze relativamente alla tutela delle risorse idriche e al pericolo idrologico nell'area in esame.

Per quanto riguarda la *tutela delle risorse idriche*, si analizzerà l'evoluzione della normativa, si proseguirà con l'esposizione di alcuni lavori nell'area di studio potenzialmente impattanti sulle acque, si parlerà dell'uso della risorsa e infine si illustrerà l'attività di monitoraggio dell'ARPA Valle d'Aosta sulle acque della zona.

Per quanto riguarda invece il *pericolo idrologico*, si riporterà la normativa sulle alluvioni e si ricorderanno gli eventi alluvionali avvenuti dal 1400 ad oggi nel territorio studiato.

#### 3.1 Stato delle conoscenze sulla tutela delle risorse idriche

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

##### 3.1.1 Evoluzione normativa sulla tutela delle risorse idriche

###### 3.1.1.1 Normativa europea

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

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

La Direttiva 2006/118/CE (COMUNITÀ EUROPEA, 2006) è un'integrazione della Direttiva quadro che riguarda esclusivamente la protezione delle acque sotterranee dall'inquinamento. Essa è poi stata attuata con il D.Lgs. 30/09 (REPUBBLICA ITALIANA, 2009) di cui le principali definizioni sono di seguito elencate:

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

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

### 3.1.1.2 Normativa nazionale

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

La prima normativa in materia di qualità delle acque destinate a uso potabile è stata il D.P.R. 236/88 (REPUBBLICA ITALIANA, 1988) che fissava i valori guida (VG) e la concentrazione massima ammissibile (CMA) dei parametri chimico-fisici più importanti per definire la qualità delle acque sotterranee e superficiali destinate al consumo umano.

Molto significativo è il D.Lgs. 152/99 (REPUBBLICA ITALIANA, 1999), che si basava su due obiettivi, uno a breve termine, che consisteva nella valutazione dello stato ambientale dei corpi idrici sotterranei e, uno a medio termine (o a regime), che si proponeva di tenere sotto controllo lo stato ambientale e di predisporre tutti gli strumenti necessari per la tutela e la salvaguardia delle risorse idriche. Nonostante il D.Lgs. 152/99 sia stato abrogato dal Decreto Legislativo 3 aprile 2006, n. 152 (REPUBBLICA ITALIANA, 2006), le sue indicazioni tecniche e operative sono state tenute in considerazione fino all'emanazione del D.Lgs. 30/2009. Il D.Lgs. 152/99 obbligava la pubblica amministrazione al monitoraggio delle acque sotterranee per valutare lo stato ambientale della falda a prescindere dalla destinazione d'uso (potabile, irrigua, industriale ecc....) e, a tal fine, prevedeva due monitoraggi uno qualitativo (stato chimico) e uno quantitativo. Il primo doveva accertare la qualità delle acque tramite prelievi annui a cadenza semestrale con la finalità di classificare l'acquifero in classi (Tab. 3.1).

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

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

I criteri chimici su cui si basa questa classificazione tengono conto di sette parametri di base (conducibilità elettrica specifica a 20°C, cloruri, nitrati, solfati, ione ammonio, ferro e manganese) con i relativi valori limite per ogni classe e di una serie di parametri addizionali distinti in inquinanti inorganici (alluminio, antimonio, argento, arsenico, bario, berillio, boro, cadmio, cianuri, cromo tot, cromo VI, fluoruri, piombo, rame, selenio, zinco, mercurio, nichel, nitriti) e organici (solventi alifatici alogenati, solventi aromatici, pesticidi, IPA) con la relativa Concentrazione Massima Ammissibile (CMA). Quando uno o più di questi parametri addizionali ha una concentrazione superiore alla CMA, si rientra nella classe 4, se invece gli inquinanti inorganici sono di origine naturale verranno attribuiti alla classe 0. Il secondo prevede misure di soggiacenza a cadenza mensile e tiene conto delle caratteristiche del corpo idrico sotterraneo (tipologia, permeabilità, coefficiente di immagazzinamento) e del regime di sfruttamento (tendenza piezometrica o delle portate,

prelievi per vari usi). Per definire lo stato quantitativo si considera l'entità dell'impatto antropico sul corpo idrico in esame secondo lo schema riportato nella Tabella 3.2.

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

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

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

#### Acque superficiali

Per quanto riguarda le acque superficiali nello stesso decreto sono riportate le norme per l'utilizzo di acque superficiali, che per essere destinate alla produzione di acqua potabile, sono classificate dalle regioni nelle categorie A1, A2 e A3 secondo le caratteristiche fisiche, chimiche e microbiologiche.

Lo stato chimico è definito in base alla presenza di sostanze chimiche pericolose. Ai fini della prima classificazione, la valutazione dello stato chimico dei corpi idrici superficiali è effettuata in base ai valori soglia riportate nella direttiva 76/464/CEE e nelle direttive da essa derivate, nelle parti riguardanti gli obiettivi di qualità nonché nell'allegato 2 sezione B; nel caso che per gli stessi parametri siano riportati valori diversi, deve essere considerato il più restrittivo. Gli inquinanti chimici da controllare nelle acque superficiali sono: Cadmio, Cromo totale, Mercurio, Nichel, Piombo, Rame, Zinco. Il monitoraggio delle acque superficiali si articola in una fase conoscitiva iniziale, che ha come scopo la prima classificazione dello stato di qualità ambientale dei corpi idrici e in una fase a regime, in cui viene effettuato un monitoraggio volto a verificare il raggiungimento e il mantenimento dell'obiettivo di qualità «buono».

Nello stesso anno entra in vigore il Decreto Ministeriale 471/99 (REPUBBLICA ITALIANA, 1999) relativo agli interventi da effettuare sui siti contaminati, ormai abrogato dal D.Lgs. 152/06, che contiene importanti indicazioni tecniche-normative necessarie per le indagini sulla risorsa idrica sotterranea. Esso stabilisce le modalità di collocazione e di

realizzazione dei piezometri, i metodi di campionamento, l'analisi dei campioni e fornisce un elenco di limiti tabellari per le massime concentrazioni ammissibili nelle acque sotterranee, anche se non destinate ad uso potabile, per un vasto spettro di inquinanti e di elementi chimici. Per quanto riguarda la collocazione e la realizzazione dei piezometri stabilisce che i punti di prelievo si devono individuare in base alla caratterizzazione idrologica dell'area, del modello concettuale del sito e delle caratteristiche dell'acquifero che si deve indagare. Almeno un piezometro deve essere posto immediatamente a monte del sito per avere un valore di riferimento delle acque sotterranee in ingresso nell'area oggetto di studio ed uno a valle in modo da verificare le caratteristiche delle acque di falda in uscita. I piezometri devono essere realizzati a carotaggio continuo, costituiti da materiali compatibili con gli inquinanti presenti nel sito e avere filtri con apertura adeguata alla granulometria degli acquiferi da campionare. Il piezometro dovrà raggiungere almeno la base del primo acquifero individuato e comunque una profondità non inferiore ai due terzi dello spessore dell'acquifero stesso. Infine, il numero e l'ubicazione dei piezometri dipenderà dalle analisi chimico-fisiche e dalla definizione dei focolai di contaminazione, ciò permetterà di controllare nel tempo l'effetto dei singoli focolai su tutti gli acquiferi potenzialmente interessati dai fenomeni di contaminazione.

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

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

Il D.Lgs. 31/01 (REPUBBLICA ITALIANA, 2001) nasce con l'intento di disciplinare la qualità delle acque destinate al consumo umano siano esse superficiali o sotterranee (non si applica alle acque minerali naturali, art. 3) al fine di proteggere la salute umana dagli effetti negativi derivanti dalla contaminazione delle acque e garantendo i requisiti di

salubrità e di pulizia delle acque potabili. Nell'art. 2 il decreto definisce le acque destinate a consumo umano:

1. *“le acque trattate o non trattate, destinate ad uso potabile, per la preparazione di cibi e bevande, o per altri usi domestici, a prescindere dalla loro origine, siano esse fornite tramite una rete di distribuzione, mediante cisterne, in bottiglie o in contenitori”;*
2. *“le acque utilizzate in un'impresa alimentare per la fabbricazione, il trattamento, la conservazione, o l'immissione sul mercato di prodotti o di sostanze destinate al consumo umano, (escluse alcune, individuate dallo stato, la cui qualità non può avere conseguenze sulla salute del prodotto alimentare finale)”.*

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

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

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

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

Le regioni devono redigere un apposito programma di monitoraggio dello stato quantitativo e qualitativo e, ai fini della classificazione qualitativa, sono tenute a calcolare

la media dei risultati del monitoraggio ottenuti in ciascun punto del corpo idrico. La conformità al buono stato chimico è raggiunta quando il corpo idrico non presenta effetti di intrusioni saline o di altro tipo e, non superino gli standard di qualità applicabili ai sensi delle disposizioni nazionali o comunitarie vigenti. La classificazione dei corpi idrici secondo il loro stato chimico risulta semplificata in quanto contempla solo due classi (buona o scarsa), come previsto dalla Direttiva 2000/60/CE. Nella stessa legge le acque superficiali sono definite come: *le acque interne, ad eccezione delle sole acque sotterranee, le acque di transizione e le acque costiere, tranne per quanto riguarda lo stato chimico, in relazione al quale sono incluse anche le acque territoriali*. In questo decreto sono riportati gli *Standard di qualità ambientale (SQA) per le acque superficiali* raccolti nella tabella, di cui alla lettera A.2.6 dell'allegato 1 alla parte terza. Le disposizioni del presente articolo concorrono al raggiungimento entro il 20 novembre 2021 dell'obiettivo di eliminare le sostanze pericolose prioritarie indicate come PP negli scarichi, nei rilasci da fonte diffusa e nelle perdite, nonché al raggiungimento dell'obiettivo di ridurre gradualmente negli stessi le sostanze prioritarie individuate come P nella medesima tabella. Per le sostanze indicate come E, l'obiettivo è di eliminare l'inquinamento delle acque causato da scarichi, rilasci da fonte diffusa e perdite.

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

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

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

### *3.1.1.3 Normativa Regionale*

In Valle d'Aosta non esiste una vera e propria normativa specifica per le acque, ma con la deliberazione del Consiglio regionale n. 1788/XII dell'8 febbraio 2006 (REGIONE VALLE D'AOSTA, 2006) è stato approvato il Piano di Tutela delle Acque (PTA) che rappresenta il recepimento del decreto D.Lgs. 152/1999 (Art. 44).

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

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

Il Piano rappresenta il primo passo verso una nuova concezione dell'uso delle acque, definisce, quindi, il quadro delle azioni, degli interventi, delle regole e dei comportamenti per la tutela della qualità ambientale in generale connessa con i corpi idrici. E in corso la realizzazione del PTA VdA (riesame ed aggiornamento del Piano regionale di tutela delle acque) che, rispetto al PTA del 2006, conterrà una serie di novità, che derivano in parte da obblighi normativi ed in parte da scelte dell'amministrazione regionale. Come prima e importante novità, il PTA VdA non sarà composto da pagine scritte, o almeno non solo da quelle, ma saranno disponibili, *on line* sul sito regionale, tutte le informazioni, i dati, le elaborazioni ed i relativi risultati, integrati in un unico sistema informativo, una banca dati cartografica georeferenziata, consultabile dal pubblico, utilizzabile dai tecnici e periodicamente aggiornata. Al centro del PTA c'è il corpo idrico, inteso non più come un corso d'acqua, un lago, una zona umida o un acquifero sotterraneo, ma definito sulla base delle caratteristiche fisiche naturali ed omogeneo per tipo ed entità delle pressioni antropiche e quindi per lo stato di qualità. Per esempio, un torrente può essere suddiviso in più corpi idrici se le caratteristiche naturali cambiano lungo il suo percorso o se le pressioni antropiche (come prelievi, o arginature o altre alterazioni morfologiche, ecc.) ne determinano modifiche di stato di qualità. Sul corpo idrico sono incentrati sia i sistemi di monitoraggio, sia le analisi delle pressioni derivanti dalle attività antropiche, sia l'identificazione delle misure di risanamento ambientale e anche il controllo della relativa efficacia. Dal punto di vista dell'approccio metodologico, le conoscenze attuali, i metodi e gli strumenti tecnici disponibili consentono di identificare, a livello di corpo idrico, con maggiore trasparenza e chiarezza di prima, le relazioni specifiche tra pressioni, stato attuale e le misure da attuare per il raggiungimento degli obiettivi ambientali. In sintonia

con quanto concordato a livello distrettuale per l'aggiornamento del Piano di gestione del distretto idrografico del fiume Po, si è utilizzato l'approccio concettuale del modello *DPSIR* “*Determinanti-Pressioni-Stato-Impatti-Risposte*”, che consente di individuare le relazioni funzionali causa/effetto tra i seguenti elementi: i *Determinanti* (D), che descrivono i fattori di presenza e di attività antropica, con particolare riguardo ai processi economici, produttivi, di consumo, degli stili di vita e che possono influire, talvolta in modo significativo, sulle caratteristiche dei sistemi ambientali e sulla salute delle persone; le *Pressioni* (P), che sono le variabili direttamente o potenzialmente responsabili del degrado ambientale; lo *Stato* (S), che descrive la qualità dell'ambiente e delle sue risorse che occorre tutelare e preservare; l'*Impatto* (I), che descrive le ripercussioni, sull'uomo e sulla natura e i suoi ecosistemi, dovute alla perturbazione della qualità dell'ambiente; le *Risposte* (R), che rappresentano le azioni messe in atto per modificare o rimuovere i determinanti, per ridurre, eliminare o prevenire le pressioni, per mitigare gli impatti, ovvero per ripristinare o mantenere lo stato.

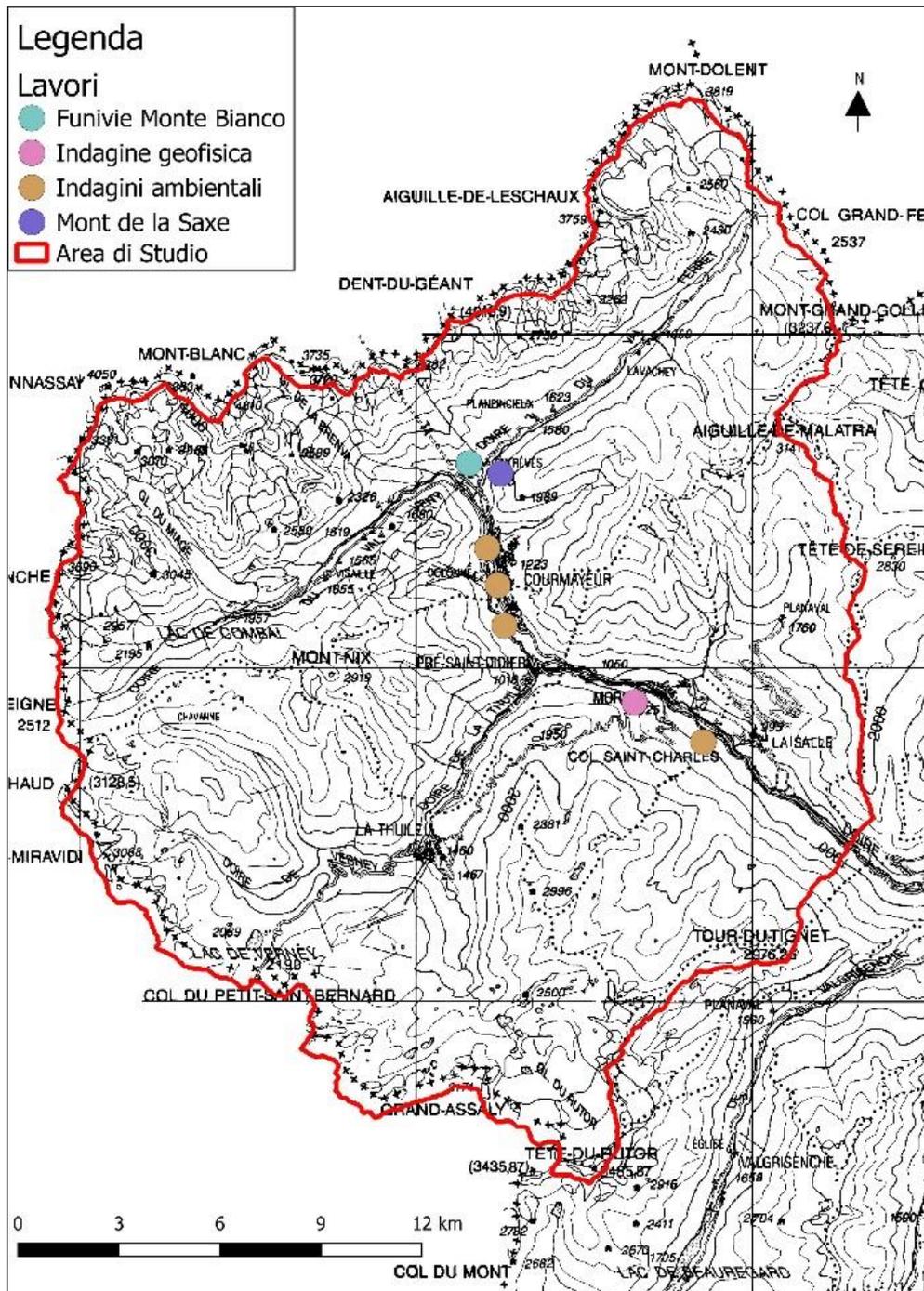
Il documento “*Sintesi delle principali criticità e proposte per l'aggiornamento del Piano di Tutela delle Acque*”, propone un quadro riassuntivo ed aggiornato delle principali criticità determinate dalle attività umane sui corpi idrici valdostani e delle possibili macrorisposte, entrambe come sintesi dell'integrazione dei risultati ottenuti da un lato, dalla complessa attività compiuta dall'amministrazione regionale per l'identificazione delle pressioni significative e le successive elaborazioni e, dall'altro lato, dall'importante lavoro svolto dai diversi portatori di interesse nel corso del processo di partecipazione pubblica compiuto nel 2016. Il documento contiene informazioni ed elaborazioni relativamente allo stato di qualità dei corpi idrici, alle pressioni significative, all'analisi di rischio, alle criticità e alle proposte.

### **3.1.2 Lavori progressi riguardanti la tutela delle risorse idriche**

Di seguito si sintetizzano i risultati di alcuni lavori progressi, intrapresi da soggetti pubblici e privati, che hanno permesso di ottenere nuove conoscenze sulle risorse idriche nella zona di studio, la localizzazione dei lavori è visibile in Figura 3.1.

Pozzo geotermico realizzato dalle Funivie Monte Bianco, che nel 2014 per il progetto degli impianti tecnologici della stazione di partenza delle Nuove Funivie del Monte Bianco, situata in località Pontal d'Entrèves, ha previsto la realizzazione di un pozzo di emungimento dell'acqua di falda. Il pozzo è ubicato a monte del fabbricato di stazione, praticamente in asse con la linea funiviaria. L'utilizzo dell'acqua prelevata è duplice; quello principale è come pozzo caldo per alimentare un circuito di acqua freatica a servizio della pompa di calore utilizzata per la climatizzazione invernale della stazione di partenza; secondariamente è utilizzata come pozzo freddo a servizio di uno scambiatore di calore

per la produzione di acqua refrigerata per la climatizzazione estiva degli uffici e dei locali annessi. La restituzione in falda viene eseguita nella rete di allontanamento delle acque bianche che in seguito confluisce nel torrente.



*Figura 3.1 – Ubicazione dei lavori progressi.*

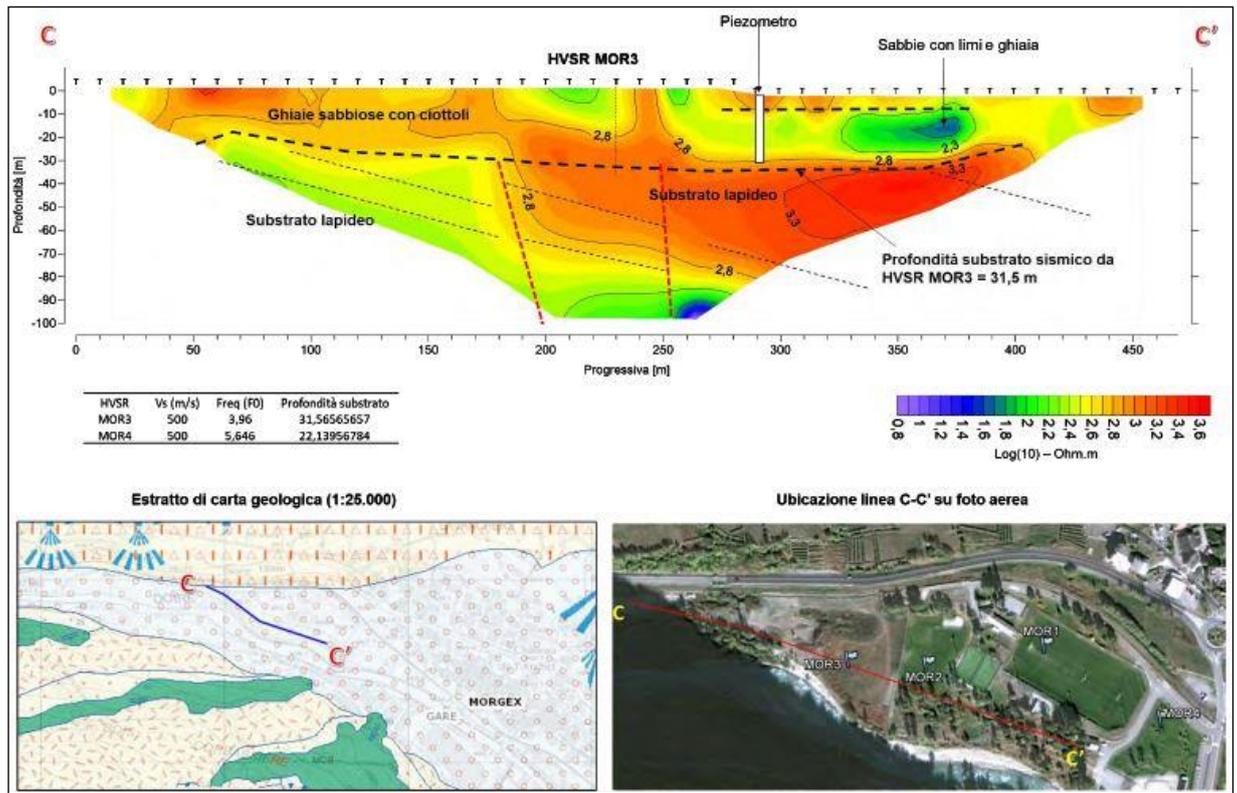
Per quanto riguarda la frana del Mont de la Saxe la regione Valle d'Aosta ha eseguito moltissimi studi e interventi; per quanto riguarda la geologia ambientale sono stati eseguiti negli anni 2014-15:

- analisi in laboratorio dei campioni per la caratterizzazione idrogeochimica delle acque circolanti (superficiali e sotterranee derivanti dai piezometri installati sul versante);
- analisi in laboratorio per la caratterizzazione isotopica di alcuni dei campioni prelevati;
- elaborazioni dei dati analitici forniti dal laboratorio certificato;
- determinazione delle principali facies idrogeochimiche;
- caratterizzazione dei principali sistemi acquiferi.

L'aspetto idrogeochimico è stato approfondito attraverso il confronto dei dati delle due campagne di prospezione effettuate nell'area in esame. I risultati hanno evidenziato come il flusso idrico sotterraneo sia impostato su un sistema idrogeologico con notevoli volumi idrici coinvolti, e che di fatto le variazioni chimico-fisiche registrate nei siti di campionamento siano legate principalmente alle variazioni stagionali. La prima campagna, effettuata nel mese di settembre 2014, ha identificato il periodo di "magra", cioè le acque che circolano nel sistema ricevono una scarsa alimentazione. Mentre la seconda campagna, effettuata nel mese di maggio 2015, è rappresentativa del periodo di "piena", in accordo con la fase di massima ablazione dei ghiacciai e di fusione nivale. Le acque che derivano dai dreni della frana presentano un chimismo fortemente influenzato dalle litologie carbonatico solfatiche presenti all'interno della frana che si discostano dalle altre acque presenti nella zona. Le acque sono quindi appartenenti a una circolazione idrologica differente da quella presente negli acquiferi di fondovalle.

Studio geofisico a Morgex condotto da Techgea s.r.l. per conto di Arpa Valle d'Aosta nel 2017 sono stati eseguiti un transetto geoelettrico della lunghezza di 465 m e quattro prove HVSR disposte sul fondovalle. I risultati delle indagini geoelettriche hanno fornito un quadro piuttosto chiaro dell'assetto geologico, definito dalla seguente sequenza stratigrafica costituita da:

- Un elettrostrato superficiale di potenza compresa tra i 20 e i 30-35 m costituito da ghiaie e sabbie (tonalità di colore giallo-rosso in figura 3.2) e depositi sabbioso-ghiaiosi con matrice talora fine (tonalità di colore blu-verde giallo). Questi depositi corrispondono ai depositi alluvionali recenti e, verosimilmente, fluvio-glaciali. Dal punto di vista idrogeologico costituiscono l'acquifero superficiale monitorato da ARPA, di buone potenzialità ma non protetto.
- Un secondo elettrostrato che si estende fino alla profondità massima di indagine (100 m), costituito da un substrato lapideo, rappresentato in figura 3.2 da due litotipi:
  1. Un litotipo molto resistivo, tonalità di colore rosso);
  2. Un litotipo, posto in contatto verticale per faglia e sottoposto al litotipo precedente (tonalità di colore verde-blu giallo).



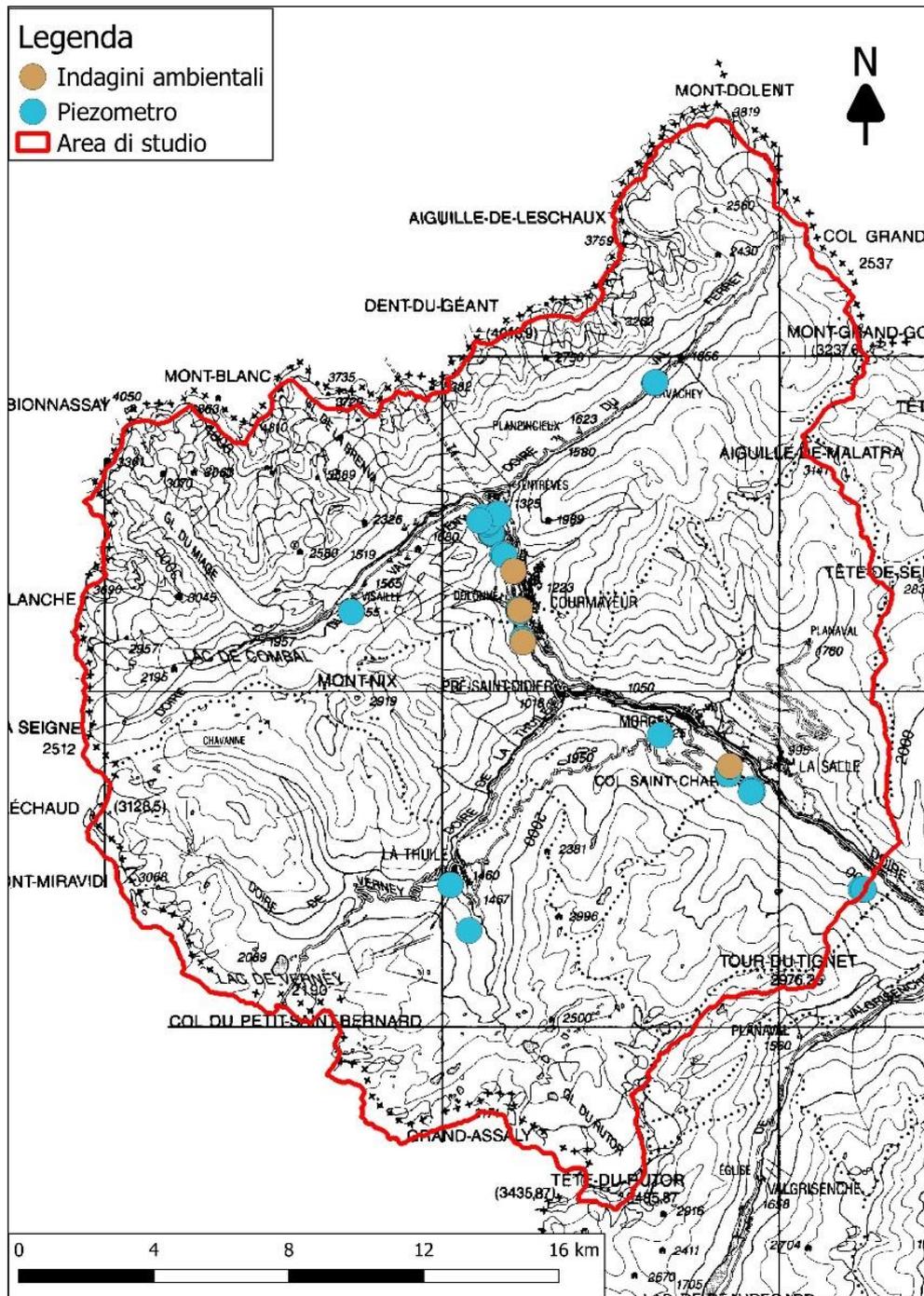
**Figura 3.2** – Sezione geoelettrica (da Relazione Techgea s.r.l.).

Dal punto di vista idrogeologico il substrato lapideo costituisce l'*aquiclude* (la base dell'acquifero superficiale).

Questo studio geofisico, il primo condotto su questo settore di fondovalle, ha quindi consentito di definire che nella piana di Morgex lo spessore della copertura quaternaria, costituita da prevalenti depositi alluvionali a scheletro grossolano, è esiguo, ovvero dell'ordine dei 25-35 m, a differenza di altri settori del fondovalle valdostano indagati in precedenza (es piana di Aosta, dove lo spessore dei depositi raggiunge i 250 - 300 m).

Tra il 2006 e il 2010 sono state condotte quattro indagini ambientali su siti potenzialmente contaminati (tutte stazioni di servizio idrocarburi) ai sensi del D.L. 152/06 nei comuni di Courmayeur e Morgex, che hanno comportato in tutti i casi la perforazione di piezometri finalizzati a verificare l'eventuale contaminazione della falda (Fig. 3.3).

Alcuni di questi piezometri (Mo7 e Co9) sono tuttora utilizzati da ARPA ai fini del proprio monitoraggio istituzionale ai sensi del D. Lgs.30/09, e le relative analisi sono presentate al paragrafo 4.2.2. In sintesi, le suddette indagini hanno evidenziato:



*Figura 3.3 – Ubicazione dei piezometri e delle indagini ambientali.*

- Dal punto di vista ambientale, in tutti i casi l'assenza di contaminazione da idrocarburi in falda.
- Dal punto di vista geologico, le stratigrafie evidenziano che:
  - il sito di Morgex è ubicato in un contesto di piana alluvionale (ghiaie sabbiose) (Fig. 3.4);
  - Il sito Courmayeur ESSO, ubicato anch'esso in una zona piana di fondovalle, presenta di sedimenti fini di origine palustre (Fig. 3.5);

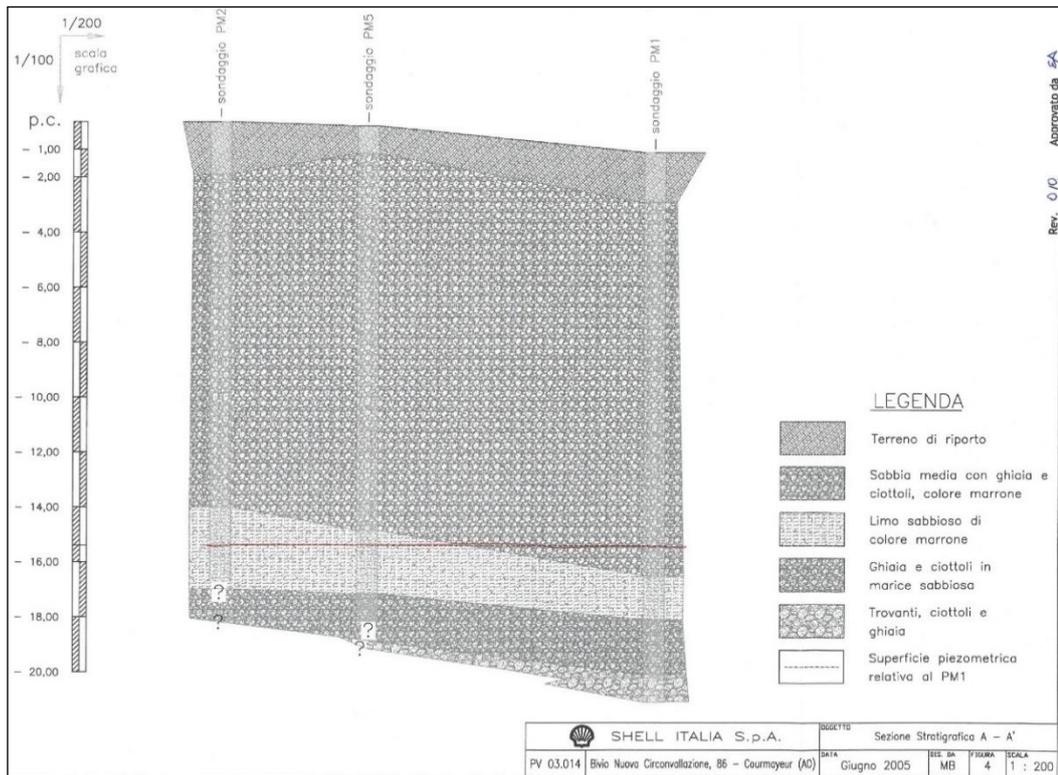


Figura 3.4 – Stratigrafia di dettaglio del sito ex Shell di Morgex (da SHELL ITALIA S.p.a.).

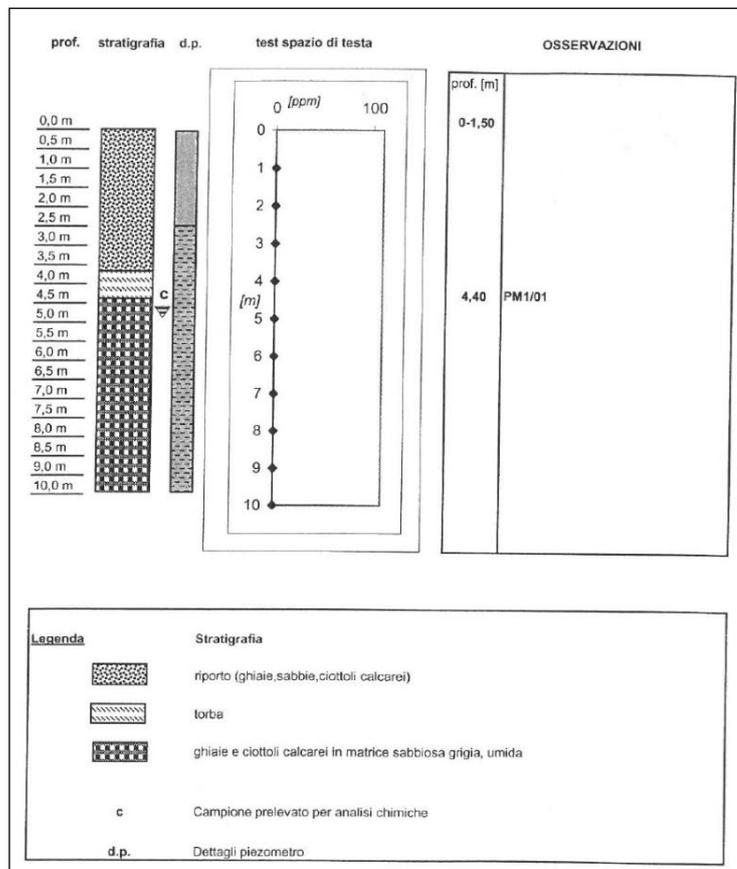
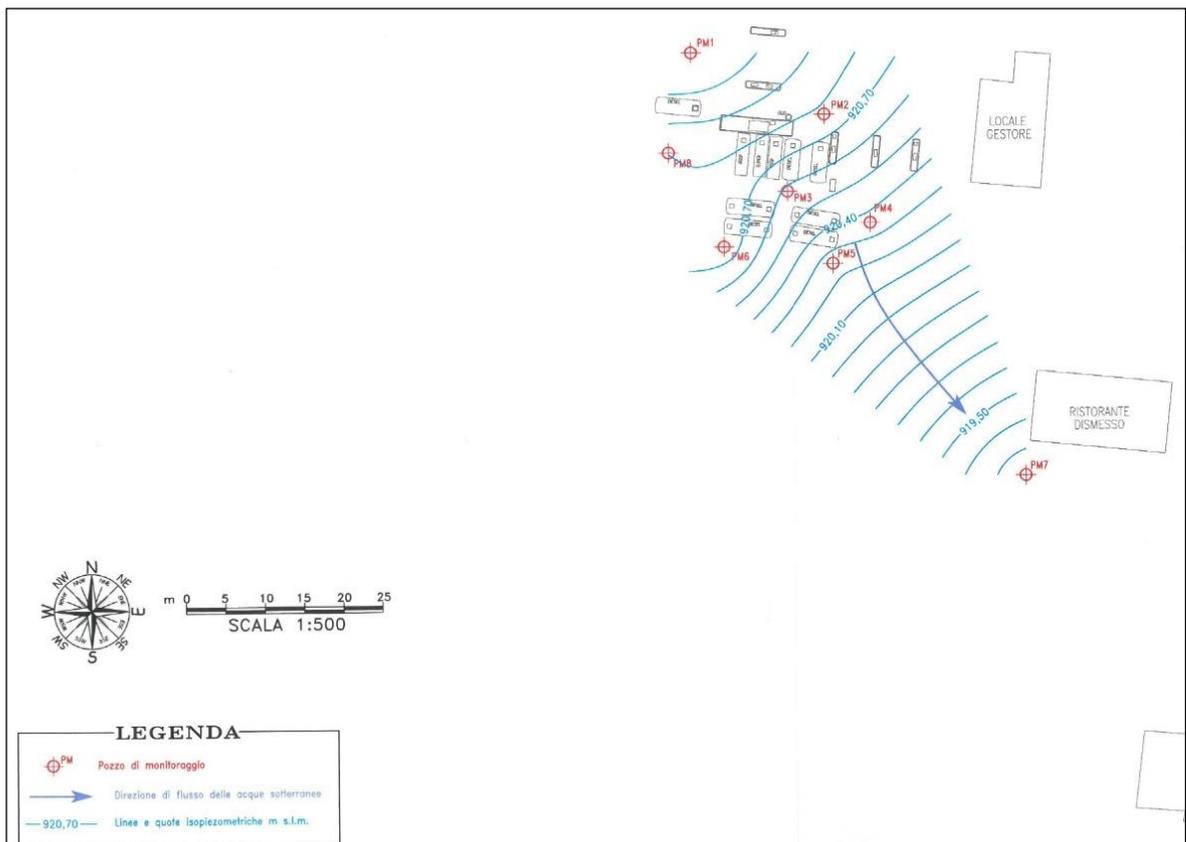


Figura 3.5 – Stratigrafia del sito ex Esso di Courmayeur (da Golder Associates s.r.l.).

- Gli altri due siti, ubicati in Courmayeur centro ai piedi del versante, sono invece attestati in corrispondenza di sedimenti di origine prevalentemente glaciale.
- Conseguentemente, dal punto di vista idrogeologico si evidenzia che:
  - il sito di Morgex e di Courmayeur ESSO ospitano entrambi una falda con soggiacenza di pochi m dal piano campagna con direzione di flusso nel primo caso da NW verso SE (Fig. 3.6) e nel secondo caso da NE a SW, con un gradiente di circa 0.04 (Fig. 3.7) e con buone caratteristiche di produttività (soprattutto nel caso di Morgex);
  - Gli altri due siti, ubicati in Courmayeur centro, sono invece attestati in corrispondenza di sedimenti di origine prevalentemente glaciale, con una falda a soggiacenza abbastanza profonda ed a scarsa produttività, tale da rendere difficili le operazioni in campo di spurgo e prelievo dei piezometri (Fig. 3.8).



**Figura 3.6** – Piezometria di dettaglio del sito ex Shell di Morgex (da SHELL ITALIA S.p.a.).

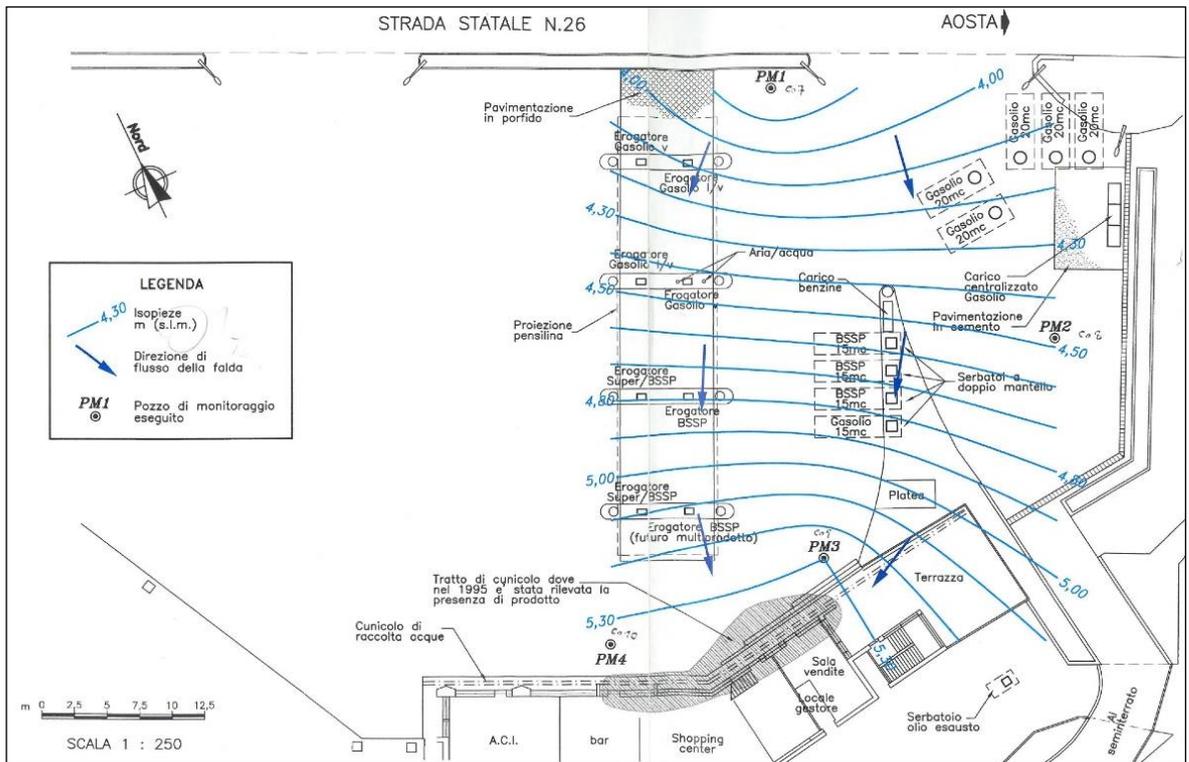


Figura 3.7 – Piezometria di dettaglio del sito ex Esso di Courmayeur (da Golder Associates s.r.l.).

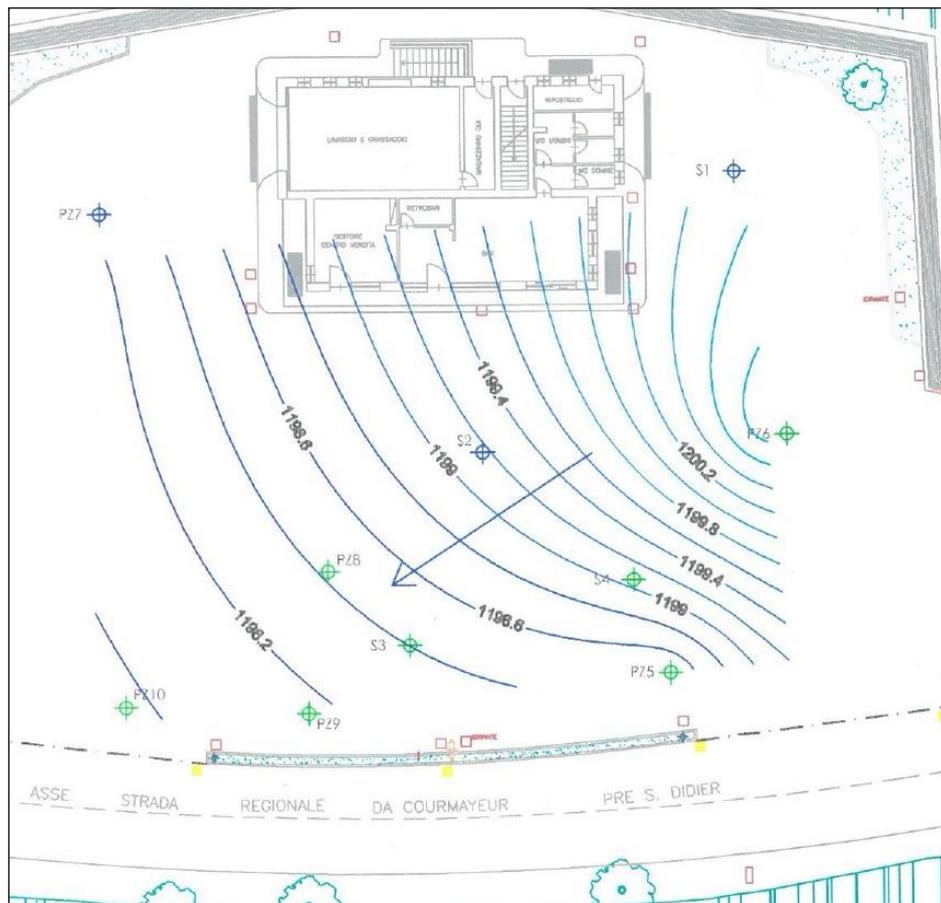


Figura 3.8 – Piezometria di dettaglio del sito ex Eni di Courmayeur (da Golder Associates s.r.l.).

### 3.1.3 Sfruttamento della risorsa idrica

La risorsa idrica all'interno dell'area di studio è molto poco sfruttata visto lo scarso numero di abitanti e la sostanziale assenza di attività industriali. La figura 3.9 mostra l'ubicazione dei pozzi presenti nell'area di studio, da cui si evince che:

- In corrispondenza dei due corpi idrici sotterranei principali individuati (piana di Morgex e conca di Courmayeur) esistono in totale n. 12 pozzi, di cui n. 2 ad uso geotermico, n. 2 ad uso irriguo, n. 4 ad uso potabile e n. 5 per altri usi.
- La società Sorgenti Monte Bianco sfrutta pozzi che sono situati in Val Veny e nel vallone di Dolonne.

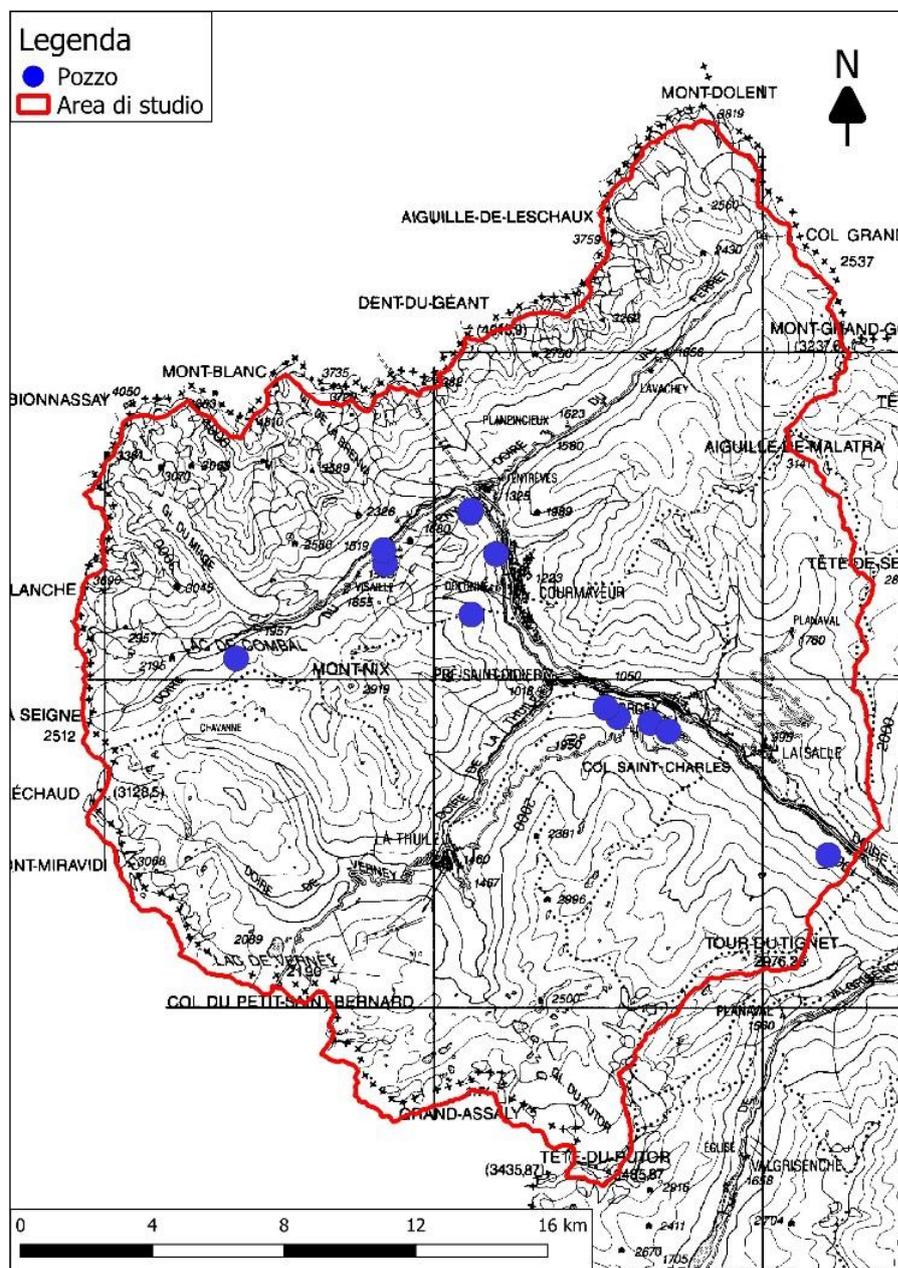


Figura 3.9 – Ubicazione di pozzi all'interno dell'area di studio.

Per quanto riguarda le sorgenti esse sono usate per scopi irrigui e idropotabili e sono sfruttate solo alcune delle numerose sorgenti distribuite sul territorio.

In figura 3.10 sono riportate le sorgenti presenti nell'area di studio con colori diversi in base all'utilizzo della sorgente. Le sorgenti cartografate in totale sono 133 di cui 66 usate per scopi irrigui, 19 sfruttate per uso idropotabile, da segnalare anche la sorgente di acque termali che viene utilizzata per alimentare le terme di Prè-Saint-Didier.

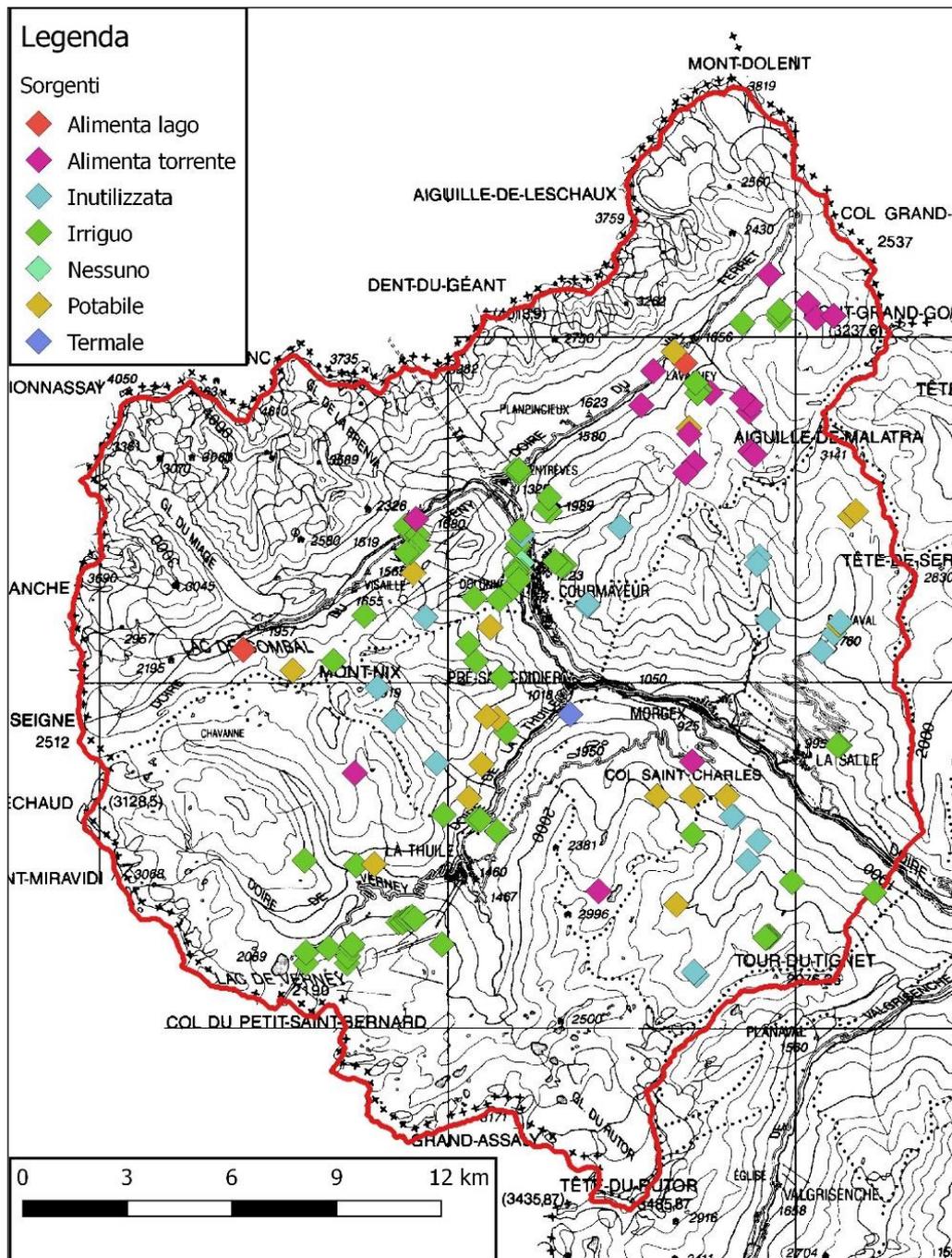


Figura 3.10 – Posizione delle sorgenti e loro destinazione d'uso. Fonte RAVA

### **3.1.4 Monitoraggio ambientale da parte di ARPA Valle d'Aosta**

L'ARPA Valle d'Aosta svolge l'attività di monitoraggio delle acque sia superficiali sia sotterranee.

#### *3.1.4.1 Acque Sotterranee*

Nella piana di Morgex dal 2006 e nella conca di Courmayeur dal 2015, come sui restanti acquiferi del territorio regionale, il controllo delle acque sotterranee viene effettuato da ARPA Valle d'Aosta in ottemperanza agli obblighi istituzionali previsti dalla vigente normativa D.Lgs. 30/09.

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

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

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

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

Per determinare l'indicatore qualitativo si prelevano campioni d'acqua di falda rappresentativi delle condizioni dell'acquifero (Fig. 3.11) e successivamente si effettua la loro analisi chimica in laboratorio. I risultati ottenuti sono utilizzati per la classificazione di

tutto il corpo idrico secondo i criteri della normativa vigente (D.Lgs. 30/09). Tale indicatore, a lungo termine, permette di ottenere informazioni sulla qualità delle acque sotterranee, effettuare un confronto con situazioni precedenti, controllare qualitativamente le risorse idriche disponibili ed infine prevedere o controllare gli episodi di contaminazione degli acquiferi.



**Figura 3.11** – Operazioni di campionamento delle acque sotterranee (Foto Francesco Ghia).

#### 3.1.4.2 Acque Superficiali

L' ARPA Valle d'Aosta segue la direttiva 2000/60/CE o direttiva quadro sulle acque, recepita a livello nazionale dal decreto legislativo 29 aprile 2006, n. 152, per il monitoraggio delle acque superficiali. La legge pone al centro dell'attenzione le comunità biologiche dell'ecosistema fiume: dai produttori primari, quali alghe e flora acquatica, ai consumatori primari e secondari, come macro-invertebrati bentonici e fauna ittica. Per la prima volta vengono presi in considerazione gli aspetti idromorfologici che, unitamente agli elementi chimico-fisici sono considerati a supporto degli elementi biologici nella definizione dello stato ecologico. Lo stato chimico, basato sul rispetto degli standard di qualità ambientali per le sostanze appartenenti all'elenco di priorità (tab. 1/A - DM 260/2010) e per gli altri inquinanti (tab. 1/B - DM 260/2010) completa la classificazione dei singoli corpi idrici. Il monitoraggio dei corpi idrici superficiali, attivato secondo la normativa vigente e integrato nel Piano di Gestione del Bacino del Fiume Po, costituisce una delle attività principali di ARPA, oltre che punto di partenza per l'individuazione e la pianificazione delle azioni da intraprendere, a livello regionale, per il raggiungimento o il mantenimento degli obiettivi di qualità ambientale. Il fine ultimo della direttiva europea è quello di sviluppare una politica comunitaria integrata per la politica delle acque che consenta di tutelare la risorsa idrica sia dal punto di vista qualitativo che quantitativo. In quest'ottica ARPA fornisce supporto tecnico-scientifico all'Amministrazione Regionale, partecipando attivamente ai tavoli tecnici individuati per definire una gestione, compatibile

con la tutela ambientale, della produzione idroelettrica che costituisce una delle pressioni più significative sull'ecosistema fluviale a livello regionale (Fig. 3.12).



**Figura 3.12** – Operazioni di campionamento delle acque superficiali (Foto Francesco Ghia).

## **3.2 Stato delle conoscenze sul pericolo idrologico**

### **3.2.1 Evoluzione normativa sulle alluvioni**

La normativa relativa al rischio di alluvione risulta estremamente vasta a causa della molteplicità delle casistiche ambientali e delle tipologie di intervento. Di seguito si è cercato di riportare i principali riferimenti della normativa europea, nazionale, regionale.

#### *3.2.1.1 Normativa europea*

A livello europeo è di fondamentale importanza la Direttiva 2007/60/CE (COMUNITÀ EUROPEA, 2007), la cui intenzione è quella di “*istituire un quadro per la valutazione e la gestione dei rischi di alluvioni volto a ridurre le conseguenze negative per la salute umana, l'ambiente, il patrimonio culturale e le attività economiche connesse con le alluvioni all'interno della Comunità*”. L'obiettivo di tale direttiva è di dare agli stati membri i piani di gestione del rischio di alluvioni riguardo a tutti gli aspetti della gestione del rischio e, in particolare: “*la prevenzione, la protezione e la preparazione, comprese la previsione di alluvioni e i sistemi di allertamento*”.

#### *3.2.1.2 Normativa nazionale*

A livello nazionale va citata la Legge 183/1989 (REPUBBLICA ITALIANA, 1989) che aveva come obiettivo la protezione del suolo, attuando un approccio integrato tra suolo acqua e pianificazione territoriale. Con tale norma, per la prima volta si assume come riferimento operativo il bacino idrografico e pertanto deve essere predisposto uno strumento atto alla valutazione territoriale. Vengono così istituiti i Piani di assetto idrogeologico (PAI) al fine di

programmare, pianificare e attuare gli interventi necessari. Per attuare questa normativa vengono individuate le Autorità di bacino, un organo in cui vanno a cooperare lo Stato e le regioni, a cui vengono attribuite competenze sovra-ordinate rispetto ai confini amministrativi in cui il territorio è suddiviso.

Con il D.M. 14/02/1997 del Ministero dei Lavori Pubblici (REPUBBLICA ITALIANA, 1997), è stata prevista la suddivisione delle aree soggette a esondazione in tre fasce di probabilità: alta, media e bassa (fasce PAI).

Il D.L. 180/1998 noto come “Decreto Sarno” fu emanato a seguito dell’evento idrogeologico che coinvolse la località campana di Sarno (5 maggio 1998) e il suo obiettivo fu quello di accelerare la mappatura delle aree a maggior rischio idrogeologico e di individuare le misure da prendere per ridurre il rischio idrogeologico. Tali obiettivi erano già stati decretati dalla Legge 183/1989 ma non erano stati perseguiti. La Legge 267/1998 (REPUBBLICA ITALIANA, 1998) rende attuativi i contenuti del suddetto decreto e si prefigge di individuare e delimitare le aree a rischio idrogeologico a livello nazionale e di individuare le misure di salvaguardia per intervenire sulle situazioni di rischio più elevato.

Il D.Lgs. 152/2006 (REPUBBLICA ITALIANA, 2006) va a stabilire le competenze dello Stato, delle Regioni/Province autonome e delle Autorità di Distretto. Tale norma ha disposto la ripartizione del territorio nazionale in Distretti Idrografici sopprimendo le Autorità di Bacino esistenti e trasferendone le funzioni alle Autorità di Distretto. Alle Autorità di Distretto sono preposti organi di governo in cui è preponderante la rappresentanza ministeriale rispetto a quella delle regioni.

Il D.Lgs. 49/2010 (REPUBBLICA ITALIANA, 2010) disciplina la pianificazione del rischio di alluvione, prevedendo misure di coordinamento con il D.Lgs. 152/2006. Il legislatore è tenuto a fornire una pianificazione a lungo termine di piani di gestione del rischio di alluvione. Questi compiti devono essere svolti dalle Autorità di Distretto e dalle Regioni, in coordinamento con il Dipartimento Nazionale della Protezione Civile.

### *3.2.1.3 Normativa regionale*

La Direttiva europea 2007/60/CE, recepita nel diritto italiano con D.Lgs. 49/2010, ha dato avvio ad una nuova fase della politica nazionale per la gestione del rischio di alluvioni, che a livello regionale è stata recepita con la delibera della Giunta regionale n. 1584 del 10/12/2015. Questa delibera a livello regionale è stata fondamentale per la redazione del primo Piano di gestione del rischio di alluvioni (PGRA) alla cui redazione ha partecipato anche l’Autorità di bacino del fiume Po. Lo scopo del PGRA è quello di istituire un quadro omogeneo a livello europeo per la valutazione e la gestione dei rischi di alluvioni con la finalità di ridurre le conseguenze negative per la salute umana, l’ambiente, il

patrimonio culturale e le attività economiche connesse con le alluvioni in tutto il territorio della Comunità.

### **3.2.2 Eventi alluvionali che hanno colpito nel passato l'area di studio**

Vengono di seguito riportati gli eventi alluvionali che hanno colpito l'area di studio nel passato, a partire dal 1400. Quelli precedenti all'anno 2000 sono stati reperiti sull'Atlante climatico della Valle d'Aosta (MERCALLI, 2003), mentre quelli successivi, come anche le fotografie, sulla pagina WEB del Catasto dei Dissesti della Regione Valle d'Aosta (RIF. WEB n.1).

1430 (circa) - Possibile prima manifestazione catastrofica degli svuotamenti del lago glaciale di Santa Margherita al Rutor, fenomeno che si riproporrà più volte per quattro secoli. In quegli anni si verificarono inondazioni molto violente nella Valle principale tanto da distruggere la Torre ed il Castello dei De Rubillys e dei Rovarey a Morgex.

1595 - Altra rotta al Lago del Rutor, responsabile di una delle inondazioni più forti e dannose.

1596, 1597, 1598, 1630 - Rotta glaciale al Lago del Rutor

1680 - Rotta glaciale del Rutor che causa il crollo del ponte di Villeneuve e danni ingenti fino nel territorio di Pollein.

1846 - 16-17 maggio - Alla meta del mese piogge torrenziali scatenano un esteso quanto disastroso evento alluvionale. Innumerevoli frane, colate detritiche torrentizie, erosioni spondali devastano i territori comunali dell'alta e media valle (Courmayeur, Pré-Saint-Didier, Morgex).

1846 - 16-18 ottobre - Ad appena cinque mesi dai disastri di maggio. Piogge torrenziali diffuse su tutta la regione causano la piena generalizzata dei corsi d'acqua principali e dei tributari. I danni sono incalcolabili per la distruzione di decine di abitazioni, ponti, strade.

1852 - 17 settembre - Dopo due giorni di abbondanti piogge, un vento caldo favorisce la fusione della neve e del ghiaccio provocando la piena della Dora Baltea. I torrenti di Courmayeur e la Thuile distruggono i ponti di Champe e di Semanaz. A Courmayeur la Dora allaga pressoché tutto il territorio di e distrugge cinque ponti in legno; tre mulini e gran parte della strada che porta al villaggio di Entreves. Danni anche alle campagne di Morgex.

1864 - settembre - Ultima segnalazione di rotta glaciale al Rutor (Fig. 3.14). Il rilascio dell'acqua dal Lago di Santa Margherita avviene però lentamente, in 8-10 giorni, anziché in soli 6-7 come nelle occasioni più devastanti. Il fenomeno non si riprodurrà più a causa delle profonde modificazioni subite dal ghiacciaio.

1875 - agosto - È segnalata una piena del Torrente Colomba nel comune di Morgex.

1880 - Piena del torrente. Il Torrente sul versante meridionale del M. Crammont nella Valle di La Thuile con distruzione di un ponte nel centro abitato di La Thuile.



**Figura 3.14** – Lago di santa Margherita nell'estate del 1862 (Disegno di Alphonse Favre)

1881 - 20 luglio - Un violentissimo acquazzone si abbatte sul Mont Chetif. Il torrente Tzeraille de la Goua, esonda sui prati di Dolonne coprendoli con un'enorme quantità di detriti rocciosi. Danni alla strada carrozzabile in più punti da Courmayeur a Morgex.

1895 - novembre - Piogge torrenziali e continue, cadute in alta valle nei giorni 13 e 14, causano una forte piena della Dora e dei suoi affluenti. Per il cedimento di un argine le acque della Dora invadono la piana di Morgex. A La Salle tutti i torrenti esondano causando gravi danni.

1897 - 12 luglio - Un nubifragio si abbatte a Morgex, il T. Colomba straripa sul conoide, ricoprendo di uno spesso strato di detriti i prati. Due mulini sono totalmente sepolti.

1900 - autunno - A Morgex la piena del Torrente Colomba colma l'arginatura costruita dopo l'evento dell'ottobre 1846.

1901 - ottobre - Le piogge cadute nella prima decade del mese sono causa di numerose frane nella Valle di La Thuile e della caduta di un grosso masso sul ponte d'Equilivaz.

1902 - maggio - La grande quantità di neve caduta nell'inverno e le incessanti piogge primaverili devastano la località Chenoz (Pré-Saint-Didier).

1902 - agosto - Il giorno 17 il Torrente Chenoz (Pré-Saint-Didier), famoso per la ricorrenza annuale delle sue piene, interrompe la strada di fondovalle.

1914 - 22-23 luglio - Un esteso ed intenso evento alluvionale, imputato alla pioggia caduta sui ghiacciai causa indenti danni in tutta la zona. Dal 20 al 24 si rilevano, 71,0 mm a La Thuile, 92,0 mm al Piccolo San Bernardo, Le moderate quantità registrate avvalorano l'ipotesi di precipitazioni liquide anche a quote molto elevate: solo in questo modo si potrebbe spiegare l'imponente onda di piena della Dora e dei suoi tributari.

1920 - 22-24 settembre - Piogge torrenziali inducono una violenta piena della Dora e di alcuni suoi tributari. In alta valle i tributari destri apportano ingente carico solido nella Dora causando temporanei sbarramenti d'alveo con forti ripercussioni nei tratti più a valle.

1924 - primavera - Nel comune di Courmayeur, un nubifragio sul M. Chetif approfondisce un grande canalone di scarico che sovralluviona il proprio conoide.

1927 - 23 giugno - A seguito di un forte temporale caratterizzato da pioggia fino ad alta quota la Dora di Vény va in piena facendo accrescere di circa 3 m il livello del lago di sbarramento del Purtud, creatosi per il forte avanzamento del Ghiacciaio della Brenva. L'apertura di un varco consente lo svuotamento del lago per un dislivello di circa 4 m con un'onda che travolse alberi, danneggiò le rive, sorpassò il Ponte des Chèvres e fece alcuni danni alle sorgenti minerali nella zona di Courmayeur.

1929 - giugno - Le piogge di metà mese causano una forte piena della Dora Baltea e di alcuni corsi d'acqua principali. Alla fronte del Ghiacciaio di Planpincieux in Val Ferret, si origina una rotta glaciale che si trasferisce sino alla Dora con una grande ondata osservata anche a Morgex.

1968 - 22 settembre - Piena della Dora con seri danni alla strada statale tra Morgex e La Salle. L'onda di piena è causata soprattutto dalle intense precipitazioni nella valle di La Thuile: tra il 21 e il 22 cadono - in due giorni - 186,8 mm al Piccolo San Bernardo (di cui 158,4 il 22, giorno più piovoso nella serie di rilevamenti 1933-79); ma si misurano anche 72,6 mm a Courmayeur e 95,6 mm a Pré-St-Didier.

1972 - 13-14 agosto - Una perturbazione con epicentro sull'alta Valle Orco colpisce con piogge violente le valli settentrionali del Gran Paradiso e la Valle di Ollomont, originando in prevalenza violenti processi torrentizi, responsabili di interruzioni stradali. A Morgex il Torrente Colomba produce una notevole colata detritica che alluviona 10 ha di conoide e danneggia gravemente un campeggio.

1981 - marzo - A fine mese, un periodo di tempo fortemente perturbato, produce frane, valanghe ed alluvionamenti torrentizi causa di interruzioni stradali nella Valle di La Thuile, nelle valli del Gran Paradiso e nel solco vallivo principale.

1986 - 11 agosto - Una colata detritica innescatasi lungo il Torrente Pont (Val Ferret), per la particolare morfologia dei luoghi va ad interessare anche il contiguo conoide del T.

Marguera, lambendo un campeggio (Fig. 3.15). Quel giorno il pluviometro di Courmayeur rileva 24,2 mm di pioggia.

1987 - agosto - Il 24-25 agosto una perturbazione molto estesa origina localmente piene torrentizie in Val di Cogne, in Val di Rhemes, in Val Ferret e nel solco vallivo mediano della Dora, queste piogge avranno forti ripercussioni nei settori più a valle.

1991 - 12 luglio - Un forte rovescio temporalesco localizzato ed un probabile, concomitante rilascio di una sacca d'acqua dalla fronte sospesa del Ghiacciaio di Rochefort (Val Ferret) genera un'imponente colata detritica che si espande sul conoide alluvionale del torrente omonimo. La strada di fondovalle viene interrotta per circa 400 m. A Courmayeur si sono misurati solamente 6.2 mm di pioggia.



**Figura 3.15** – Dimensioni metriche dei blocchi trasportati dalla colata detritica dell'11 agosto 1986.  
(Catasto dissesti VdA)

1996 - 24 luglio - Il settore sud-occidentale della valle viene interessato da un evento alluvionale di notevole gravità, caratterizzato essenzialmente dall'innescò di numerose colate detritiche torrentizie. Imponente quella del Torrente Prà Sec in Val Ferret. In Val Vény la Dora asporta il parcheggio della funivia lambendo pericolosamente la stazione di partenza (Fig. 3.16). Sorprendente per dimensioni il lungo e profondo solco (15-20 m) che si origina sul conoide fluvio-glaciale antistante la fronte del Ghiacciaio di Ormelune.

1998 - 31 luglio - A due anni di distanza, il Torrente Prà Sec in Val Ferret, a fronte di un bacino sotteso di esigue dimensioni (< 2 km<sup>2</sup>) e in parte occupato da ghiacciai, genera una notevole colata detritica che sopravanza il margine del conoide, invadendo l'area un tempo adibita a campeggio sociale, la strada di fondovalle e, in parte, l'alveo della Dora.

2000 - ottobre - Nei giorni dal 13 al 15 si verificano diverse colate detritiche nella valle di La Thuile in Val Ferret e Vény, ma senza le tragiche conseguenze che hanno avuto i fenomeni gravitativi e di esondazione verificatisi in bassa valle.



**Figura 3.16** – Zona della partenza della funivia ricoperta di detriti dalla colata detritica la mattina del 25 luglio 1996. (Catasto dissesti VdA)

2008 - 26 maggio - Le intense piogge e il forte scioglimento nivale portano all'esondazione della Dora di Ferret nei pressi di Courmayeur, della Dora di La Thuile, e della Dora Baltea a la Salle. Il pluviometro di Courmayeur registro 30 mm nelle 24h.

2010 - 2 luglio - Molti affluenti della Dora di Ferret esondano a causa di intensi temporali.

2011 - 22 marzo - A causa del rialzo termico e delle intense piogge il Torrente Colomba alluviona il suo conoide a Morgex.

2014 - luglio – Il giorno 20 forti temporali in rapida successione si abbattono sulla Val Vény causando l'erosione della Dora e diversi *debris-flow* negli affluenti.

2018 - agosto – Un forte temporale il pomeriggio del giorno 6 si abbatte sulla Val Ferret innescando un *debris flow* con un importante carico solido che dal vallone di Chavannes si abbatte sulla strada comunale che transita nel fondovalle nei pressi dei campi da golf uccidendo due persone (Fig. 3.16).

Osservando la frequenza e l'intensità dei fenomeni idrogeologici verificatisi nell'area di studio possiamo constatare che l'area è soggetta a una elevata pericolosità idrogeologica nonostante gli interventi realizzati nel tempo atti a diminuirne il rischio.



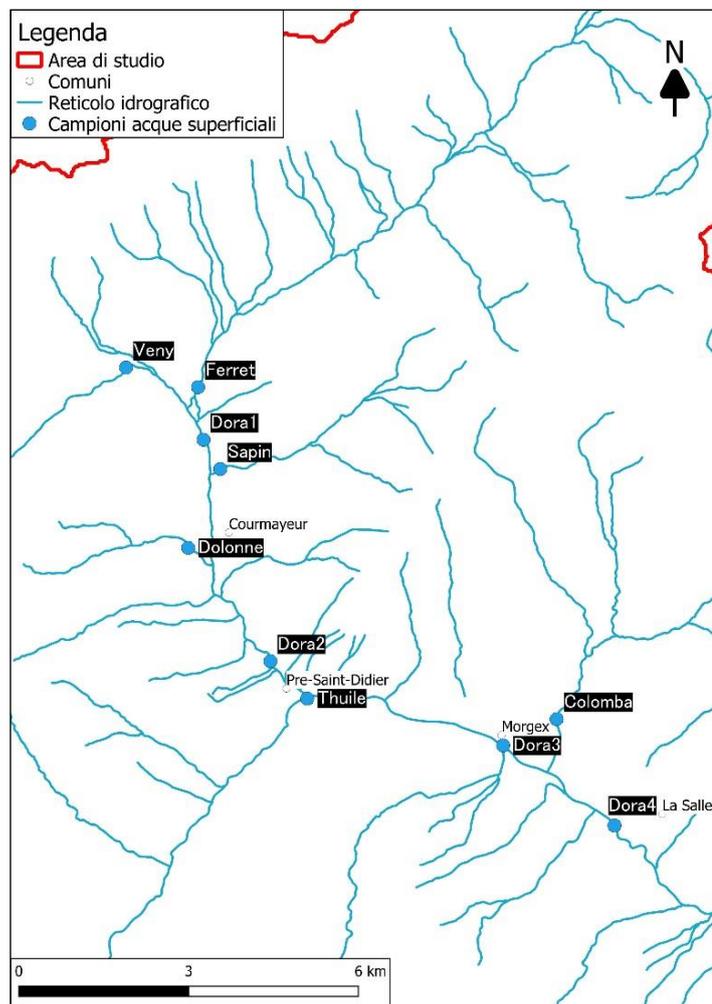
**Figura 3. 16** – In primo piano il deposito lasciato dalla colata, verso l'alto vista del canalone percorso dalla colata detritica. (Catasto dissesti VdA)

## 4 – SPERIMENTAZIONE

La parte sperimentale della tesi ha riguardato tre aspetti geologico - ambientali dell'alta Valle d'Aosta: la caratterizzazione idrochimica e la valutazione della qualità delle acque superficiali (par. 4.1); la caratterizzazione idrochimica e la valutazione della qualità delle acque sotterranee (par. 4.2); la valutazione della pericolosità idrologica in corrispondenza di tre sezioni fluviali (par. 4.3).

### 4.1 Caratterizzazione idrochimica e qualità delle acque superficiali

Al fine di caratterizzare dal punto di vista idrochimico e di valutare la qualità delle acque superficiali dell'alta Valle d'Aosta, nei mesi di ottobre e novembre del 2018 sono stati prelevati n. 10 campioni di acqua dal reticolato idrografico principale e secondario (Fig. 4.1; Tab. 4.1).



**Figura 4.1** - Ubicazione dei punti di campionamento delle acque superficiali.

**Tabella 4.1** - Elenco dei punti di campionamento.

<b>Sigla</b>	<b>Corso d'acqua</b>	<b>Comune</b>	<b>Punto di campionamento</b>
Veny	Dora di Veny	Courmayeur	Ponte strada poderale della Val Veny
Ferret	Dora di Ferret	Courmayeur	Ponte strada Larzey Entreves
Dora1	Dora Baltea	Courmayeur	Ponte Via Val Veny
Sapin	Torrente Sapin	Courmayeur	Ponte Via Sergio Viotto
Dolonne	Torrente Dolonne	Courmayeur	Ponte strada Vittoria
Dora2	Dora Baltea	Pre-Saint-Didier	Ponte Avenue Dent du Geant
Thuile	Dora di La Thuile	Pre-Saint-Didier	Ponte allée de la Gare
Dora3	Dora Baltea	Morgex	Ponte strada Trotterel
Colomba	Torrente Colomba	Morgex	Ponte strada Colomba
Dora4	Dora Baltea	La Salle	Ponte Via Corrado Gex

I campioni sono stati prelevati dai ponti stradali, utilizzando secchio e corda e travasando l'acqua all'interno di bottiglie in polietilene da 500 ml con doppio tappo. In allegato sono riportate le schede descrittive di ogni punto di campionamento.

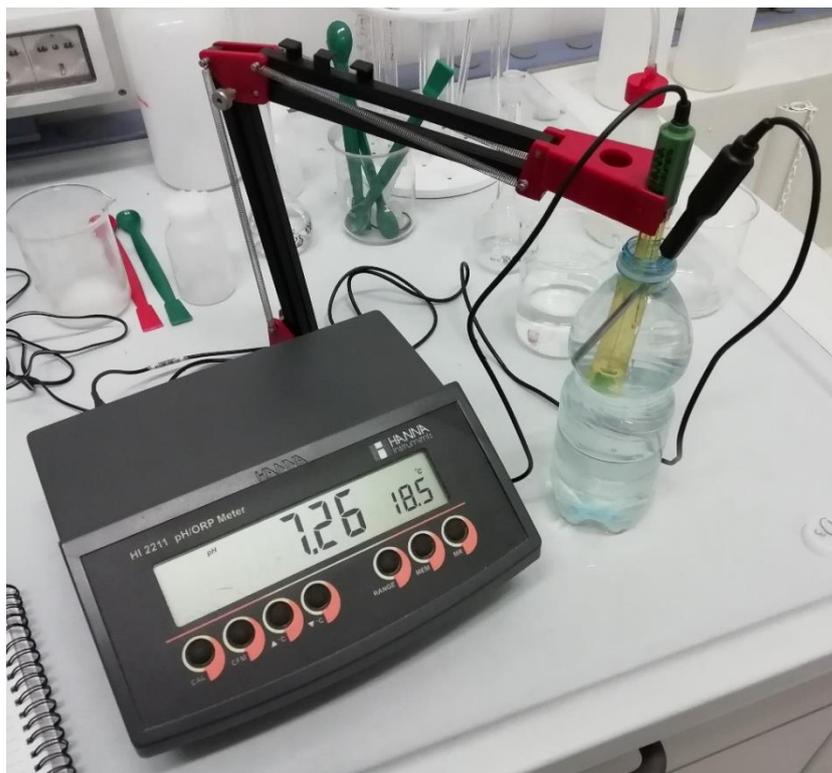
Una volta prelevati, i campioni, sono stati trasportati presso i laboratori di Idrochimica del Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università di Torino e sottoposti alle principali analisi chimico fisiche: conducibilità elettrolitica, pH e concentrazione degli elementi maggiori ( $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ). Di seguito vengono descritte le metodologie utilizzate in laboratorio.

#### Potenziometria (pH)

Il pH, ossia il logaritmo della concentrazione molare degli ioni  $[\text{H}^+]$  in soluzione, è stato ottenuto mediante un potenziometro (pH-metro) in grado di misurare una forza elettromotrice senza assorbire corrente. Lo strumento è munito di un elettrodo a vetro (sfera di vetro sottilissima al cui interno è presente una soluzione tampone a pH noto e un filo di platino) che, una volta inserito all'interno di una soluzione a pH incognito, assume un potenziale che dipende dalla differenza di pH tra l'interno e l'esterno della sfera di vetro sottile (Fig. 4.2).

#### Conduttometria (Conducibilità Elettrolitica)

Essendo le acque naturali costituite in parte da acqua pura e da sali disciolti esse sono in grado di condurre la corrente elettrica grazie agli ioni disciolti. La misura della conducibilità elettrolitica è una misura indiretta del contenuto dei sali disciolti in acqua. La misura è effettuata utilizzando un conducimetro (Fig. 4.3) costituito da due elettrodi inerti posti ad una distanza nota (ponte di Wheatstone). Esso misura la resistenza che la soluzione oppone al passaggio di corrente, essa è poi restituita come conducibilità espressa in  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .



**Figura 4.2** – Misura del pH di uno dei campioni.



**Figura 4.3** – Misura della conducibilità di uno dei campioni

La conducibilità elettrolitica è correlata al contenuto totale di sali disciolti (TDS) secondo la relazione:

$$TDS [mg/l] = a \cdot Cond [\mu S/cm]$$

dove il coefficiente  $a$  può variare a seconda delle diverse specie ioniche disciolte nell'acqua ma generalmente risulta compreso tra 0,75 e 0,85.

#### Volumetria ( $\text{HCO}_3^-$ )

Lo ione bicarbonato ( $\text{HCO}_3^-$ ) deriva sia dalla  $\text{CO}_2$  atmosferica sia dalla dissoluzione dei carbonati. Tra le forme disciolte del carbonio,  $\text{H}_2\text{CO}_3(\text{aq})$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ , lo ione bicarbonato è la più stabile nell'intervallo di pH comunemente osservato per le acque naturali (5,5 – 8,0). Lo ione carbonato  $\text{CO}_3^{2-}$  comincia ad apparire in soluzione solo a  $\text{pH} > 8,3$ . Per la misura della concentrazione dello ione bicarbonato ( $\text{HCO}_3^-$ ), è stata effettuata l'analisi volumetrica con titolatore automatico. Sono stati prelevati 50 ml di campione e vi sono state aggiunte 2-3 gocce di metilarancio (indicatore). I campioni, colorati così di giallo, sono stati posizionati sul titolatore automatico (Fig. 4.4)



**Figura 4.4** – Titolatore automatico con campione addizionato di metilarancio.

Qui, la graduale aggiunta di  $\text{HCl}$  0,1 N, ha portato il loro pH a 4,3, il raggiungimento di questo valore è segnalato da un viraggio permanente del colore. A questo punto, tutto lo ione bicarbonato  $\text{HCO}_3^-$  presente nei campioni è stato consumato e trasformato in acido carbonico  $\text{H}_2\text{CO}_3$ .

Conoscendo il volume di campione ( $V_2$ ), il volume di HCl aggiunto ( $V_1$ ) e la concentrazione dell'HCl ( $C_1$ ) è stato possibile calcolare la concentrazione degli ioni  $\text{HCO}_3^-$  ( $C_2$ ), tramite il seguente bilancio di massa:

$$V_1 \cdot C_1 = V_2 \cdot C_2$$

$$C_2 = (V_1 C_1) / V_2$$

#### Cromatografia ionica ( $\text{Ca}^{++}$ , $\text{Mg}^{++}$ , $\text{Na}^+$ , $\text{K}^+$ , $\text{Cl}^-$ , $\text{SO}_4^{=}$ , $\text{NO}_3^-$ )

Per valutare la concentrazione di tutti gli altri ioni principali:  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{=}$ ,  $\text{NO}_3^-$ , è stato utilizzato il cromatografo ionico. A causa della sensibilità di questo strumento, quasi tutti i campioni sono stati preventivamente diluiti con acqua ultrapura e poi inseriti nel campionatore automatico (Fig. 4.5).



**Figura 4.5** – Cromatografo ionico a sinistra e campionatore automatico a destra.

I cationi ( $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ) sono stati analizzati in cromatografia ionica diretta. Nella cromatografia cationica diretta, il campione viene preso in carico da un eluente, i cationi presenti nel campione vengono separati in una colonna a scambio cationico e rivelati da un conducimetro la cui cella di misura abbia una temperatura estremamente stabile (variazioni  $\leq 0,01^\circ\text{C}$ ). Lo scambiatore cationico è in genere costituito da gruppi  $\text{SO}_3^-$  impostati su una resina sintetica (stirene – divinilbenzene) all'interno di una colonna. Su

tali gruppi si situano normalmente i cationi presenti nell'eluente, e al passaggio del campione i cationi dello stesso tendono ad essere ritardati in funzione della loro massa e della loro carica. Con i cationi alcalini e alcalino – terrosi, si usano come eluenti acidi diluiti. Poiché il protone  $H^+$  ha una conducibilità ionica equivalente molto alta, la conducibilità crolla drasticamente non appena altri cationi passano nel conducimetro. Si ottengono così dei picchi negativi con tempo di ritenzione fisso per ogni specie cationica e con area proporzionale alla concentrazione. Calibrando lo strumento con standard a concentrazione nota, si ottengono cromatogrammi con i risultati analitici espressi direttamente in mg/l.

Per le analisi di  $Cl^-$ ,  $SO_4^{2-}$ ,  $NO_3^-$ , si utilizza la cromatografia ionica con soppressione chimica. Nella cromatografia anionica con soppressione chimica, viene utilizzato come eluente il sale di un acido debole (di solito  $NaHCO_3$ ). Su gruppi carichi positivamente all'interno della colonna, si situano normalmente gli anioni presenti nell'eluente e, al passaggio del campione, gli anioni dello stesso tendono ad essere ritardati in funzione della loro massa e della loro carica. La soppressione chimica avviene dopo il passaggio nella colonna di separazione e consiste in uno scambio cationico. In pratica il soppressore cede  $H^+$  al posto di  $Na^+$  nell'eluente, trasformandolo in  $H_2CO_3$  che ha una dissociazione molto bassa e una conducibilità residua molto bassa. Nel campione, cede  $H^+$  al posto dei cationi, formando acidi forti con  $Cl^-$ ,  $SO_4^{2-}$ ,  $NO_3^-$ , con conducibilità notevolmente più alta rispetto al fondo. Si ottengono così dei picchi positivi con tempo di ritenzione fisso per ogni specie anionica e con area proporzionale alla concentrazione.

Una volta ricavata la concentrazione in mg/l dei vari ioni è stato calcolato il TDS (Total Dissolved Salts) ossia la somma delle otto specie ioniche.

Le concentrazioni ioniche in mg/l sono riportate nella Tabella 4.2 insieme al pH, alla conducibilità e al TDS.

Per poter effettuare il bilancio ionico in modo da validare le analisi, le concentrazioni delle specie ioniche analizzate sono state trasformate da mg/l in meq/l, dividendole per i rispettivi pesi equivalenti (pesi molecolari divisi per la valenza). Il bilancio ionico si basa sul principio dell'elettroneutralità dell'acqua, secondo cui, in una soluzione acquosa, la somma dei meq/l dei cationi deve essere uguale alla somma dei meq/l degli anioni a meno di un errore massimo ammissibile è del 5%. L'errore percentuale si calcola utilizzando la seguente formula:

$$e\% = \frac{|\sum meq^+ - \sum meq^-|}{\sum meq^+ + \sum meq^-} \cdot 100$$

In Tabella 4.3, vengono riportate le concentrazioni in meq/l e i bilanci ionici di tutti i campioni: le analisi risultano validate in quanto l'errore risulta sempre inferiore al 5%.

**Tabella 4.2** – pH, Conducibilità elettrolitica, concentrazioni delle specie ioniche in mg/l e TDS delle acque campionate.

Camp.	pH	Cond. elettrica	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>--</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	TDS
		μS/cm	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
Dora1	7.86	173.3	24.83	2.80	2.50	2.60	2.13	58.58	31.43	2.07	126.94
Dora2	7.53	272.0	41.00	5.30	3.90	2.10	3.43	78.11	61.93	0.69	196.45
Dora3	7.27	299.0	51.51	5.90	3.69	1.87	3.00	90.31	78.00	1.50	235.77
Dora4	7.38	342.0	60.50	7.23	4.76	1.68	4.40	104.96	81.00	1.40	265.93
Thuile	7.25	407.0	74.00	8.60	3.10	1.30	1.40	108.62	124.00	2.50	323.52
Veny	7.46	83.2	14.80	0.50	0.80	2.00	0.39	35.39	6.89	0.74	61.51
Ferret	7.02	170.5	32.40	2.60	1.60	1.30	1.35	70.79	23.40	3.70	137.13
Sapin	7.30	852.0	180.00	2.50	1.40	1.30	0.73	108.62	331.70	1.11	627.36
Dolonne	7.40	1517.0	310.00	38.00	0.55	1.05	2.10	165.98	505.00	3.30	1025.98
Colomba	7.62	275.0	53.00	6.90	0.90	0.60	1.17	146.46	32.40	3.04	244.47

**Tabella 4.3** – Concentrazioni delle specie ioniche in meq/l e bilancio ionico delle acque campionate.

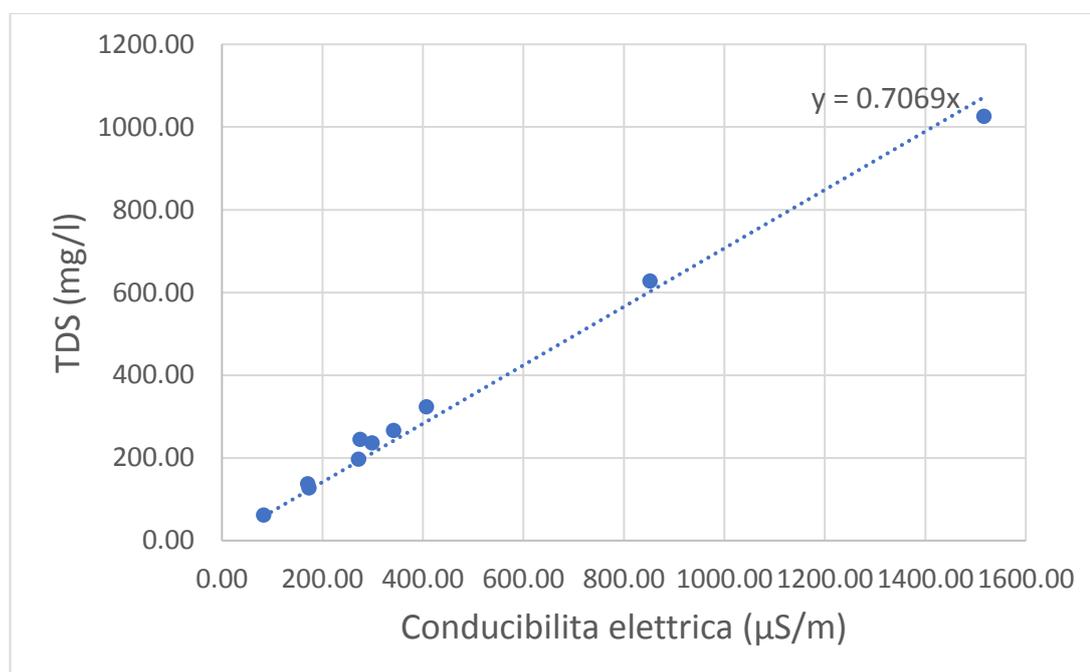
Camp	pH	Cond. elettrica	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>--</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Tot <sup>+</sup>	Tot <sup>-</sup>	%err
		μS/cm	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	
Dora1	7.9	173.3	1.24	0.23	0.11	0.07	0.06	0.99	0.65	0.03	1.64	1.74	2.76
Dora2	7.5	272.0	2.05	0.44	0.17	0.05	0.10	1.34	1.29	0.01	2.71	2.74	0.58
Dora3	7.3	299.0	2.57	0.49	0.16	0.05	0.08	1.42	1.62	0.02	3.26	3.15	1.73
Dora4	7.4	342.0	3.02	0.59	0.21	0.04	0.12	1.90	1.69	0.02	3.86	3.73	1.72
Thuile	7.3	407.0	3.69	0.71	0.13	0.03	0.04	1.80	2.58	0.04	4.57	4.46	1.19
Veny	7.5	83.2	0.74	0.04	0.03	0.05	0.01	0.67	0.14	0.01	0.87	0.84	1.72
Ferret	7	170.5	1.62	0.21	0.07	0.03	0.04	1.20	0.49	0.06	1.93	1.78	4.00
Sapin	7.3	852.0	8.98	0.21	0.06	0.03	0.02	1.74	6.91	0.02	9.28	8.68	3.33
Dolonne	7.4	1517.0	15.47	3.13	0.02	0.03	0.06	2.74	10.51	0.05	18.65	13.37	16.49
Colomba	7.6	275.0	2.64	0.57	0.04	0.02	0.03	2.44	0.67	0.05	3.27	3.20	1.09

Un parametro qualitativo di cui bisogna tenere conto è la durezza delle acque, pari alla concentrazione degli ioni alcalino terrosi (essenzialmente Ca<sup>++</sup> e Mg<sup>++</sup>) presenti in soluzione. Essa viene normalmente espressa in gradi francesi °F dove 1 °F = 10 mg/l di CaCO<sub>3</sub> equivalente. Pertanto, la durezza espressa in gradi francesi è uguale a cinque volte la somma di Ca<sup>++</sup> e Mg<sup>++</sup> espressi in meq/l (Tab. 4.4).

**Tabella 4.4** – Valori della durezza delle acque analizzate.

Campione	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Durezza
	meq/l	meq/l	(F°)
Dora1	1.24	0.23	7.35
Dora2	2.05	0.44	12.41
Dora3	2.57	0.49	15.28
Dora4	3.02	0.59	18.07
Thuile	3.69	0.71	22.00
Veny	0.74	0.04	3.90
Ferret	1.62	0.21	9.15
Sapin	8.98	0.21	45.94
Dolonne	15.47	3.13	92.98
Colomba	2.64	0.57	16.06

Mettendo in relazione la conducibilità con il TDS (Fig. 4.6), si nota che i punti si allineano abbastanza bene su una retta a testimonianza della buona esecuzione delle analisi e che il parametro *a*, coefficiente angolare della retta, rientra nell'intervallo dei valori medi delle acque naturali.

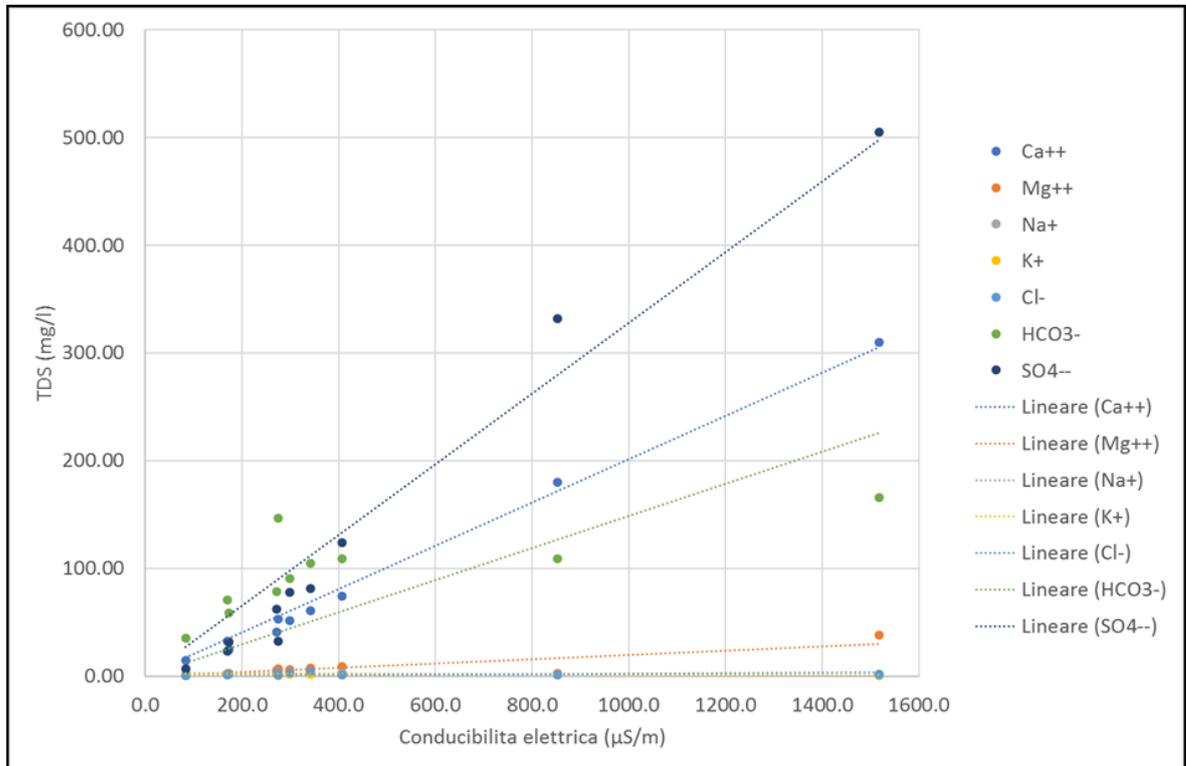


**Figura 4.6** – Relazione tra la Conducibilità elettrolitica in  $\mu\text{S}/\text{cm}$  e il TDS in  $\text{mg}/\text{l}$ .

Dal diagramma si può notare come la conducibilità dei campioni si attesti generalmente al di sotto dei 400  $\mu\text{S}/\text{cm}$  e che solo tre campioni superino tale soglia: Thuile (407  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), Sapin (852  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) e Dolonne (1517  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ).

Mettendo in relazione la concentrazione dei vari anioni e la conducibilità in un grafico a dispersione di punti (Fig. 4.7), si nota come, fino a 400  $\mu\text{S}/\text{cm}$  sia lo ione bicarbonato

HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> la specie anionica più abbondante ad influenzare la conducibilità mentre l'aumento di conducibilità dei campioni Thuile (407 µS/cm), Sapin (852 µS/cm) e Dolonne (1517 µS/cm) sia contrassegnato dalla prevalenza dei solfati.



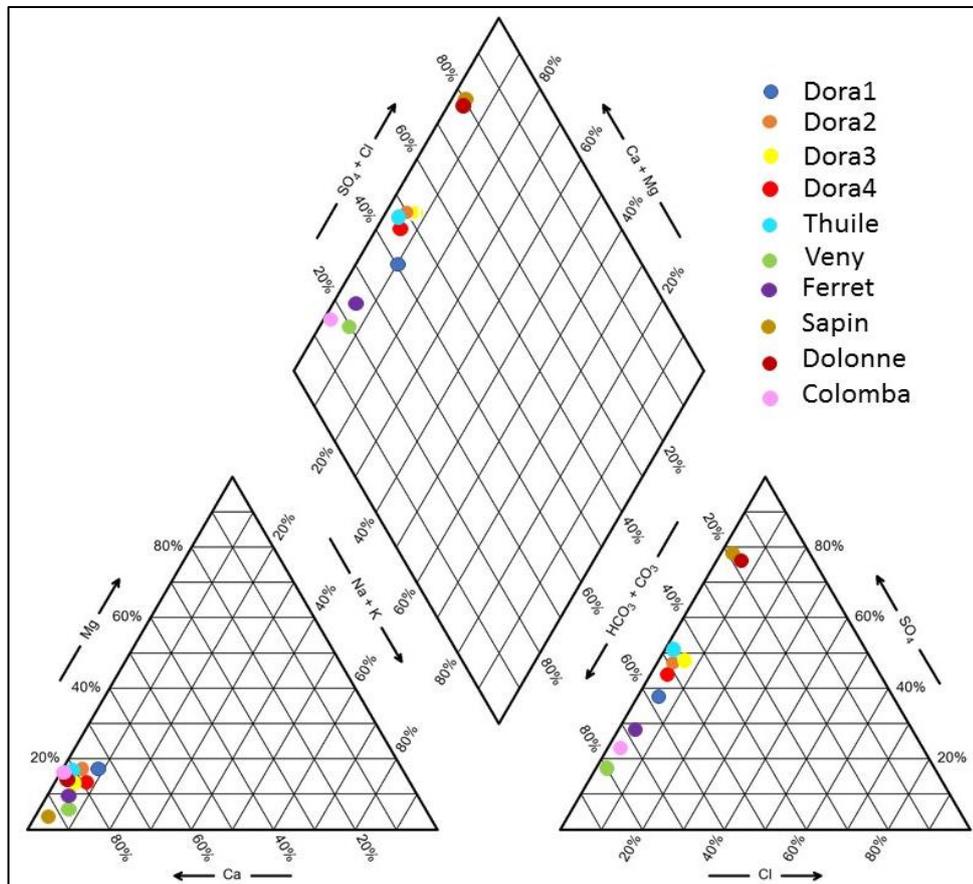
**Figura 4.7** – Relazione tra le principali specie anioniche e la conducibilità.

Per classificare dal punto di vista idrogeochimico le acque campionate, sono stati utilizzati il diagramma di Piper e il diagramma di Schoeller.

Il diagramma di Piper è costituito da due triangoli equilateri in basso e da una losanga superiore in cui si riportano le analisi in meq/l: nel triangolo in basso a sinistra si riportano le concentrazioni percentuali cationiche e, in quello in basso a destra, le concentrazioni percentuali anioniche. Dai due punti riportati sui triangoli, corrispondenti allo stesso campione, si tracciano le linee convergenti sulla losanga superiore (il Diagramma di Piper s.s.) nel punto identificativo della composizione del campione. All'interno del rombo le acque sono suddivise in quattro categorie. Il settore in alto è quello delle acque cloruro e solfato calciche e magnesiache, quello di destra è quello delle acque cloruro sodiche e potassiche o solfato sodiche, quello in basso è quello delle acque carbonato sodiche e potassiche, quello di sinistra è quello delle acque bicarbonato calciche e magnesiache.

Dall'analisi della Figura 4.8 si può ben vedere come, da una facies prettamente bicarbonato alcalino terrosa (campioni Veny, Ferret, Colomba), man mano che lo ione solfato comincia ad aumentare (Dora1, Dora4, Thuile, Dora2, Dora3), le acque si spostino

gradatamente verso la facies solfato alcalino terrosa fino al netto prevalere dello ione solfato sullo ione bicarbonato (Sapin e Dolonne).



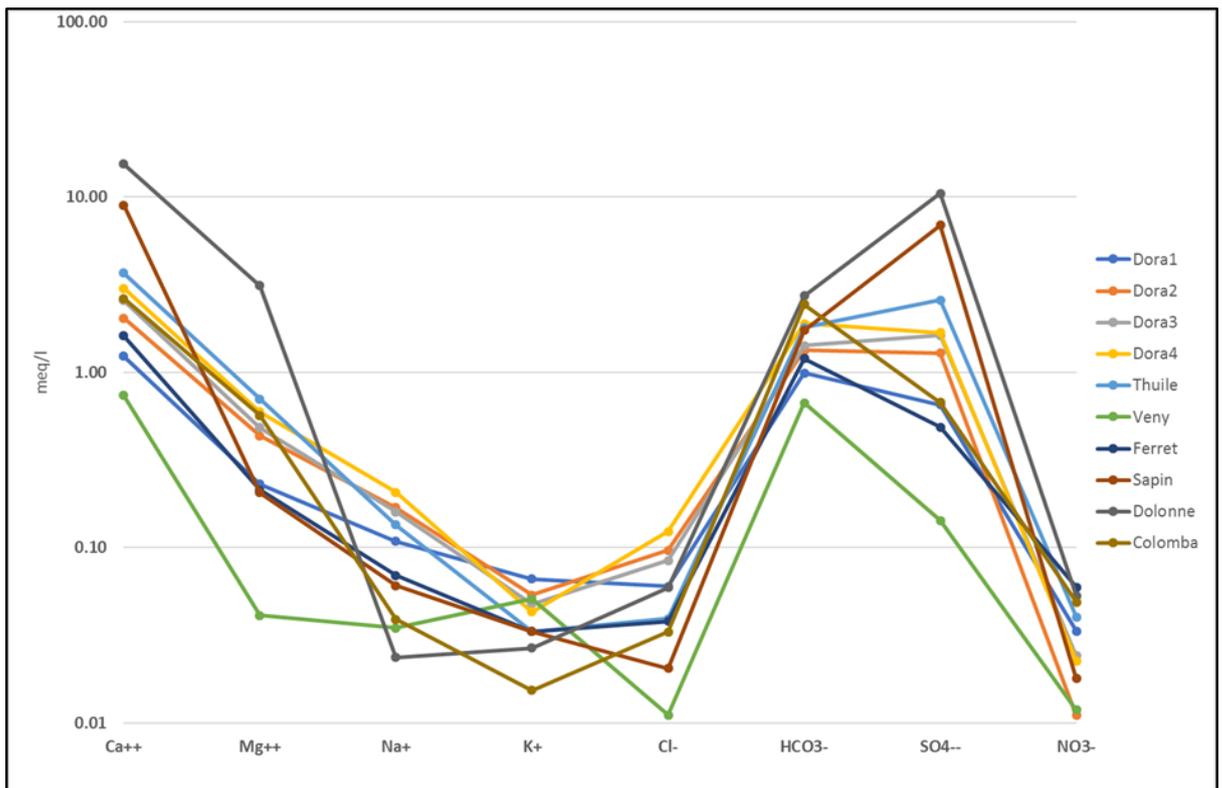
**Figura 4.8** – Diagramma di Piper relativo alle acque campionate.

Il diagramma di Piper ha però l'inconveniente che non consente di valutare la salinità dei campioni (un campione e la sua diluizione di 1000 volte cadono sullo stesso punto). Per tale motivo, al diagramma di Piper si associa generalmente il diagramma di Schoeller.

Il diagramma di Schoeller riporta sulle ascisse le varie specie ioniche e sulle ordinate le corrispondenti concentrazioni in meq/l in scala logaritmica.

La forma della spezzata che si crea unendo i vari punti relativi allo stesso campione indica la facies idrochimica e i campioni che appartengono alla stessa famiglia presenteranno un andamento simile (parallelismo delle spezzate).

Dal diagramma di Schoeller relativo alle acque campionate (Fig. 4.9), si nota come i campioni Dora1, Dora4, Ferret, Colomba, Thuile, e Veny appartengano alle acque bicarbonato calciche magnesiache mentre nei campioni di Dora2, Dora 3, Sapin e Dolonne i solfati prevalgano sui bicarbonati (facies solfato calcica). Dal diagramma di Schoeller è stavolta possibile notare anche l'elevata salinità dei campioni Sapin e Colomba.



**Figura 4.9** – Diagramma di Schoeller relativo alle acque campionate.

Le variazioni di facies idrochimica messe in luce dall'elaborazione delle analisi possono essere agevolmente spiegate dal contributo della matrice litologica dei vari sottobacini dell'area in esame. In particolare, la facies bicarbonato calcico magnesiacca a bassa conducibilità tipica delle rocce silicatiche (campione Veny che proviene dalla parte terminale della Val Veny) si innesta il contributo dei tributari da zone in cui affiorano rocce carbonatiche che a parità di facies provocano un leggero aumento di conducibilità (campioni Ferret e Thuile che provengono rispettivamente dalla Dora di Ferret e dalla Dora di La Thuile), ma soprattutto il contributo degli affluenti che scorrono in sottobacini in cui affiorano evaporiti gessose che provocano il cambiamento in facies solfato calcica e un aumento considerevole di conducibilità (campioni Sapin e Dolonne che provengono dagli omonimi valloni).

Per quanto riguarda la qualità delle acque, secondo il decreto legislativo 31/2001 le acque superficiali campionate rispettano tutti i parametri relativi alle acque destinate al consumo umano tranne per quanto riguarda l'eccessivo contenuto di solfati riscontrato nei campioni Dolonne e Sapin, l'eccessiva durezza osservata nelle acque del campione di Dolonne e la scarsa durezza delle acque campionate in Dora1, Dora2, Veny e Ferret. A causa della non conformità con i parametri della normativa i campioni sopra elencati sono da considerarsi non idonei al consumo umano. Per quanto riguarda la qualità delle acque destinate a fini agricoli le acque campionate si collocano nella classe I tranne il campione

Dolonne che presenta valori rientranti nella classe II per quanto riguarda la conducibilità, i sali disciolti e i solfati.

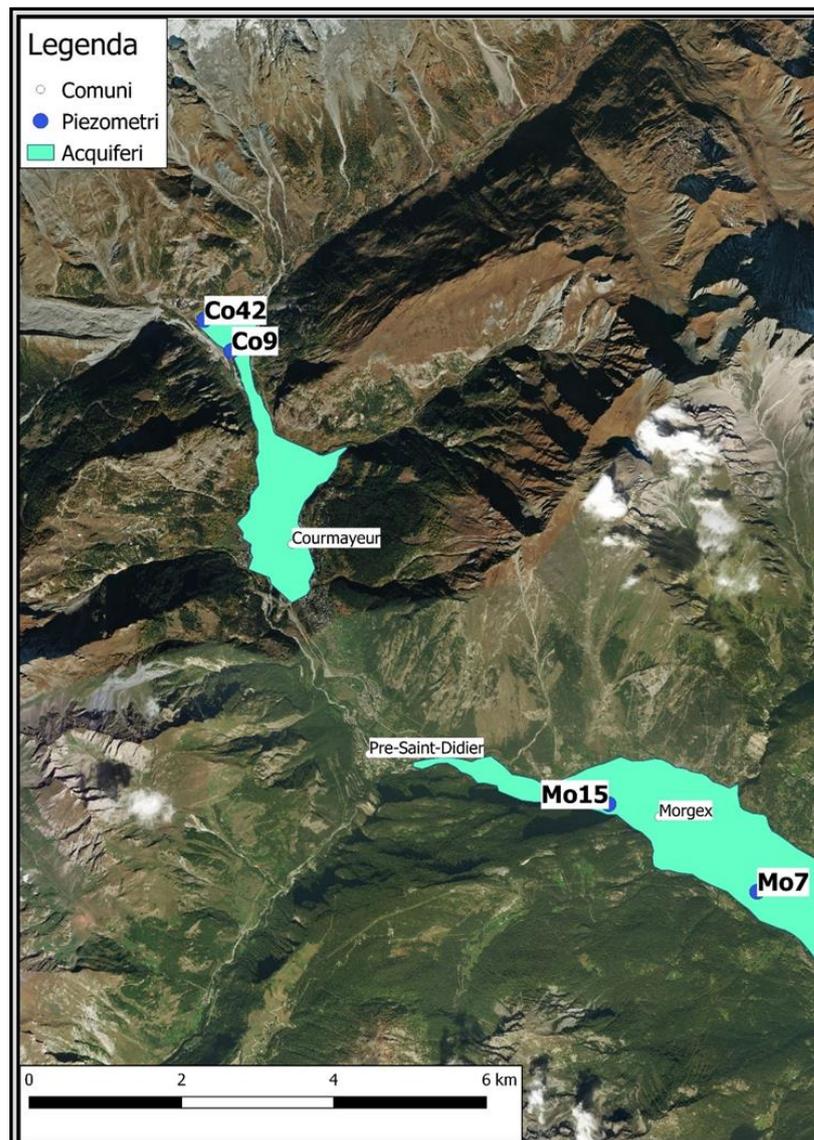
#### **4.2 - Caratterizzazione idrochimica e qualità delle acque sotterranee**

Al fine di valutare le caratteristiche idrochimiche nonché la qualità delle acque sotterranee, nel mese di luglio 2018 è stata effettuata una campagna di campionamento sui quattro piezometri monitorati annualmente da ARPA Valle d'Aosta presenti nel fondovalle nell'area di studio (Fig. 4.10), due nella conca di Courmayeur:

- **Co42**, realizzato dalle Funivie M. Bianco nell'ambito delle indagini per la nuova funivia Skyway;
- **Co9**, realizzato nel 2003 nell'ambito delle indagini ambientali sulla stazione di servizio ESSO di Courmayeur Entrèves e profondo 8 m,

e due nella piana di Morgex:

- **Mo15**, realizzato nel 2013 da ARPA nei pressi del campo sportivo di Morgex, profondo 27 m;
- **Mo7**, realizzato nel 2004 nell'ambito delle indagini ambientali sull'ex stazione di servizio Shell di Morgex, località Marais, e profondo 8 m.



**Figura 4.10** – Ubicazione dei piezometri utilizzati per il campionamento dell'acqua sotterranea.

Prima di eseguire il prelievo, in tutti i piezometri si è proceduto allo spurgo (come da standard ISO 5667-11) per eliminare l'acqua stagnante non rappresentativa delle condizioni dell'acquifero in quanto rimasta a contatto con l'atmosfera e con le pareti del tubo in PVC del piezometro. Il procedimento prevede la rimozione di circa 3-5 volumi d'acqua contenuti nel piezometro oppure la stabilizzazione dei principali parametri chimico-fisici dell'acqua misurati in campo per mezzo di sonde portatili (temperatura, pH, conducibilità e O<sub>2</sub>) (Figura 4.11).



**Figura 4.11** – Fase di spurgo fino a stabilizzazione di parametri chimico-fisici dell'acqua (temperatura, pH, conducibilità e O<sub>2</sub>).

La durata dello spurgo dipende dalle caratteristiche tecniche del piezometro (diametro e profondità), dalla trasmissività dell'acquifero e dalla portata della pompa utilizzata, nel nostro caso lo spurgo ha avuto una durata di circa 10-15 minuti. Il prelievo è stato effettuato tramite pompa sommergibile. I campioni, raccolti in contenitori di tipologia differente a seconda delle analisi da effettuare, sono stati successivamente consegnati al laboratorio di ARPA Valle d'Aosta che ha svolto le analisi e reso disponibili quelle necessarie alla caratterizzazione idrochimica.

I risultati analitici dei campioni prelevati sono visualizzati in tabella 4.4 dove in rosso sono evidenziati i superamenti dei limiti normativi e in tabella 4.5 troviamo i valori espressi in meq/l.

**Tabella 4.4** – Valori dei principali parametri chimico fisici relativi ai quattro campioni di acque sotterranee. Sono evidenziati in rosso i superamenti dei limiti normativi. (dati ARPA Valle d'Aosta).

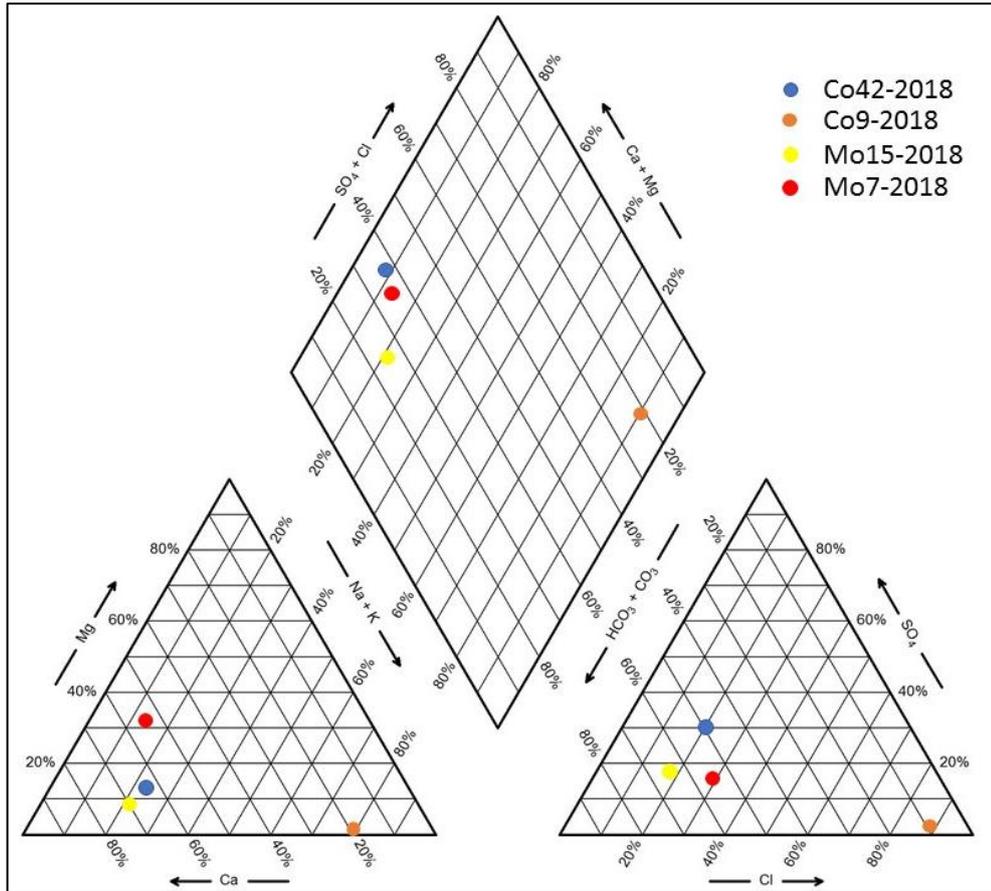
Parametro	unità di misura	Co42-2018	Co9-2018	Mo15-2018	Mo7-2018
pH		6,85	6,46	6,65	6,99
Conducibilità elettrica	μS/cm	326	3450	579	657
Ca <sup>++</sup>	mg/l	45,09	157	92	91,2
Mg <sup>++</sup>	mg/l	5,3	10,37	7,3	30,5
Na <sup>+</sup>	mg/l	15,05	550	14,2	14
K <sup>+</sup>	mg/l	1,47	7,56	8,45	1,2
Cl <sup>-</sup>	mg/l	18,2	964	25,5	56,9
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/l	114,7	280	283,9	270,9
SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	mg/l	50,7	58,9	50,9	52,2
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/l	1,08	7,06	2,47	2,2

**Tabella 4.5** – Dal bilancio ionico l'errore è inferiore al 5%, pertanto le analisi possono ritenersi attendibili (dati ARPA Valle d'Aosta).

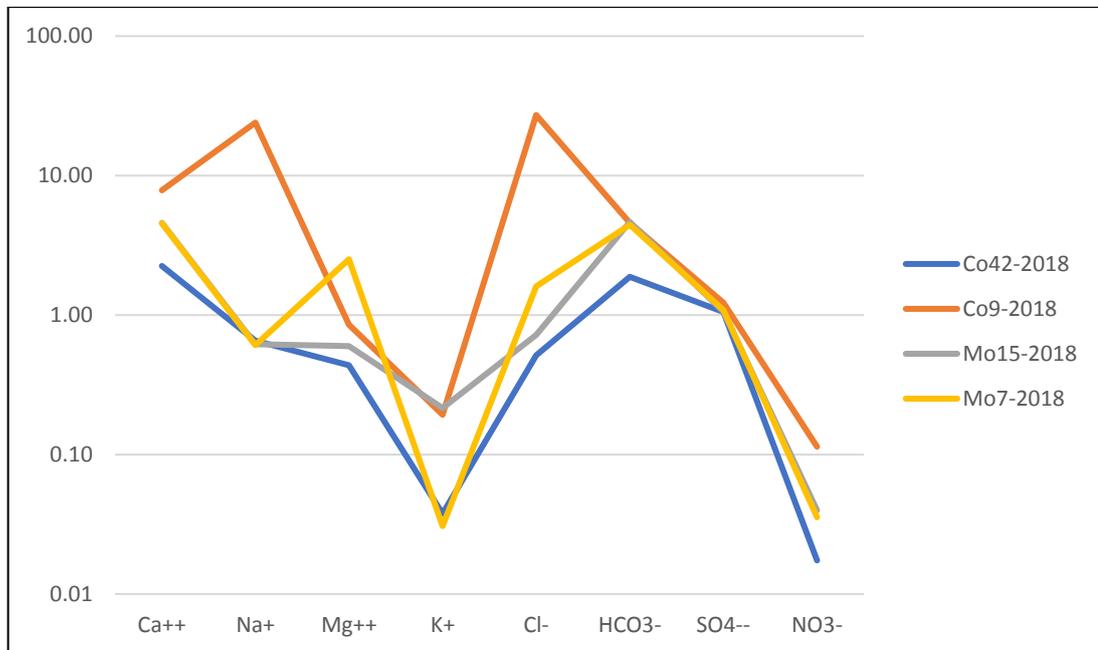
Parametro	unità di misura	Co42-2018	Co9-2018	Mo15-2018	Mo7-2018
Ca <sup>++</sup>	meq/l	2,25	7,83	4,59	4,55
Mg <sup>++</sup>	meq/l	0,44	0,85	0,60	2,51
Na <sup>+</sup>	meq/l	0,65	23,92	0,62	0,61
K <sup>+</sup>	meq/l	0,04	0,19	0,22	0,03
Cl <sup>-</sup>	meq/l	0,51	27,19	0,72	1,60
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	meq/l	1,88	4,59	4,65	4,44
SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	meq/l	1,06	1,23	1,06	1,09
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	meq/l	0,02	0,11	0,04	0,04
Σ <sup>+</sup>	meq/l	3,38	32,81	6,03	7,70
Σ <sup>-</sup>	meq/l	3,47	33,12	6,47	7,17
% errore		1,28	0,48	3,57	3,59

Per classificare le acque sotterranee dal punto di vista idrochimico, sono stati utilizzati i Diagrammi di Piper (Fig. 4.12) e di Schoeller (Fig. 4.13).

Per le acque campionate nel piezometro **Co42**, il diagramma di Piper mette in evidenza che il campione cade nel campo delle acque bicarbonato-calcica e/o magnesiaca al limite con quella cloruro e solfato calciche e magnesiache. Dal diagramma di Schoeller si nota che prevale lo ione calcio (Ca<sup>++</sup>) rispetto allo ione magnesio (Mg<sup>++</sup>), quindi l'acqua può essere definita a *chimismo dominante bicarbonato-calcico*, infatti, il Ca<sup>++</sup> e l'HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> sono posizionati nei vertici più alti della spezzata, ma mostra anche che è l'acqua con minor contenuto salino rispetto alle altre.



**Figura 4.12** – Diagramma di Piper relativo ai campioni di acque sotterranee.

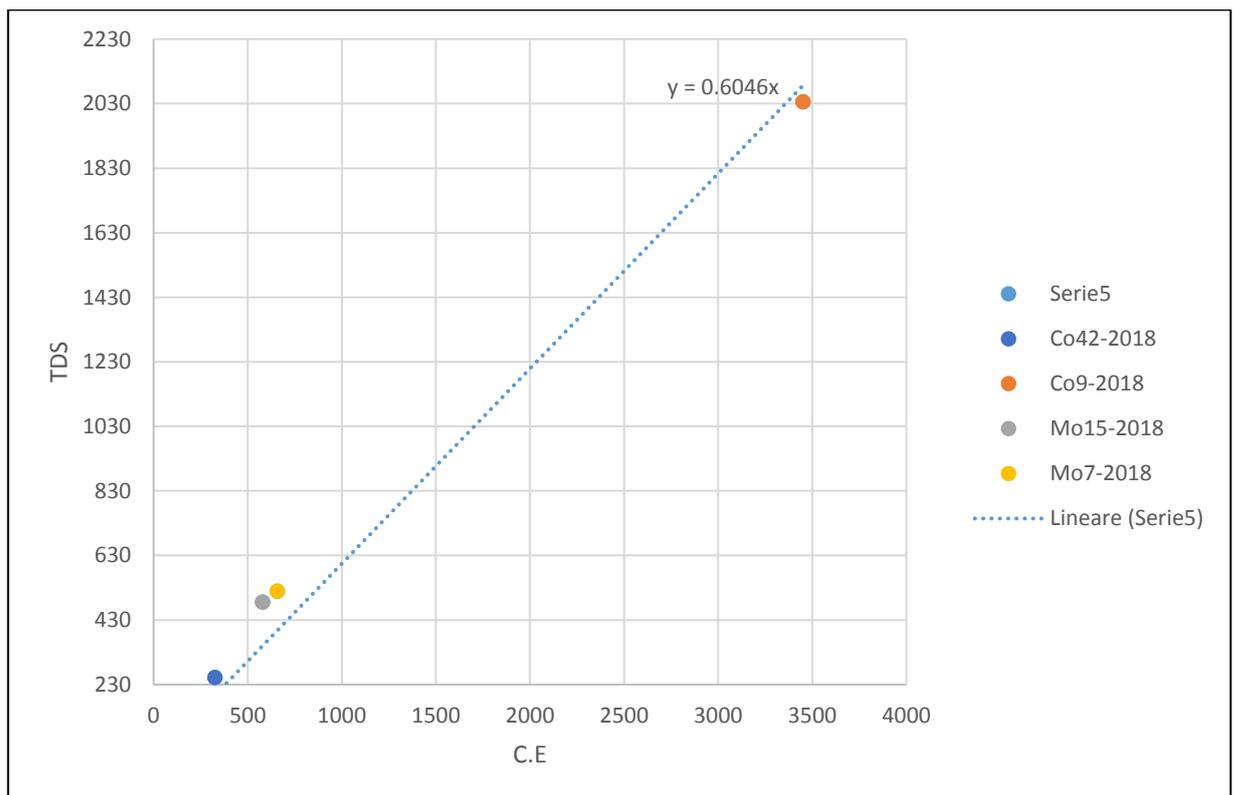


**Figura 4.13** – Diagramma di Schoeller relativo ai campioni di acque sotterranee.

Considerando l'acqua campionata nel piezometro **Co9**, il diagramma di Piper mostra che il campione cade nel campo delle *acque cloruro sodiche* mentre il diagramma di Schoeller e il diagramma Conducibilità elettrica – TDS (Fig. 4.14) rivelano l'alta salinità, evidenziando delle problematiche di inquinamento su questo piezometro (infatti esso è ubicato presso un deposito di cloruro di sodio da spargere sulle strade durante il periodo invernale).

Come si osserva dal diagramma di Piper, ma ancora meglio in quello di Schoeller, il campione prelevato nel piezometro **Mo15**, rientra nella facies a *chimismo bicarbonato-calcico*.

Anche per le acque campionate nel piezometro **Mo7**, il diagramma di Piper mette in evidenza come le acque appartengano al campo delle acque bicarbonato – alcalino terrose. Il diagramma di Schoeller, puntualizza che anche se il campione appartiene alla facies bicarbonato-calcica (infatti, il calcio e il bicarbonato sono posizionati nei vertici più alti della spezzata), stavolta anche il magnesio ha una concentrazione apprezzabile.



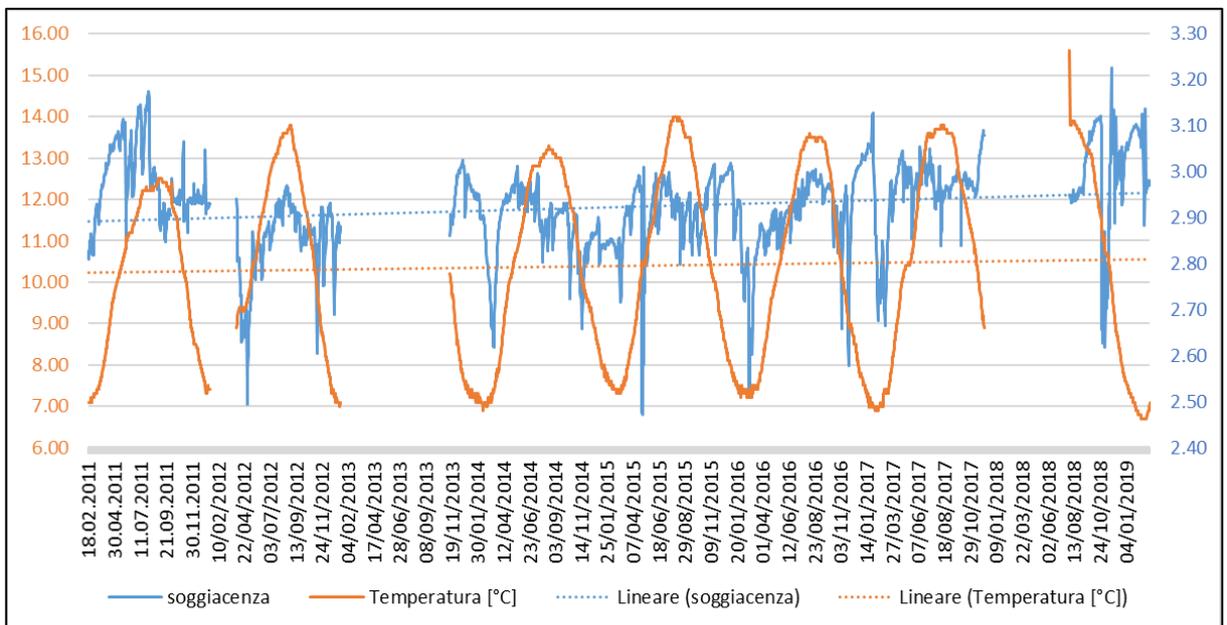
**Figura 4.14** – Diagramma Conducibilità elettrica – TDS relativo ai campioni di acque sotterranee.

Il risultato del monitoraggio qualitativo ai sensi del D.Lgs.30/09 classifica la qualità delle acque sotterranee nella piana di Morgex e nella conca di Courmayeur, nello stato “buono”, fatta eccezione per il piezometro Co9 la cui qualità risulta “scarsa” in quanto come già detto in precedenza essa subisce l’effetto del cloruro di sodio usato come

antigelo sulle strade durante il periodo invernale. In questo piezometro si osservano infatti costantemente altissimi valori per i parametri Conducibilità elettrica, Sodio e Cloruri. Si precisa che ciò non vale soltanto per quanto riguarda le analisi sopra riportate, ma anche per tutti gli anni precedenti di monitoraggio effettuato da ARPA Valle d'Aosta (iniziato nel 2009 nella piana di Morgex e nel 2015 nella conca di Courmayeur), durante i quali negli altri piezometri non si sono mai osservati altri superamenti delle soglie previste dalla normativa.

Oltre al monitoraggio qualitativo, l'Arpa Valle d'Aosta svolge un monitoraggio dei livelli di falda. Bisogna dire che, dal punto di vista della normativa - finalizzata ad individuare eventuali diminuzioni del livello della falda sul lungo termine connessa ad un eventuale sovrasfruttamento di origine antropica - dal momento che sull'acquifero della piana di Morgex non esistono sostanzialmente "pressioni" (ovvero pozzi di emungimento), lo stato quantitativo è da definirsi "buono" a prescindere da qualsiasi successiva valutazione.

In ogni caso, nel piezometro Mo7, ARPA ha condotto misurazioni in automatico della soggiacenza e della temperatura dell'acqua di falda, utilizzando un trasduttore di pressione, il quale ha registrato i dati con cadenza giornaliera. Le misurazioni sono iniziate nel 2011 e proseguono tutt'ora, sebbene in maniera non continuativa. Un grafico di tutte le misurazioni effettuate fino a oggi è riportato in figura 4.15.



**Figura 4.15** – Grafico contenente i valori di temperatura (rosso) e soggiacenza (blu) misurati dal 2011 ad oggi nel piezometro **Mo7**. La linea tratteggiata evidenzia la linea di tendenza.

In sintesi, emerge che: la soggiacenza si mantiene costantemente tra valori di 2,5 e 3,2 m dal piano campagna; non si osservano escursioni stagionali regolarmente distribuiti tra estate e inverno, a differenza di altre zone del fondovalle valdostano (dove si ha un

massimo estivo ed un minimo tardo invernale); la temperatura ha un range stagionale di variazione piuttosto ampio (tra i 7°C ed i 14°C) e regolare, con un massimo estivo ed un minimo invernale. Tale situazione, se comparata a quella registrata in altri settori del fondovalle valdostano, appare anomala, in quanto generalmente la temperatura di falda resta sostanzialmente stabile nel corso dell'anno (attestandosi attorno alla temperatura media annuale dell'aria) con escursioni minime, al massimo di 1°C. Ciò è probabilmente ascrivibile ai minimi valori di soggiacenza registrati in questo piezometro.

Per quanto riguarda la qualità delle acque destinate al consumo umano per le acque sotterranee campionate rispettano tutte i parametri normativi, tranne il campione Co9 che presenta valori troppo elevati per la conducibilità, il sodio e i cloruri. Gli stessi campioni in merito alla qualità delle acque ad uso irriguo si collocano tutti in classe I, fatta eccezione per il campione Co9 che rientra nella classe III a causa dei valori elevati di cloruri, sodio e conducibilità.

#### **4.3 Pericolosità idrologica**

Per valutare la pericolosità idrologica nell'area in esame, sono state scelte tre sezioni fluviali sulla Dora di Ferret, sul Torrente Colomba e sulla Dora Baltea, in corrispondenza delle quali le abitazioni sono state costruite a ridosso all'alveo e dunque potenzialmente a rischio di alluvione.

La sezione più a monte è situata nel comune di Courmayeur presso il ponte che attraversa la Dora di Ferret poco prima dell'abitato di Entreves. La seconda sezione è invece localizzata presso il punto apicale del conoide del torrente Colomba nel comune di Morgex. La terza sezione è situata sul ponte che porta dalla frazione Villaret alla frazione Derby nel comune di La Salle.

In corrispondenza di tali sezioni sono state calcolate portate di massima piena di progetto mettendole a confronto con le portate massime ammissibili in tali sezioni (verifiche idrauliche)

##### **4.3.1 Calcolo delle portate di massima piena**

Per il calcolo delle portate di massima piena, è stato utilizzato il Metodo Razionale.

Il modello prevede che la pioggia di progetto cada con intensità costante e in modo uniforme sul bacino. La portata di massima piena calcolata con il Metodo Razionale è espressa dalla seguente relazione:

$$Q = k \cdot A \cdot i \cdot C$$

dove:

- $k$  è un fattore adimensionale che tiene conto della non uniformità delle unità di misura. Se  $A$  è espressa in  $\text{km}^2$  ed  $i$  in  $\text{mm/h}$ , per ottenere la portata in  $\text{m}^3/\text{s}$ ,  $k$  vale 0,278;
- $A$  è l'area del bacino a monte della sezione presa in esame;
- $i$  è l'intensità della precipitazione critica che provoca la piena;
- $C$  è il coefficiente di infiltrazione che va a ridurre la portata complessiva.

Utilizzando il software QGIS sono state implementate la base topografica, le immagini da satellite e il modello digitale del terreno (DEM). In questo modo è stato possibile delimitare i bacini sottesi dalle tre sezioni, calcolarne le aree e ricavare le lunghezze delle aste fluviali dei tre bacini. Come asta del bacino complessivo, sotteso dalla sezione più a valle (Dora Baltea) si è partiti dalla Dora di Ferret, più estesa rispetto a quella di Veny (Fig. 4.16).

Per la valutazione delle intensità critiche di pioggia, è necessario disporre di serie storiche delle massime altezze di pioggia relative a una determinata durata. Infatti, dallo studio delle precipitazioni di massima intensità di tutto il mondo, si è notato che l'altezza della pioggia tende a crescere all'aumentare della durata dell'evento seguendo una parabola di equazione:

$$h = a \cdot t^n$$

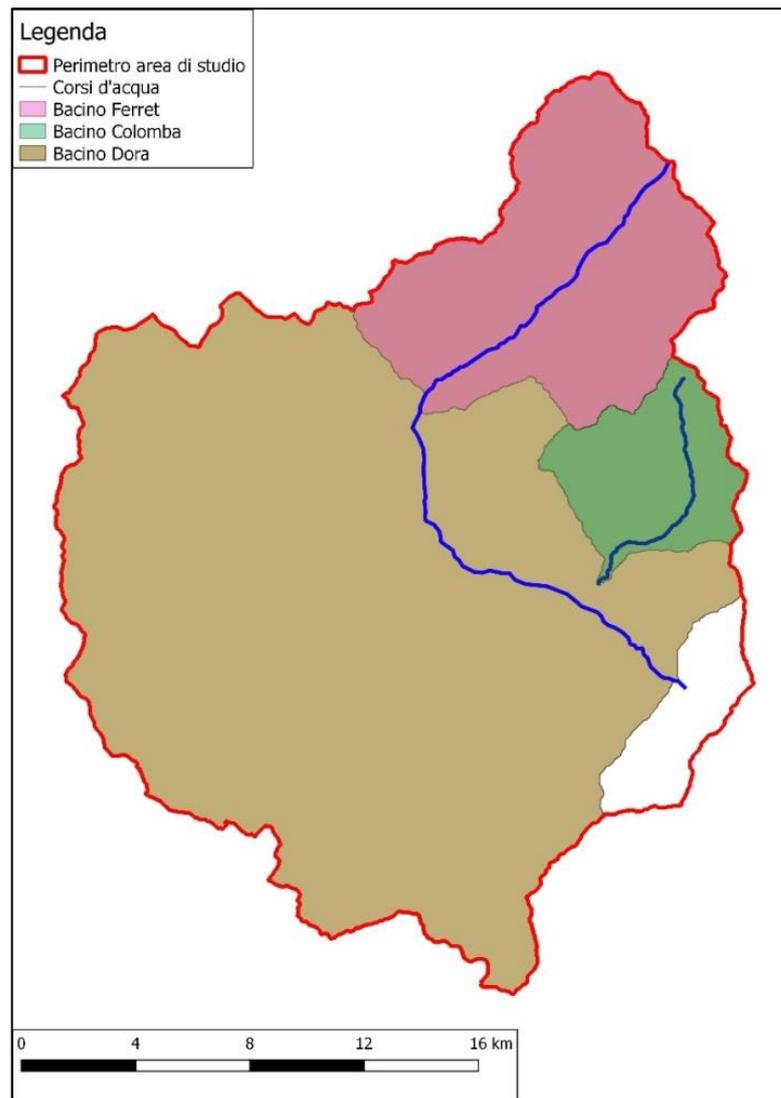
dove:

$h$  è l'altezza di pioggia in mm;

$t$  è la durata della precipitazione in ore;

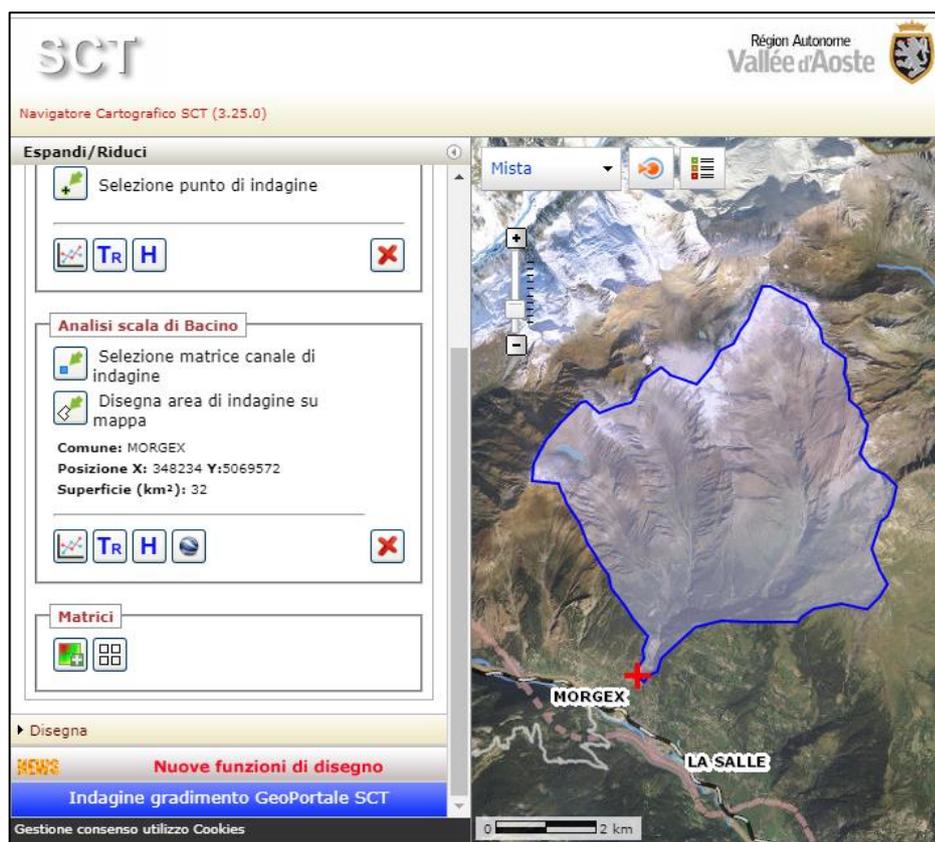
$n$  è sempre minore di 1 e assume in genere valori compresi tra 0,2 e 0,6;

$a$  rappresenta la pioggia (mm) caduta nell'unità di tempo (un'ora).



**Figura 4.16** – Ubicazione delle tre sezioni fluviali prese in esame ed estensione dei rispettivi bacini idrografici.

In pratica l'intensità della pioggia diminuisce con la durata dell'evento. Per mezzo di metodi statistici è possibile legare questa equazione alla probabilità di accadimento dell'evento. In tal caso l'equazione prende il nome di "curva di probabilità pluviometrica". I dati delle piogge intense riferiti ai bacini di interesse sono stati reperiti sul Geoportale della Regione Valle d'Aosta (RIF. WEB N. 2). Su questo sito, è possibile inserire il punto di chiusura del bacino di interesse e conoscere i valori delle piogge intense mediati sul bacino sotteso. (Fig. 4.17).



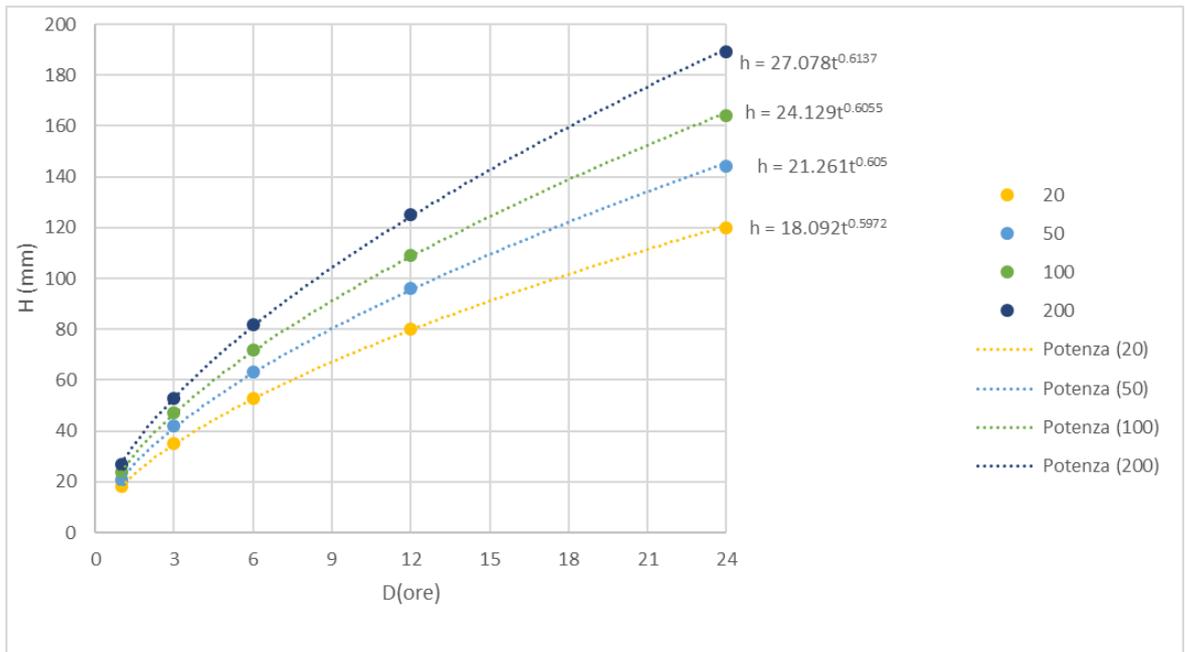
**Figura 4.17** – Pagina web da cui sono stati ricavate le altezze massime di pioggia relative ai vari tempi di ritorno (Geonavigatore Valle d'Aosta).

Come esempio, in Tabella 4.6 si riportano le piogge massime relative alle durate di 1, 3, 6, 12 e 24 ore ricavate con il metodo GUMBEL e mediate dall'applicativo sul bacino della Dora di Ferret, per tempi di ritorno di 2, 5, 10, 20, 50, 100 e 200 anni.

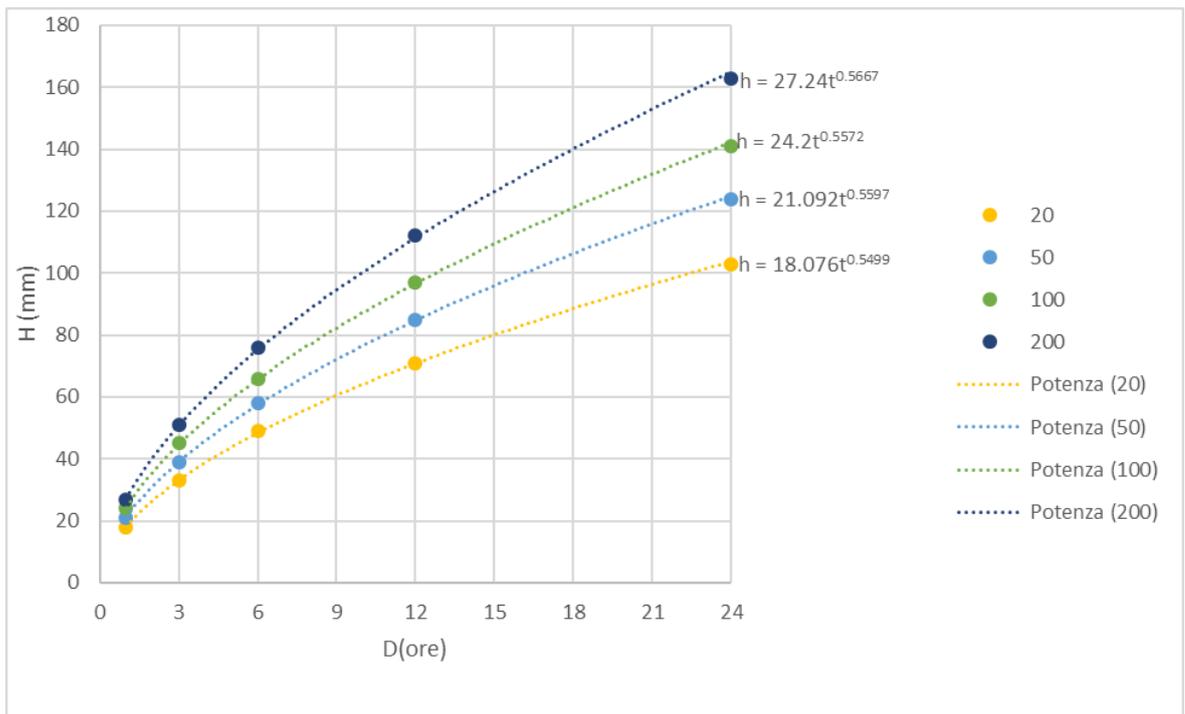
**Tabella 4.6** – Valori di precipitazioni massime mediate sul bacino della Dora di Ferret.

Ferret	Tr anni						
	2	5	10	20	50	100	200
<b>h (ore)</b>	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
<b>1</b>	10	14	16	18	21	24	27
<b>3</b>	18	27	31	35	42	47	53
<b>6</b>	27	40	46	53	63	72	82
<b>12</b>	40	60	70	80	96	109	125
<b>24</b>	59	89	104	120	144	164	189

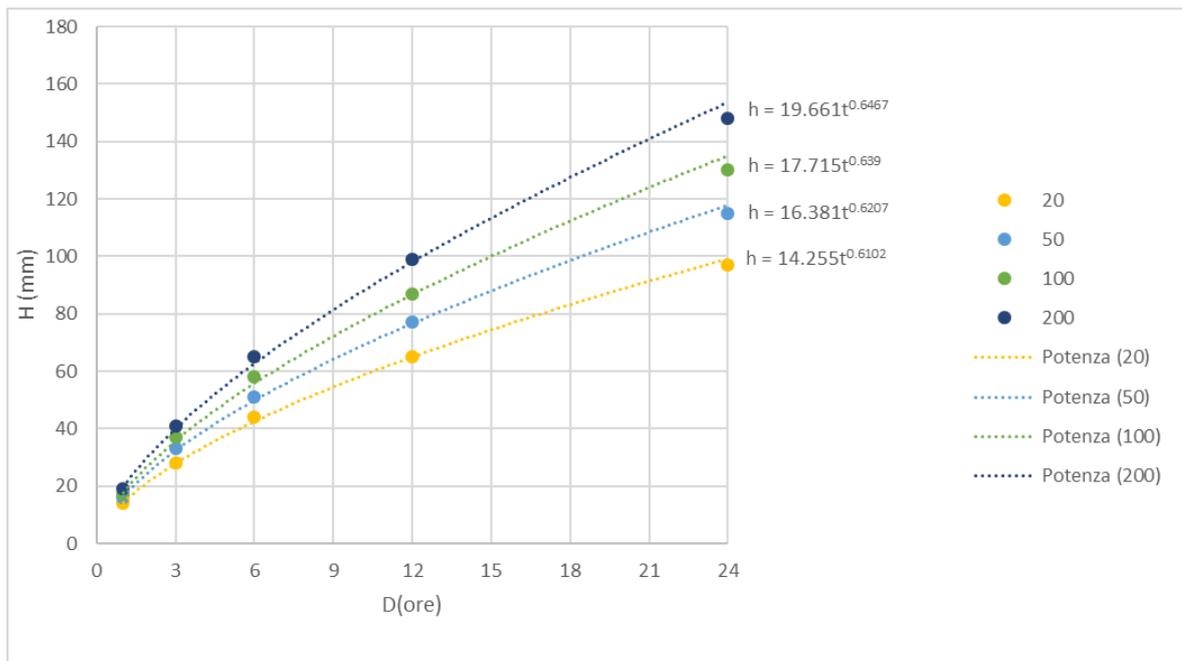
In tal modo, sono state ricavare le curve di probabilità pluviometrica relative ai tre bacini in esame per tempi di ritorno di 20, 50, 100 e 200 anni (Fig. 4.18, 4.19, 4.20).



**Figura 4.18** – Curve di probabilità pluviometrica con tempi di ritorno di 20, 50, 100 e 200 anni ricavate per il bacino della Dora di Ferret.



**Figura 4.19** – Curve di probabilità pluviometrica con tempi di ritorno di 20, 50, 100 e 200 anni ricavate per il bacino del Torrente Colomba.



**Figura 4.20** – Curve di probabilità pluviometrica con tempi di ritorno di 20, 50, 100 e 200 anni ricavate per il bacino della Dora Baltea con chiusura a La Salle.

Una volta ricavate le curve caratteristiche della pioggia per ogni tempo di ritorno, bisogna determinare l'intensità critica ovvero quella della pioggia massima con durata pari al tempo di corrivazione, alla fine della quale da tutto il bacino l'acqua affluirà contemporaneamente e con la maggiore intensità nella sezione considerata.

Per calcolare il tempo di corrivazione è stata utilizzata la formula di Giandotti (1934) che viene comunemente usata in Italia per i bacini con area maggiore di 20 km<sup>2</sup> e pertanto idonea per tutti e tre i bacini considerati.

$$t_c = \frac{4\sqrt{A} + 1.5L}{0.8\sqrt{h_{mr}}}$$

dove:

- $t_c$  è il tempo di corrivazione espresso in ore;
- $A$  è l'area del bacino preso in considerazione in km<sup>2</sup>;
- $L$  è la lunghezza dell'asta fluviale principale dalla sorgente al punto di sezione;
- $h_{mr}$  è l'altezza media del bacino rispetto alla sezione di chiusura.

Conoscendo già l'area e le lunghezze delle aste fluviali dei due bacini restano da calcolare le altezze medie dei bacini sottraendo loro rispettivamente le quote delle sezioni. Per calcolare le altezze medie, si è utilizzato il software GRASS che utilizza i dati

realizzati con QGIS per realizzare calcoli statistici, in questo caso sono state restituito le quote medie dei tre bacini riportate in tabella 4.7.

**Tabella 4.7** – Quota delle sezioni, dell'altezza media del bacino  $h_m$  e dell'altezza media dei bacini relativa alla quota delle sezioni di chiusura.

Bacino	Quota sezione (m.s.l.m)	$h_m$ (m.s.l.m)	$h_{mr}$ (m)
Ferret	1285	2476	1191
Colomba	985	2342	1357
Dora	815	2311	1496

Note le aree dei tre bacini, le lunghezze delle aste fluviali e le altezze medie rispetto alle sezioni di misura, sono stati calcolati i tempi di corrivazione dei bacini in corrispondenza delle sezioni (Tab. 4.8).

**Tabella 4.8** – Quota delle sezioni, dell'altezza media del bacino  $h_m$  e dell'altezza media dei bacini relativa alla quota delle sezioni di chiusura.

Bacino	Area (km <sup>2</sup> )	L (km)	$h_{mr}$ (mm)	$t_c$ (h)
Ferret	89.93	13.24	1191.29	2.09
Colomba	32.21	9.72	1356.56	1.27
Dora	475.85	28.82	1495.96	4.22

A questo punto, l'intensità critica  $i_c$  risulterà dal rapporto tra l'altezza della pioggia di durata pari al tempo di corrivazione  $h_c$  (per calcolare la quale basta sostituire  $t_c$  nella durata  $t$  delle equazioni delle curve di probabilità pluviometrica) e il tempo di corrivazione  $t_c$  stesso e sarà riferita quindi a un determinato tempo di ritorno:

$$i_c = \frac{h_c}{t_c}$$

I dati di piogge e intensità critiche ottenute per entrambi i bacini sono riportati in Tabella 4.9.

Inserendo l'intensità critica nella formula del Metodo Razionale si ottiene:

$$Q = k \cdot A \cdot i_c \cdot C$$

La principale incertezza nel calcolo della portata con il Metodo Razionale è rappresentata dal coefficiente di deflusso C che tiene conto della natura dei terreni e del tipo di copertura

vegetale e, seppure non venga mai preso in considerazione, dal grado di saturazione del terreno al momento dell'infiltrazione.

**Tabella 4.9** – Altezza piogge e intensità critiche ottenute per i diversi tempi di ritorno.

	tc (ore)	hc (mm)	ic (mm/ora)
Ferret (tempo di ritorno=20 anni)	2.09	28.12	13.44
Ferret (tempo di ritorno=50 anni)	2.09	33.24	15.88
Ferret (tempo di ritorno=100 anni)	2.09	37.74	18.03
Ferret (tempo di ritorno=200 anni)	2.09	42.61	20.36
Colomba (tempo di ritorno=20 anni)	1.27	20.57	16.26
Colomba (tempo di ritorno=50 anni)	1.27	24.06	19.02
Colomba (tempo di ritorno=100 anni)	1.27	27.59	21.81
Colomba (tempo di ritorno=200 anni)	1.27	31.13	24.60
La Salle (tempo di ritorno=20 anni)	4.22	34.30	8.13
La Salle (tempo di ritorno=50 anni)	4.22	40.02	9.49
La Salle (tempo di ritorno=100 anni)	4.22	44.44	10.54
La Salle (tempo di ritorno=200 anni)	4.22	49.87	11.82

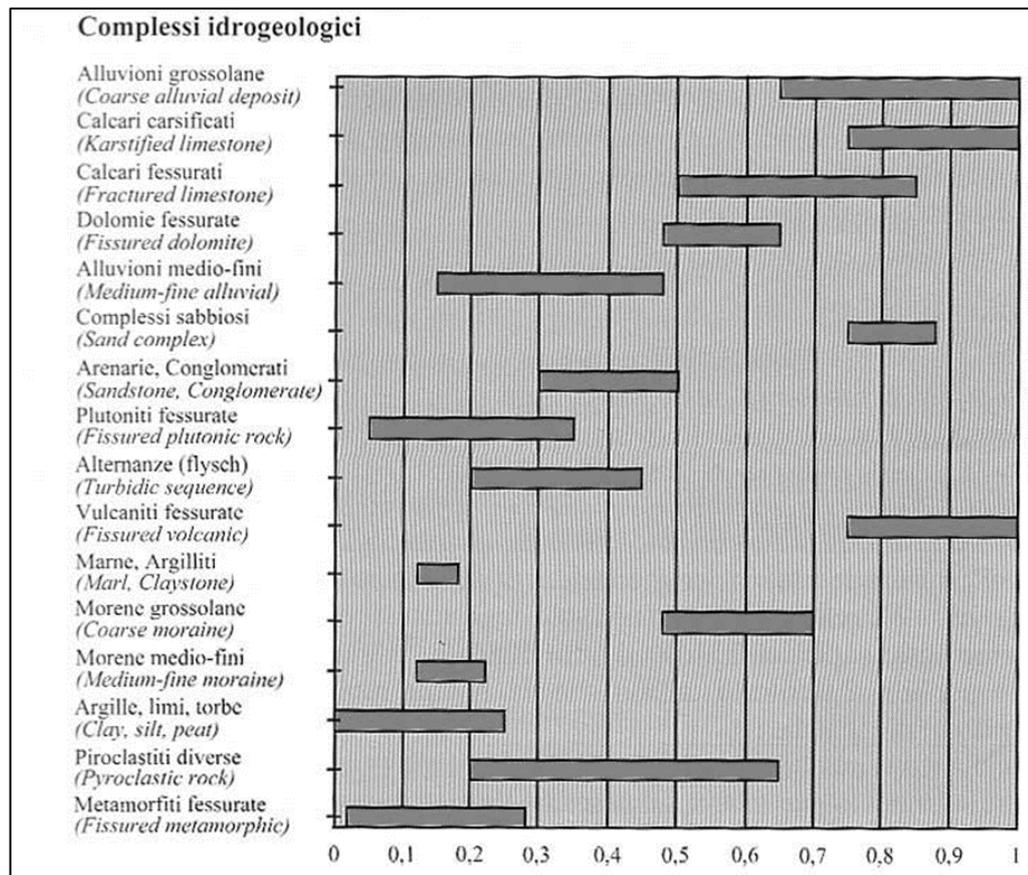
Per determinarlo si usa far riferimento a valori riportati in tabella 4.10 e in figura 4.21. Come si nota dai valori riportati in tabella la copertura vegetale influenza notevolmente la capacità di assorbimento. I boschi tendono ad assorbire maggiormente le precipitazioni e pertanto i valori di C sono minori per i boschi rispetto alle aree coperte da prati.

**Tabella 4.10** – Valori per il coefficiente C in funzione del tipo di terreno, dell'uso del suolo e della pendenza (BENINI, 1990).

Vegetazione e pendenza		Tipi di suolo		
		Terreno leggero	Terreno di medio impasto	Terreno compatto
Boschi	< 10%	0,13	0,18	0,25
	> 10%	0,16	0,21	0,36
Pascoli	< 10%	0,16	0,36	0,56
	> 10%	0,22	0,42	0,62
Colture agrarie	< 10%	0,40	0,60	0,70
	> 10%	0,52	0,72	0,82

Il bacino di interesse è stato suddiviso in aree boschive in aree coperte da prati e in aree antropizzate; non sono state inserite le aree adibite a colture agrarie in quanto sporadiche e poco estese. Data l'acclività dei versanti per tutte le tipologie di substrato e di copertura vegetale si fa riferimento a pendii con pendenze maggiori del 10%. Utilizzando le

immagini da satellite, sono state evidenziati anche i ghiacciai e gli affioramenti rocciosi distinti in base ai diversi litotipi. Nelle figure 4.22, 4.23 e 4.24 vengono riportati esempi di tali suddivisioni d'uso del suolo in corrispondenza delle tre sezioni (si può constatare la vicinanza delle abitazioni rispetto all'alveo), in figura 4.25, la mappa dell'intera area di studio.



**Figura 4.21** – Valori per il coefficiente di infiltrazione in funzione del tipo di litologia affiorante (CIVITA, 2000).



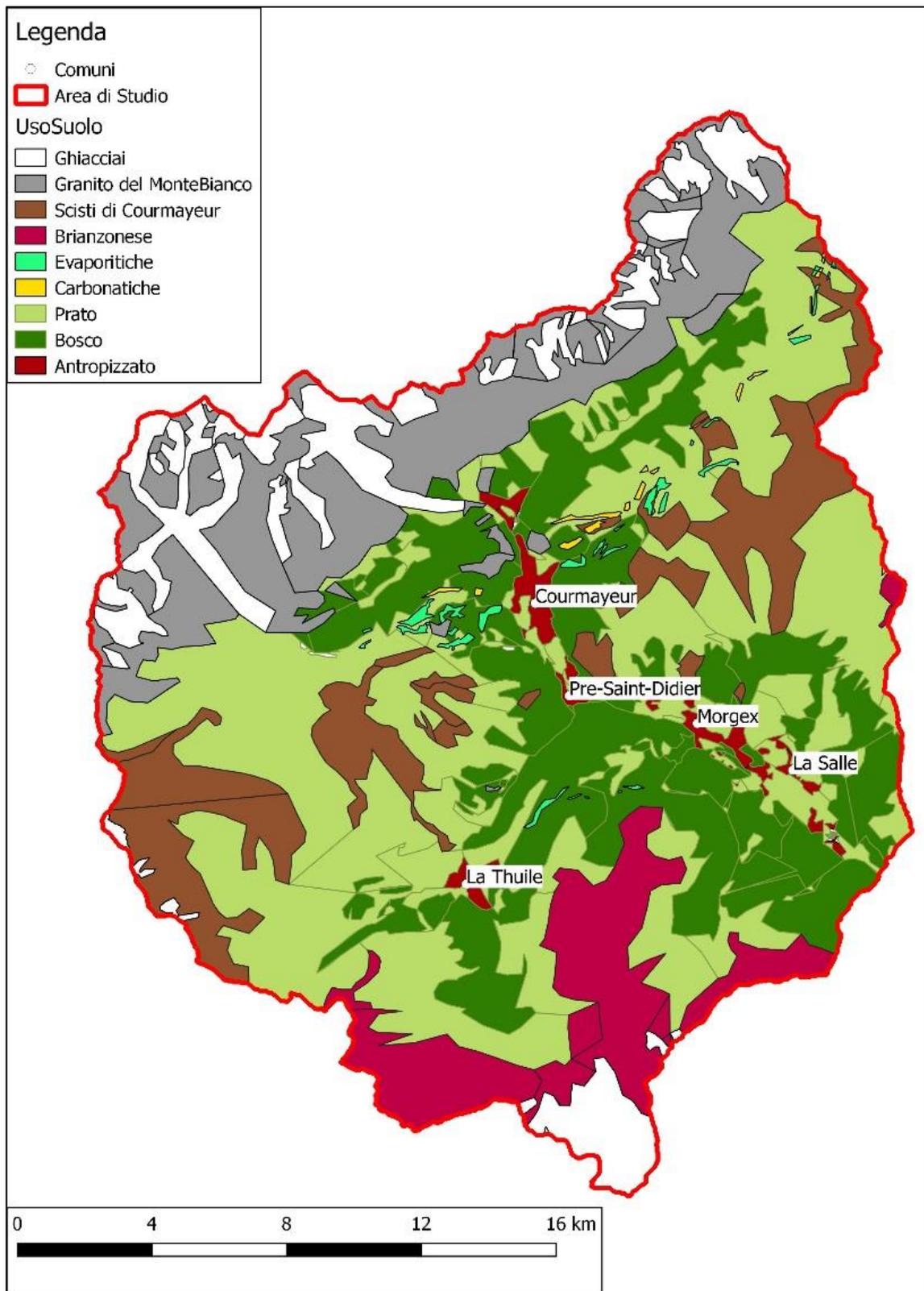
**Figura 4.22** – Suddivisioni d'uso del suolo in corrispondenza della sezione sul Ferret.



**Figura 4.23** – Suddivisioni d'uso del suolo in corrispondenza della sezione sul Colomba.



**Figura 4.24** – *Suddivisioni d'uso del suolo in corrispondenza della Sezione sulla Dora Baltea.*



**Figura 4.25** –Suddivisione dell’area di studio in base alla tipologia di superficie.

I dati geometrici ottenuti dalle analisi effettuate con il software QGIS e utilizzati successivamente nei calcoli delle portate di massima piena sono riportati nella tabella 4.11.

**Tabella 4.11** – Dati ottenuti dalle analisi cartografiche e utilizzati successivamente nei calcoli delle portate di massima piena.

<b>Tipologia di superficie</b>	<b>Aree La Salle (km2)</b>	<b>Aree Colomba (Km2)</b>	<b>Aree Ferret (km2)</b>
Antropizzato	7.15	0.00	0.08
Bosco	90.30	4.33	13.23
Ghiacciaio	43.88	0.00	10.66
Prato	154.26	17.52	32.91
Evaporiti	2.47	0.00	0.43
Scisti	51.73	9.62	0.00
Brianzonese	54.60	0.60	8.81
Carbonati	1.00	0.00	0.27
Granito	70.47	0.00	23.54
TOT	475.85	32.21	89.93

Utilizzando i dati ricavati dall'elaborazione con il software QGIS sono state ricavate nove categorie di superficie a cui è stato assegnato un coefficiente C.

Per stabilire il valore del coefficiente C si è tenuto conto del fatto che il coefficiente di deflusso riportato nella tabella si riferisce principalmente all'infiltrazione annua utilizzata per i bilanci idrologici, mentre in occasione delle piogge intense, i primi mm di terreno si saturano rapidamente limitando l'infiltrazione. Pertanto, si è deciso di utilizzare nei calcoli i coefficienti di deflusso riportati nella tabella 4.12. Per calcolare il coefficiente di deflusso sui litotipi è stato necessario sottrarre il valore dell'infiltrazione a uno.

**Tabella 4.12** – Valori del Coefficiente di deflusso C assegnato alle superfici omogenee per uso del suolo ottenute dalle analisi cartografiche tramite software Quantum GIS.

<b>Tipologia di superficie</b>	<b>Coefficiente di deflusso C</b>
Antropizzato	0.9
Bosco	0.36
Ghiacciaio	0.85
Prato	0.62
Evaporiti	0.2
Scisti di Courmayeur	0.75
Brianzonese	0.7
Carbonatiche	0.3
Granito del Monte Bianco	0.8

È stato assegnato un basso coefficiente di deflusso alle rocce carbonatiche e evaporitiche a causa dei fenomeni carsici che si possono sviluppare in questi litotipi.

Le zone con substrato scistoso sono poco più impermeabili rispetto alle aree con substrati brianzonesi che risultano essere più fratturati.

Il litotipo meno permeabile è quello appartenente al granito del Monte Bianco vista la sua compattezza e basso grado di fratturazione.

Nelle aree urbane il coefficiente di assorbimento è stato scelto prossimo all'unità per via dell'impermeabilizzazione delle superfici.

Pesando i coefficienti di deflusso per le aree omogenee a cui sono riferiti, sono stati calcolate le medie ponderate dei coefficienti C da attribuire ai tre bacini (Tab. 4.13).

**Tabella 4.13** – Valori medi dei coefficienti di deflusso per i tre bacini in esame.

Bacino	Coefficiente di deflusso C
Ferret	0.76
Colomba	0.72
La Salle	0.77

Utilizzando i dati ricavati sono state calcolate le portate di massima piena in corrispondenza delle tre sezioni (Tab. 4.14).

**Tabella 4.14** – Portate di massima piena attese alle sezioni di chiusura per i relativi tempi di ritorno.

	k	ic (mm/ora)	C	A (km <sup>2</sup> )	Portata (m <sup>3</sup> /s)
Ferret (tempo di ritorno=20 anni)	0.278	13.44	0.76	89.93	255.10
Ferret (tempo di ritorno=50 anni)	0.278	15.88	0.76	89.93	301.52
Ferret (tempo di ritorno=100 anni)	0.278	18.03	0.76	89.93	342.32
Ferret (tempo di ritorno=200 anni)	0.278	20.36	0.76	89.93	386.49
Colomba (tempo di ritorno=20 anni)	0.278	16.26	0.72	32.21	104.83
Colomba (tempo di ritorno=50 anni)	0.278	19.02	0.72	32.21	122.61
Colomba (tempo di ritorno=100 anni)	0.278	21.81	0.72	32.21	140.59
Colomba (tempo di ritorno=200 anni)	0.278	24.60	0.72	32.21	158.61
La Salle (tempo di ritorno=20 anni)	0.278	8.13	0.77	475.85	823.65
La Salle (tempo di ritorno=50 anni)	0.278	9.49	0.77	475.85	960.90
La Salle (tempo di ritorno=100 anni)	0.278	10.54	0.77	475.85	1066.88
La Salle (tempo di ritorno=200 anni)	0.278	11.82	0.77	475.85	1197.27

### 4.3.2 Verifiche idrauliche

Una volta calcolate le portate di massima piena attese per i quattro tempi di ritorno in corrispondenza delle sezioni prese in esame, si è verificato se tutte queste portate sarebbero defluite normalmente nell'alveo o se in qualche occasione il corso d'acqua avrebbe esondato, inondando le zone abitate circostanti. A tal fine, è stato necessario fare un confronto tra le *portate di progetto* calcolate precedentemente e la *portata massima ammissibile* in corrispondenza delle tre sezioni, pari al prodotto dell'area  $A$  della sezione e la velocità del flusso idrico  $V$ :

$$Q = A \cdot V$$

Per ricavare l'area  $A$  sono stati realizzati dei profili con il software QGIS, utilizzando il DTM con passo 10 metri in corrispondenza delle sezioni, effettuando poi dei sopralluoghi sulle stesse per verificare la veridicità del dato ricavato dal software, le sezioni sono riportate nelle Figure 4.26, 4.27, 4.28. Come quota massima della sezione è stato preso il livello base delle abitazioni anche laddove fossero presenti opere di contenimento quali muretti o argini. Questa scelta è dovuta al fatto che l'opera di contenimento può cedere o può comunque essere aggirata a monte del tratto considerato e risultare inutile ai fini della sicurezza degli abitanti. Come quota minima è stata invece presa la quota del fondo del corso d'acqua.

Per determinare la velocità del flusso idrico  $V$  nella sezione desiderata, si utilizza la formula di Chézy:

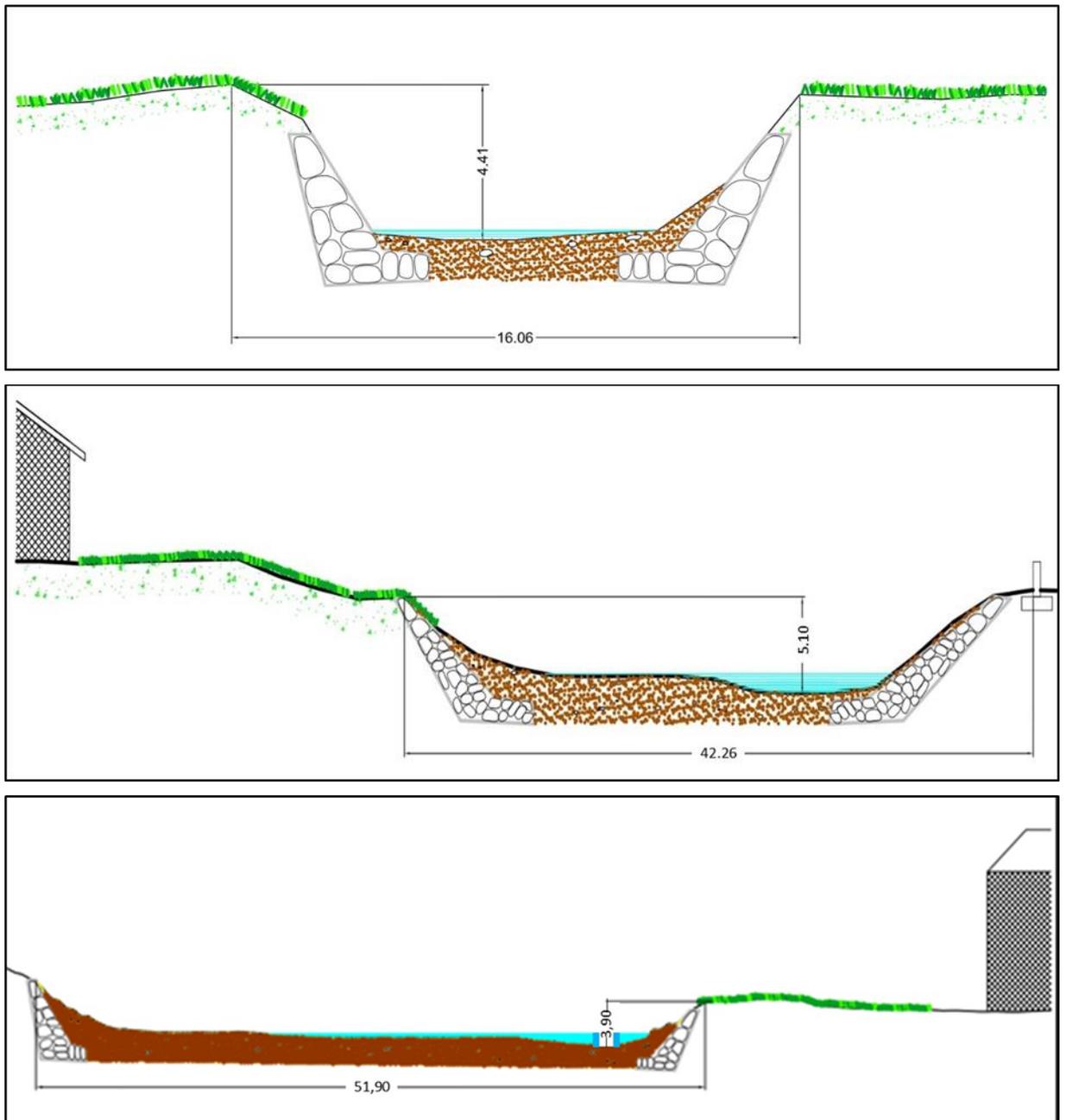
$$V = \chi \cdot \sqrt{R \cdot i}$$

dove:

- $V$  è la velocità media in m/s;
- $\chi$  è il coefficiente di Chézy che dipende dalla scabrezza dell'alveo e dal raggio idraulico;
- $R$  è il raggio idraulico in  $m^{1/2}/s$ ;
- $i$  è la pendenza media dell'asta principale espressa in %.

Per raggio idraulico si intende il rapporto tra l'area della sezione e il perimetro bagnato. Per perimetro bagnato si intende la somma tra la lunghezza del fondo dell'alveo e delle sponde.

$$R = \frac{A}{p_b}$$



**Figura 4.26, 27, 28** – Sezioni dall'alto verso il basso sul torrente Colomba, Ferret e Dora Baltea con relative quote.

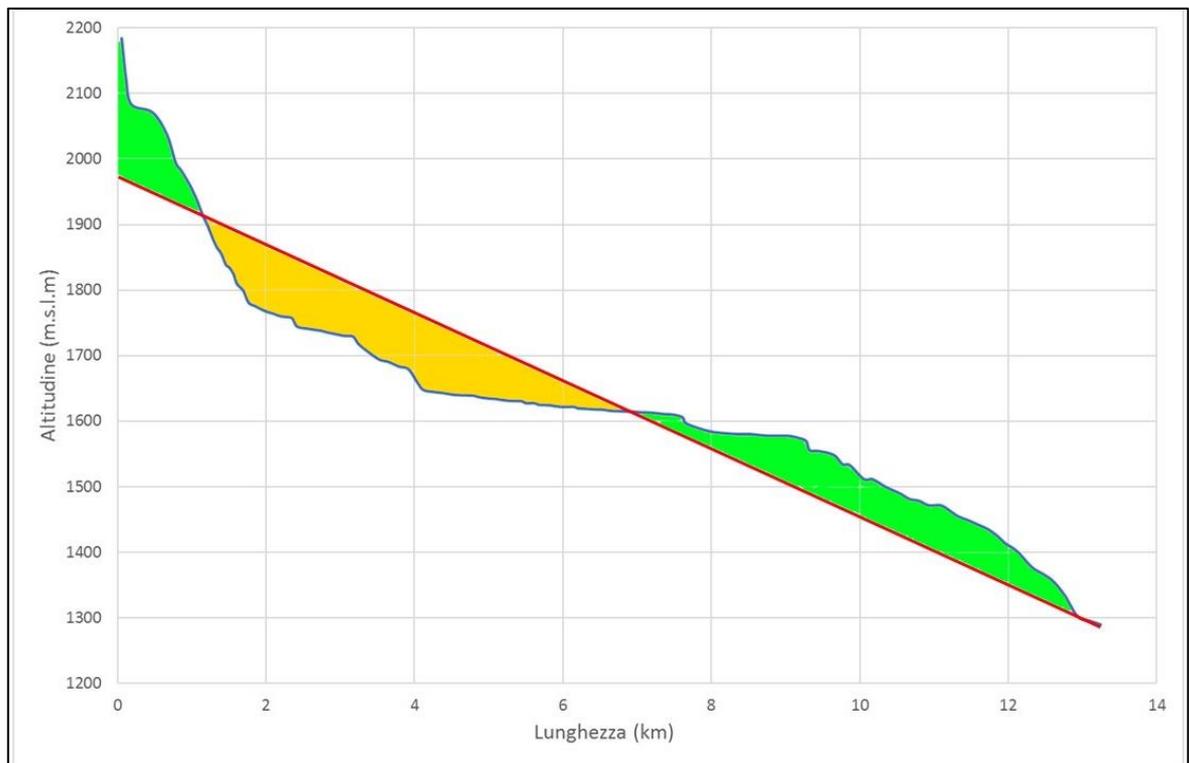
Con i dati ricavati dalle misure sono stati ottenuti i raggi idraulici delle due sezioni (Tab. 4.15).

**Tabella 4.15** – Valori dell'area, del perimetro bagnato e del raggio idraulico delle tre sezioni misurate

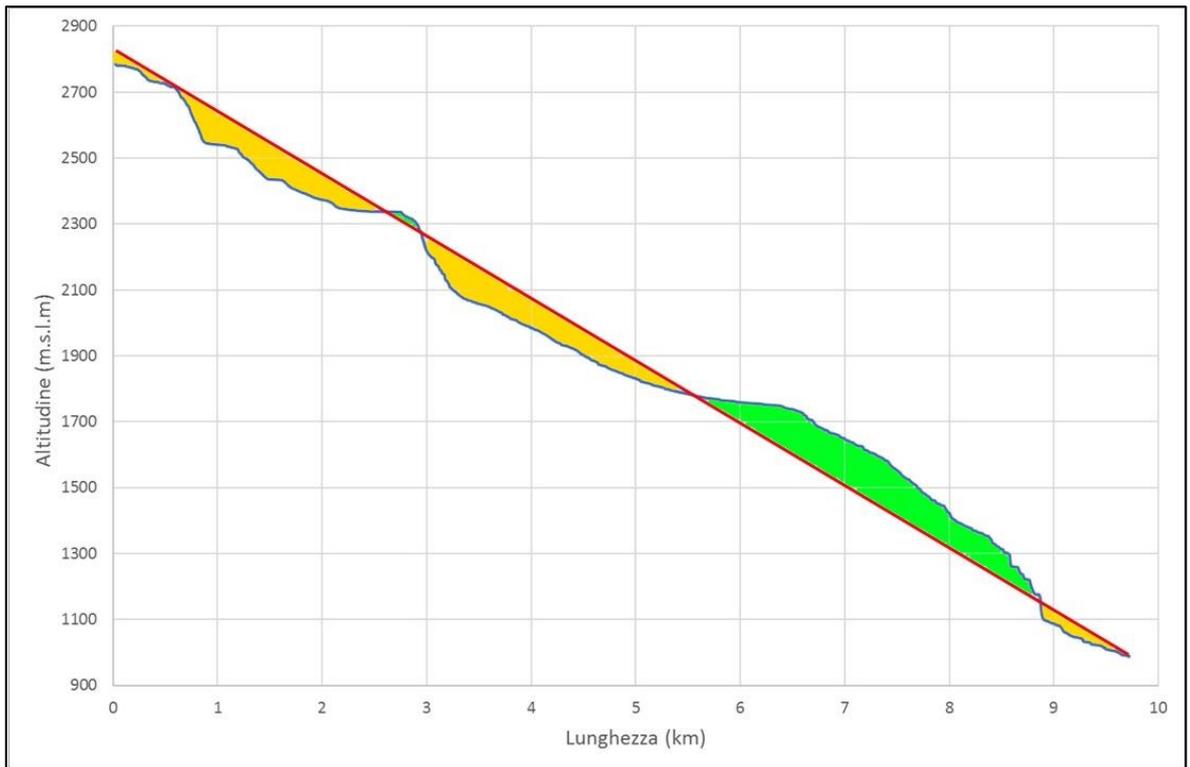
Bacino	Area sezione(m2)	Pp (m)	R (m)
Ferret	236.8	56.7	4.18
Colomba	38.5	17.2	2.24
Dora	79.7	48.2	1.65

La pendenza media dell'asta principale di un corso d'acqua è definita come la pendenza della retta di compenso tracciata su un grafico in cui è riportato il profilo longitudinale del corso d'acqua principale.

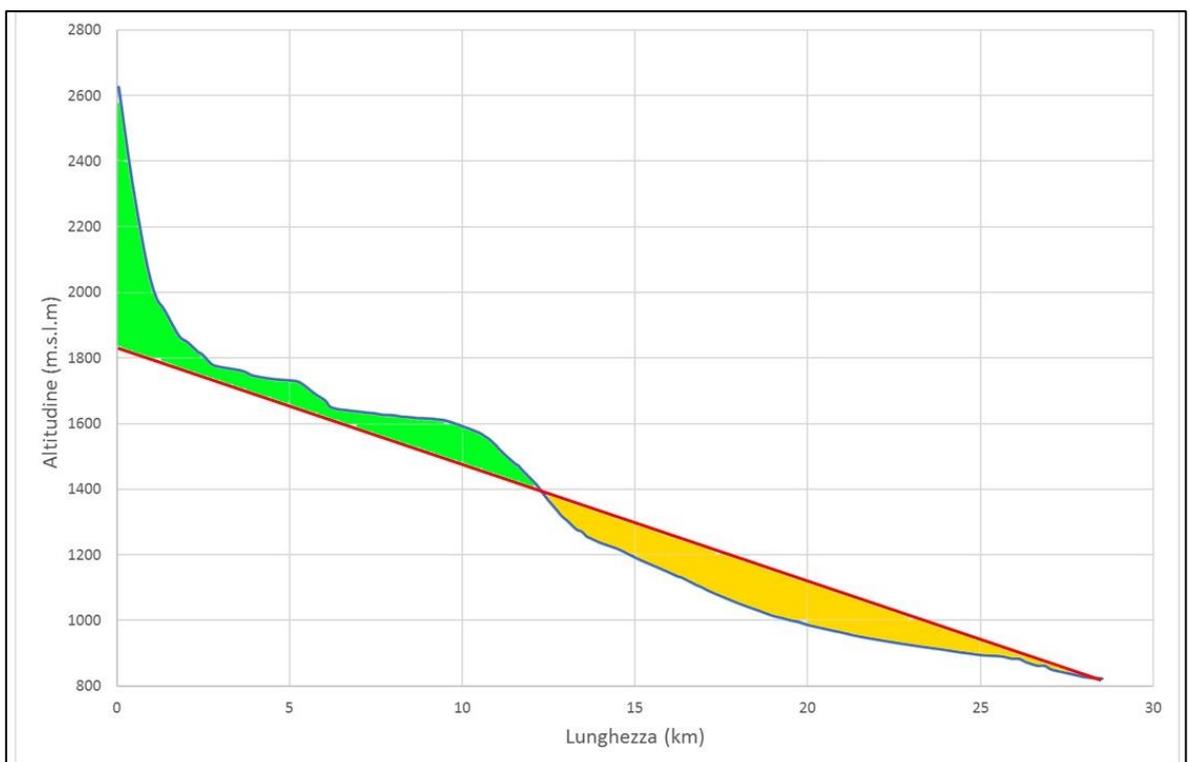
La retta di compenso è tracciata in modo che le aree che ne restano al di sopra e al di sotto siano tra loro uguali, (Figg. 4.29, 4.30, 4.31).



**Figura 4.29** – Grafico mostrante in azzurro il profilo longitudinale del torrente Ferret e in rosso la retta di compenso. Con il giallo e il verde sono indicate le due aree equidimensionali.



**Figura 4.30** – Grafico mostrante in azzurro il profilo longitudinale del torrente Colomba e in rosso la retta di compenso. Con il giallo e il verde sono indicate le due aree equidimensionali.



**Figura 4.31** – Grafico mostrante in azzurro il profilo longitudinale del fiume dora Baltea e in rosso la retta di compenso. Con il giallo e il verde sono indicate le due aree equidimensionali.

Dalle elaborazioni effettuate, sono stati ricavati i seguenti valori di pendenza (Tab. 4.16).

**Tabella 4.16** – Valori di pendenza media delle aste principali espressi in percentuale.

Bacino	i%
Ferret	6.80
Colomba	19.03
Dora	6.07

Il fattore più delicato da valutare risulta essere il coefficiente di scabrezza. L'Autorità di Bacino del Fiume Po consiglia di utilizzare l'espressione indicata da Manning riportata di seguito:

$$\chi = \frac{1}{n} \cdot R^{\frac{1}{6}}$$

dove:

- $n$  è il coefficiente di Manning
- $R$  è il raggio idraulico

Per cui la formula di Chézy diventa:

$$V = \frac{1}{n} \cdot R^{\frac{2}{3}} \cdot i^{\frac{1}{2}}$$

dove  $n$  viene calcolato rifacendosi ai coefficienti parziali della Tabella 4.17 inseriti nella seguente formula:

$$n = (n_0 + n_1 + n_1 + n_3 + n_4) * m_5$$

**Tabella 4.17** – Valori da utilizzare per calcolare il coefficiente  $n$  di Manning

Condizioni dell'alveo		Valori	
Materiale costituente l'alveo	Terra	$n_0$	0.020
	Roccia		0.025
	Alluvione grossolana		0.028
	Alluvione fine		0.024
Irregolarità della superficie della sezione	Trascurabile	$n_1$	0.000
	Bassa		0.005
	Moderata		0.010
	Elevata		0.020
Variazione della forma e della dimensione della sezione trasversale	Graduale	$n_2$	0.000
	Variazione occasionalmente		0.005
	Variazione frequente		0.010-0.015
Effetto relativo di ostruzioni	Trascurabile	$n_3$	0.000
	Modesto		0.010-0.015
	Apprezzabile		0.020-0.030
	Elevato		0.040-0.060
Effetto della vegetazione	Basso	$n_4$	0.005-0.010
	Medio		0.010-0.025
	Alto		0.025-0.050
	Molto alto		0.050-0.100
Grado di sinuosità dell'alveo	Modesto	$m_5$	1.000
	Apprezzabile		1.150
	Elevato		1.300

Per tutti e tre i corsi d'acqua l'alveo è costituito da un'alluvione grossolana e l'irregolarità della superficie risulta moderata. Gli alvei presentano una frequente variazione della forma e delle dimensioni della sezione trasversale. Per quanto riguarda l'effetto di ostruzioni, per quanto riguarda il torrente Colomba e il torrente Ferret esse sono rispettivamente trascurabili e modeste, per quanto riguarda il tratto di Dora Baltea analizzato esso è apprezzabile. Per tutti e tre gli alvei l'effetto della vegetazione è da considerare basso vista la rarità di zone coperte da vegetazione. Il grado di sinuosità è modesto per quanto riguarda il torrente Colomba mentre è Apprezzabile negli altri due alvei. I coefficienti parziali utilizzati e i coefficienti  $n$  di Manning ricavati nella formula sono riportati in Tabella 4.18.

**Tabella 4.18** – Valori dei coefficienti parziali utilizzati per calcolare i coefficienti *n* di Manning e valore ricavato.

<b>Coeff.</b>	<b>Ferret</b>	<b>Colomba</b>	<b>Dora</b>
n0	0.028	0.028	0.028
n1	0.01	0.01	0.01
n2	0.012	0.012	0.012
n3	0.1	0	0.25
n4	0.005	0.005	0.007
m5	1	1.15	1.15
n	0.155	0.063	0.353

Con i dati ottenuti, sono state calcolate le velocità di deflusso *V* tramite la formula di Chézy (Tab. 4.19).

**Tabella 4.19** – Valori delle velocità di deflusso.

<b>Bacino</b>	<b>Velocità (m/s)</b>
Ferret	43.62
Colomba	118.03
Dora	9.76

Infine, moltiplicando le aree delle sezioni per le rispettive velocità di deflusso sono state ricavate le portate massime ammissibili per le due sezioni analizzate (Tab. 4.29).

**Tabella 4.20** – Portate massime ammissibili nelle tre sezioni.

<b>Bacino</b>	<b>Area (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Velocità (m/s)</b>	<b>Portata massima ammissibile (m<sup>3</sup>/s)</b>
Ferret	236.8	43.6	10329.8
Colomba	38.5	118.0	4544.0
Dora	79.7	9.8	777.9

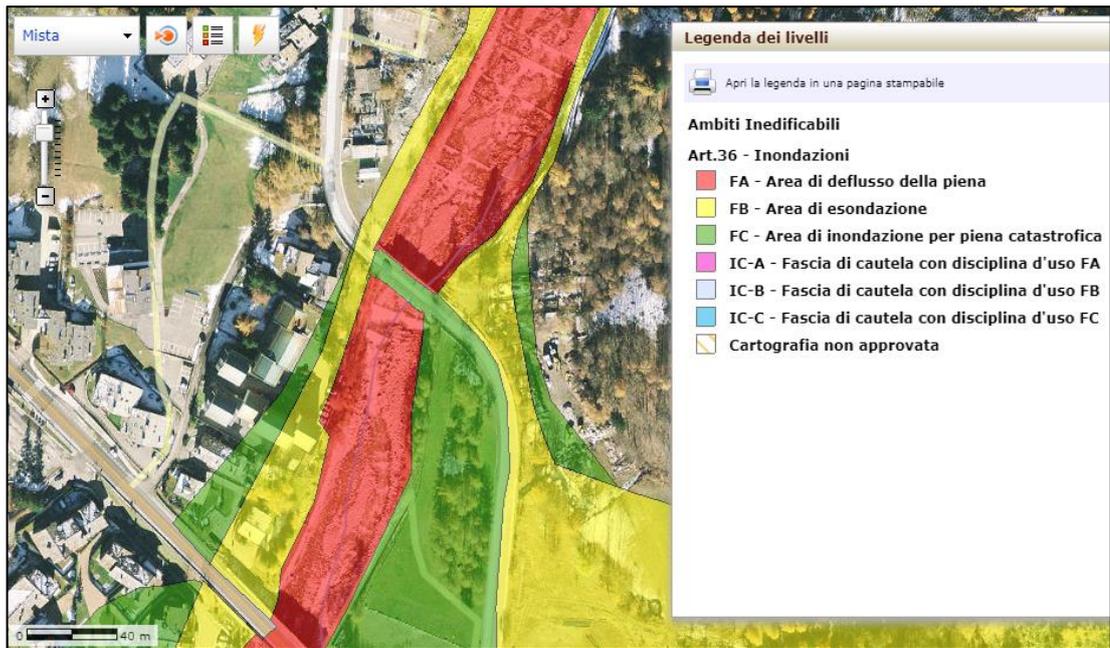
Dal confronto tra le portate massime ammissibili delle tre sezioni e le portate di progetto calcolate con il Metodo Razionale (Tab. 4.21) si rileva che per le sezioni sul Ferret e sul Colomba le portate attese per i tempi di ritorno dai 20 ai 200 anni sono nettamente minori della portata massima ammissibile con prevedibile passaggio della piena senza gravi danni. Una considerazione va però fatta per il torrente Colomba che, a causa della sua forte pendenza e la conseguente alta velocità di scorrimento, potrebbe mobilitare, dove presente, anche del materiale solido con il conseguente innesco di un *debris flow*. Il *debris flow* vista la sua componente solida che si va a sommare a quella liquida aumenta il volume e l'energia del flusso che in alcuni punti potrebbe esondare e causare danni ben

più gravi rispetto alla sola esondazione di un flusso prevalentemente liquido. Per quanto riguarda la sezione sulla Dora si può osservare come le acque possano alluvionare i terreni circostanti anche con intensità di pioggia con tempi di ritorno di 20 anni.

**Tabella 4.21** – Verifica idraulica delle tre sezioni prese in esame: le sezioni sul Ferret e sul Colomba riescono a contenere le piene anche con tempo di ritorno di 200 anni, mentre per quanto riguarda la Dora Baltea è possibile osservare come a La Salle si possano verificare delle inondazioni con intensità di pioggia con tempo di ritorno di 20 anni.

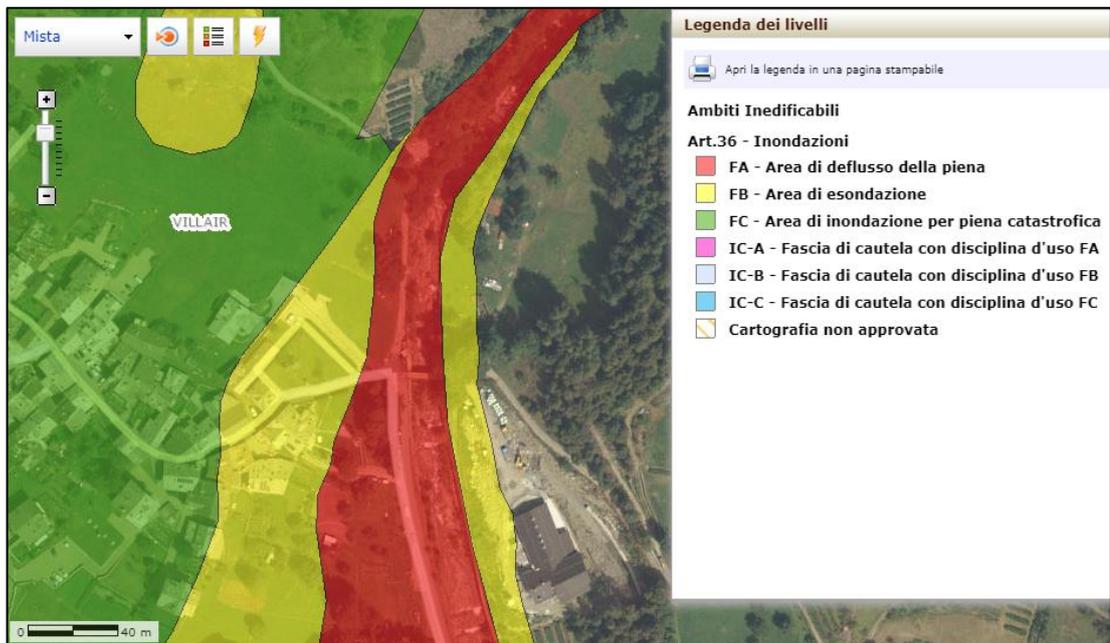
	Portata di piena (m <sup>3</sup> /s)	Portata massima ammissibile (m <sup>3</sup> /s)
Ferret (tempo di ritorno=20 anni)	255.10	10329.83
Ferret (tempo di ritorno=50 anni)	301.52	10329.83
Ferret (tempo di ritorno=100 anni)	342.32	10329.83
Ferret (tempo di ritorno=200 anni)	386.49	10329.83
Colomba (tempo di ritorno=20 anni)	104.83	4544.03
Colomba (tempo di ritorno=50 anni)	122.61	4544.03
Colomba (tempo di ritorno=100 anni)	140.59	4544.03
Colomba (tempo di ritorno=200 anni)	158.61	4544.03
La Salle (tempo di ritorno=20 anni)	823.65	777.86
La Salle (tempo di ritorno=50 anni)	960.90	777.86
La Salle (tempo di ritorno=100 anni)	1066.88	777.86
La Salle (tempo di ritorno=200 anni)	1197.27	777.86

Osservando le carte riportanti i limiti inedificabili riguardanti il rischio di inondazione osserviamo che in corrispondenza della sezione sul torrente Ferret si ha un'area di esondazione limitata e un'area di inondazione assente (Fig. 4.32).



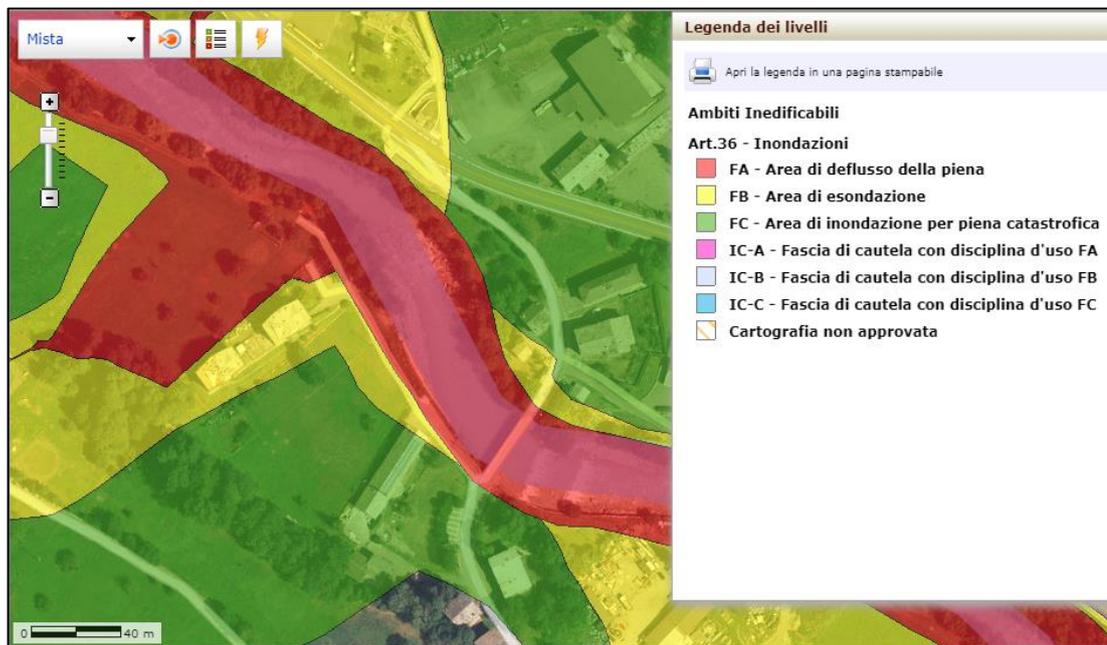
**Figura 4.32** – Stralcio della “Carta degli ambiti inedificabili relativa alle inondazioni” realizzata dalla Regione Valle d’Aosta, in corrispondenza della sezione sul torrente Ferret (in nero).

Per quanto riguarda la sezione realizzata sul torrente Colomba è possibile osservare come in carta l’area di deflusso della piena esca dall’alveo contrariamente a quanto ricavato dallo studio di rischio di cui sopra. E la fascia di esondazione che coinvolge alcune abitazioni (Fig. 4.31).



**Figura 4.33** – Stralcio della “Carta degli ambiti inedificabili relativa alle inondazioni” realizzata dalla Regione Valle d’Aosta, in corrispondenza della sezione sul torrente Colomba (in nero).

Per quanto riguarda la sezione realizzata sulla Dora Baltea nei pressi di La Salle si ha piena concordanza tra quanto riportato nella carta degli ambiti inedificabili relativi alle inondazioni e lo studio di rischio di alluvione da me condotto (Fig. 4.32).



**Figura 4.34** – Stralcio della “Carta degli ambiti inedificabili relativa alle inondazioni” realizzata dalla Regione Valle d’Aosta, in corrispondenza della sezione sulla Dora Baltea nei pressi di La Salle (in nero).

## 5 – CONCLUSIONI

Dallo studio effettuato sulle acque superficiali, si è verificato che la presenza di rocce evaporitiche nei bacini tributari dell'area in esame può abbassarne la qualità rendendole inidonee ad esempio per il consumo umano: i campioni che non rispettano i parametri normativi per tale motivo sono Dolonne e Sapin. A causa di tale apporto, Dolonne risulta inidoneo anche per l'eccessiva durezza. Viceversa i campioni prelevati in corrispondenza di apporti essenzialmente silicatici (Dora1, Dora2, Veny e Ferret) risulterebbero inidonei al consumo umano per la scarsità in Calcio e Magnesio (durezza <math><15^{\circ}\text{F}</math>). Per quanto riguarda la qualità delle acque destinate a fini agricoli le acque campionate risultano eccellenti tranne il campione Dolonne a causa dei valori di conducibilità, sali disciolti e solfati.

Le acque sotterranee risultano idonee al consumo umano per i parametri analizzati, tranne il campione Co9 che presenta valori troppo elevati di conducibilità, sodio e cloruri. In merito alla qualità delle acque ad uso irriguo, gli stessi campioni si collocano tutti in classe I, fatta eccezione per il campione Co9 che rientra nella classe III a causa dei valori elevati di cloruri, sodio e conducibilità.

Il monitoraggio della falda idrica della piana di Morgex ha messo in evidenza la costanza del livello piezometrico e quindi una preservazione della risorsa.

Per quanto riguarda la pericolosità idrologica, dal confronto tra le portate massime ammissibili e le portate di progetto si è rilevato che, per le sezioni Ferret e Colomba, le portate attese per i tempi di ritorno considerati (fino a 200 anni) sono nettamente minori della portata massima ammissibile (il Torrente Colomba però, a causa della forte pendenza e la conseguente alta velocità di scorrimento, potrebbe mobilitare materiale solido innescando fenomeni di *debris flow*). Al contrario, l'analisi effettuata sulla sezione Dora Baltea ha messo in luce come le portate di piena possano alluvionare i terreni circostanti anche con tempi di ritorno di soli 20 anni.

Le principali difficoltà nello svolgimento della tesi sono state incontrate nel reperimento della normativa relativa alla qualità delle acque superficiali e sotterranee, e ancor di più per quella relativa al rischio idrogeologico. C'è infatti una serie di enti che si occupano dello stesso argomento. In realtà, per la valutazione della pericolosità e nella pianificazione territoriale in un bacino idrografico, intervengono i comuni in modo autonomo (ognuno in tempi e modi diversi), per cui i controlli da parte delle regioni e delle Autorità di Bacino risultano slegati da uno sguardo d'insieme. Si può immaginare come sia complicata, alla luce di tale situazione, una oculata pianificazione territoriale. Per quanto riguarda la pericolosità idrologica, gli eventi di piena e le verifiche idrauliche modellizzati nel lavoro possono rappresentare un utile strumento per la pubblica amministrazione al fine di

mitigare i rischi di inondazione, effettuando una corretta pianificazione territoriale, anche se essendo l'area di studio caratterizzata da versanti molto ripidi il problema idrogeologico principale è costituito da fenomeni quali i *debris flow* e non tanto dalle inondazioni che come visto nello studio della pericolosità idrologica si concentrano lungo il corso della Dora Baltea. Per quanto riguarda la qualità delle acque superficiali e sotterranee, esse vanno a sommarsi alle analisi di monitoraggio condotte da ARPA Valle d'Aosta. Chiaramente, per valutare adeguatamente l'impatto antropico, ad esempio a valle dei singoli abitati, si dovrebbero prendere in considerazione anche i parametri organici e microbiologici.

## BIBLIOGRAFIA

BIGI G., CASTELLARIN A., COLI M., DAL PIAZ G.V., SARTORI R., SCANDONE P. & VAI G.B., (1990) - *Structural Model of Italy, sheet 1*. C.N.R., Progetto Finalizzato Geodinamica, SELCA Firenze.

CARRARO F. & GIARDINO M. (2002) - *Quaternary Glaciations in the Western Italian Alps – a review*. In: Ehlers J. (Ed.) - *Quaternary Glaciations - Extents and Chronology. part I: Europe*. Elsevier.

CERUTTI A.V. (2006) – *Le pays de la Doire et son peuple* - Casa Editrice Musumeci, 373 pp.,

COMUNITÀ EUROPEA, (2000) – *Direttiva 2000/60/CE del 23 ottobre 2000: Direttiva del Parlamento europeo e del Consiglio che istituisce un quadro per l'azione comunitaria in materia di acque* – G.U.C.E. n. L 327 del 22 dicembre 2003.

COMUNITÀ EUROPEA, (2006) – *Direttiva 2006/118/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 12 dicembre 2006 sulla protezione delle acque sotterranee dall'inquinamento e dal deterioramento* – G.U.C.E del 27 dicembre 2006, **n.372/L**.

COMUNITÀ EUROPEA, (2007) - *Direttiva 2007/60/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 23 ottobre 2007 relativa alla valutazione e alla gestione dei rischi di alluvioni*. – G.U.C.E del 6 novembre 2007 **n.288/27**

DAL PIAZ G.V. (Ed), (1992) - *Le Alpi dal M. Bianco al Lago Maggiore*. I Volume: 13 itinerari. Guide Geol. Regionali, Soc. Geol. It., BE-MA Milano, **v. 3**, 311 pp

DE GIUSTI F, GIORGIO V. DAL PIAZ G.V., MASSIRONI M & SCHIAVO 2004 - *Carta geotettonica della Valle d'Aosta* - Università degli Studi di Padova.

DESMONS J., APRHAMIAN J., COMPAGNONI R., CORTESOGNO L., FREY M. and COWORKERS, 1999 - *Alpine metamorphism of the Western Alps: I. Middle to high-P/T metamorphism*. Schweiz. mineral. petrogr. Mitt., **v. 79**, pp. 89-110.

ELTER G. E ELTER P., 1965 - *Carta geologica della regione del Piccolo S. Bernardo (versante italiano), scala 1:25000*. L.A.C., Firenze ELTER

GOLDER ASSOCIATES S.R.L. (2003) – *Relazione relativa all'indagine ambientale sul punto vendita di carburanti Esso n.2956 di Courmayeur (AO) SS 26, Fraz. Entreves.*

GOLDER ASSOCIATES S.R.L. (2005) – *Relazione relativa all'indagine ambientale sul punto vendita di carburanti Shell 03.023 di Morgex (AO).*

GOLDER ASSOCIATES S.R.L. (2007) – *Relazione relativa all'indagine ambientale sul punto vendita di carburanti Shell 03.014 di Courmayeur (AO).*

MERCALLI L. CAT BERRO D. MONTUSCHI S. CASTELLANO C. RATTI M. & DI NAPOLI G. MORTARA G. GUINDANI N. (2003) – *Atlante climatico della Valle d'Aosta - SMS (Società Meteorologica Subalpina), Graficat, Torino, 403 pp.*

NICOLAS A., HIRN A., NICOLICH R., POLINO R. and ECORS-CROP Working Group, 1990 - *Lithospheric wedging in the western Alps inferred from the ECORS-CROP traverse. Geology* **18**, 587-590

NIGGLI E. and Coworkers, (1978) - *Metamorphic map of the Alps 1:1.000.000 and explanatory text. Subcomm. Cartography metam. Belts of the World, UNESCO, Leiden, pp. 181-242.*

PERELLO P. GIANOTTI F. MONOPOLI B. (2011) – *“Note illustrative della carta geologica d'Italia alla scala 1:50.000 foglio 89 Courmayeur.”* ISPRA, Land Technology & Services – Treviso, p. 152.

POLINO R. et al. (2009) - *Carta geologica d'Italia alla scala 1:50.000, foglio 90 Aosta*, Agenzia per la Protezione dell'Ambiente e per i Serv. Tec., Org. Cartogr. dello Stato, Roma, 2009.

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

REPUBBLICA ITALIANA, (1988) – *Decreto Presidenziale della Repubblica del 24 maggio 1988, n. 236: “Attuazione della direttiva CEE n. 80/778 concernente la qualità delle acque*

*destinate al consumo umano, ai sensi dell'art. 15 della legge 16 aprile 1987, n. 183* – Gazzetta Ufficiale n. **152** del 30 giugno 1988.

REPUBBLICA ITALIANA, (1989) - *Legge 18 maggio 1989, n. 183. "Norme per il riassetto organizzativo e funzionale della difesa del suolo."* Pubblicato nella Gazzetta Ufficiale del 6 giugno 1989. n.**133**

REPUBBLICA ITALIANA, (1997) - *Decreto Ministeriale del 14 febbraio 1997. "Direttive tecniche per l'individuazione e la perimetrazione, da parte delle Regioni, delle aree a rischio idrogeologico."* Pubblicato nella Gazzetta Ufficiale del 6 marzo 1997 n. **54**

REPUBBLICA ITALIANA, (1998) - *Decreto-legislativo del 11 giugno 1998, n. 180. "Conversione in legge, con modificazioni, del decreto-legge 11 giugno 1998, n. 180, recante misure urgenti per la prevenzione del rischio idrogeologico ed a favore delle zone colpite da disastri franosi nella regione Campania"* Gazzetta Ufficiale del 7 agosto 1998 n. **183**

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 n. **88** del 14 aprile 2006.

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**.

REPUBBLICA ITALIANA, (2010) - *DECRETO LEGISLATIVO 23 febbraio 2010, n. 49 “Attuazione della direttiva 2007/60/CE relativa alla valutazione e alla gestione dei rischi di alluvioni”*. - Gazzetta Ufficiale del 2 aprile 2010, **n.77**.

ROURE F., BERGERAT F., DAMOTTE B., MUNIER J.L. & POLINO R., (1996) - *The ECORS-CROP Alpine seismic traverse*. Mem. Soc. géol. France, **v. 170**, 113 pp.

ROURE F., HEITZMANN P. & POLINO R. (Eds.) (1990) - *Deep structure of the Alps*. Mém. Soc. Géol. France, **v. 156**, 367 pp.

SCHIAVO A., (1997) – *Evoluzione tettonica e metamorfica del massiccio del Ruitor*. Tesi Dott. Ricerca Sci. Terra Univ. Padova, con carta geol. 1:10.000.

TECHGEA (2013) – *Indagini geofisiche per l’esplorazione profonda del sottosuolo “piana di Morgex”*. Relazione tecnica.

## **RIFERIMENTI WEB**

RIF. WEB N 1: <http://catastodissesti.partout.it/>

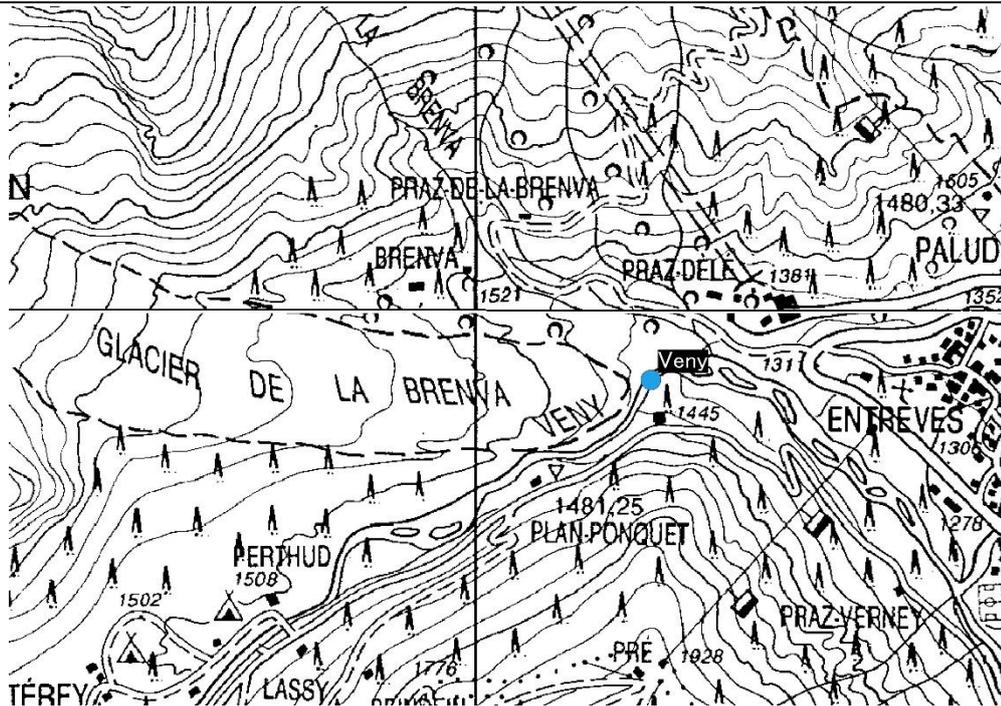
RIF. WEB N 2: <http://geonavsct.partout.it/pub/geowater/>

**ALLEGATI**

**Studio Geologico Ambientale del bacino della Dora Baltea con chiusura a La Salle (AO)**  
**Dipartimento di Scienze della Terra - Università degli Studi di Torino**

<b>SIGLA:</b>	Veny	<b>Data sopralluogo:</b>	26/11/2018
<b>Coord. UTM X:</b>	340609	<b>Coord. UTM Y:</b>	5075748
<b>Provincia:</b>	AO	<b>Comune:</b>	Courmayeur
<b>Località:</b>	Entreves	<b>Quota (m s.l.m.):</b>	1400

**Stralcio CTR 1:10000**



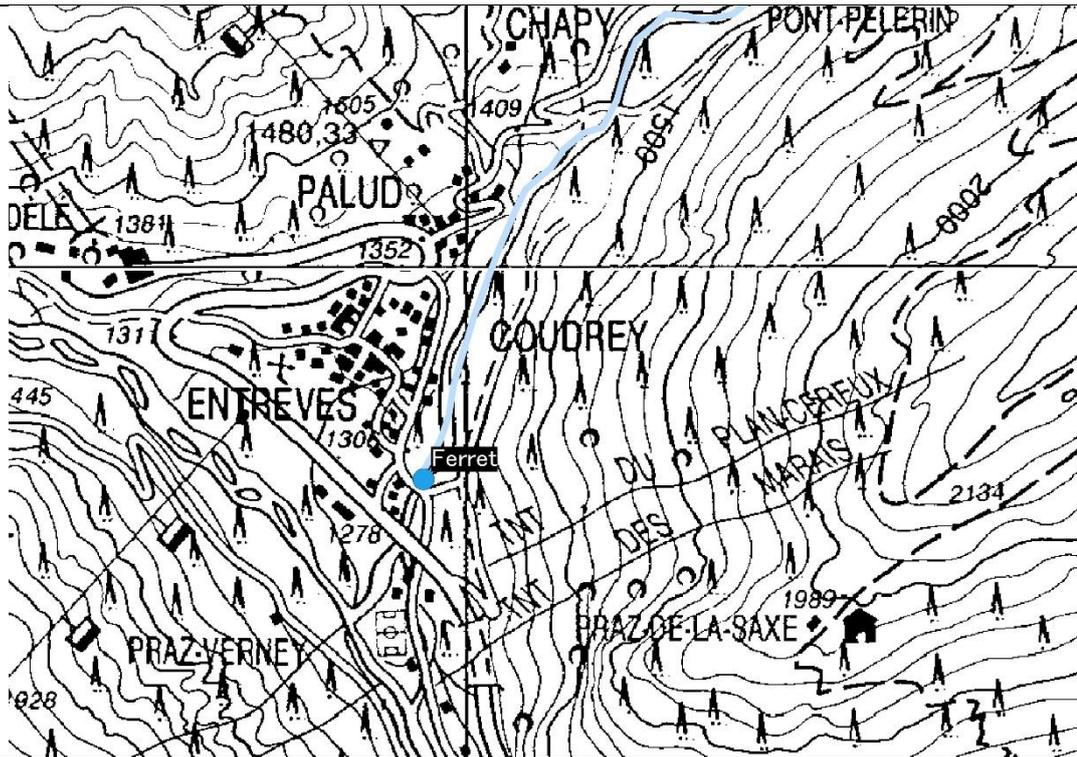
**Foto**



**Studio Geologico Ambientale del bacino della Dora Baltea con chiusura a La Salle (AO)**  
**Dipartimento di Scienze della Terra - Università degli Studi di Torino**

<b>SIGLA:</b>	Ferret	<b>Data sopralluogo:</b>	22/10/2018
<b>Coord. UTM X:</b>	341879	<b>Coord. UTM Y:</b>	5075401
<b>Provincia:</b>	AO	<b>Comune:</b>	Courmayeur
<b>Località:</b>	Entreves	<b>Quota (m s.l.m.):</b>	1290

**Stralcio CTR 1:10000**



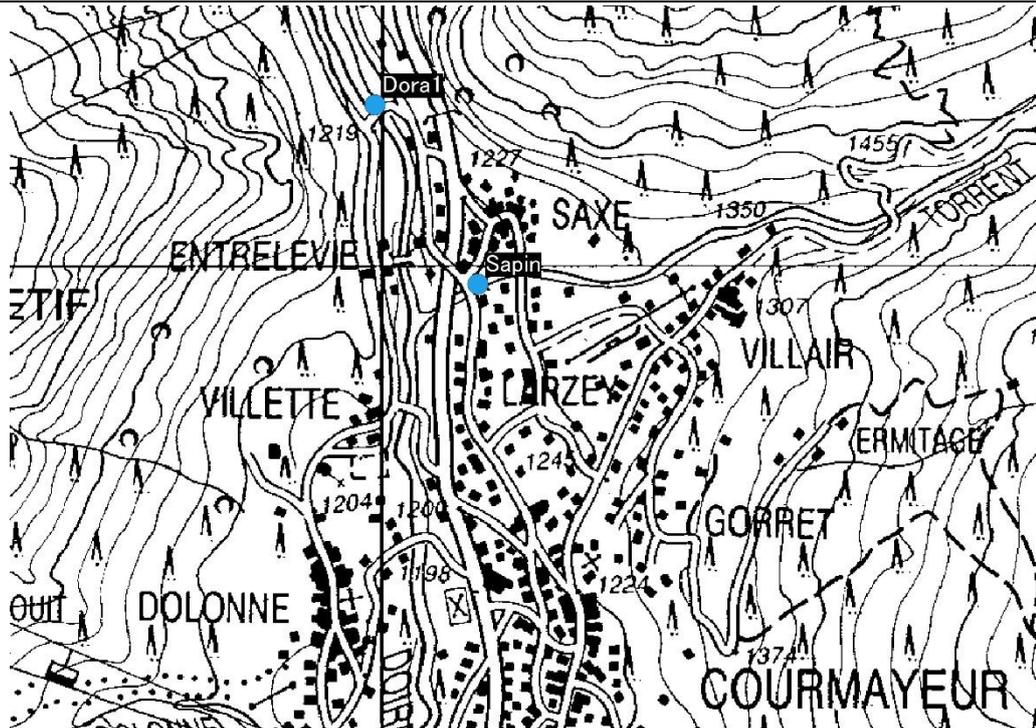
**Foto**



**Studio Geologico Ambientale del bacino della Dora Baltea con chiusura a La Salle (AO)**  
**Dipartimento di Scienze della Terra - Università degli Studi di Torino**

<b>SIGLA:</b>	Dora1	<b>Data sopralluogo:</b>	22/10/2018
<b>Coord. UTM X:</b>	341976	<b>Coord. UTM Y:</b>	5074464
<b>Provincia:</b>	AO	<b>Comune:</b>	Courmayeur
<b>Località:</b>	Entrelevie	<b>Quota (m s.l.m.):</b>	1230

**Stralcio CTR 1:10000**



**Foto**

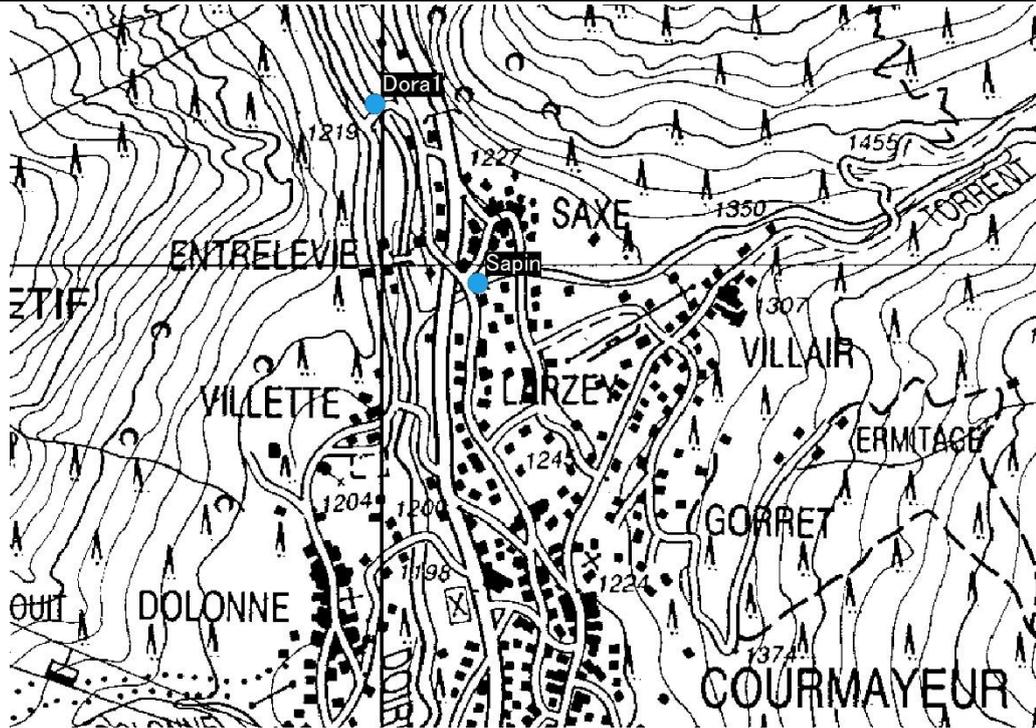


**Studio Geologico Ambientale del bacino della Dora Baltea con chiusura a La Salle (AO)**

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

<b>SIGLA:</b>	Sapin	<b>Data sopralluogo:</b>	22/10/2018
<b>Coord. UTM X:</b>	342274	<b>Coord. UTM Y:</b>	5073942
<b>Provincia:</b>	AO	<b>Comune:</b>	Courmayeur
<b>Località:</b>	Saxe	<b>Quota (m s.l.m.):</b>	1230

**Stralcio CTR 1:10000**



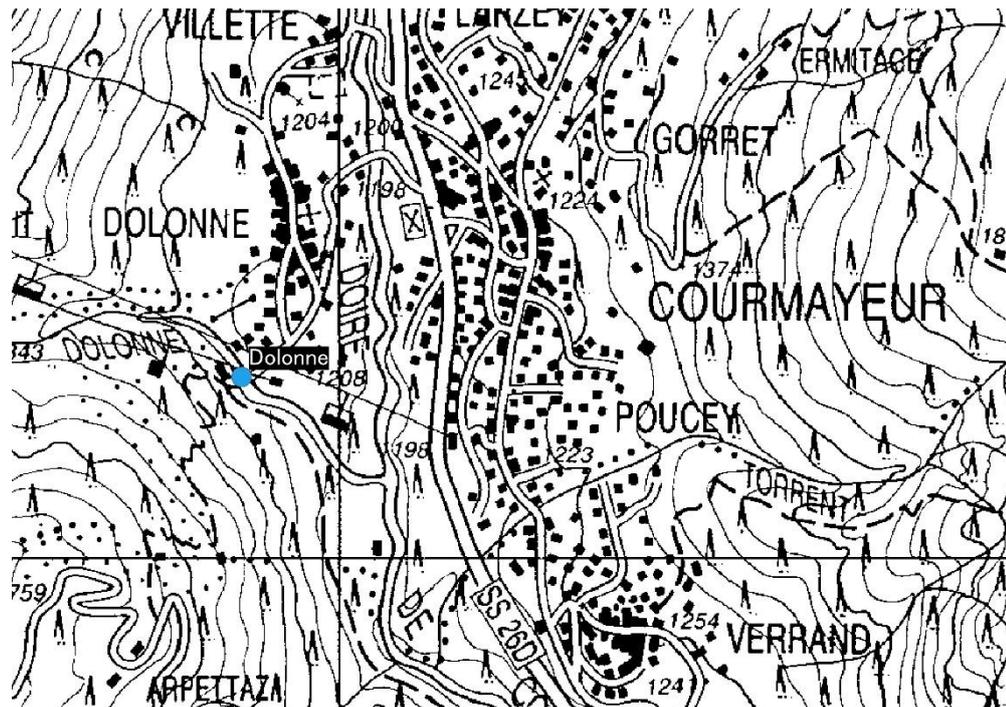
**Foto**



**Studio Geologico Ambientale del bacino della Dora Baltea con chiusura a La Salle (AO)**  
**Dipartimento di Scienze della Terra - Università degli Studi di Torino**

<b>SIGLA:</b>	Dolonne	<b>Data sopralluogo:</b>	26/11/2018
<b>Coord. UTM X:</b>	341705	<b>Coord. UTM Y:</b>	5072542
<b>Provincia:</b>	AO	<b>Comune:</b>	Courmayeur
<b>Località:</b>	Dolonne	<b>Quota (m s.l.m.):</b>	1210

**Stralcio CTR 1:10000**



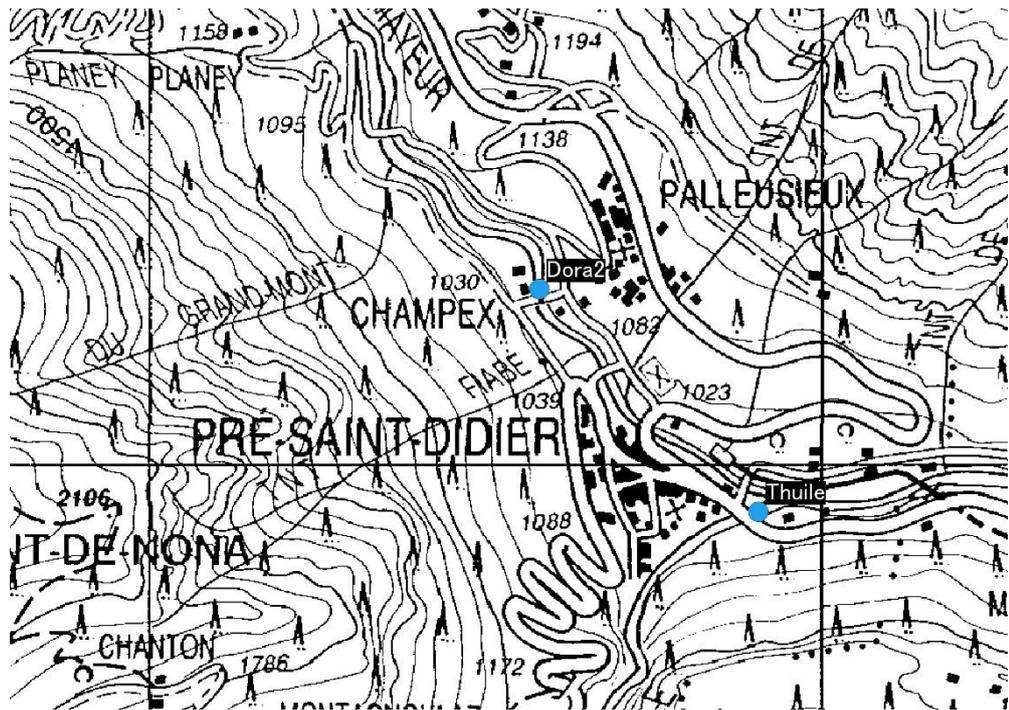
**Foto**



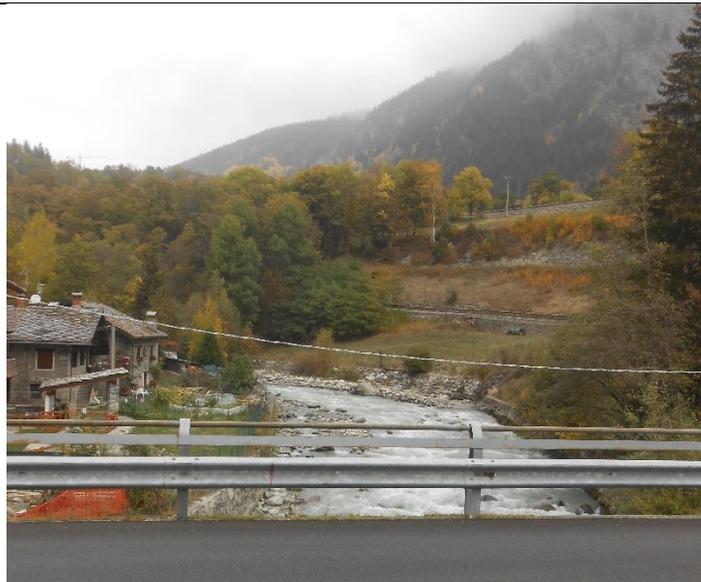
**Studio Geologico Ambientale del bacino della Dora Baltea con chiusura a La Salle (AO)**  
**Dipartimento di Scienze della Terra - Università degli Studi di Torino**

<b>SIGLA:</b>	Dora2	<b>Data sopralluogo:</b>	22/10/2018
<b>Coord. UTM X:</b>	343158	<b>Coord. UTM Y:</b>	5070524
<b>Provincia:</b>	AO	<b>Comune:</b>	Pre-Saint-Didier
<b>Località:</b>	Champex	<b>Quota (m s.l.m.):</b>	1025

**Stralcio CTR 1:10000**



**Foto**

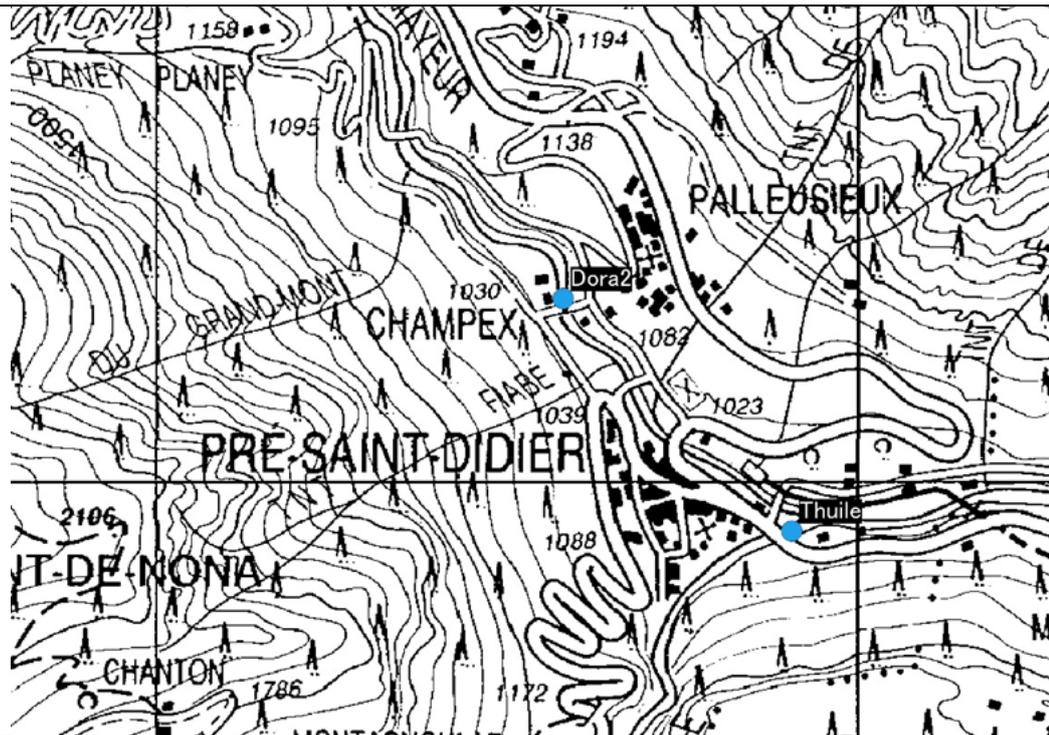


**Studio Geologico Ambientale del bacino della Dora Baltea con chiusura a La Salle (AO)**

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

<b>SIGLA:</b>	Thuile	<b>Data sopralluogo:</b>	22/10/2018
<b>Coord. UTM X:</b>	343811,	<b>Coord. UTM Y:</b>	5069855
<b>Provincia:</b>	AO	<b>Comune:</b>	Pre-Saint-Didier
<b>Località:</b>	Pre Saint Didier	<b>Quota (m s.l.m.):</b>	1000

**Stralcio CTR 1:10000**



**Foto**

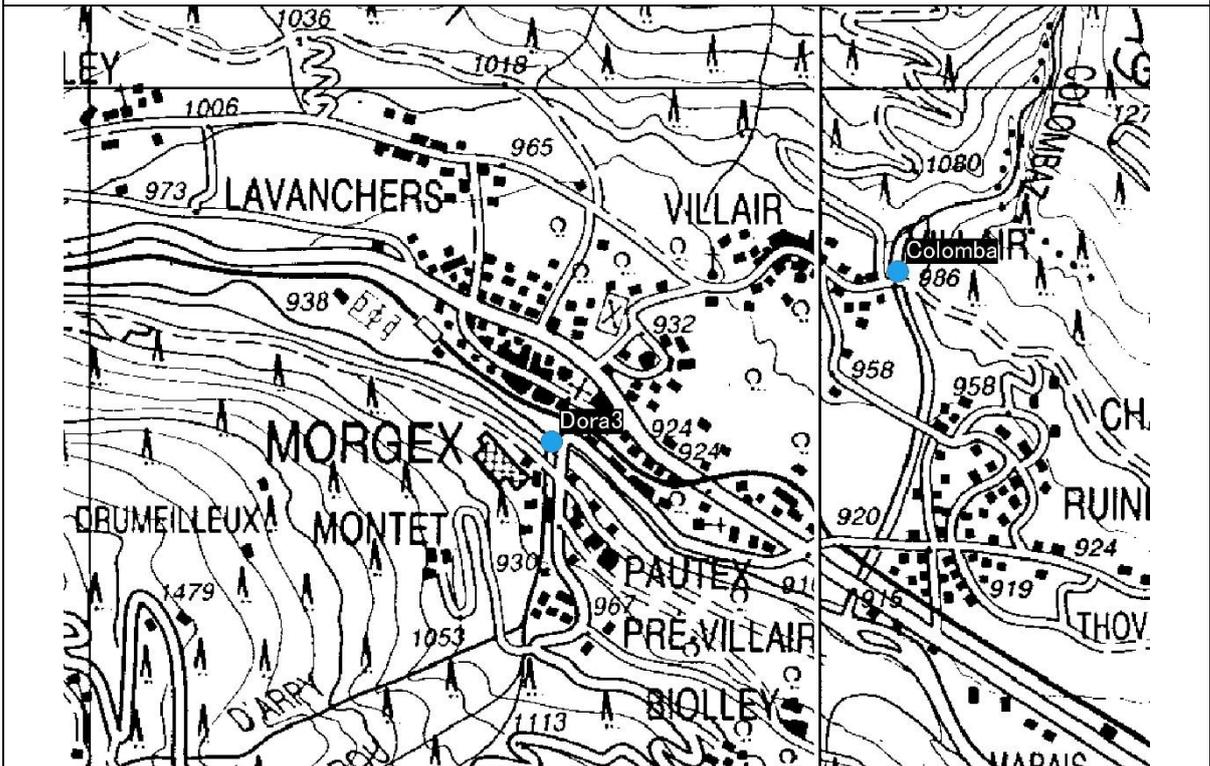


**Studio Geologico Ambientale del bacino della Dora Baltea con chiusura a La Salle (AO)**

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

<b>SIGLA:</b>	Dora3	<b>Data sopralluogo:</b>	22/10/2018
<b>Coord. UTM X:</b>	347266	<b>Coord. UTM Y:</b>	5069024
<b>Provincia:</b>	AO	<b>Comune:</b>	Morgex
<b>Località:</b>	Pautex	<b>Quota (m s.l.m.):</b>	920

**Stralcio CTR 1:10000**



**Foto**



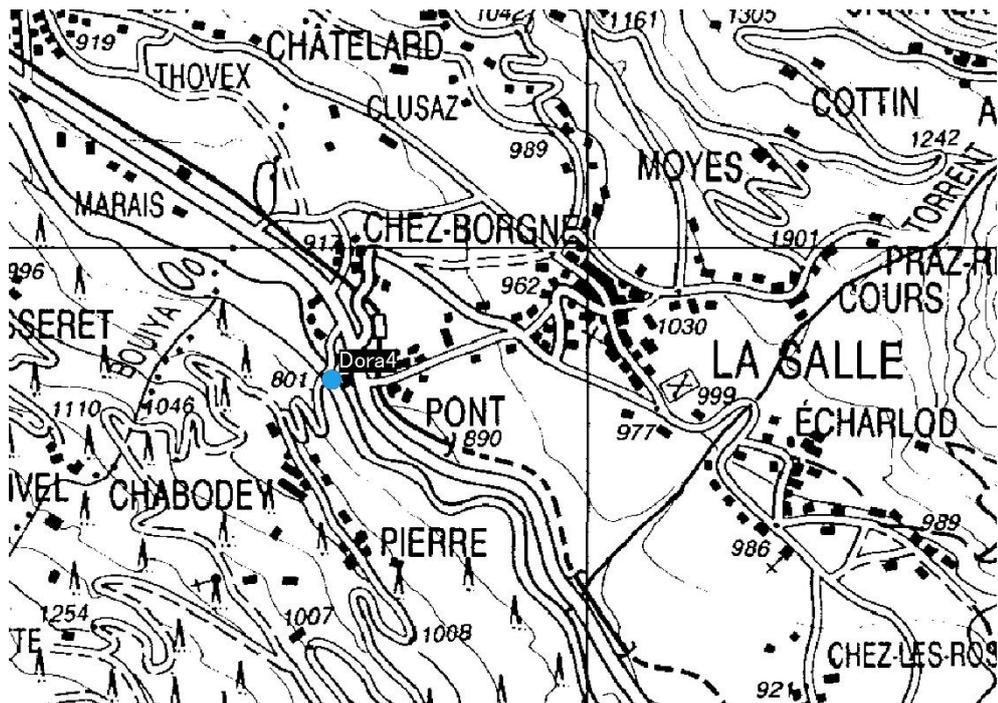


**Studio Geologico Ambientale del bacino della Dora Baltea con chiusura a La Salle (AO)**

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

<b>SIGLA:</b>	Dora4	<b>Data sopralluogo:</b>	22/10/2018
<b>Coord. UTM X:</b>	349237	<b>Coord. UTM Y:</b>	5067598
<b>Provincia:</b>	AO	<b>Comune:</b>	La Salle
<b>Località:</b>	Pont	<b>Quota (m s.l.m.):</b>	890

**Stralcio CTR 1:10000**



**Foto**

