

Idrogeologia della Piana di Aosta (Valle d'Aosta)

DOMENICO A. DE LUCA.*

E-mail: domenico.deluca@unito.it

LUCIANO MASCIOCO*

E-mail: luciano.masciocco@unito.it

PIETRO CAPODAGLIO**

E-mail: p.capodaglio@arpa.vda.it

CATERINA CAVIGLIA*

E-mail: caterina.caviglia@unito.it

MANUELA LASAGNA*

E-mail: manuela.lasagna@unito.it

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

**Arpa Valle d'Aosta

1 INTRODUZIONE

La configurazione idrogeologica della Valle d'Aosta è strettamente legata alla morfologia del territorio, caratterizzata da uno stretto fondovalle circondato dai rilievi della catena alpina. Gli acquiferi più produttivi sono costituiti dai depositi ghiaioso-sabbiosi quaternari, presenti in quantità significative solo nelle zone più ampie del fondovalle, come la piana di Aosta. Le acque in essi contenute rappresentano le più importanti risorse idriche della regione.

Obiettivo del presente lavoro è la ricostruzione idrogeologica della piana di Aosta, a partire dai dati ottenuti condotti da diversi Enti, quali la Regione Autonoma della Valle d'Aosta, l'Arpa Valle d'Aosta, il Comune di Aosta, l'Università di Torino, il Politecnico di Torino e l'Università Bicocca di Milano.

2 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E GEOLOGICO DELLA VALLE D'AOSTA

La Valle d'Aosta (Italia nordoccidentale) ha un territorio prevalentemente montuoso, con un'altitudine media di 2100 m s.l.m.. Esso coincide col bacino idrografico della Dora Baltea, il cui fondovalle è circondato dalle cime più elevate d'Europa: Monte Bianco (4.810 m), Monte Rosa (4.609 m), Cervino (4.478 m) e Gran Paradiso (4.061 m).

La Valle d'Aosta è forse l'unico luogo delle Alpi in cui sia in cui sia possibile attraversare in uno spazio relativamente ristretto, tutti i grandi sistemi geologico strutturali (tranne il Sudalpino) in cui è suddivisa la catena alpina, in quanto questi sono incisi trasversalmente dal solco della Dora Baltea (Bonetto & Gianotti, 1998). Da sudest verso nordovest (dall'interno verso l'esterno della catena) si incontrano infatti: Sistema Austroalpino, Zona Piemontese, Sistema Pennidico, Sistema Ultraelvetico, Sistema Elvetico.

Si tratta essenzialmente di *rocce cristalline silicatiche* (poco o affatto permeabili), indicate in Fig. 1 (elaborazione ARPA) con colori verde (rocce prevalentemente ofiolitiche o parametamorfiche) e rosso (rocce prevalentemente gneissiche e metagranitiche), mentre il giallo è riservato ai rari affioramenti di litotipi non silicatici: le *rocce carbonati-*

che, permeabili per fratturazione, presenti nel settore nordorientale (Valtournenche) e in quello sudoccidentale (tra la Valgrisenche e la valle di Cogne) e le *rocce evaporitiche* (gessi), nel settore nordoccidentale. In bianco vengono riportati i diversi *depositi quaternari*: nel fondovalle principale, essi ospitano il più importante sistema acquifero della regione.

3 IDROLOGIA E IDROGEOLOGIA DEL TERRITORIO VALDOSTANO

Il territorio valdostano appartiene interamente al bacino della Dora Baltea, affluente di sinistra del Po, che dalla sorgente, sul Monte Bianco, fino al confine con il Piemonte, nei pressi di Pont Sant Martin, percorre in totale circa 100 km, e presenta un bacino piuttosto complesso, costituito da numerosi torrenti affluenti di origine glaciale.

morfogenesi (Fig. 2 a, b, c), non solamente nelle zone poste a quote maggiori, ma anche nei settori di fondovalle sino alla confluenza con la pianura piemontese. Dopo la fase di massima espansione würmiana, i grandi apparati glaciali ancora formanti un unico complesso iniziano a scindersi in singoli corpi ritirandosi nelle rispettive vallate. Con il progressivo ritiro del Ghiacciaio della Dora Baltea viene liberata la conca di Aosta, in corrispondenza della quale si forma un ampio lago, esteso a valle sino allo sbarramento formato da un rilevante crollo roccioso tardi glaciale (denominato frana del Monte Avi). Contemporaneamente al procedere della sedimentazione del bacino lacustre, l'alveo dell'emissario, scorrendo sull'accumulo di frana, lo erode progressivamente, causando prima l'abbassamento della superficie del lago e poi il suo svuotamento.

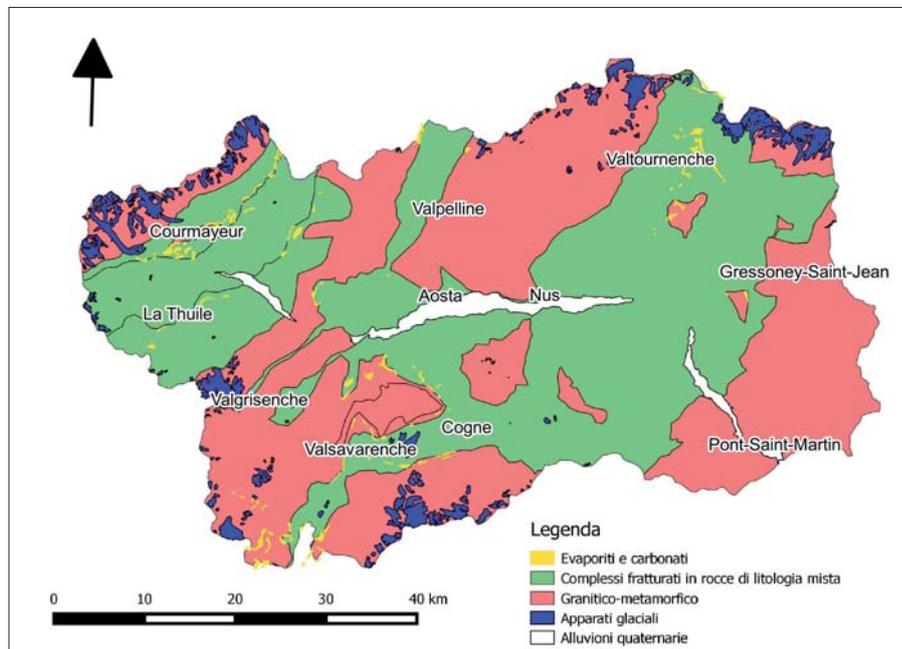


Figura 1 – Carta geologica semplificata della Valle d'Aosta. Si tratta essenzialmente di rocce cristalline silicatiche indicate con colore verde (prevalenti litotipi parametamorfiche) e rosso (prevalenti litotipi ortometamorfiche). Dal colore giallo si possono invece riconoscere i rari affioramenti di: rocce carbonatiche, presenti nel settore nordorientale (Valtournenche) e in quello sudoccidentale (tra la Valgrisenche e la valle di Cogne); rocce evaporitiche (gessi) presenti nel settore nordoccidentale. In bianco vengono riportati i depositi quaternari di fondovalle e in blu gli apparati glaciali

Il territorio della regione è tipicamente glaciale, caratterizzato da una morfologia a "U" della vallata principale. Nel corso del Pleistocene i fenomeni legati alla glaciazione hanno controllato in modo determinante la

Il fondo della conca di Aosta diviene così un fondovalle alluvionale, percorso dalla Dora e modellato principalmente dalla dinamica evolutiva dei meandri fluviali. In corrispondenza della confluenza tra le singole

valli laterali e quella principale si formano conoidi alluvionali su cui sorgono molti centri abitati valdostani, mentre sul fondovalle si forma una spessa coltre di depositi ghiaioso-sabbiosi all'interno dei quali si sono impostate le principali falde della regione (Bianquin, 2010).

Si possono distinguere due situazioni ben differenziate dal punto di vista idrogeologico nelle zone montane e nel fondovalle della Dora Baltea:

la circolazione idrica in roccia è limitata alle zone di frattura: in questo caso, gli acquiferi produttivi, captati tramite sorgenti, sono localizzati molto spesso in corrispondenza delle coperture detritiche di versante. Gli acquiferi più produttivi sono comunque localizzati in corrispondenza dei principali settori di fondovalle, caratterizzati dalla presenza di depositi alluvionali quaternari ghiaioso-sabbiosi.

acquiferi più significativi sui quali insiste la quasi totalità dei pozzi esistenti, nonché alle zone più antropizzate, nelle quali è concreto il pericolo di contaminazione delle sottostanti falde idriche.

I settori di fondovalle nei quali sono stati individuati i corpi idrici sotterranei più significativi sono: la piana di Morgex, la piana di Aosta, le piane di Verrès-Issogne-Arnad, e la piana di Pont-Saint-Martin-Donnas (Fig. 3). In tali aree viene effettuato il monitoraggio delle acque sotterranee da parte dell'ARPA Valle d'Aosta.

Lo spessore dei sedimenti può variare sensibilmente tra valori massimi di qualche centinaio di metri, in corrispondenza dei tratti dove il ghiacciaio ha notevolmente scavato il substrato roccioso (ad esempio in corrispondenza della città di Aosta), e valori minimi (poche decine di metri) in corrispondenza di gradini glaciali di valle; di conseguenza sul

l'uso delle acque estratte è ripartito abbastanza equamente tra quello civile (44%) e quello industriale (47%), mentre solo il 9% dei prelievi è destinato all'uso irriguo.

Nel 2001, nella sola piana d'Aosta, sono stati prelevati 6 milioni di metri cubi da 8 pozzi acquedottistici e 18 milioni di metri cubi da 9 pozzi dello stabilimento industriale Cogne Acciai Speciali (Regione Autonoma Valle d'Aosta, 2006).

3.1 RICOSTRUZIONE LITOSTRATIGRAFICA DELLA PIANA DI AOSTA

Le indagini geofisiche effettuate tramite stendimenti lungo l'asse vallivo tra l'abitato di Sarre e quello di Grand Pollein hanno consentito di ricostruire l'andamento del substrato cristallino su cui si sono depositi i sedimenti che colmano la conca aostana (Armando & Dal Piaz, 1970); il substrato si colloca ad una profondità variabile tra 100 e 200 m in



Figura 2 – Schema concettuale delle fasi di ritiro del ghiacciaio della Dora Baltea, da 20000 anni fa in fase di avanzata a), al progressivo ritiro con formazione di un lago di sbarramento b), fino alla formazione del fondovalle alluvionale della piana di Aosta c). Da Arpa Valle d'Aosta, (2016)

Le aree di fondovalle della Dora Baltea, pur rappresentando una porzione esigua del territorio valdostano (circa 60 km² su un totale di 3200 km²), rivestono nella regione un'importanza fondamentale dal punto di vista dell'approvvigionamento idrico; esse infatti corrispondono, in virtù della presenza di potenti depositi alluvionali permeabili, agli

fondovalle le condizioni idrogeologiche possono variare rapidamente in funzione della natura e del diverso spessore del materasso di depositi di ambiente glaciale e fluviale.

Condizionati dalla distribuzione e dalle dimensioni degli acquiferi di fondovalle, i pozzi sono concentrati prevalentemente nell'area di Aosta e secondariamente in quella di Verrès;

corrispondenza di Villeneuve e Gressan, si approfondisce fino a raggiungere i 270-300 m al confine comunale della città di Aosta per poi risalire più a valle presso Villefranche e Saint-Marcel. Lo studio ha portato alla definizione di tre "strati" con caratteristiche diverse: 1) strato superficiale ("aerato"), identificato dagli autori come alluvioni grossolane recenti della Dora Baltea; 2) strato profondo: sedimenti fini di origine lacustre e/o glaciale; 3) substrato, compatibile con le proprietà fisiche dei calcescisti, delle metaofioliti della Zona Piemontese e del basamento del M. Mary.

Una ricostruzione grafica della sezione della piana di Aosta è stata elaborata da Bonetto & Gianotti (1998) con una prima ipotesi sulla natura dei depositi che colmano la conca (Fig. 4).

I dati litostatigrafici derivanti dalla perforazione di pozzi sono in genere limitati alle prime decine di metri di profondità e durante le perforazioni non è mai stato raggiunto il substrato roccioso, per cui la presenza di un acquifero profondo è stata finora solo ipotizzata.

In base all'esame di numerose sezioni litostatigrafiche di pozzi e piezometri è stato possibile ricostruire l'assetto idrogeologico

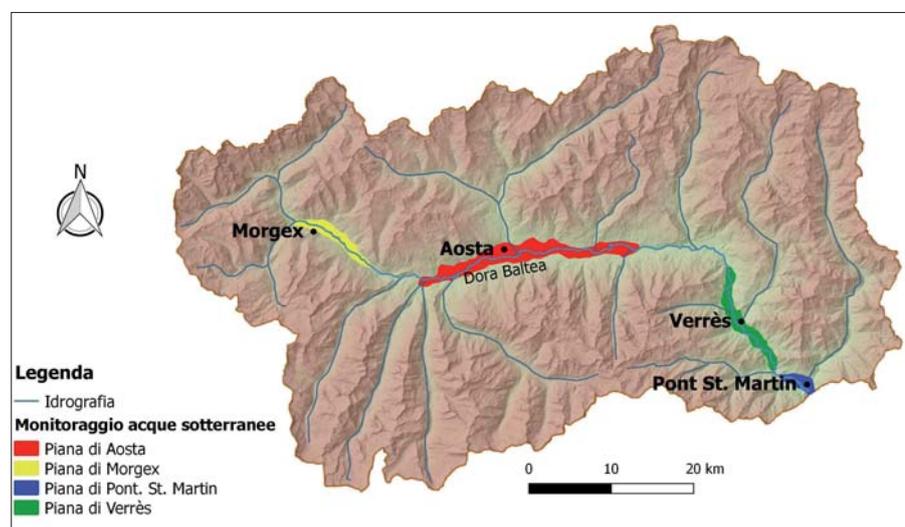


Figura 3 – Aree di fondovalle sede dei principali acquiferi della regione Val d'Aosta. In rosso la Piana di Aosta. Dati da Arpa Valle d'Aosta (2014)

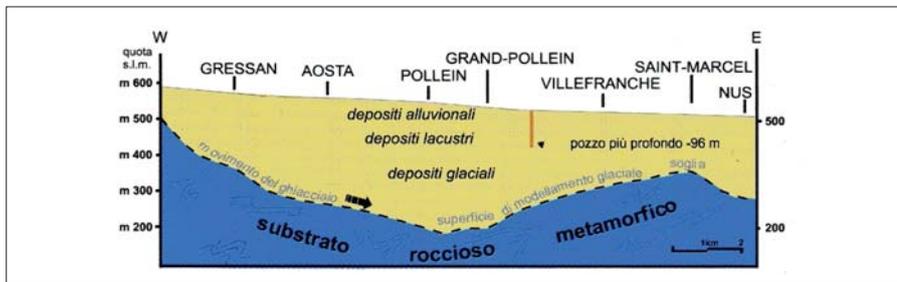


Figura 4- Profilo del sottosuolo del fondovalle della Dora tra Gressan e Nus. I sedimenti glaciali, lacustri ed alluvionali, spessi fino a 350 m, rivestono il substrato roccioso modellato a conca dall'esarazione del ghiacciaio balteo (da Bonetto & Gianotti 1998).

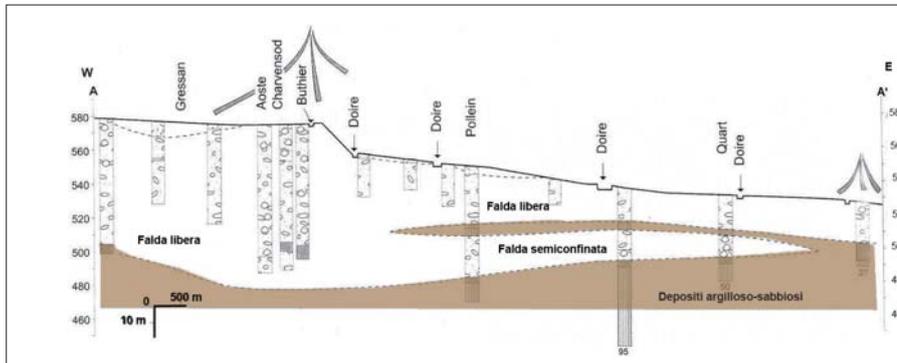


Figura 5- Profilo geologico e litostratigrafico longitudinale della piana di Aosta fino ad una profondità di 80-100 m. (da Triganon *et al.*, 2003, modif.)

della piana di Aosta (Fig. 5). Tra Gressan e Aosta l'acquifero appare monostrato e contenente una falda a superficie libera, costituita da depositi alluvionali ghiaioso-sabbiosi con elevati valori di conducibilità idraulica. Più a valle, verso la zona di Pollein, l'acquifero superficiale si differenzia in due acquiferi sovrapposti, separati da un livello semipermeabile limoso-argilloso di alcuni metri. L'acquifero inferiore è di tipo semiconfinato, con uno spessore massimo di 25 m, e si estende fino a Brissogne-Quart; l'acquifero superiore, libero, con spessore di circa 20 – 30 m, si estende fino a valle del bacino di Aosta. Localmente è sovrastato da livelli limosi di copertura, con spessore di 1-3 m (Triganon *et al.*, 2003; Novel *et al.*, 2002).

Tra 120 e 300 metri sono presenti probabilmente depositi glaciali e fluvioglaciali al di sopra del substrato roccioso metamorfico, che costituiscono un acquifero profondo non utilizzato.

Recentemente nella piana di Aosta sono state eseguite nuove indagini geofisiche con l'impiego di metodi diversi e complementari:

- metodo geoelettrico multi-elettrodo (ERT – Electrical Resistivity Tomography), per definire le caratteristiche litostratigrafiche dei depositi fluvio-glaciali entro i primi 200 m di profondità;
- sondaggi elettromagnetici (TDEM), per valutare le caratteristiche dei depositi più profondi (tra 200 e 350- 400 m di profondità);
- sondaggi di «rumore sismico» (Horizontal-to-Vertical Spectral ratio, HVSR) per valutare la velocità media delle onde di taglio del sottosuolo.

Gli stendimenti hanno interessato le zone di Pollein, Saint Christophe – Aeroporto e Fenis. In base a queste indagini è stato proposto un modello idrogeologico semplificato (Capodaglio & Simonetto, in stampa), in cui si rileva la presenza di un substrato a profondità maggiori di 300 metri e si individua la possibile presenza di un acquifero profondo all'interno di depositi sabbiosi e ghiaiosi con limo, potente circa 200 metri e protetto dai

sovrastanti depositi lacustri (Fig. 6 a e b). Gli spessori più elevati dei depositi alluvionali ghiaioso sabbiosi e glaciali (350-360 m) si raggiungerebbero nella zona di Pollein.

3.2 PARAMETRI IDROGEOLOGICI

A partire dagli anni '90 sono state effettuate prove di portata, da diversi enti e su diversi pozzi nella piana di Aosta. I risultati si attestano attorno a valori medi di trasmissività pari a $2 \cdot 10^{-1} \text{ m}^2/\text{s}$ e di permeabilità pari a $2 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$, per uno spessore di acquifero stimato pari a 100 m. Si tratta di valori elevati, propri di un acquifero molto produttivo costituito da materiale a granulometria grossolana.

Altri valori sono stati proposti negli studi di simulazione idrogeologica mediante i modelli di flusso di Triganon *et al.* (2003), e di De Maio (2010): secondo il primo la conducibilità idraulica presenta, da ovest verso est, valori da $1 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$ (Aymaville e Gressan), a $5 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$ sul conoide del Torrente Buthier, e $5 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$ nella zona di Pollein; secondo De Maio, la conducibilità presenta valori nella zona occidentale di $2 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$ (Aymavilles), $5 \cdot 10^{-5}$ (Gressan) e valori di $1 \cdot 10^{-2} \text{ m/s}$ sul conoide del Torrente Buthier e di $1 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$ verso Pollein. Un'ulteriore zona di elevata permeabilità viene identificata tra il conoide del Torrente Buthier e Pollein, cui viene attribuita da entrambi gli autori una conducibilità idraulica dell'ordine di 10^{-2} m/s .

In base ad un approccio stocastico, basato sull'interpretazione di dati stratigrafici, secondo Bonomi *et al.* (2013), la distribuzione della conducibilità idraulica dell'acquife-

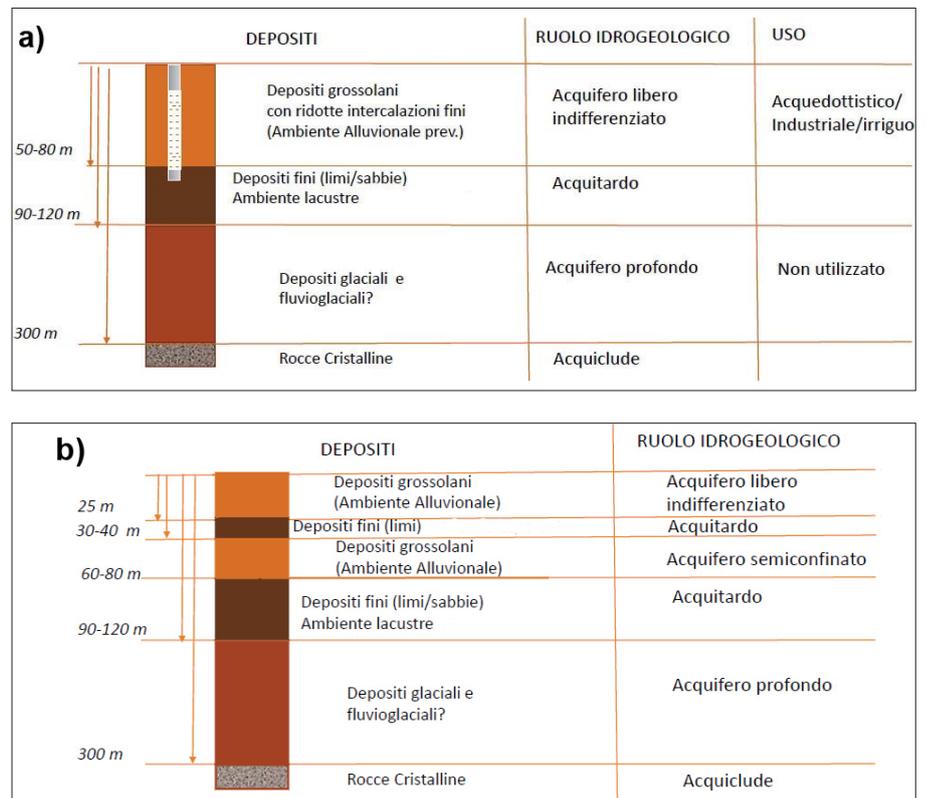


Figura 6 – Quadro idrogeologico della piana di Aosta a monte di Pollein (a) e a valle di Pollein (b), fino al substrato roccioso.

ro varia tra valori di $1 \cdot 10^{-5}$ m/s e $4 \cdot 10^{-3}$ m/s, mentre un valore di $0,5 \cdot 10^{-5}$ m/s è attribuibile al limo profondo.

3.3 PIEZOMETRIA DELLA FALDA SUPERFICIALE

Nelle Figg. 7a e 7b, vengono riportate le carte piezometriche della piana di Aosta, relative rispettivamente a febbraio 2006 (De Luca *et al.*, 2006) e a giugno 2013 (Arpa Valle d'Aosta, 2013).

L'andamento delle isopieze è piuttosto regolare, con direzione principale di deflusso orientata da ovest verso est, all'incirca parallela rispetto al corso della Dora Baltea. Il confronto tra le due carte piezometriche consente di rilevare che la morfologia e la direzione di deflusso della falda non si modificano sensibilmente dal massimo livello piezometrico (estivo) a quello minimo (invernale).

La soggiacenza della falda è minima nella zona orientale della piana (minore di 5 m in tutte le stagioni) e massima nella zona di Aosta nord e di Sarre (maggiori di 20-25 m).

L'escursione stagionale è massima nella zona di Aosta ovest (anche superiore a 5 m) per decrescere progressivamente nella zona orientale della piana (intorno a 1-2 m nella zona di St. Christophe e Brissogne).

3.4 MONITORAGGIO QUANTITATIVO DELLE ACQUE SOTTERRANEE

La rete di monitoraggio quantitativo delle acque sotterranee è gestita dall'ARPA Valle d'Aosta e consta di circa 60 punti di misura per la sola Piana di Aosta, monitorati a partire dall'anno 2003, e di altri 21 punti per le piane di Verrès, Pont St. Martin, Morgex. In base ai dati disponibili lo stato quantitativo delle acque sotterranee della piana di Aosta e delle altre piane monitorate è buono e non presenta evidenze di sovrasfruttamento: i livelli di falda appaiono sostanzialmente stabili negli anni, indicando l'assenza di fenomeni di depauperamento della risorsa idrica sotterranea.

Il regime della falda presenta una marcata regolarità, con massimo livello (minima sog-

giacenza) nel periodo tardo estivo e minimo livello (massima soggiacenza) in primavera.

Il regime della falda è regolato soprattutto dalla fusione nivale e glaciale che condiziona anche le portate dei corsi d'acqua, con un minimo che si estende all'intero periodo invernale e un massimo stagionale ben definito nel mese di giugno (regime idrologico nivale puro).

Le precipitazioni sul fondovalle, hanno una distribuzione areale tendenzialmente irregolare distribuita nel corso dell'anno, e sono decisamente più abbondanti in bassa valle che nella media valle.

Le correlazioni eseguite tra le suddette variabili evidenziano che il regime termico è il principale fattore regolatore delle escursioni di falda (Bianquin 2010; Arpa Valle d'Aosta, 2014)

3.5 RAPPORTI DORA BALTEA – FALDA IDRICA E BILANCIO IDROGEOLOGICO

Gli studi condotti sui rapporti tra la Dora Baltea e la falda idrica hanno portato a interpretazioni differenti. Secondo P.I.A.H.V.A. (1996), tra Aymavilles e Aosta (nel settore occidentale della piana) la falda non risulta in connessione idraulica col fiume e, tranne che per il tratto a monte di Gressan in cui l'alveo della Dora Baltea presenterebbe permeabilità molto basse, viene da esso alimentata. Ciò, secondo Triganon *et al.* (2003), avverrebbe in particolare nel tratto da Gressan fino alla confluenza col Torrente de Comboué. La Dora drenerebbe invece la falda più a valle, tra Aosta e Pollein e, in misura minore, tra Pollein e St. Marcel dove il fiume ha sostanzialmente una funzione regolatrice delle escursioni piezometriche (P.I.A.H.V.A., 1996). Triganon (2003) sostiene invece un'azione alimentante del fiume per connessione diretta nel tratto tra Pollein a Quart, nel settore orientale, mentre l'assenza di chiari rapporti diretti tra acquifero e fiume è indicata in De Maio (2010). Il bilancio idrogeologico della piana di Aosta è stato calcolato col modello di flusso tridimensionale Modflow 2005 (Harbaugh, 2005), utilizzando la piezometria di gennaio 2009, cioè in condizioni di minimo livello della falda (Bonomi *et al.*, 2015). Secondo quanto risulta dal modello (Fig. 8), nella piana di Aosta convergono:

- 29.300 m³/g per la ricarica dalle piogge e dai versanti laterali;
- 13.000 m³/g per la ricarica dell'acquifero da monte;
- 120.000 m³/g dal sistema idrico superficiale, alimentante nel tratto tra Aymavilles e Pollein (per un tratto di circa 8 km); mentre ne escono:
 - 36.000 m³/g dall'acquifero, a valle;
 - 63.000 m³/g dal prelievo dei pozzi
 - 60.000 m³/g drenati dalla Dora Baltea dopo Pollein (per circa 5 km).



Figura 7 – a) Piezometria della piana di Aosta, ottenuta dalle misure di febbraio 2006 (De Luca *et al.*, 2006); b) Piezometria della piana di Aosta, ottenuta dalle misure di giugno 2013 (Arpa Valle d'Aosta, 2013)

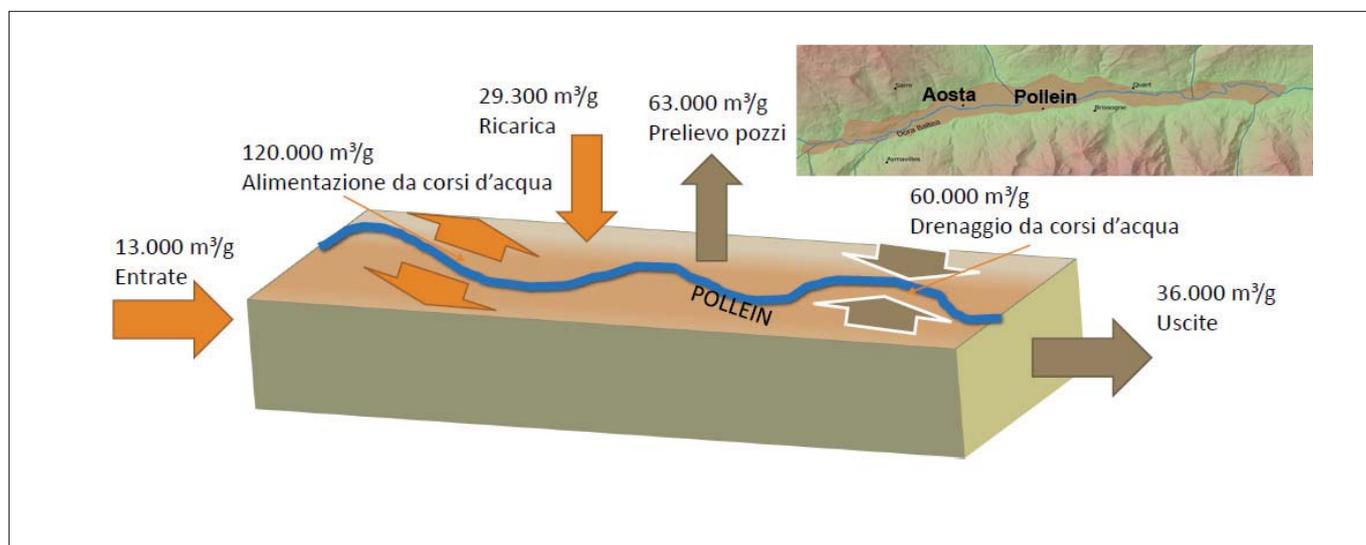


Figura 8 – Schema di bilancio della falda idrica della piana di Aosta (mod. da Bonomi et al., 2015)

3.6 STATO QUALITATIVO DELLA FALDA

Le acque sotterranee della piana di Aosta appartengono prevalentemente alle classi di chimismo bicarbonato-solfato-calcico.

La componente solfato calcica, specialmente nel settore nord-occidentale (Gressan-Charvensod) è dovuta alla presenza di depositi evaporitici triassici (anidriti, gessi), che bordano i limiti delle falde tettoniche, specialmente quelle pennidiche.

La conducibilità elettrolitica è in genere compresa tra 400 e 700 $\mu\text{S}/\text{cm}$, escludendo il settore di Charvensod dove i valori sono più elevati, fino ad oltre 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, per la lisciviazione dei gessi.

Nella zona urbana di Aosta ove sono ubicati i pozzi comunali ad uso potabile non sussistono particolari criticità e la qualità delle acque è soddisfacente (Arpa Valle d'Aosta, 2014). Più a valle il sistema idrogeologico mostra segni di sofferenza qualitativa.

In base alle misure della rete di monitoraggio di ARPA Valle d'Aosta, che consta di 36 punti (1 pozzo e 35 piezometri) si evidenzia una contaminazione da Cromo VI che si origina all'interno delle aree industriali CAS-ex Cogne e va ad interessare anche punti ubicati a valle rispetto alla direzione principale di deflusso della falda.

Nella zona dell'attuale discarica di Brisogne la qualità delle acque è complessivamente più scadente, con superamenti soprattutto di manganese sovente associati a ferro e elevati valori di altri parametri organici. Tale situazione è imputabile non all'attuale impianto di discarica bensì alla presenza nella medesima area di vecchie discariche non regolamentate.

Più localmente, nei comuni di Pollein e St. Christophe, sono inoltre stati individuati due "siti contaminati" (ai sensi del D.Lgs.152/06, Parte Quarta, Titolo V) in cui la falda risulta impattata rispettivamente da solventi clorurati e da ferro-manganese.

4. CONCLUSIONI

Le acque sotterranee della piana di Aosta costituiscono un sistema acquifero molto produttivo, ospitato nei depositi ghiaioso-sabbiosi del fondovalle della regione, e complessivamente soddisfacente dal punto di vista quantitativo, non essendo stati rilevati nel periodo considerato, importanti abbassamenti della falda, in contrasto con quanto avviene in altre regioni italiane dove si riscontrano abbassamenti significativi della falda a causa dell'aumento della siccità e del sovra sfruttamento. Relativamente alla qualità, l'acquifero appare vulnerabile e presenta, in alcune aree, uno stato chimico scarso, a causa di contaminazioni di cromo esavalente, manganese e ferro, che però non interessano le acque destinate all'uso idropotabile ubicate nell'area urbana di Aosta.

BIBLIOGRAFIA

- ARMANDO E. & DAL PIAZ G.V. (1970), *Studio geologico e geofisico della coltre quaternaria nei dintorni di Aosta (osservazioni preliminari)*. Quad. Ist. Ric. Acque, 1-12.
- ARPA VALLE D'AOSTA (2013), *Carta delle isofreatiche della piana di Aosta* - giugno 2013. Disponibile da: http://www.arpa.vda.it/images/stories/ARPA/acquesotterranee/monitoraggio/2013/isofreat_AO_giu13.pdf
- ARPA VALLE D'AOSTA (2014), *Rapporto sullo stato dell'ambiente 2014*. Disponibile da: <http://www.arpa.vda.it/it/relazione-stato-ambiente/archivio-rsa/ix-relazione-sullo-stato-dell-ambiente-2014>
- ARPA VALLE D'AOSTA (2016), *Le acque sotterranee. Porte Aperte Valle d'Aosta*. Disponibile da: <http://www.arpa.vda.it/fr/acque-sotterranee/cosa-sono-le-acque-sotterranee/953/1451>
- BONETTO F. & GIANOTTI F. (1998), *Giardino delle rocce*. Pieghevole. Comune di Pollein.
- BONOMI T., FUMAGALLI L., BENASTINI V., ROTIROTI M., CAPODAGLIO P. & SIMONETTO F. (2013), *Modellazione preliminare del flusso idrico sotterraneo e delle interazioni con le acque superficiali: piana di Aosta*. Acq. Sott. - Ital. J. Groundwater, pp.31-45 DOI 10.7343/AS-017-13-0041

- BONOMI T., FUMAGALLI L., STEFANIA G.A., ROTIROTI M., PELLICOLI F., SIMONETTO F. & CAPODAGLIO P. (2015), *Groundwater contamination by Cr(VI) in the Aosta Plain (northern Italy): characterization and preliminary modeling*. Rend. Online Soc. Geol. It., Vol. 35 (2015), pp. 21-24, 3 fig. (doi: 10.3301/ROL.2015.54)

- CAPODAGLIO P. & SIMONETTO F. - ARPA VALLE D'AOSTA (in stampa). *Indagini geofisiche profonde nella piana di Aosta*.

- DE LUCA D. A., MASCIOTTO L. (2006), *Studio idrogeologico finalizzato alla definizione dello stato qualitativo delle acque sotterranee della Piana di Aosta*. Comune di Aosta – Area 11 – Servizio Idrico Integrato.

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

- HARBAUGH A. W. (2005), *MODFLOW-2005, The U.S. Geological Survey Modular Ground-Water Model-the Ground-Water Flow Process*. U.S. Geological Survey Techniques and Methods 6-A16, 253 pp.

- NOVEL J.P., PUIG J.M., ZUPPI G.M., M. DRAY, M. DZIKOWSKI, C. JUSSERAND, E. MONEY, G. NICOD, A. PARRIAUX, F. POLLICINI (2002), *Complexité des circulations dans l'aquifère alluvial de la plaine d'Aoste (Italie): mise en évidence par l'hydrogéochimie*. Eclogae Geologicae Helvetiae, 95 (2002), 323-331.

- P.I.A.H.V.A. (1996), *Programme International d'Action Hydrogéologique en Vallée d'Aoste*. Rapport final troisième phase. Assessorat de l'Agriculture, des Forêts et des Ressources naturelles. Aoste.

- REGIONE AUTONOMA VALLE D'AOSTA (2006), *Piano di Tutela della Acque. Relazione generale*. Disponibile da: <http://appweb.regione.vda.it/dbweb/pta/faqpta.nsf/RelazioneGenerale?Openform&lng=ita>

- REPUBBLICA ITALIANA (2006), *Decreto Legislativo 3 aprile 2006, n. 152 "Norme in materia ambientale"*. Gazzetta Ufficiale n. 88 del 14 aprile 2006, Supplemento Ordinario n. 96.

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