



Studio idrochimico e isotopico delle acque dell'Alta Valle d'Aosta (Italia)



COLLABORAZIONI:



Relatori:
Domenico A. DE LUCA e
Manuela LASAGNA

Candidato:
Barbara GRAPPEIN

Correlatore:
Pietro CAPODAGLIO (ARPA VdA)

A.A. 2018-2019

Premessa e finalità dello studio

Monitoraggio qualitativo delle acque dell'Alta Valle d'Aosta attraverso il campionamento di:

- ❖ Acque SUPERFICIALI;
- ❖ Acque SOTTERRANEE;
- ❖ Acque di PRECIPITAZIONE (pioggia + neve)

Analizzate dal punto di vista:

- ❖ IDROCHIMICO
- ❖ ISOTOPICO



STUDIO CONDOTTO IN COLLABORAZIONE CON:



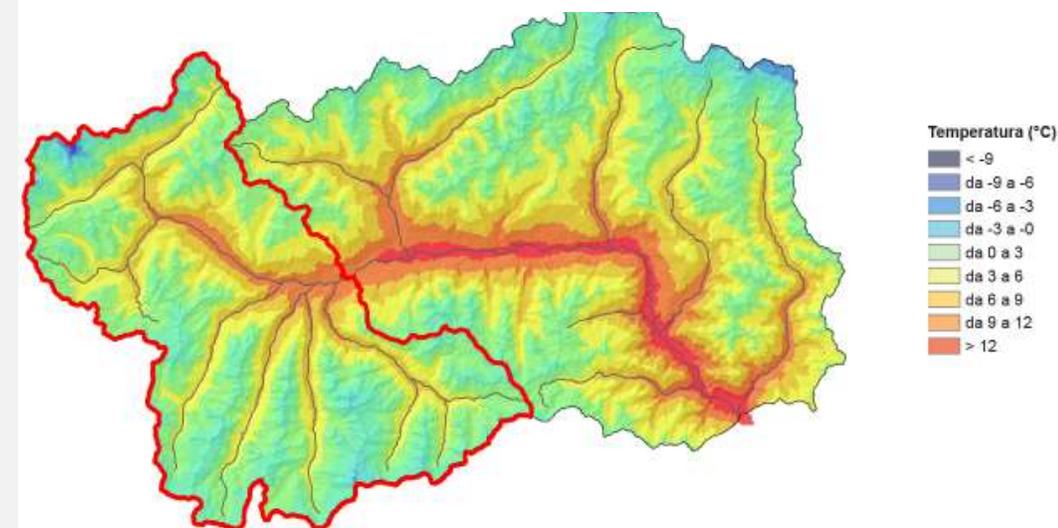
Inquadramento geografico e climatico

- **Territorio montuoso:** quota media > 2100 m s.l.m.
- **Ghiacciai:** ca. 4% del territorio, soggetti a forte ritiro negli ultimi anni;
- **Precipitazioni:** scarse sul fondovalle, aumentano con la quota e nei settori di confine;
- **Clima:** semi-continentale di montagna temperato-freddo → differenze di altitudine e ≠ orientamento dei versanti (Adrèt vs Envers).

Carta della PIOVOSITA' 2017. tratto e modificato da CF REGIONE VDA (2017, web).



Carta delle TEMPERATURE MEDIE annuali 2017. Tratto e modificato da CF REGIONE VDA (2017, web).



Inquadramento geologico (1di3)

(DOMINIO AUTROALPINO)

DOMINIO PENNIDICO

1. **ZONA PIEMONTESE DEI CACESCISTI CON PIETRE VERDI:** Valsavarenche e bassa Valle di Cogne → unità ofiolitiche di Rovenaud e della Grivola + ZdT Trajo-Belleface;
2. **MCI:** Gran Paradiso;
3. **SISTEMA MULTIFALDA DEL GSB:** settore centrale dell'area → Unità del Rutor, Unità di Leverogne, Unità del Grand Nomenon + ZdT Tsaboc, Félumaz, Entrelor;
4. **PENNIDICO INF.:** LTH e Courmayeur → Zona del Versoyen, Zona delle Breccie di Tarantasia;

FRONTE PENNIDICO (PSD, vd. terme)

M. Grivola



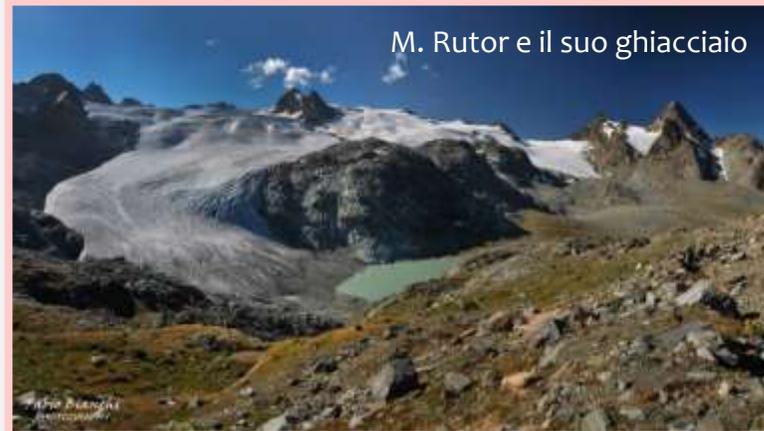
Federico_Camangi© in <Flickr>

Massiccio del Gran Paradiso



Lorenzo Ballino© in <3b meteo>

M. Rutor e il suo ghiacciaio



Pyramides Calcaires



Francofranco56© in <Wikipedia>

Inquadramento geologico (2di3)

(DOMINIO AUTROALPINO)

DOMINIO PENNIDICO

FRONTE PENNIDICO (PSD, vd. terme)

DOMINIO ELVETICO-ULTRAEVETICO: Courmayeur →
cuneo lustrico Ultraelvético del Mont Chétif, falda del
Mont Frety + ZdT Fronte Brianzese, Fronte interno
Houillère

1. MCE: Monte Bianco

Massiccio del M. Bianco



n.d. <web>

Inquadramento geologico (3di3)

FORME E DEPOSITI QUATERNARI

- Forme e depositi **glaciali** s.l.;
- Forme e depositi di origine **fluviale**;
- Forme e depositi di origine **gravitativa**

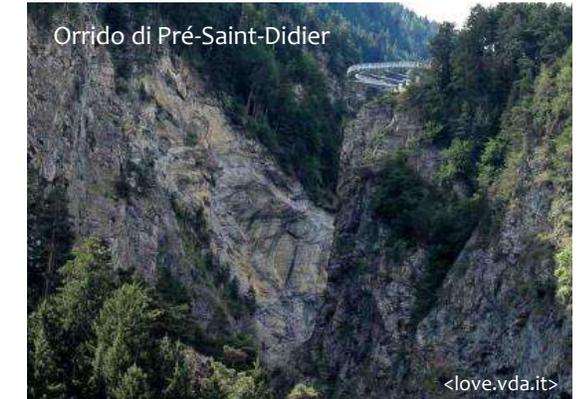
I prati di S. Orso - Cogne



Conoide di La Salle

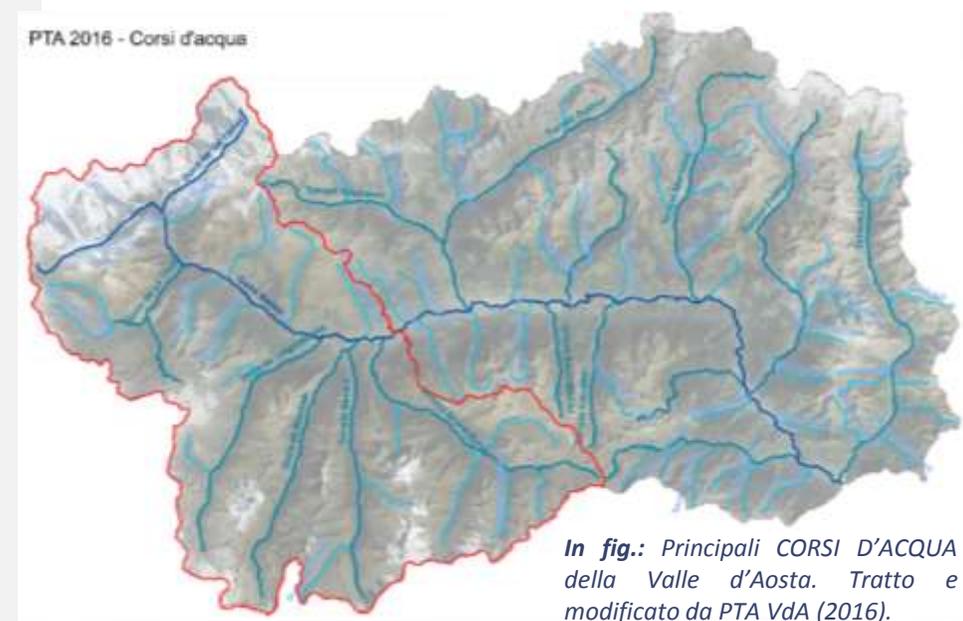
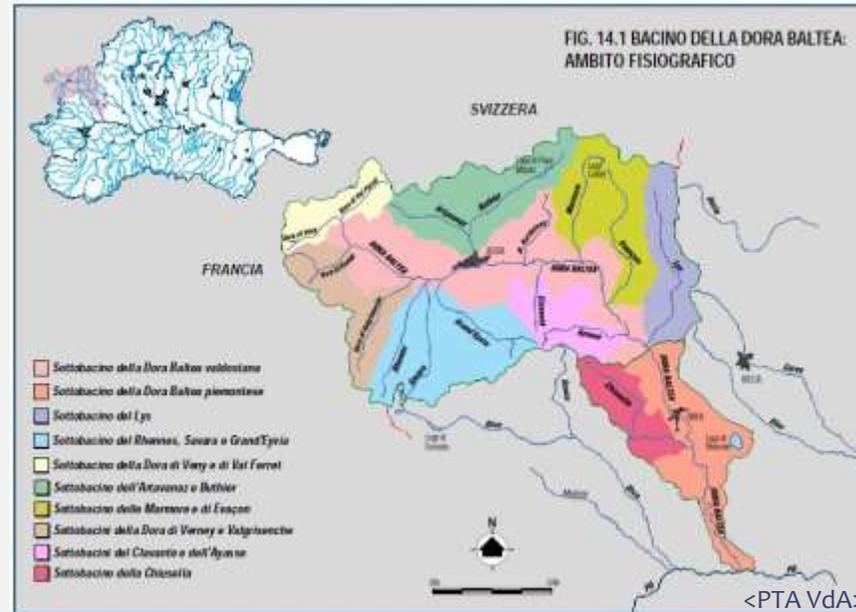


Orrido di Pré-Saint-Didier



Inquadramento idrografico

- Distretto idrografico del Fiume Po
→ Bacino del F. Dora Baltea con chiusura a Aymavilles;
- Corpi idrici superficiali: F. Dora Baltea, torrenti Dora di Ferret, Dora di La Thuile, Dora di Valgrisenche, Dora di Rhêmes, Savara, Grand Eyvia;

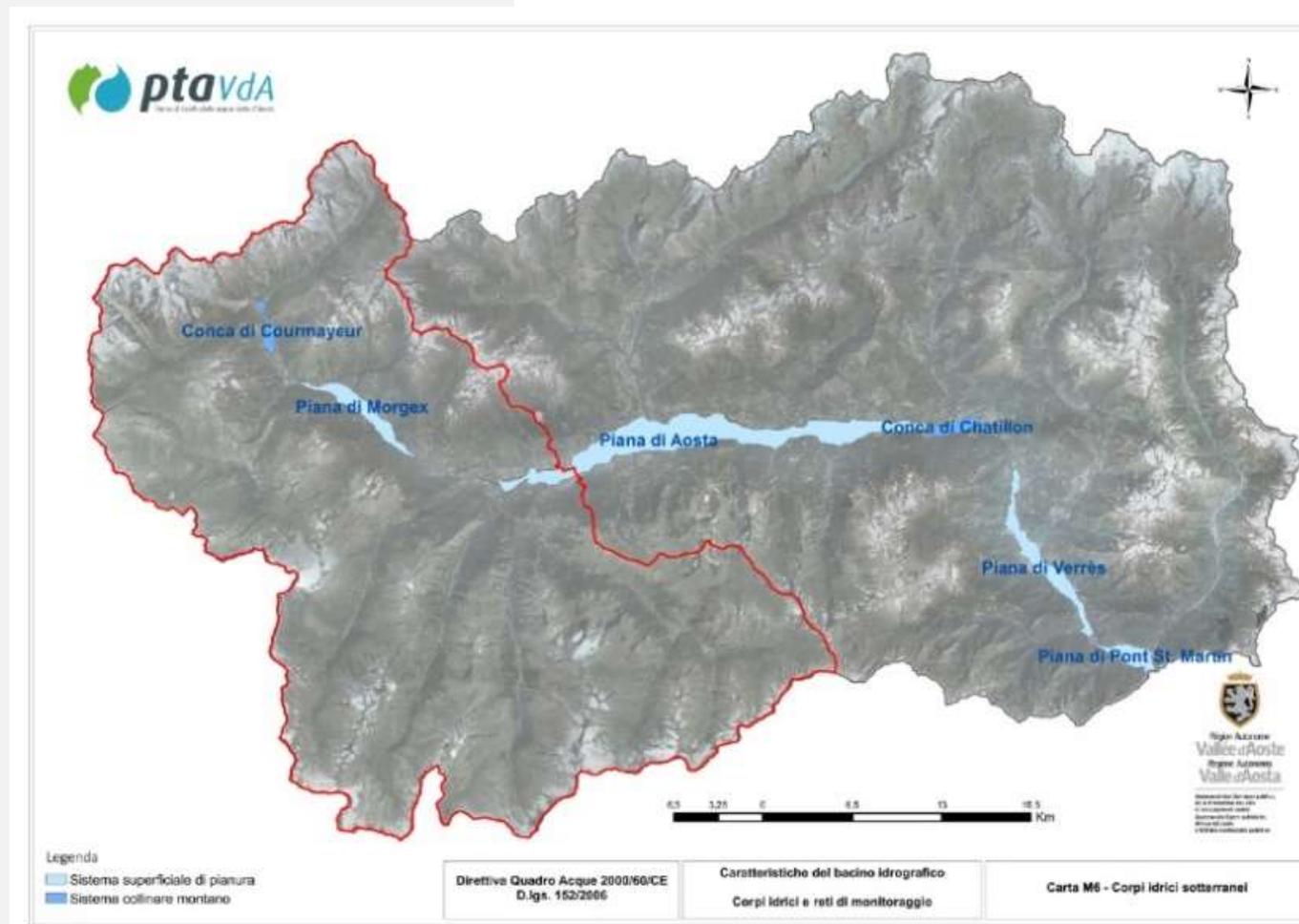


Inquadramento idrogeologico

LE ACQUE SOTTERRANEE

- Copri idrici sotterranei: Piana di Aosta, Conca di Morgex, Conca di Courmayeur

→ circolazione delle acque in depositi quaternari



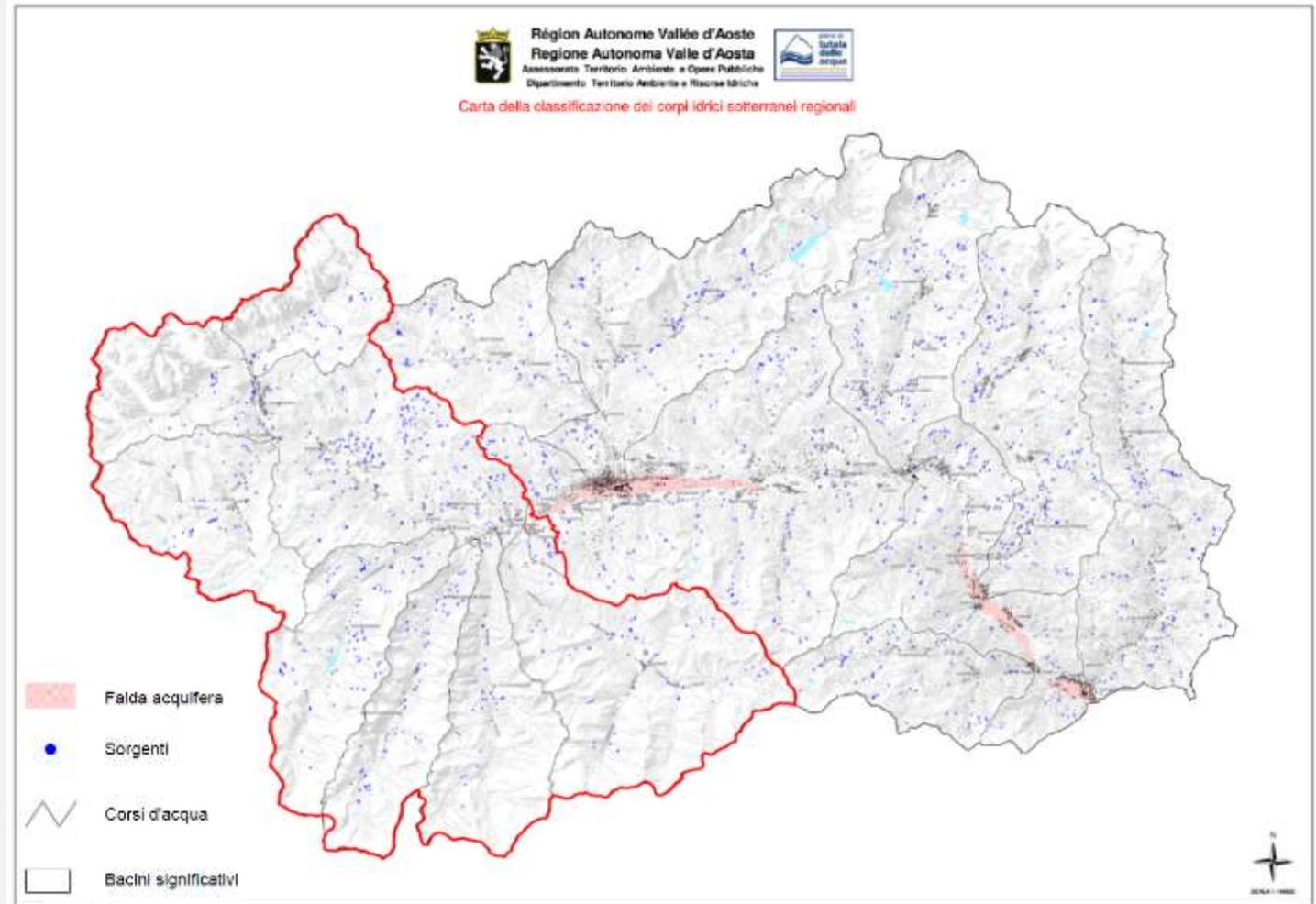
In fig.: i CORPI IDRICI SOTTERRANEI regionali. Tratto e modificato da PTA VdA (2016).

Inquadramento idrogeologico

LE ACQUE SOTTERRANEE

- **Sorgenti** nella VdA: 1.698, captate per diversi usi, ma plausibilmente > 5.000

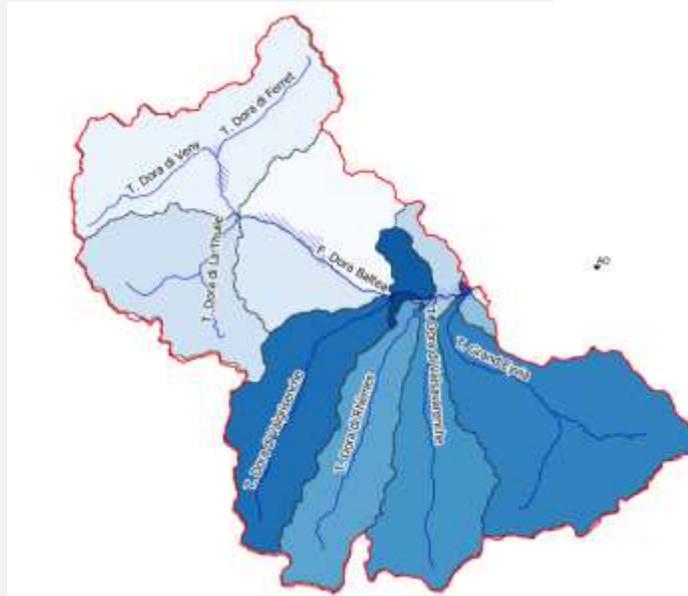
→ Prevalente **circolazione** delle acque **in roccia** (fratturazione e locale carsismo) + emergenze in zone di contatto tra depositi quaternari e substrato roccioso.



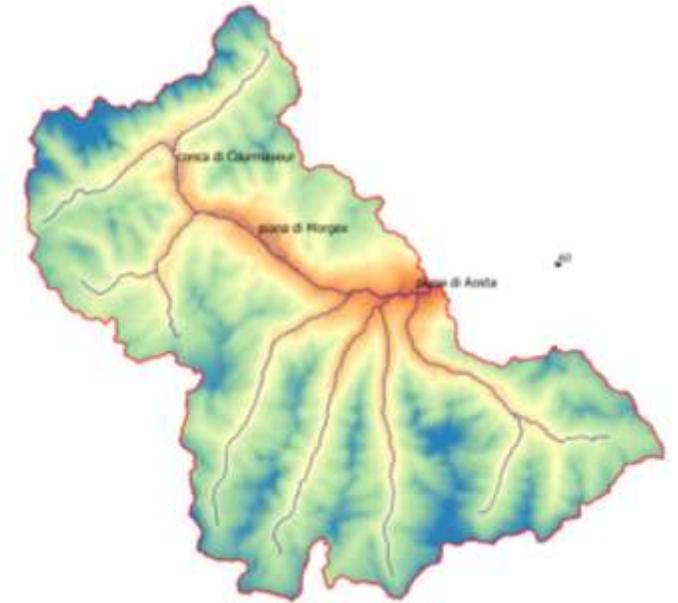
In fig.: Carta delle principali SORGENTI. Tratto e modificato da <regione.vda.it>

Studio dell'area in ambiente GIS

- Individuazione dei sottobacini (GRASS)
- Individuazione delle aree di accumulo idrico \cong acquiferi sotterranei (QGIS+GRASS)



In fig.: SOTTOBACINI dell'area studiata. Gli elementi lineari in blu indicano i principali corsi d'acqua dell'area.



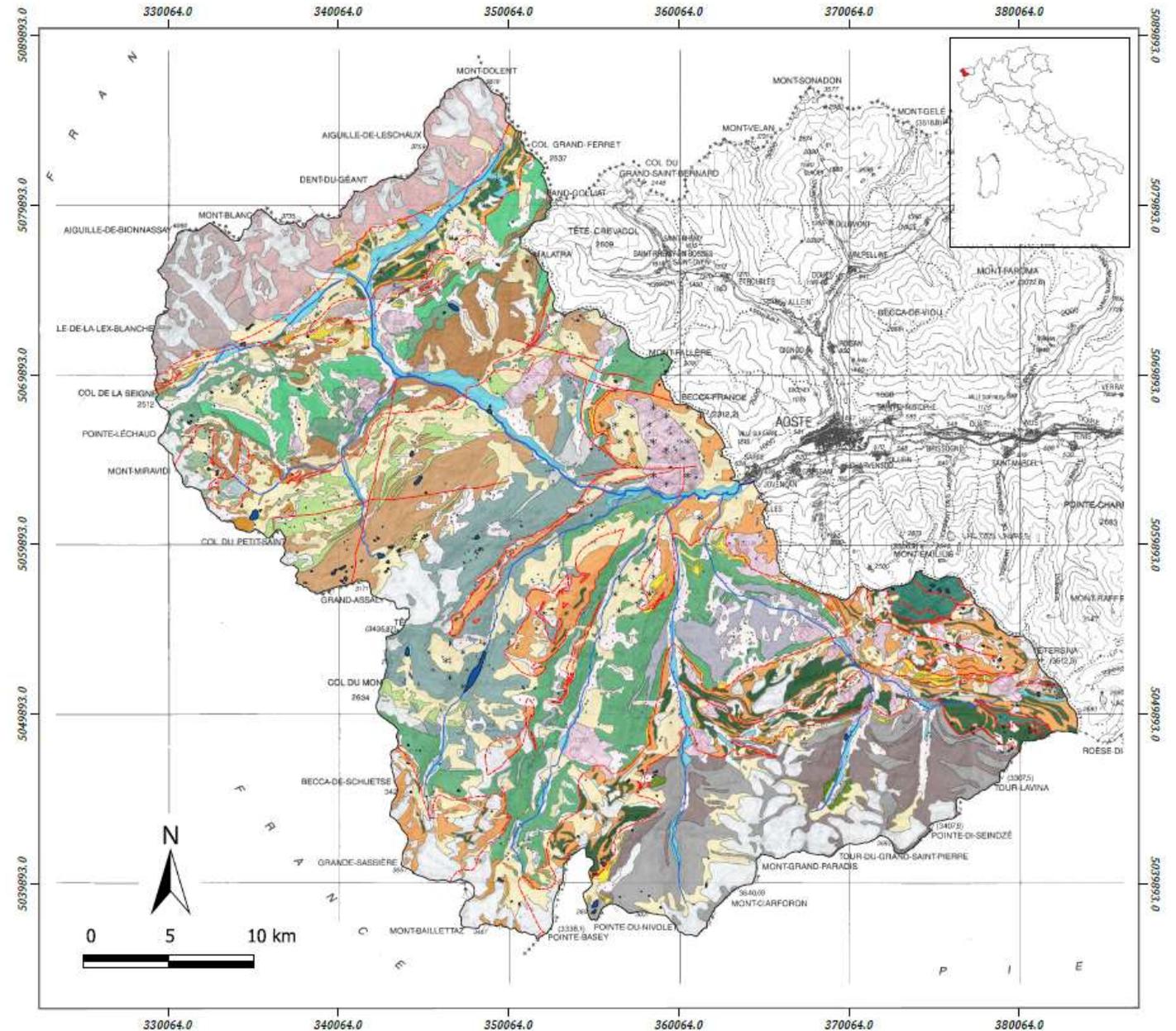
In fig.: DTM passo 75m dell'area con quote evidenziate tramite gamma cromatica (in rosso le zone più ribassate, in blu quelle più rilevate). Le linee blu indicano i principali corsi d'acqua, il rigato blu i principali acquiferi individuati nell'area.



Carta idrogeologica scala 1:250 000 (SU BASE BIBLIOGRAFICA)

LITOLOGIE PRINCIPALI NELLA CARTOGRAFIA IDROGEOLOGICA:

- **Depositi quaternari** prevalentemente non addensati dove la permeabilità è data dalla **porosità** dei depositi;
- **Rocce calcaree** dove la permeabilità è dovuta principalmente alla **fratturazione**, seguita da locali fenomeni di **carsismo** localizzati principalmente nella valle di La Thuile;
- **Rocce metamorfiche** di medio-alto grado scistose o gneissiche dove la permeabilità è principalmente data dalla **fratturazione** delle rocce stesse dovute agli importanti contatti tettonici e ai numerosi sovrascorrimenti presenti nell'area;
- **Rocce magmatiche intrusive** caratterizzata da **bassa permeabilità**, localmente aumentata da fenomeni di fratturazione.



SOCIÉTÉ DE LA FLORE VALDÔTAINE
FONDÉE EN 1858
SIÈGE À AOSTE - PLACE ÉMILE CHANOUX, 8

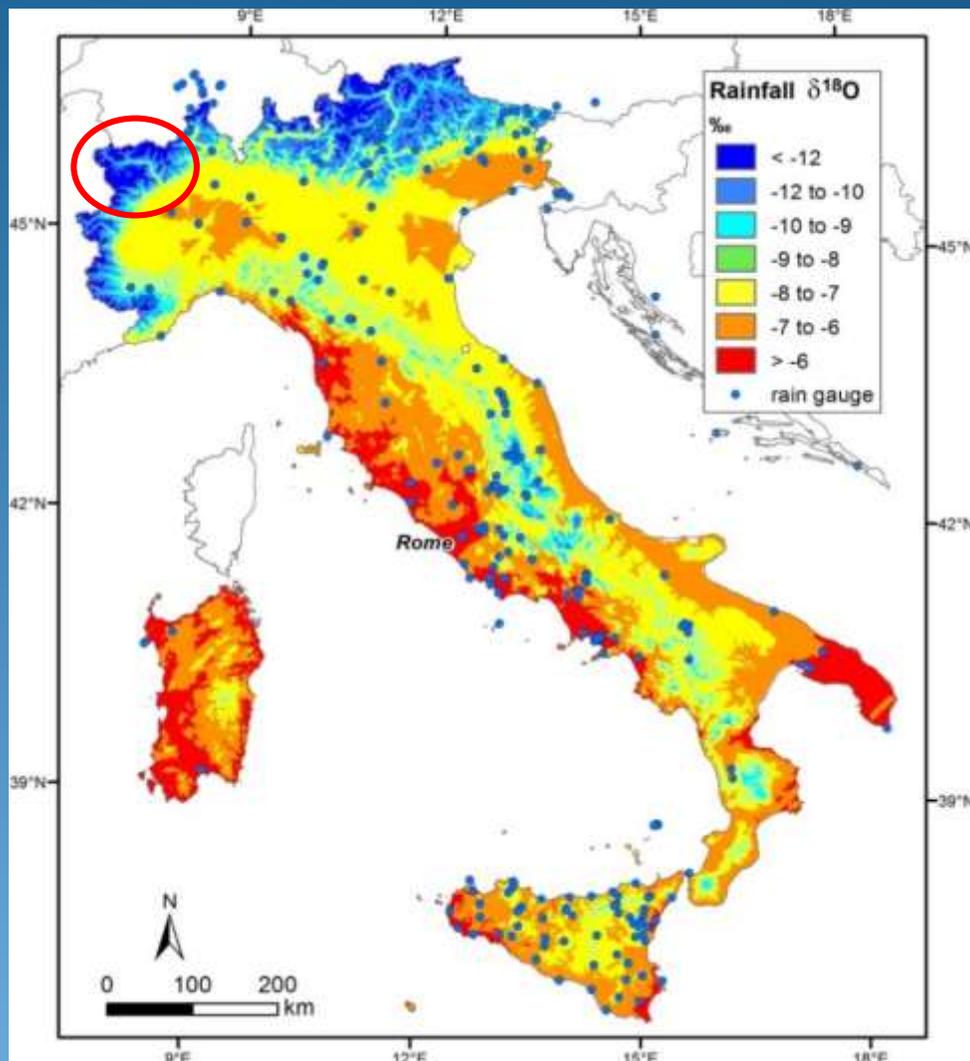
REVUE VALDÔTAINE D'HISTOIRE NATURELLE

BULLETIN N. 42

1988

Studi pregressi - chimica

- CASTELLINO G. (1988): Ricerche sui parametri fisico-chimici di alcune acque sorgive dell'alta valle di Cogne (Aosta). Soc. de la Flore Valdotaïne, estratto da Rev. Valdotaïne d'Histoire Naturelle N. 36,37,42
- BOLOGNINI D. (1993): idrogeologia del versante italiano del massiccio del Monte Bianco: Val Veny (Valle d'Aosta). Tesi di laurea, Università di Torino.
- MONEY E.B. (1997): Idrogeochimica ed idrologia isotopica della piana di AO; 3:38-49, tesi di laurea, Università di Torino.
- ALEMANI P. et alii (1999): studi ed indagini per la definizione delle caratteristiche idrogeologiche dell'acquifero termale di Pré St. Didier (Ao).
- Caratterizzazione chimico-fisica delle acque dei corsi d'acqua Dora Baltea, Grand Eyvia, Savara, Dora di Rhêmes, Dora di Valgrisenche, Dora di La Thuile (dati ARPA Valle d'Aosta anni 2011÷2018)
- Stato qualitativo dei corpi idrici sotterranei di Aosta, Morgex e Courmayeur (dati ARPA Valle d'Aosta, 2018)
- Descrizione qualitativa dell'aria e caratterizzazione del particolato PM10 (dati ARPA Valle d'Aosta anni 2015÷2018)



In fig.: distribuzione spaziale del $\delta^{18}\text{O}$ ‰ nelle piogge in Italia. Interpretazione spaziale dei dati ricavati dalle stazioni GNIP (punti blu). Tratto e modificato da GIUSTINI et alii (2016).

Studi progressi – idrologia isotopica

STUDI INTERNAZIONALI - NAZIONALI

- FRIEDMAN I. (1953), CRAIG H. (1961), DANSGAARD W. (1964)
- ROZANSKI K., ARAGUÁS-ARAGUÁS L., & GONFIANTINI R. (1993)
- LONGINELLI A. & SELMO E. (2003), LIOTTA M. et alii (2006), GIUSTINI F., BRILLI M., & PATERA A. (2016), ...

STUDI LOCALI

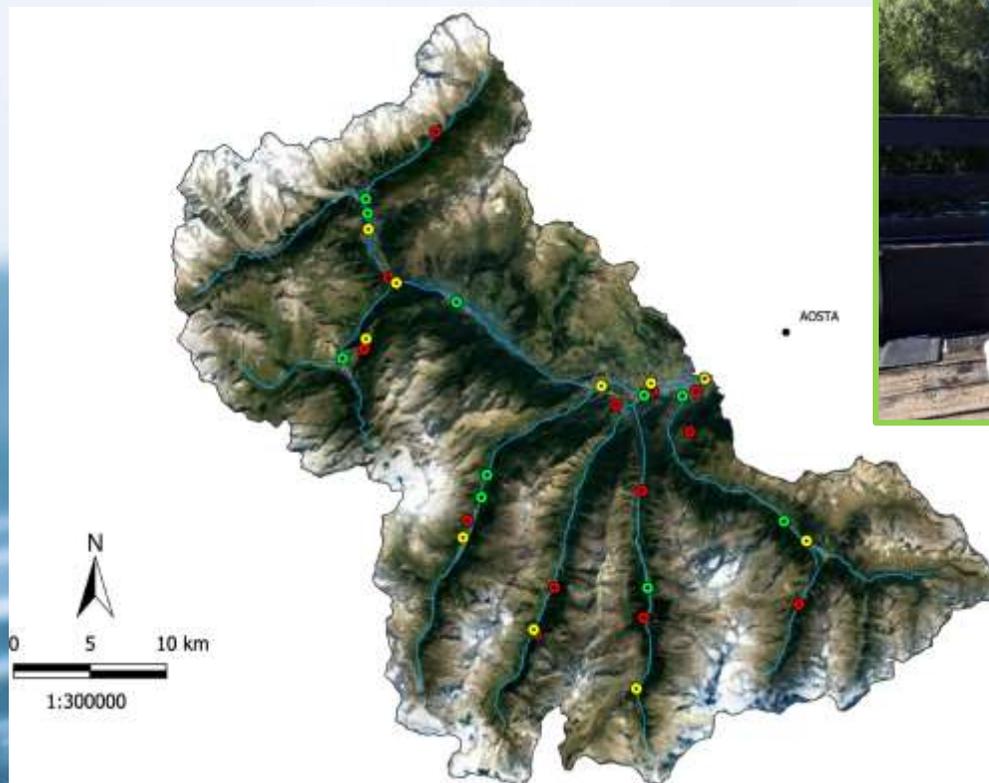
- La variazione dei tenori degli isotopi stabili di ossigeno e idrogeno nelle acque di precipitazione, superficiali e sotterranee (RAVELLO, 1991; BOLOGNINI, 1993; VUILLERMOZ, 1993; NOVEL, 1995 e ss.);
- La variazione degli isotopi stabili di carbonio e zolfo nelle acque dei torrenti di Gressan e Buthier (MONEY E.B., 1997);
- L'acquifero termale di Pré-Saint-Didier (ALEMANI P. et alii, 1999)

Le campagne di indagine

CAMPIONAMENTO delle acque di 7 corsi d'acqua + acque sotterranee e precipitazioni di **10** comuni.

- Acque superficiali (**13 punti, 63 campioni**);
- Acque sotterranee (**15 punti, 70 campioni**);
- Acque di precipitazione (**10 punti, 37 campioni** di cui 3 di neve).

FREQUENZA DI CAMPIONAMENTO:
mensile (agosto-dicembre 2019)



Le analisi effettuate

IN SITU

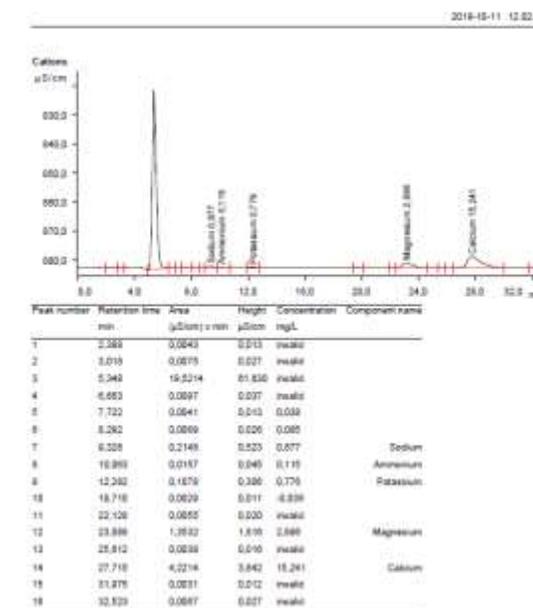
- Temperatura
- Conducibilità elettrolitica
- pH

IN LABORATORIO

- (Temperatura, conducibilità elettrolitica, pH)
- Alcalinità → titolazione
- Ioni in soluzione (anioni + cationi) → ionocromatografia
- $\delta^{18}\text{O}$ e $\delta^2\text{H}$ → spettroscopia laser CRDS (UniFe)



In fig. a sinistra un pHmetro HI9125. HANNA Instrument®, a destra un conducimetro WTW 3310 TechnoLab®



In fig. cromatogramma

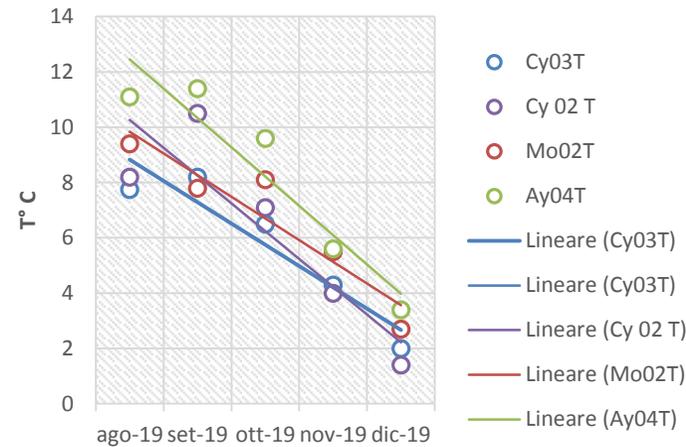
La temperatura al prelievo

Analisi in situ: PARAMETRI CHIMICO-FISICI

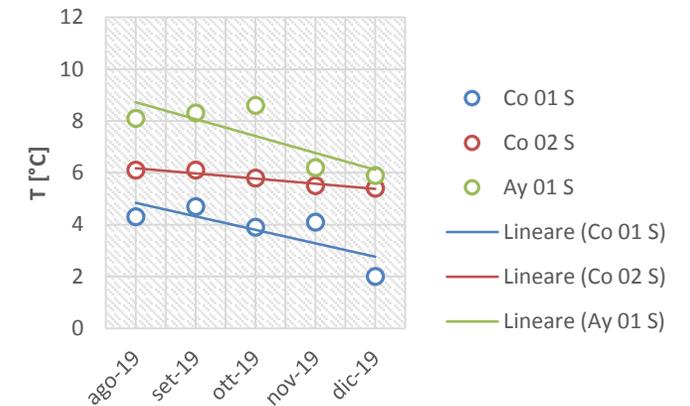
→ Acque fredde (<20°C)

- Acque superficiali: dipendenza da quota e stagione
- Acque sotterranee: variabilità inferiore con quota e stagione, generale **costanza** del parametro;
- Precipitazioni: \propto temperatura dell'aria al momento del prelievo.

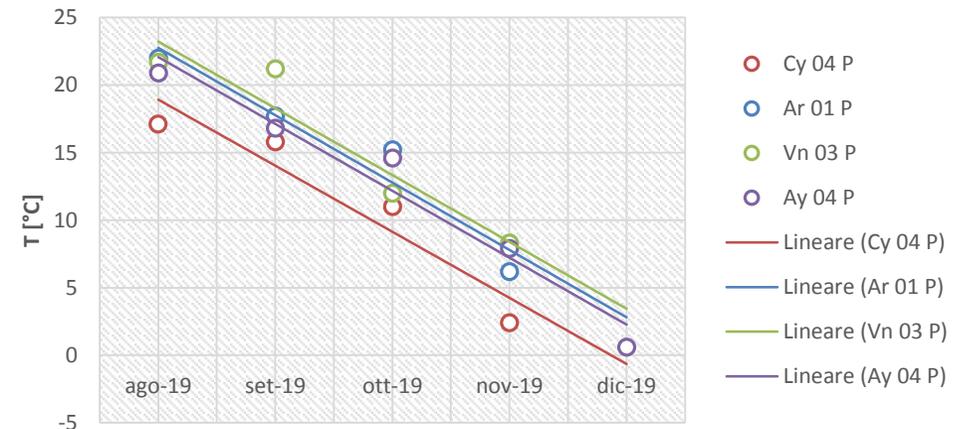
FIUME Dora Baltea

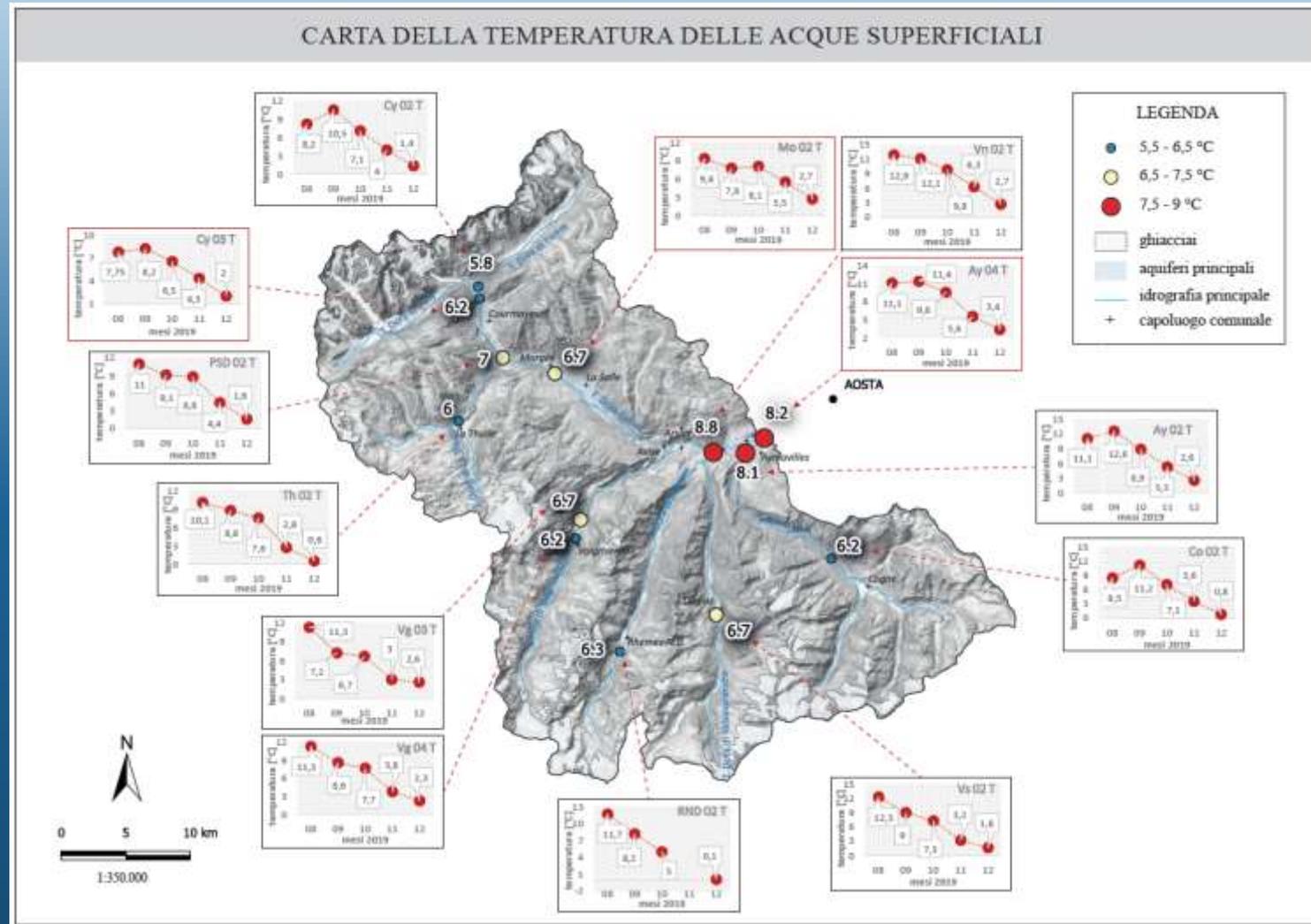


Bacino Grand Eyvia (ACQUE SOTTERRANEE)



Bacino Dora Baltea (PRECIPITAZIONI)





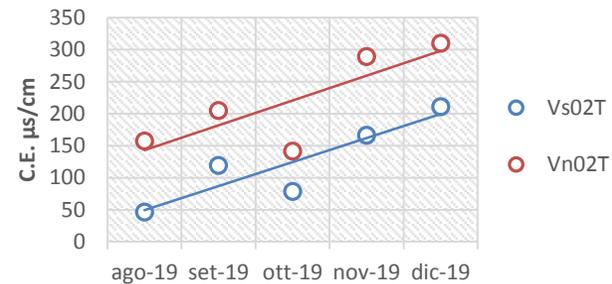
ACQUE SUPERFICIALI: dipendenza da quota e stagione (media ~4 °C-11.4°C);

La conducibilità elettrolitica al prelievo

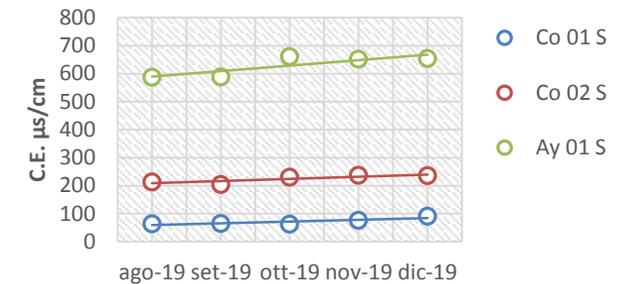
Analisi in situ: PARAMETRI CHIMICO-FISICI

- Acque superficiali: dipendenza da **stagione** (e quota)
- Acque sotterranee: variabilità inferiore con quota e stagione, localmente **costanza** del parametro
- Precipitazioni: dipendenza dalla **stagione** e aerosol atmosferico (?)

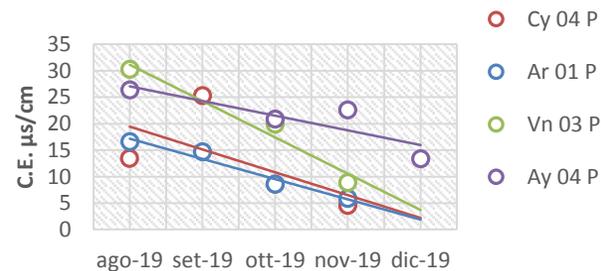
T. Savara



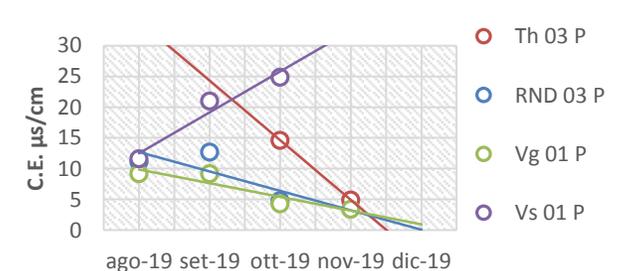
Bacino Grand Eyvia (ACQUE SOTTERRANEE)

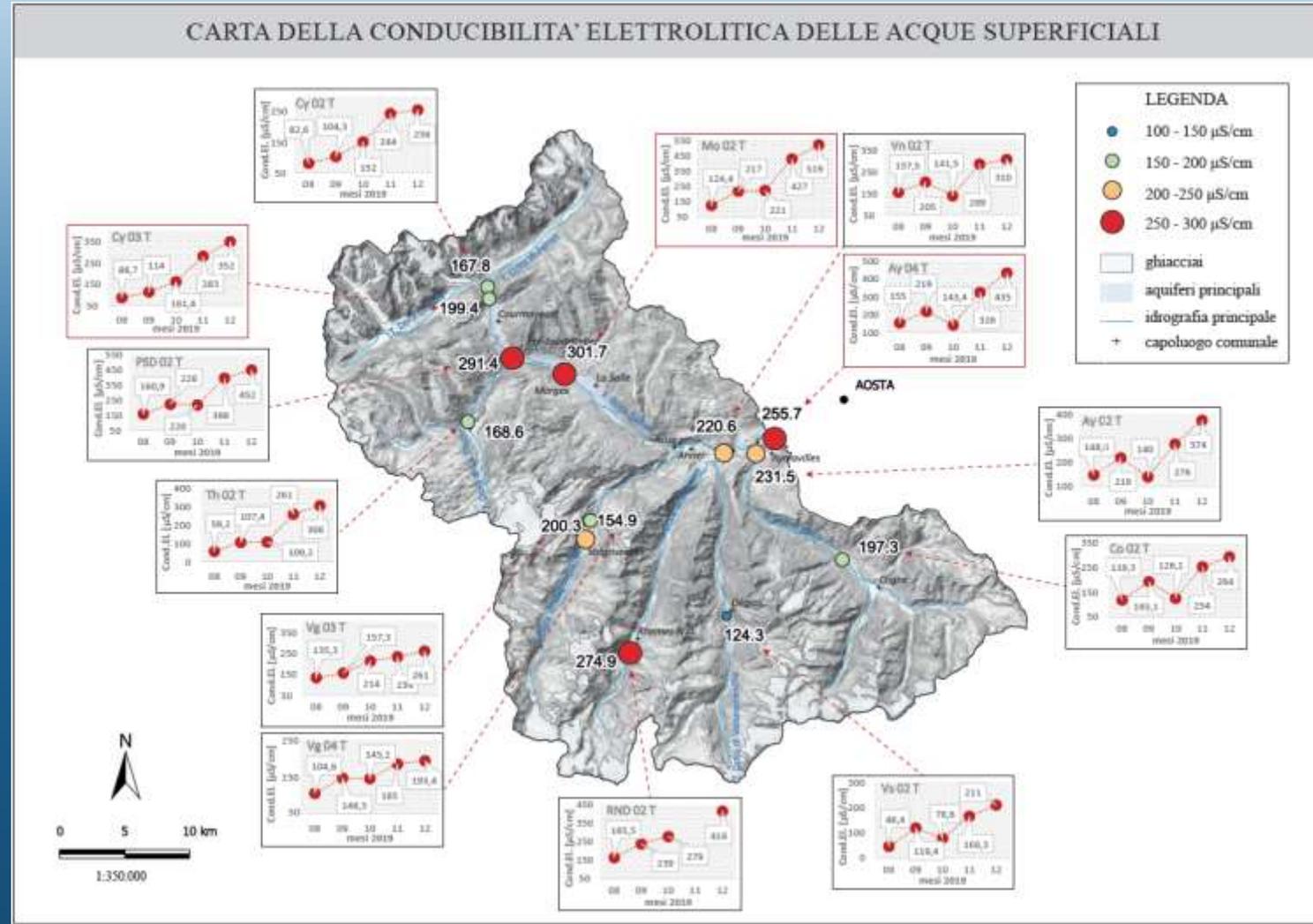


Dora Baltea (PRECIPITAZIONI)

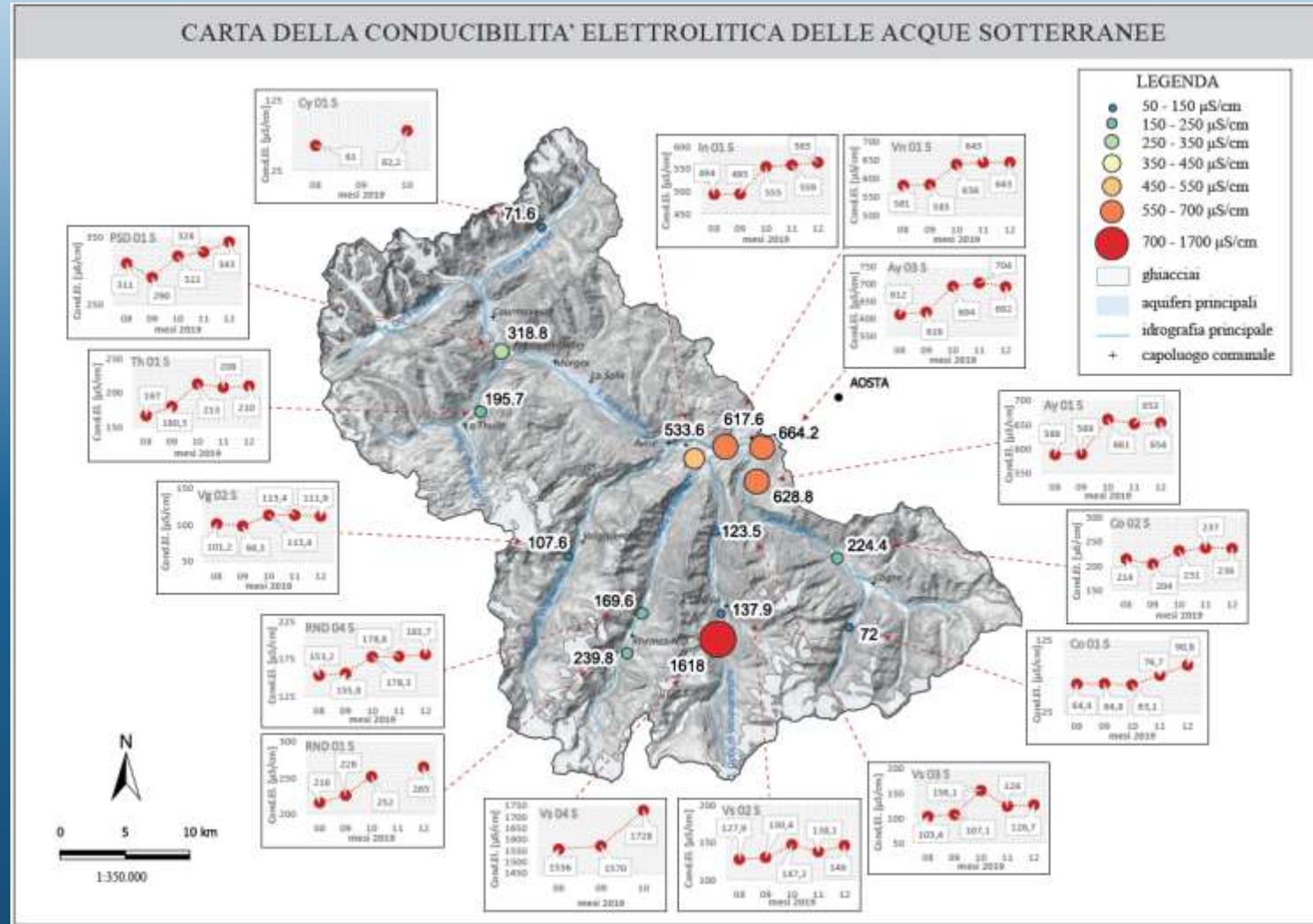


Valli laterali (PRECIPITAZIONI)

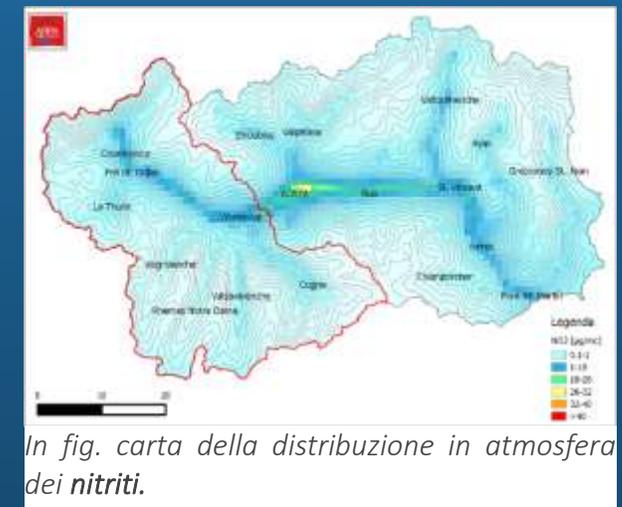
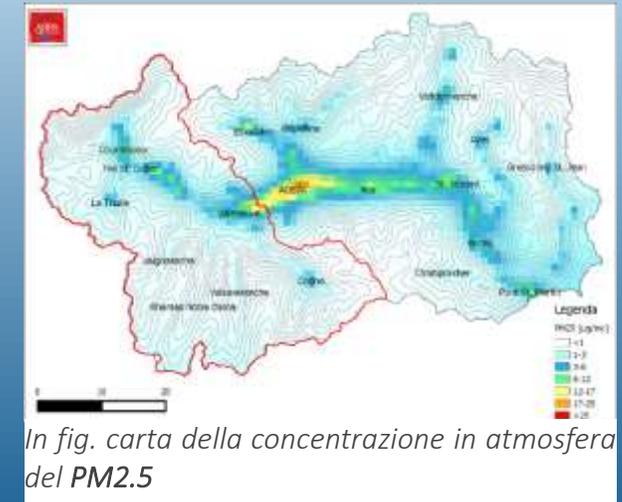
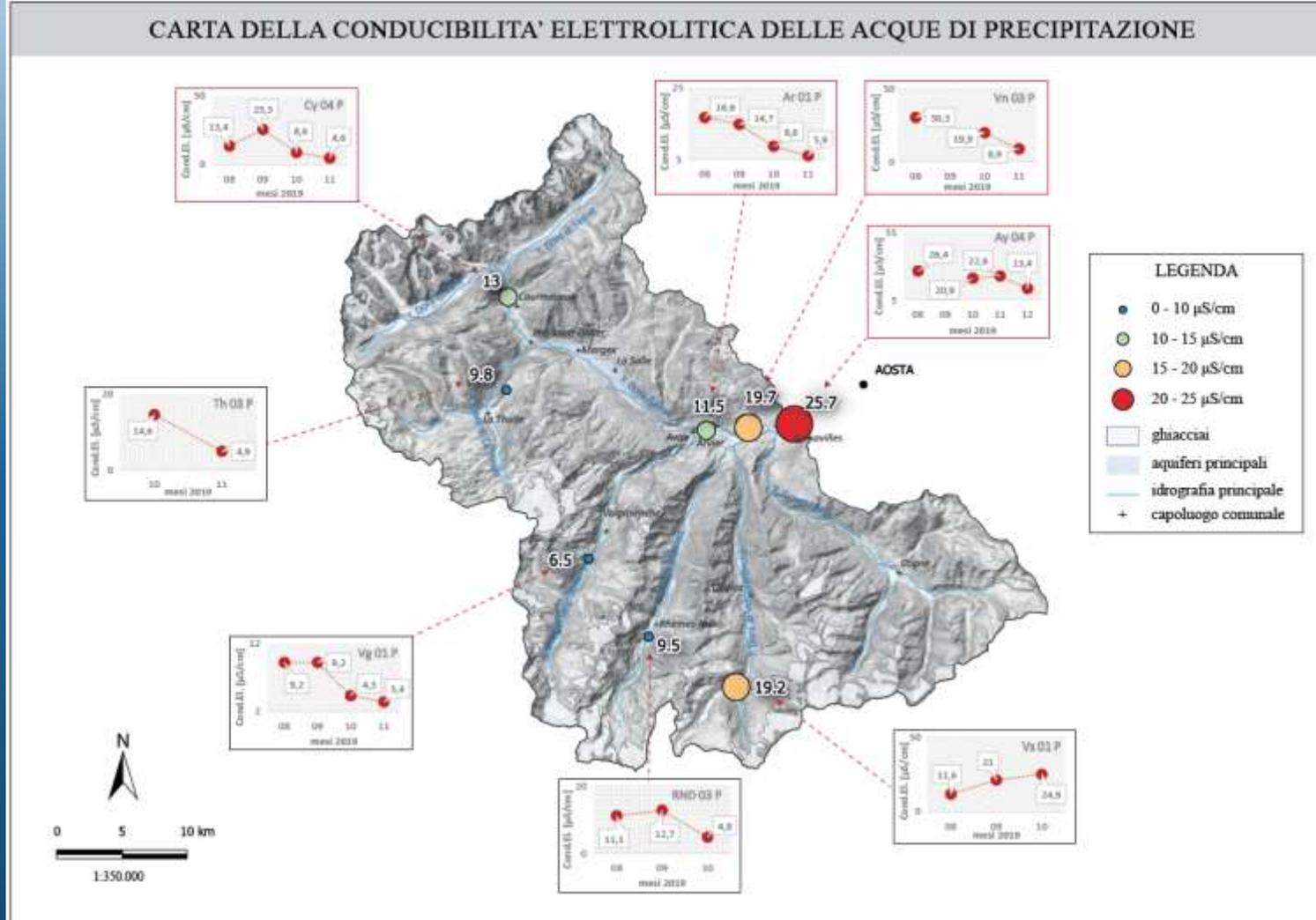




Acque superficiali: dipendenza da stagione (e quota) (media $\sim 146 \mu\text{S}/\text{cm}$ - $252 \mu\text{S}/\text{cm}$) \rightarrow ruolo piogge e mineralizzazione degli acquiferi.



Acque sotterranee: variabilità < con quota e stagione, localmente costanza del parametro (media $\sim 71.6 \mu\text{S/cm}$ - $491 \mu\text{S/cm}$) \rightarrow mixing in acquifero, diverse dimensioni dei circuiti idrici, mineralizzazione degli acquiferi.



Precipitazioni: dipendenza dalla stagione (media $\sim 6.5 \mu\text{S}/\text{cm}$ - $19.2 \mu\text{S}/\text{cm}$) \rightarrow aerosol atmosferico (?)

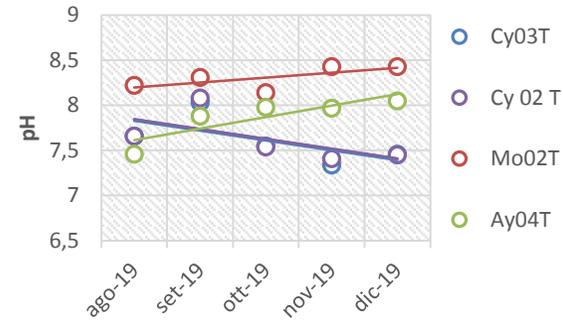
Il pH al prelievo

Analisi in situ: PARAMETRI CHIMICO-FISICI

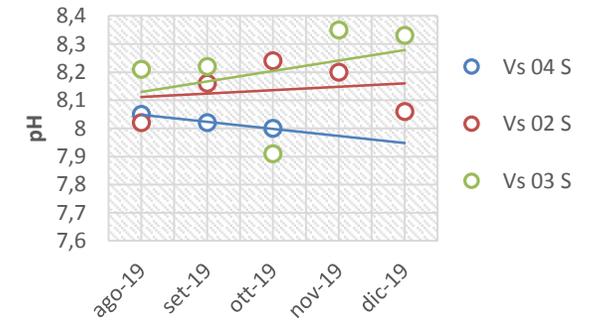
→ ~ costanti, no anomalie

- Acque superficiali: indipendenti da quota (e stagione) (media ~7.6 - 8.1);
- Acque sotterranee: indipendenti da quota (e stagione) (media ~7.3 - 8.1);
- Precipitazioni: indipendenti da quota (e stagione) (media ~7.2 - 7.6)

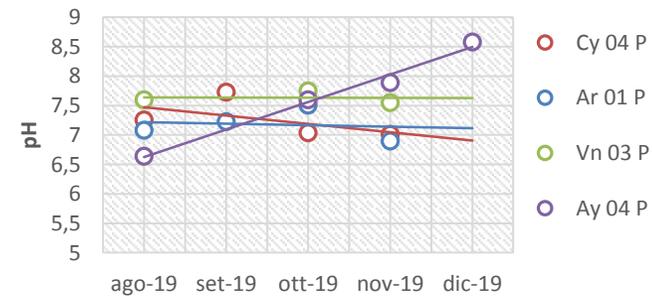
Dora Baltea e Dora di Ferret
(ACQUE SUPERFICIALI)

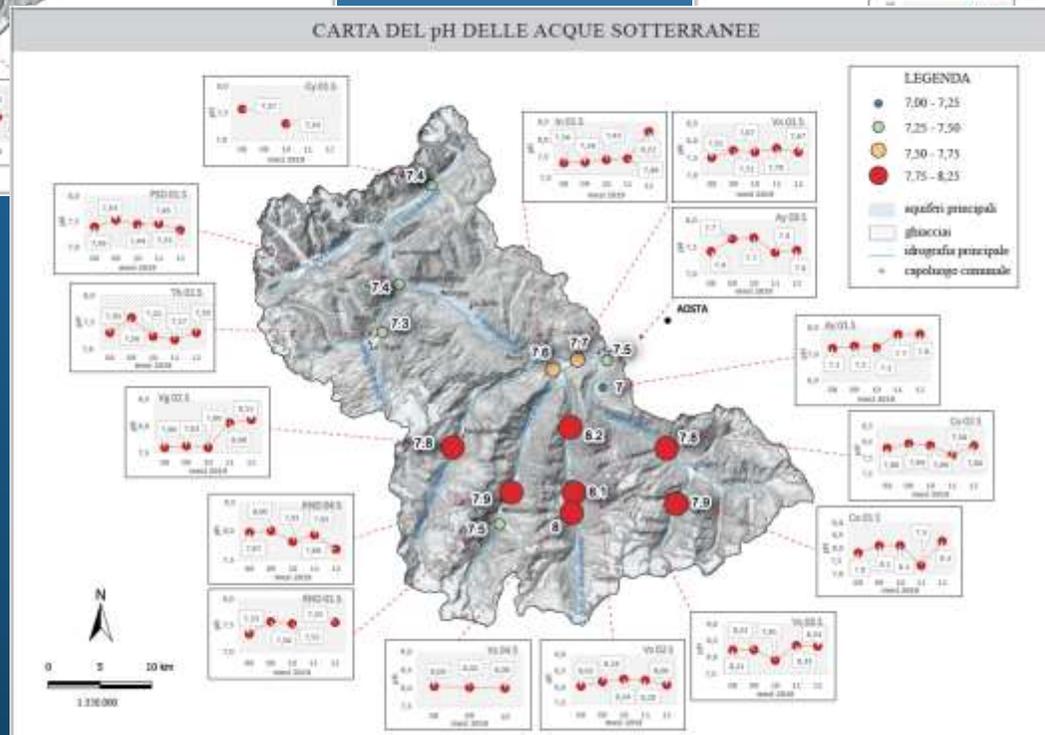
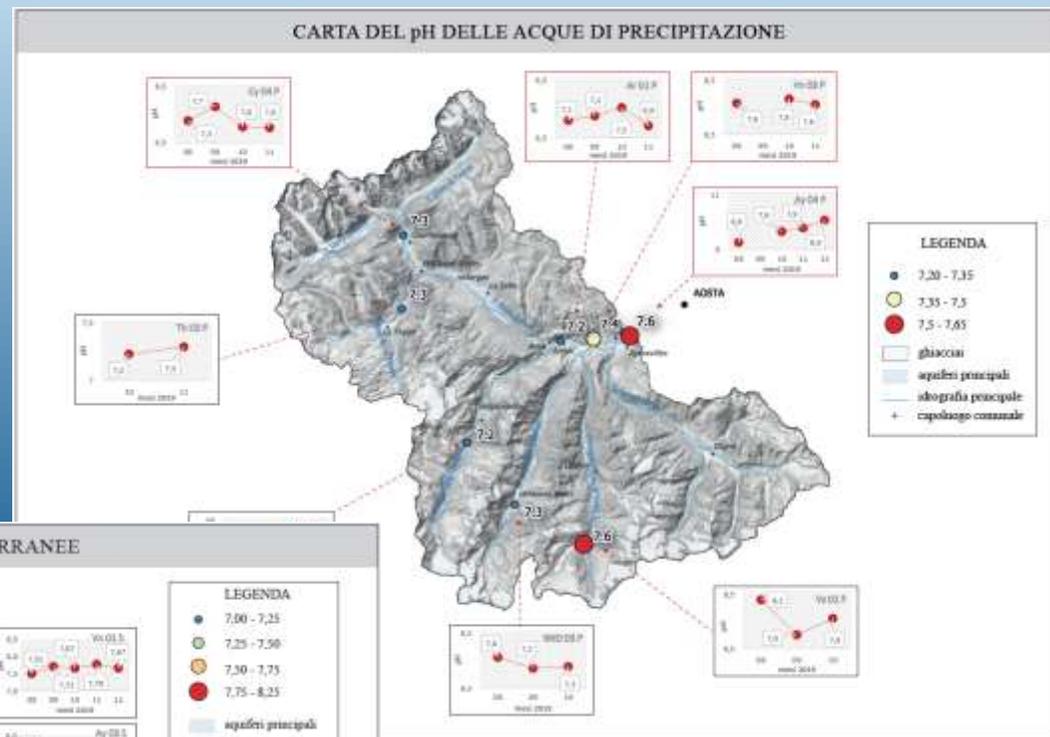
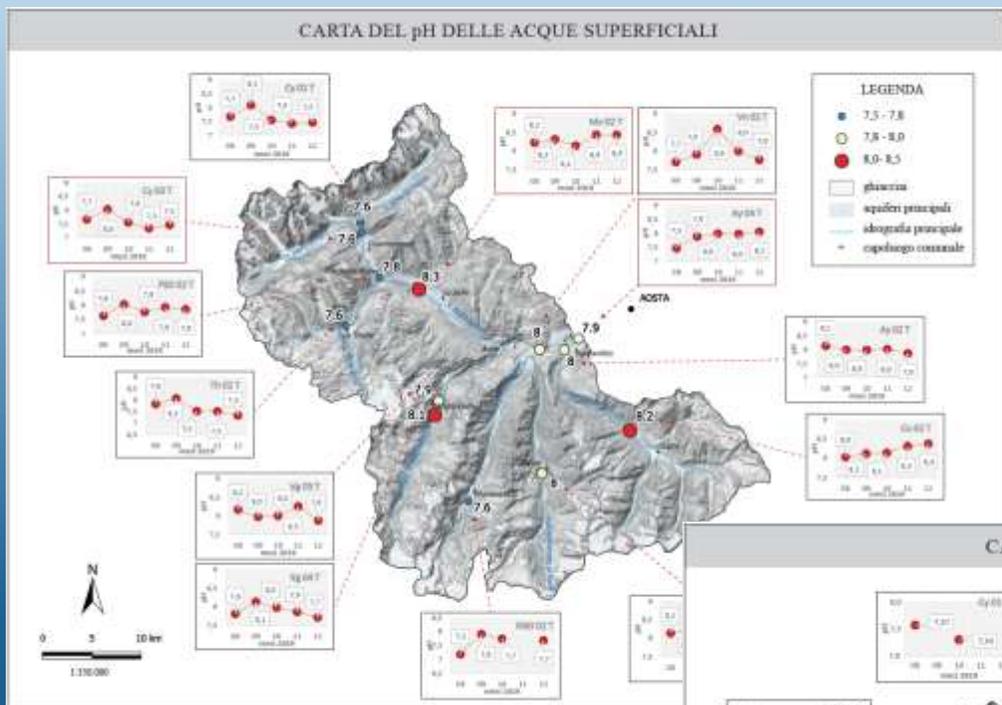


Bacino Savara
(ACQUE SOTTERRANEE)



Dora Baltea (PRECIPITAZIONI)





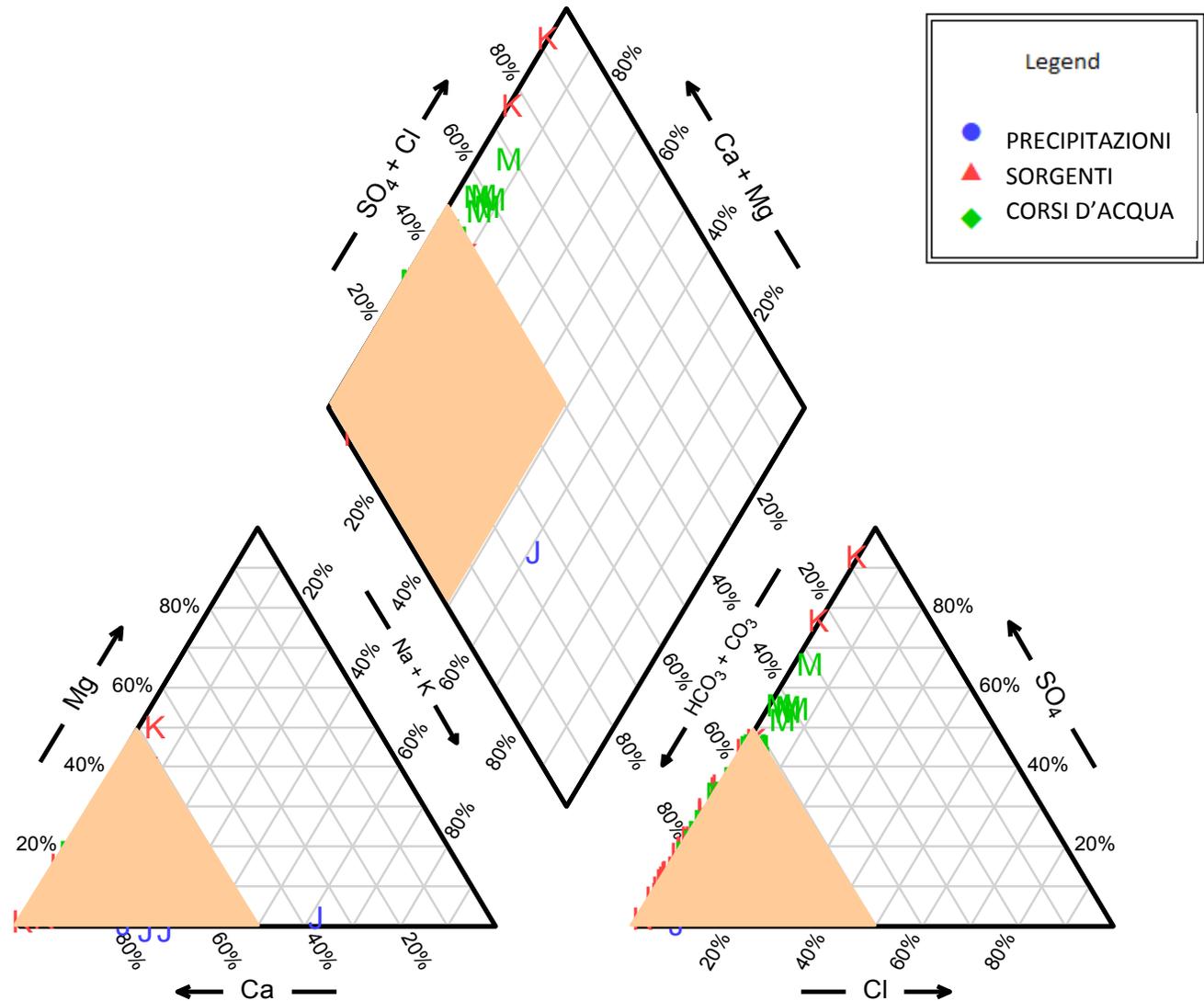
Facies idrochimica

ANALISI IN LABORATORIO: alcalinità + cromatografia ionica

DIAGRAMMA DI PIPER:

- **Facies bicarbonato-calcica** prevalente (acque superficiali, sotterranee, di precipitazione) → **litologia acquiferi + aerosol**
- **Facies solfato-calcica** (alcune acque superficiali e sotterranee);
- **Facies bicarbonato-alcino-terrosa** (alcune acque di precipitazione);

Acque Alta Valle d'Aosta 2019

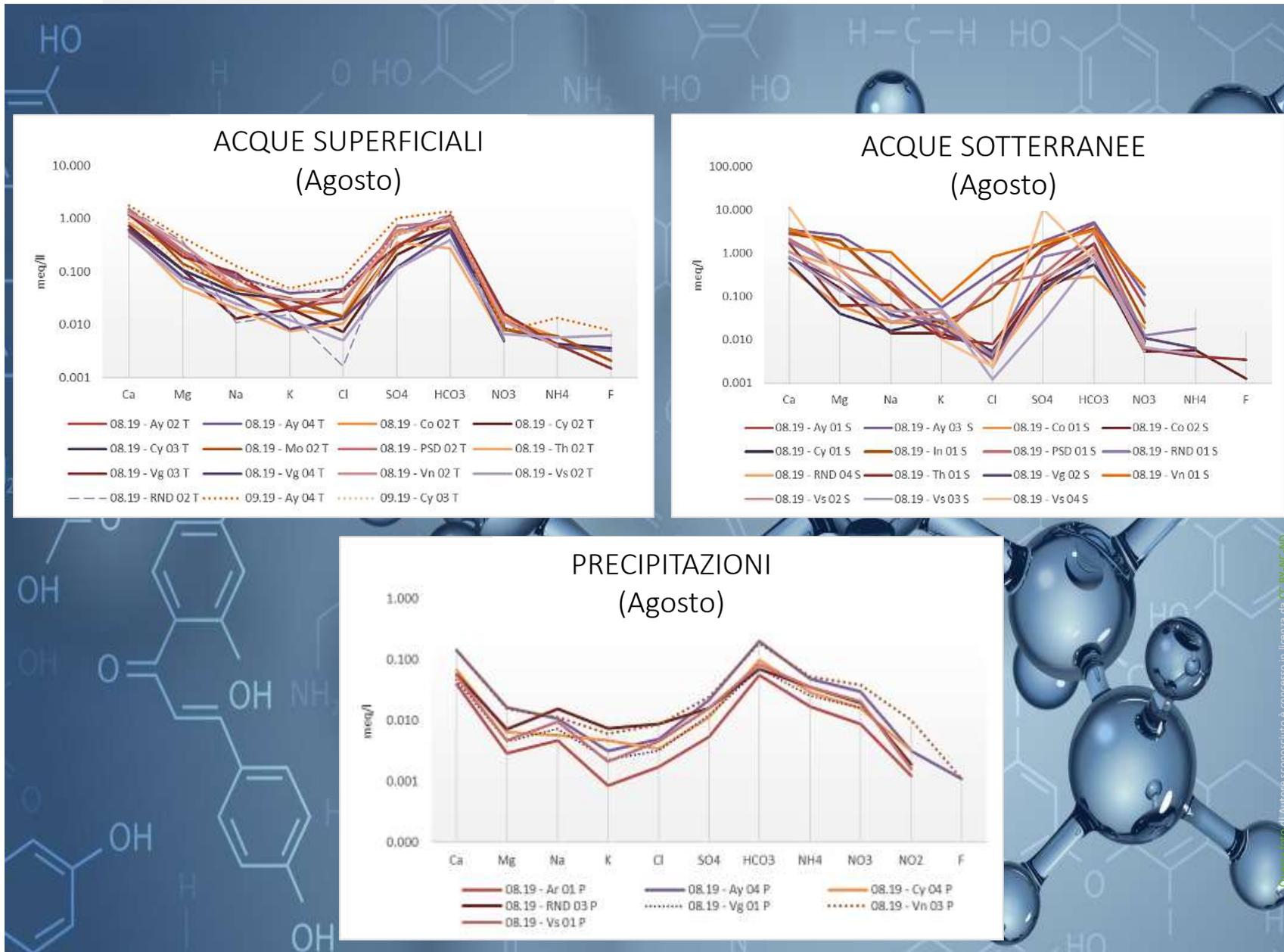


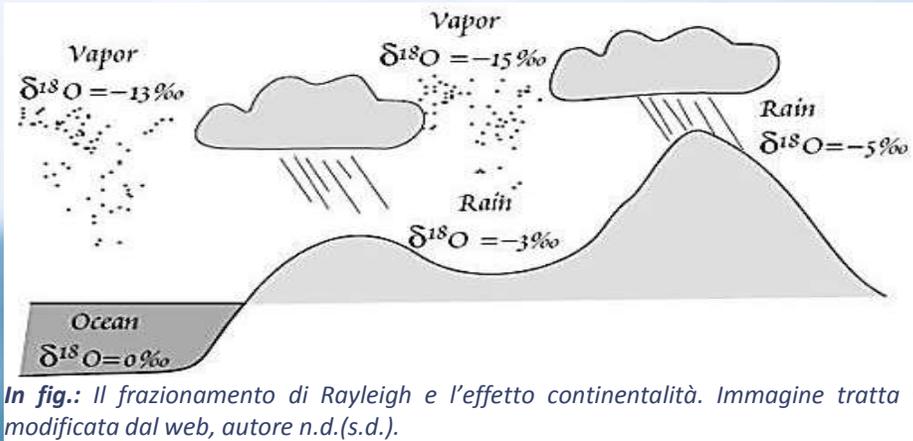
Facies idrochimica

ANALISI IN LABORATORIO: alcalinità + cromatografia ionica

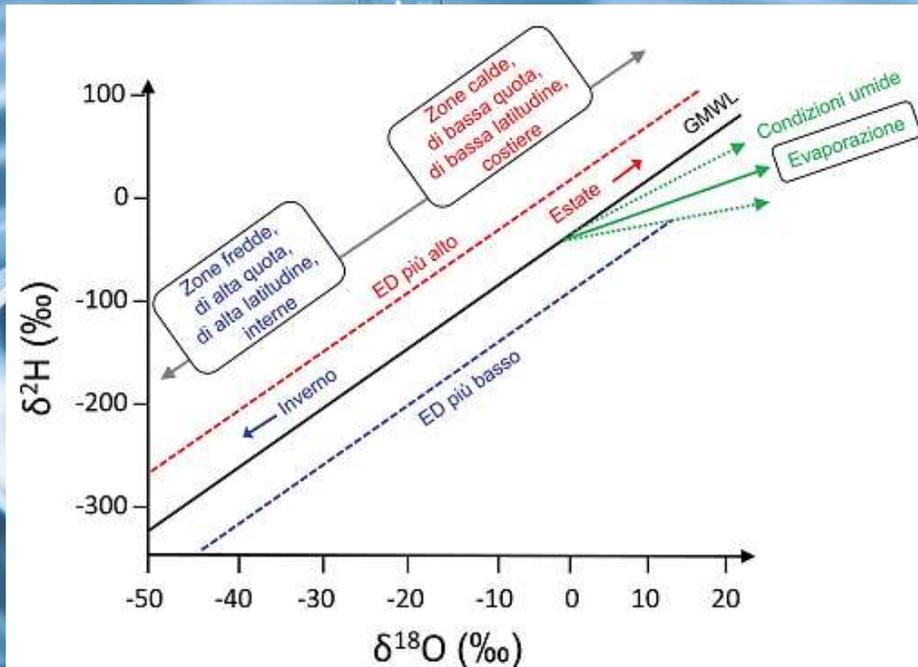
DIAGRAMMI DI SCHOELLER

- Facies bicarbonato-calcica prevalente (acque superficiali, sotterranee, di precipitazione);
- \neq concentrazione dei soluti (acque superficiali e sotterranee \gg precipitazioni)





In fig.: Il frazionamento di Rayleigh e l'effetto continentalità. Immagine tratta e modificata dal web, autore n.d.(s.d.).



In fig.: grafico $\delta^{18}\text{O}$ - $\delta^2\text{H}$ tratto e modificato da SCANDELLARI F. & PENNA D. (2017).

Idrologia isotopica

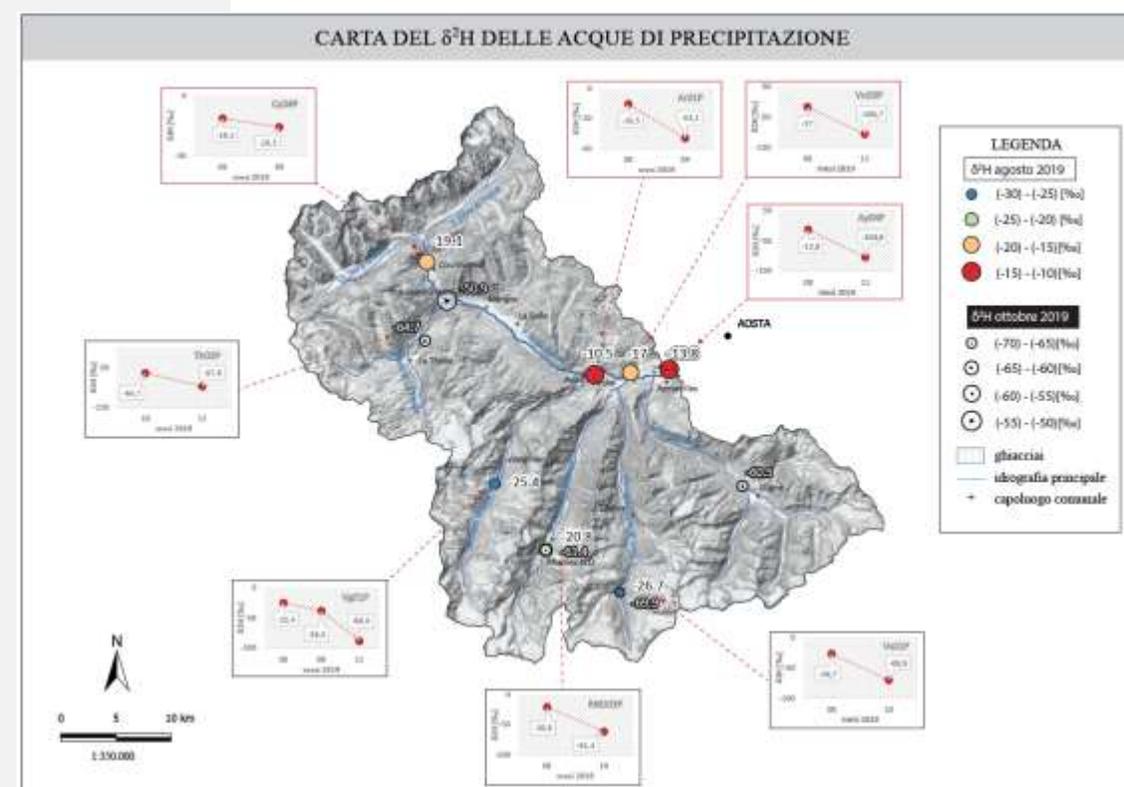
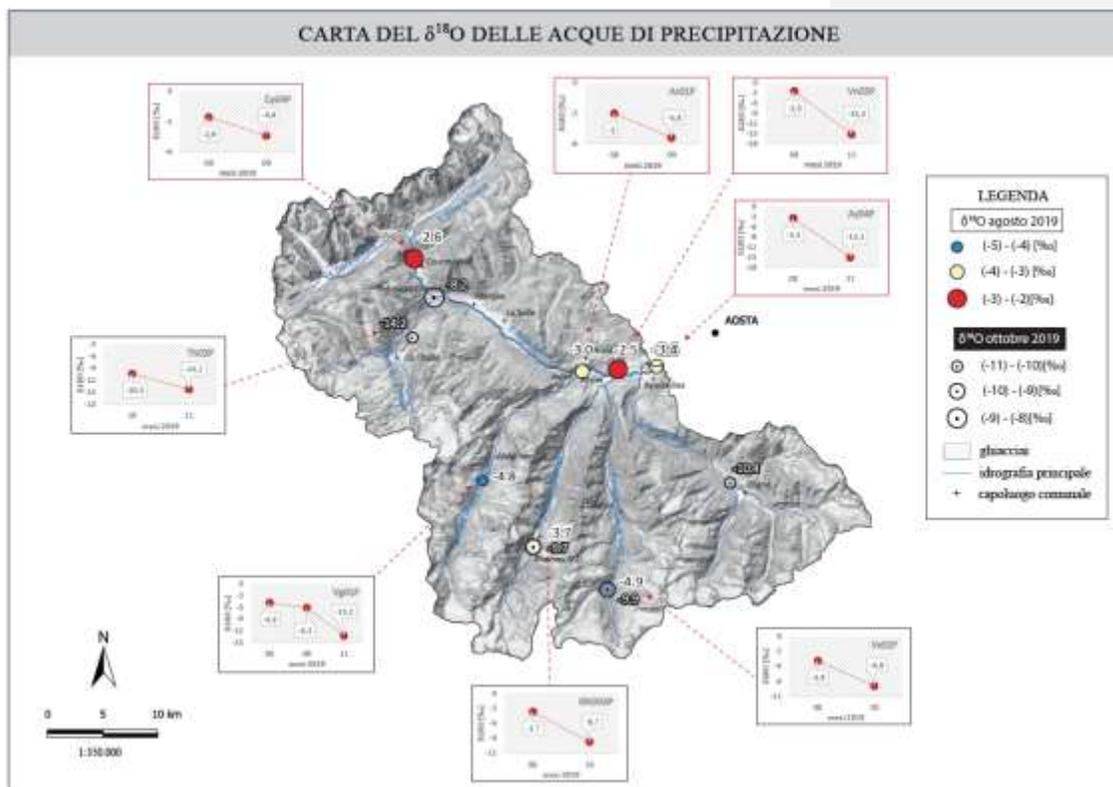
- Le concentrazioni isotopiche → notazione δ

$$\delta(\text{‰}) = \frac{R_{\text{campione}} - R_{\text{standard}}}{R_{\text{standard}}} \cdot 1000$$

- Standard di riferimento (mondiale vs locali);
- Frazionamento isotopico: cambiamenti di stato;
- Distribuzione isotopica delle precipitazioni: effetto continentalità, e- latitudine, e- quantità, e- quota, e- stagionalità;
- Rette meteoriche: GMWL → LMWL
- Eccesso di deuterio: dipendenza da RH, temperatura (*et al.*) → buon tracciante della provenienza delle precipitazioni;
- Isotopia della neve: poco studiata, concomitanza di diversi fattori che ne modificano l'impronta isotopica.

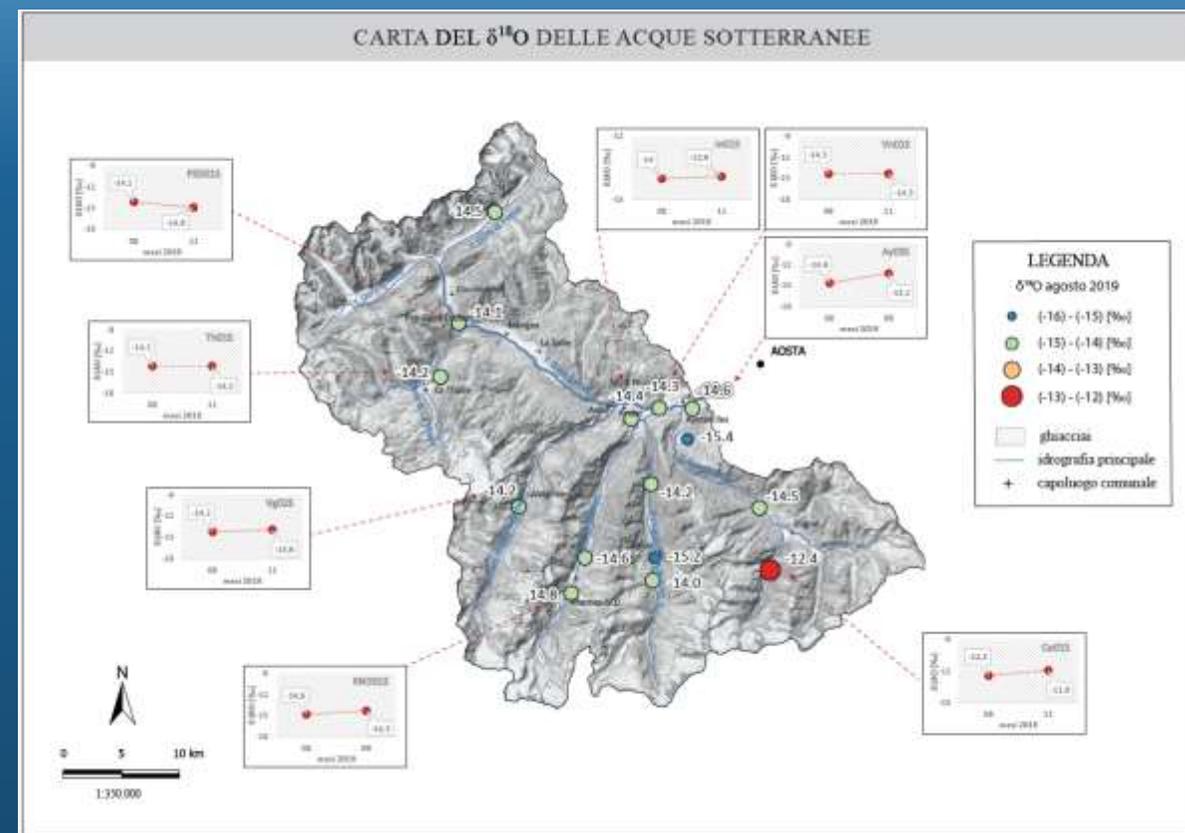
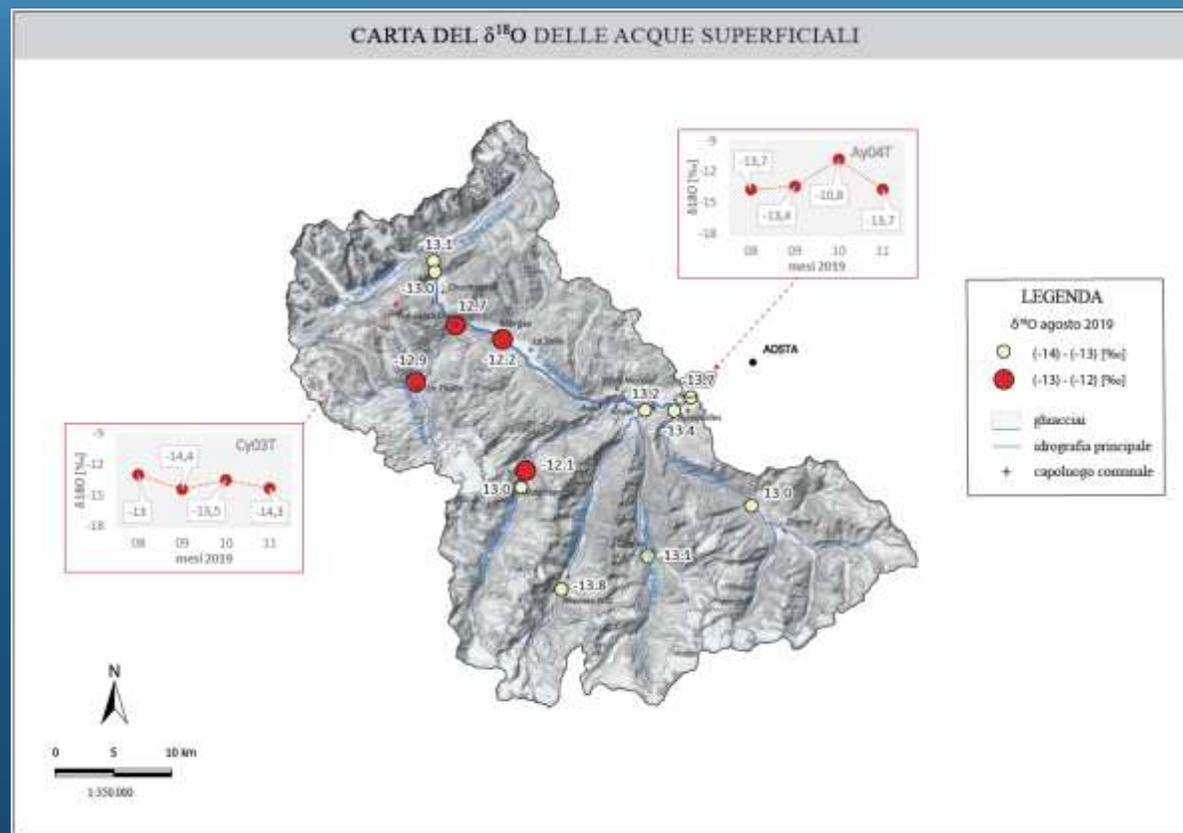
Parametri isotopici delle acque

ANALISI IN LABORATORIO: spettroscopia laser CRDS (UniFe) su n° 63 campioni



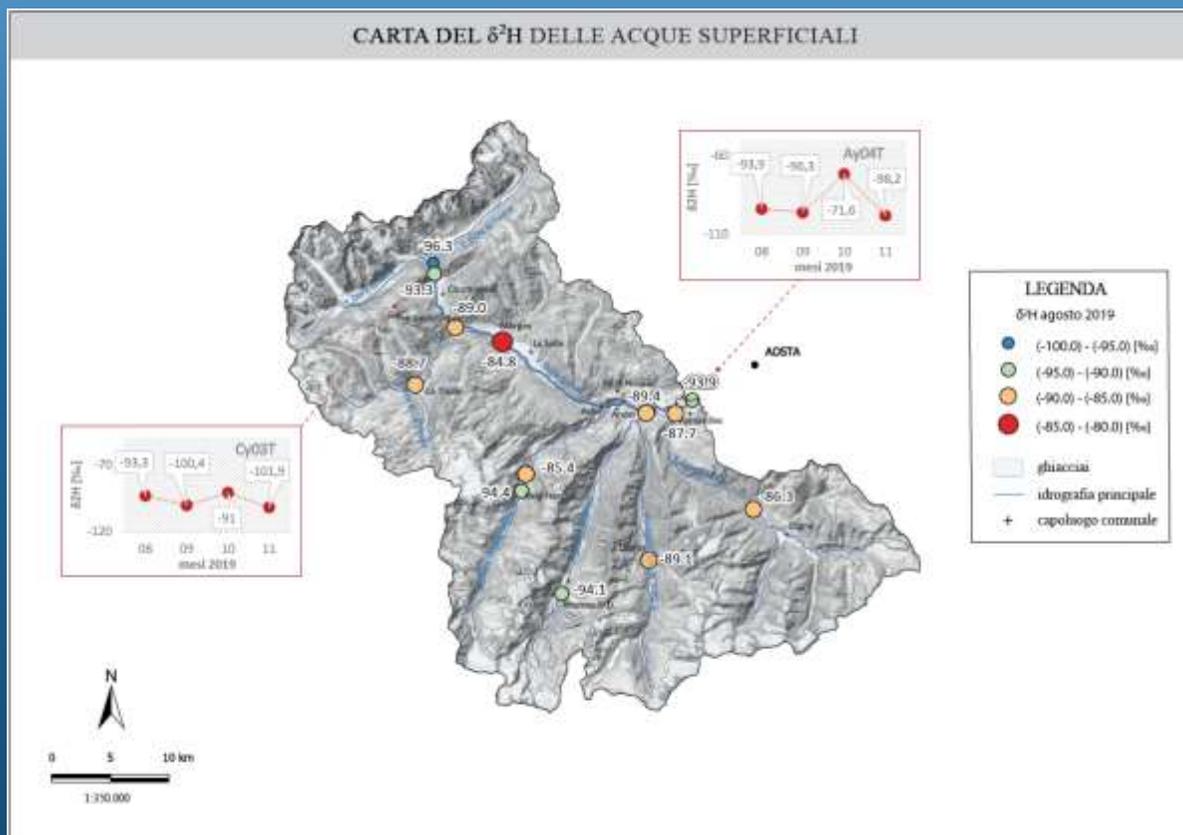
$\delta^{18}\text{O}$ Acque di precipitazione: dipendenza da quota e stagione (media -7.7‰)

$\delta^2\text{H}$ Acque di precipitazione: dipendenza da quota e stagione (media -49.3‰)

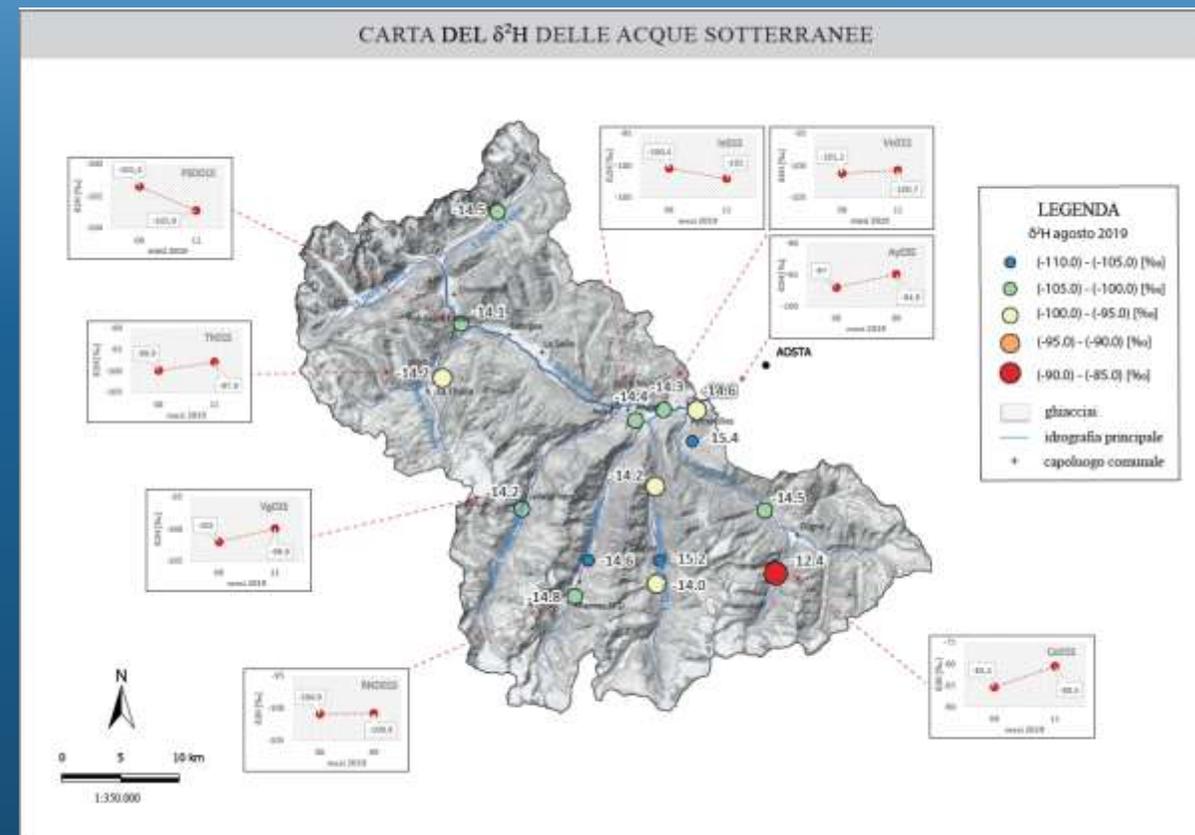
$\delta^{18}\text{O}$ 

Acque superficiali: costanza nel tempo, dipendenza dalla piovosità (media -13%)

Acque sotterranee: costanza parametri, indipendenza da quota e stagione (media -14.1%)

$\delta^2\text{H}$ CARTA DEL $\delta^2\text{H}$ DELLE ACQUE SUPERFICIALI

Acque superficiali: costanza nel tempo, dipendenza dalla piovosità (media -91‰)

CARTA DEL $\delta^2\text{H}$ DELLE ACQUE SOTTERRANEE

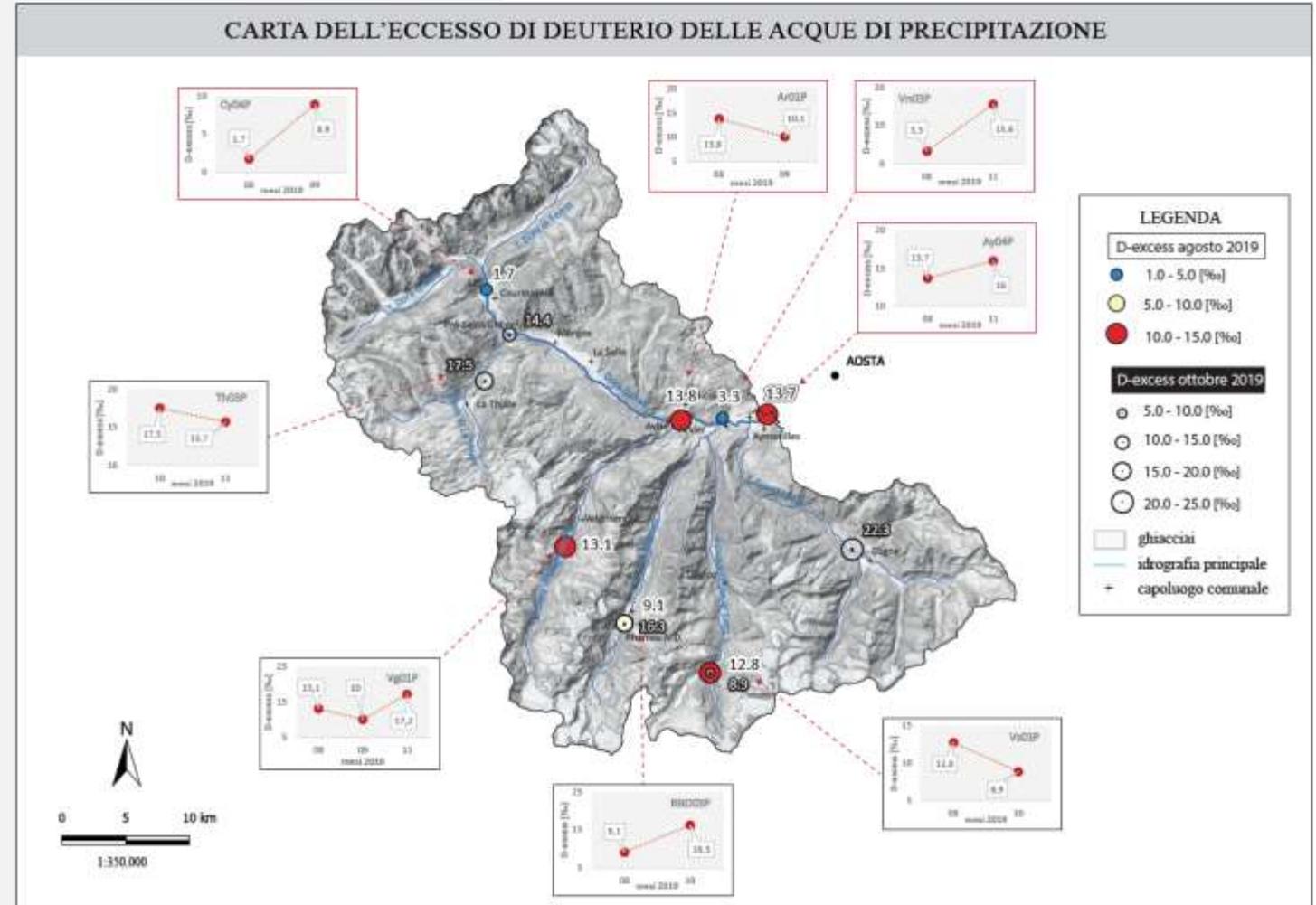
Acque sotterranee: costanza parametri, indipendenza da quota e stagione (media -99.4‰)

L'eccesso di deuterio

Acque di precipitazione: variazione stagionale (> tra settembre e ottobre), no dipendenza dalla quota (media 12.6%)

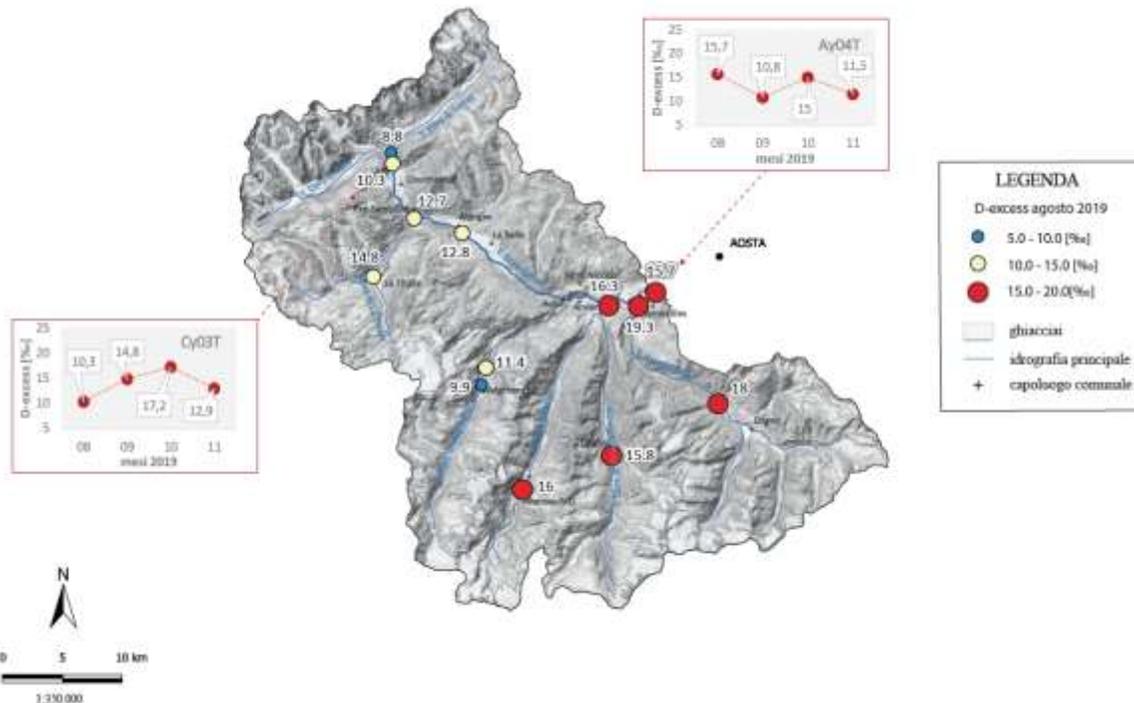


In fig.: grafico dell'eccesso di deuterio [%] riportato in funzione del tempo.



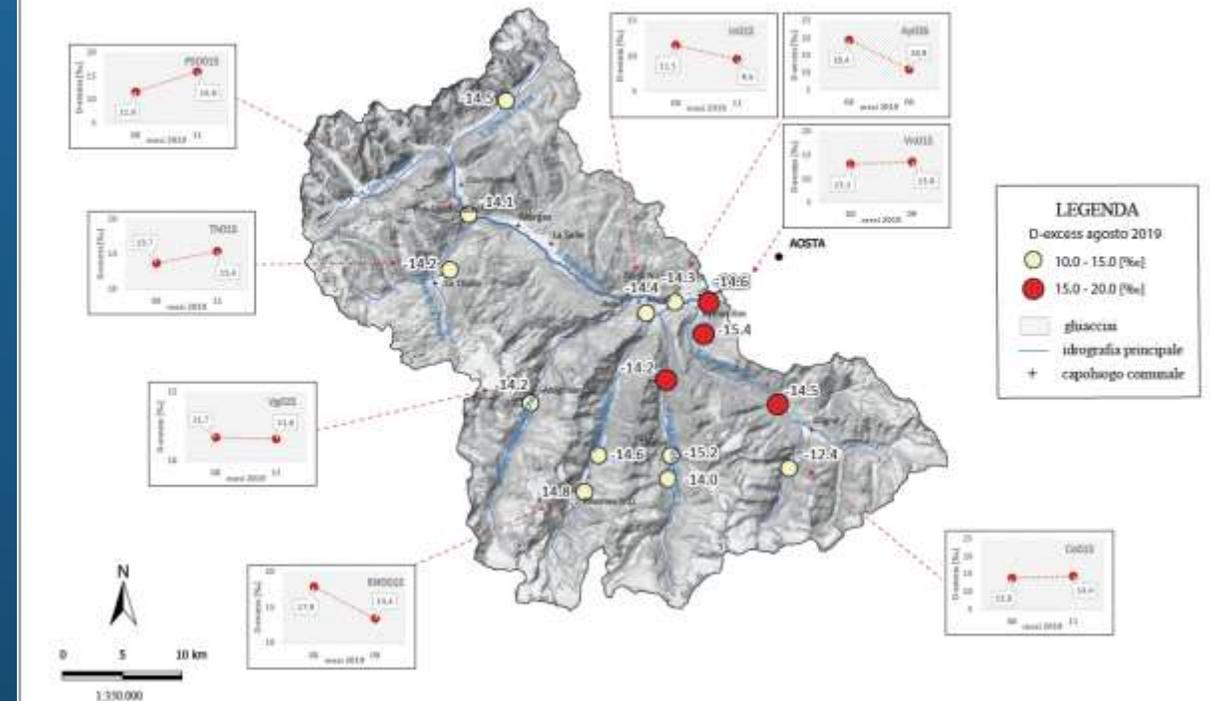
Eccesso di deuterio

CARTA DELL'ESCESSO DI DEUTERIO DELLE ACQUE SUPERFICIALI



Acque superficiali: no dipendenza con quota e stagione
 (media 13.8‰)

CARTA DELL'ESCESSO DI DEUTERIO DELLE ACQUE SOTTERRANEE



Acque sotterranee: no dipendenza con quota e stagione
 (media 13.8‰)

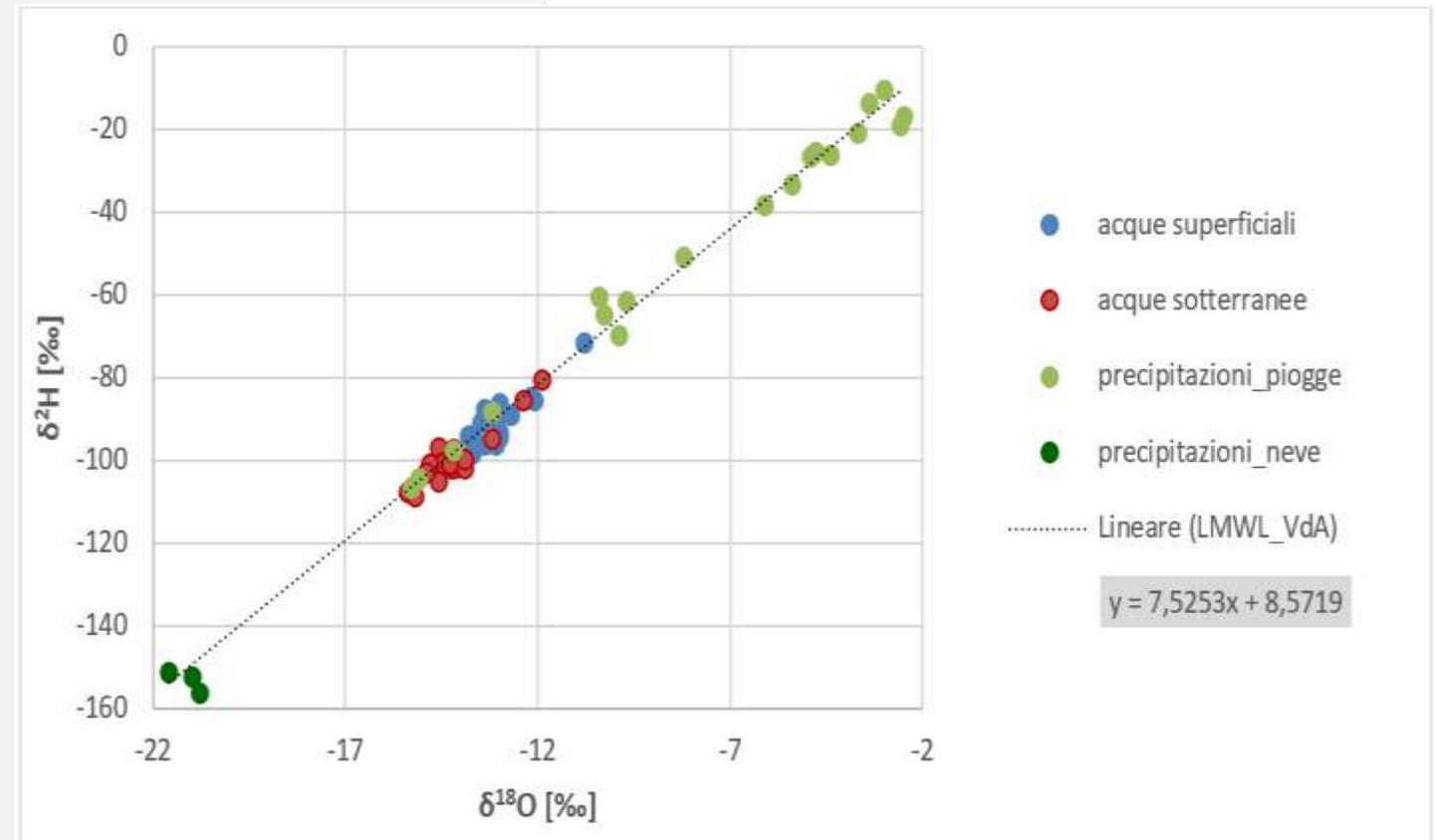
I valori isotopici delle acque studiate

PRECIPITAZIONI:

- Piogge: valori meno negativi variabili nel tempo;
- Neve: valori più negativi

ACQUE SUPERFICIALI E SOTTERRANEE:

valori isotopici ca. **costanti**, valore medio tra precipitazioni → **mixing** in acquifero + **doppia alimentazione** (piogge e acque di fusione)



In fig.: grafico $\delta^{18}\text{O}$ - $\delta^2\text{H}$ per le acque studiate. Sono riportati in blu i risultati ottenuti dalle analisi isotopiche delle acque superficiali, in rosso quelli delle acque sotterranee e in verde quelli relativi alle precipitazioni. In nero è riportata la LMWL calcolata per la regione.

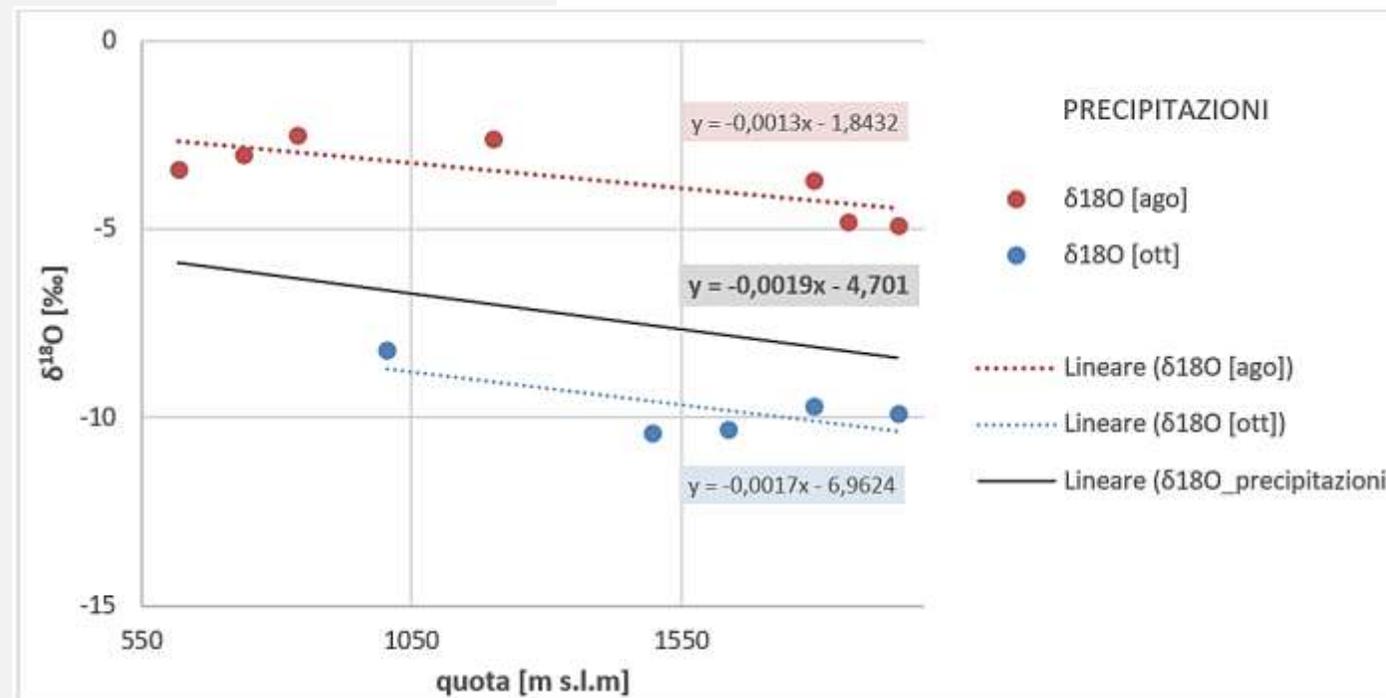
Il gradiente isotopico verticale

Buona qualità dei dati → possibile confronto con altri studi (nazionali, regione alpina, ecc.)

- GRADIENTE ISOTOPICO VERTICALE per la VdA:

-0,19‰/100m

(Per l'Italia è -0,20/100m, LONGINELLI & SELMO,2003)



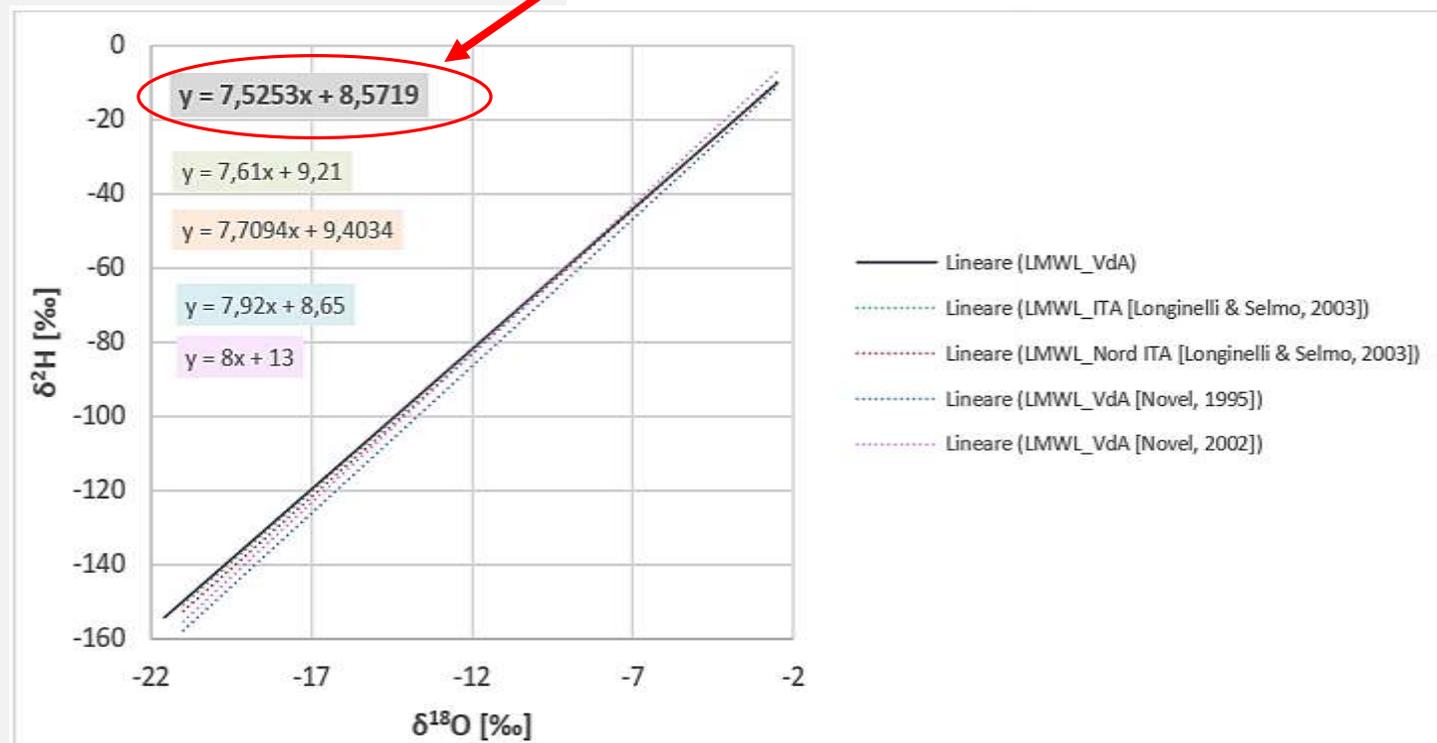
Fin fig.: valori del $\delta^{18}\text{O}$ delle precipitazioni graficati in funzione della quota di prelievo. La regressione lineare delle serie di dati permette di ottenere il gradiente isotopico verticale per l'area indagata. Nel grafico sono confrontate le rette di regressione dei dati di agosto (in rosso) e ottobre (in blu) con la retta di regressione lineare di tutti i dati ottenuti dai prelievi tra i mesi di agosto e novembre (in nero).

La retta meteorica locale (LMWL)

Buona qualità dei dati → possibile confronto con altri studi (nazionali, regione alpina, ecc.)

- LOCAL METEORIC WATER LINE per la VdA:

$$\delta^2\text{H} = 7.52 * \delta^{18}\text{O} + 8.57$$



In fig.: confronto tra la LMWL calcolata per la Valle d'Aosta (in nero) e le LMWLs calcolate per l'Italia (in verde, LONGINELLI & SELMO, 2003), per il Nord Italia (in rosso, LONGINELLI & SELMO, 2003) e per la Valle d'Aosta (in azzurro, NOVEL, 1995; in rosa, NOVEL, 2002).

I collettori di precipitazioni

REALIZZAZIONE:

Artigianalmente → indicazioni IAEA «*Precipitation Sampling Guide*»

- TIPO 1: campionatore per analisi isotopiche → uso di paraffina (blu in foto);
- TIPO 2: campionatore per analisi chimica (ioni) → senza paraffina (bianco in foto).

INSTALLAZIONE:

- Collaborazione con CF regionale e ARPA VdA → installazione c/o stazioni meteo;
- Autorizzazioni (Corpo Forestale e PNGP)

AUTORIZZAZIONI PER
L'INSTALLAZIONE:



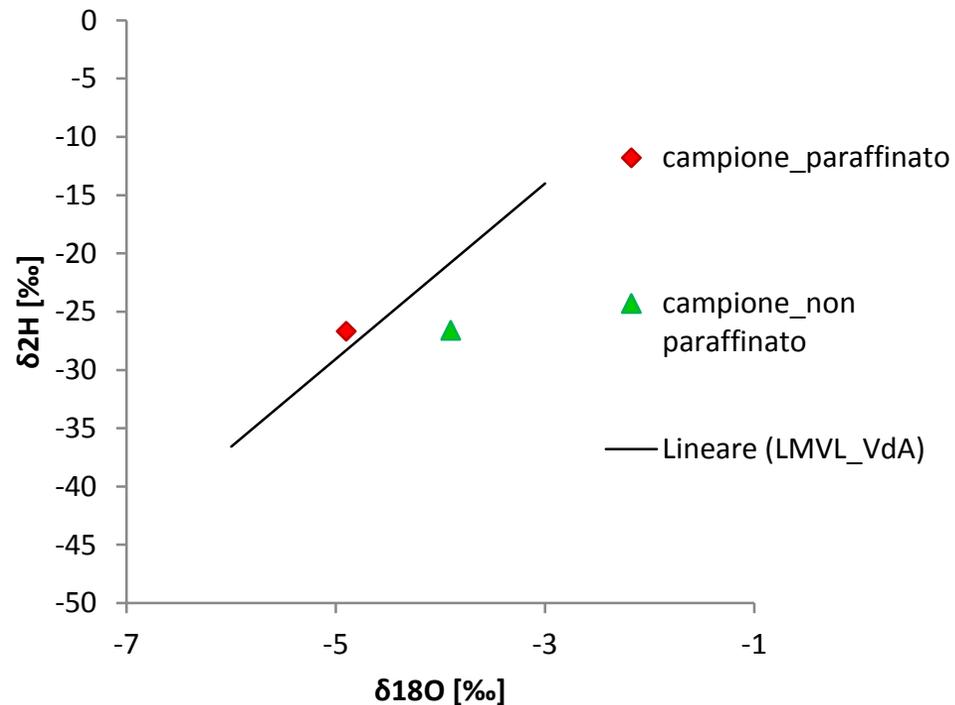
Mentieu, 10/2019, B. Grappein



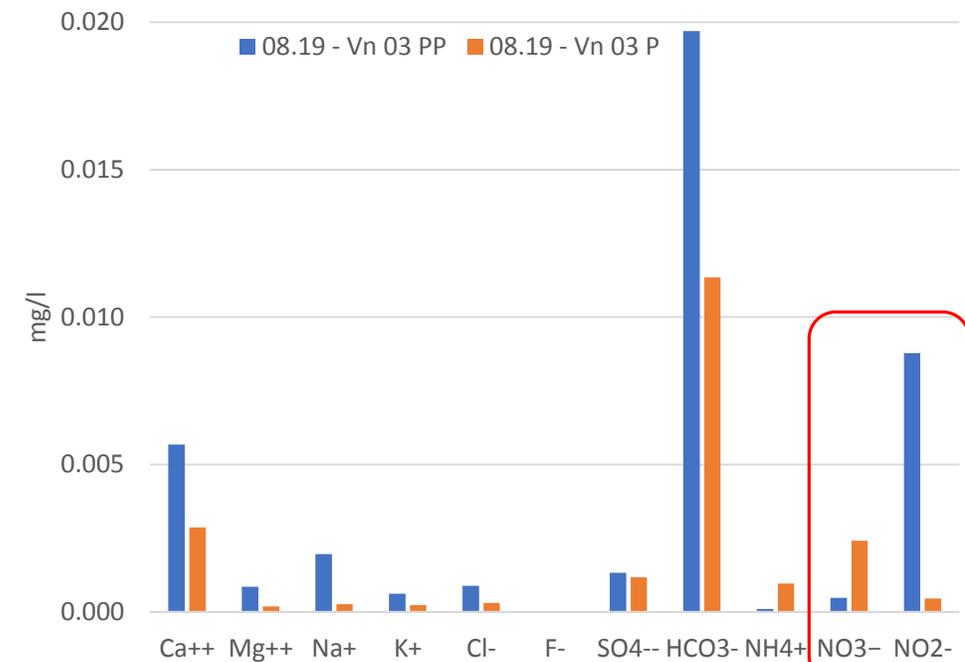
I collettori, 07/2019, B. Grappein

L'olio di paraffina: pro e contro nelle analisi

Analisi isotopiche vs analisi chimiche



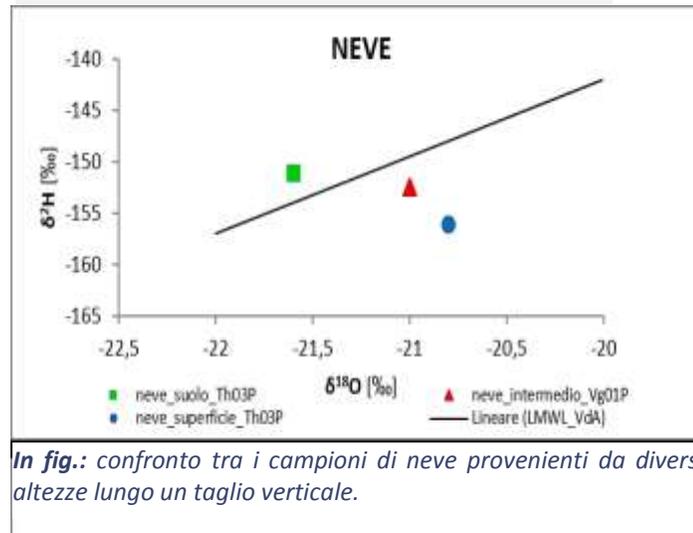
In fig.: confronto tra il campione paraffinato (rombo) e il campione non paraffinato (triangolo), graficati insieme alla LMVL calcolata per la Valle d'Aosta nel grafico $\delta^{2}\text{H}-\delta^{18}\text{O}$.



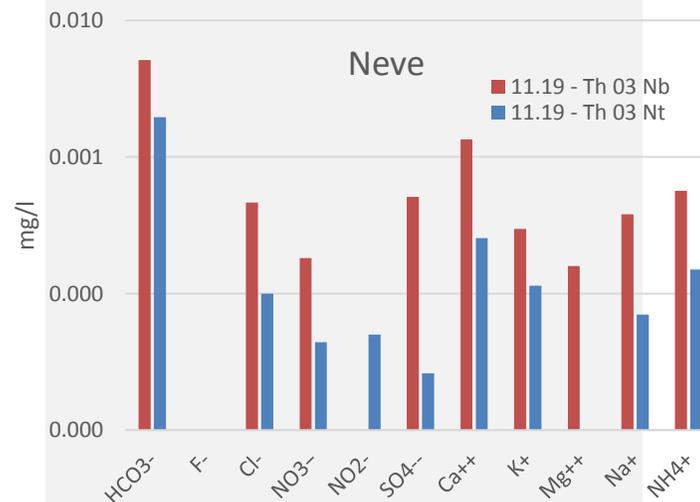
In fig.: confronto per mezzo di un istogramma delle concentrazioni dei principali ioni in soluzione nei due campioni. In blu il campione paraffinato, in arancio il campione non paraffinato

Il campionamento della neve

Analisi isotopiche vs analisi chimiche



In fig.: confronto tra i campioni di neve provenienti da diverse altezze lungo un taglio verticale.



In fig.: confronto tra i campioni di neve provenienti da diverse altezze lungo un taglio verticale. «t» Top; «b» Bottom.



Conclusioni - chimica

CHIMICA DELLE ACQUE:

→ no anomalie dei parametri → stato buono

DIPENDENZA DEL CHIMISMO DA:

- **Litologia** (quota, stagione, prossimità ai centri abitati, piovosità, ecc.)
- **Aerosol atmosferico** (?)

PROPOSTE MIGLIORATIVE:

- *Analisi di tipo microbiologico, in particolare per le acque ad uso potabile;*
- *La ricerca di inquinanti organici;*
- *La ricerca di metalli in tracce;*
- *Monitoraggio per almeno 1 anno.*

Conclusioni - isotopi

IDROLOGIA ISOTOPICA:

→ no evidenze di frazionamento isotopico → qualità dei dati buona

OTTENUTI:

- Dati per la VdA (mancavano dagli anni Novanta)
- Acque sotterranee: **doppia alimentazione** degli acquiferi (precipitazioni + acque di fusione) + **mixing in acquifero**
- Acque superficiali: alimentati dalle acque sotterranee + torrenti fusione glaciale + precipitazioni
- Precipitazioni: conferma della **doppia influenza** nella formazione delle nubi (Oceano Atlantico in estate Mar Mediterraneo in inverno)
- Ma soprattutto → **gradiente isotopico verticale** e **LMWL** aggiornata per la Regione!

PROPOSTE MIGLIORATIVE:

- *Ulteriori punti di campionamento;*
- *Monitoraggio per almeno 1 anno idrologico;*
- *Validazione dati → inserimento della regione nella rete GNIP.*

Prospettive future

CHIMICA DELLE ACQUE

- Analisi delle piogge → da inserire nel programma di monitoraggio

IDROLOGIA ISOTOPICA:

- Monitoraggio masse d'aria
- Quote di infiltrazioni delle sorgenti → aree di tutela
- Valutazione del contributo delle piogge vs nevi e ghiacci per la ricarica degli acquiferi
- Applicazioni paleoclimatiche
- Monitoraggio dell'inquinamento ambientale
- Uso di altri isotopi → es. età dell'acqua in acquifero (tempi di ricarica)



GRAZIE PER L'ATTENZIONE