

POLITECNICO DI TORINO

*Corso di Laurea magistrale
in Ingegneria per l'Ambiente e il Territorio*



Sviluppo di un Geodatabase e di
una StoryMap per lo studio e la
disseminazione del rapporto tra
cambiamenti climatici e sorgenti
di montagna in Valle d'Aosta

Relatore:

Prof.ssa Marina De Maio

Candidato:

Dario Tallon

Anno Accademico 2019/2020

Ringraziamenti

Vorrei iniziare questi ringraziamenti da tutte quelle persone che in questa mia carriera universitaria mi sono state accanto partendo da Roma fino a Torino.

Un particolare ringraziamento va indubbiamente alla Professoressa Marina De Maio che in questi ultimi anni e grazie alla sua grande gentilezza e disponibilità mi ha dato la possibilità di prendere parte a questo lavoro.

Voglio poi ringraziare l'Ing. Enrico Suozzi, che negli ultimi mesi di questo mio percorso universitario, con la sua infinita pazienza e professionalità, mi è stato a fianco sapendomi consigliare il meglio al fine di portare a termine questo progetto nel migliore dei modi.

Ovviamente, per concludere vorrei ringraziare, ancor di più di come io non lo abbia mai fatto, la Dottoressa Domenica Russo Trio, la quale, anche in questi due anni, ha ancor di più creduto in me, mi è stata sempre accanto, consigliandomi, aiutandomi e sostenendomi, in questo importante percorso della mia vita e senza la quale, ancora una volta, non sarei qui oggi.

Grazie, Dario

Sommario

1. Introduzione	1
2. Sorgenti	2
2.1. Definizioni	2
2.2. Sorgenti minerali e termali	2
2.3. Le sorgenti normali	4
2.3.1. Schematizzazione delle sorgenti	5
2.3.2. Sorgenti per limite di permeabilità	5
2.3.3. Sorgenti per soglia di permeabilità	6
2.3.4. Sorgenti per affioramento della piezometrica	7
2.4. Studio di fattibilità delle opere di presa	8
2.5. Ricarica attiva di una sorgente	9
2.5.1. Metodologia	12
2.6. Area di salvaguardia di una sorgente	13
2.6.1. Zona di tutela assoluta (ZTA)	15
2.6.2. Zona di rispetto (ZR) e zona di protezione (ZP)	15
2.7. Metodi di analisi	16
2.7.1. Metodo del tempo di dimezzamento (Metodo Civita)	16
2.7.2. Indice V.E.S.P.A. (Vulnerability Estimation for Spring Protection Area)	20
2.7.3. Covarianza incrociata e correlazione incrociata	22
2.7.4. Studio della curva di svuotamento ed esaurimento	24
2.8. Legislazione italiana	27
3. Cambiamenti climatici	30
3.1. Gas serra	30
3.2. Cause ed effetti	30
3.3. Situazione Europea	31
3.3.1. Accordo di Parigi	32
3.4. Situazione italiana	32
3.4.1. Serie storiche	32
3.4.2. Temperature	33

3.4.3. Precipitazioni	35
3.4.4. Acque profonde	36
3.5. Situazione in Valle d'Aosta	37
4. Esri	42
4.1. GIS	42
4.2. Storia del GIS	43
4.2.1. Storia antica del GIS	43
4.2.2. Il primo GIS	44
4.2.3. Nascita di Esri	44
4.2.4. GIS diventa commerciale	45
4.2.5. GIS oggi	45
4.2.6. Futuro del GIS	45
4.3. Environmental System Research Institute	45
4.3.1. Prodotti	46
4.4. Esri Italia	49
4.4.1. Formazione	50
5. Python	53
5.1. Storia	53
5.2. Caratteristiche	53
5.3. Librerie	55
5.4. Database	56
6. Sorgenti valdostane	58
6.1. Legislazione valdostana	58
6.2. Raccolta dati	60
6.2.1. Sonde	62
6.3. Analisi dei dati	63
6.4. Stazioni meteo	63
7. Alpe Perrot	65
7.1. Inquadramento geografico	65
7.2. Inquadramento geologico	65
7.3. Opere di presa	66
7.4. Criticità	68

7.5. Idrogrammi	68
7.6. Curve di esaurimento e parametri caratteristici della sorgente	78
7.7. Area di salvaguardia	86
7.8. StoryMaps	93
8. Conclusioni	94
9. Appendice	96
9.1. Script per idrogrammi e curve delle sorgenti	96
9.2. Script per dati sensori	103
9.3. Script per confronto idrogrammi e precipitazioni	107
9.4. Script per V.E.S.P.A.	112
9.5. Script per cross correlation	114
10. Bibliografia	120
11. Sitografia	122

1. Introduzione

Il presente lavoro, intende porre le basi per lo sviluppo un geodatabase PostgreSQL partendo da dati raccolti sul territorio della Regione Autonoma Valle d'Aosta, sia dalle sonde situate nelle sorgenti che campionano livelli, temperature e conducibilità elettrica sia da diversi sensori installati sulle stazioni meteo come: barometri, igrometri, nivometri, pluviometri, radiometri o termometri.

Questi dati, raccolti dal 2010 fino metà 2018, con un passo di mezz'ora tra una misurazione e l'altra, sono stati prima scaricati dai vari sensori, poi attraverso uno script in Python 3, con il supporto di alcune librerie come datetime, matplotlib, numpy, e psycopg2, sono stati elaborati e caricati su un geodatabase appositamente creato per contenere questo tipo di dati.

Allo stesso tempo, attraverso la definizione di un differente script Python, sono state analizzate le curve di esaurimento raccolte sempre nel precedente arco temporale, andando a generare giorno per giorno l'andamento della portata di una singola sorgente valdostana, estraendo poi soltanto il tratto di curva interessato per ogni anno idrogeologico, per poi andare a determinare i parametri che caratterizzano le sorgenti come i coefficienti di esaurimento, il volume di immagazzinamento, il tempo di rinnovamento delle sorgenti e il Delay Time delle riserve d'acqua.

Si sono successivamente studiati questi diversi grafici, paragonandoli anno per anno, al fine di verificare un nesso con i cambiamenti climatici avvenuti in quelle zone, andando a controllare se le riserve degli acquiferi delle singole sorgenti ne hanno risentito, verificando se questi volumi d'acqua con il tempo siano diminuiti o aumentati.

Per concludere questo lavoro, grazie ai software forniti da Esri Italia, quali ArcGIS Desktop, ArcGIS Online e le ArcGIS StoryMaps, si sono ubicate le sorgenti studiate su un'unica mappa con i relativi bacini annessi, andando a generare gli Shapefile necessari per una facile comprensione visiva attraverso ArcGIS Desktop.

Questi Shapefile sono stati successivamente caricati su ArcGIS Online dove sono state aggiunte le informazioni ricavate dallo studio precedente.

In fine per rendere pubbliche le informazioni raccolte, si è creata una pagina web grazie all'ausilio di su ArcGIS StoryMaps dove sono state inserite tutte le sorgenti elaborate con in allegato i dati ricavati.

2. Sorgenti

2.1. Definizioni

Un punto o una zona molto ristretta di una superficie del suolo, dove in corrispondenza della quale si manifesta la venuta a giorno di acque sotterranee in modo del tutto naturale, viene chiamato *sorgente*.

Le sorgenti possono essere poi suddivise in *normali* dove le fonti di acqua presentano temperature e chimismo normali, *termali* dove le temperature sono elevate e quelle *minerali* ovvero il loro chimismo è qualitativamente e/o quantitativamente alterato rispetto la normalità.

A seconda che la portata della sorgente sia continua o no, si possono suddividere ancora le sorgenti in *perenni* o *temporanee*.

Questa classificazione viene effettuata in base alla portata nel tempo, dove è buona norma far riferimento all'anno idrogeologico.

Per determinare ciò è utilizzata la curva d'efflusso sorgivo, la quale è suddivisa in curva di ricarica o di riempimento del serbatoio acquifero (tratto crescente) e curva di svuotamento (tratto decrescente) che a sua volta si suddivide in curva di decremento e di esaurimento.

Si ha poi l'area sorgiva, zona dove le acque sotterranee vengono a giorno in uno o più punti. Questa è la zona più importante della sorgente perché studiata al fine delle fattibilità delle opere di presa o captazione della sorgente stessa.

L'area di alimentazione è invece inerente alla superficie della struttura idrogeologica, dove si formano e si rinnovano le risorse idriche che alimentano la portata sorgiva.

Se sono presenti più sorgenti alimentate dalla stessa idrostruttura, viene costituito un gruppo sorgiva.

Con riserva regolatrice annua, di una sorgente di un gruppo sorgivo si intende il volume rinnovabile contenuto in un pannello di acquifero, compreso tra la massima quota d'escursione piezometrica nel periodo di riferimento e la quota della sorgente stessa.

2.2. Sorgenti minerali e termali

Per una prima classificazione preliminare è importante organizzare le sorgenti in funzione delle caratteristiche di base delle acque sotterranee, al fine di poter studiare per ogni classe diversi metodi di captazione. Essi sono:

- Sorgenti minerali
- Sorgenti termali
- Sorgenti termo-minerali
- Sorgenti normali

In Italia la classificazione più utilizzata (Marotta & Sica, 1993) divide in 5 gruppi le acque termo-termali a seconda delle caratteristiche idroterapiche, igieniche ed organolettiche in funzione del contenuto ionico naturale:

- Acque salate
- Acque solfuree
- Acque arsenicali ferruginose
- Acque bicarbonato
- Acque solfate

Un'ulteriore classificazione è quella fatta per le acque destinate all'imbottigliamento e alla commercializzazione attraverso il residuo secco a 180° in:

- Acque minimamente mineralizzate ($RS < 50$ ppm)
- Acque oligominerali ($50 \leq RS \leq 500$)
- Acque minerali ($500 \leq RS \leq 1500$)
- Acque ricche di sali minerali ($RS \geq 1500$ ppm)

È possibile in fine classificare le acque in base alla temperatura:

Acque fredde ($T < 20^\circ$)

Acque ipotermali ($20^\circ \leq T \leq 35^\circ$)

Acque mesotermali ($35^\circ \leq T \leq 50^\circ$)

Acque termali ($T \geq 50^\circ$)

Bisogna però tenere presente che il limite tra acque fredde e ipotermali non si può ritenere fisso. Infatti varia con la latitudine ed è condizionato dalla temperatura media locale.

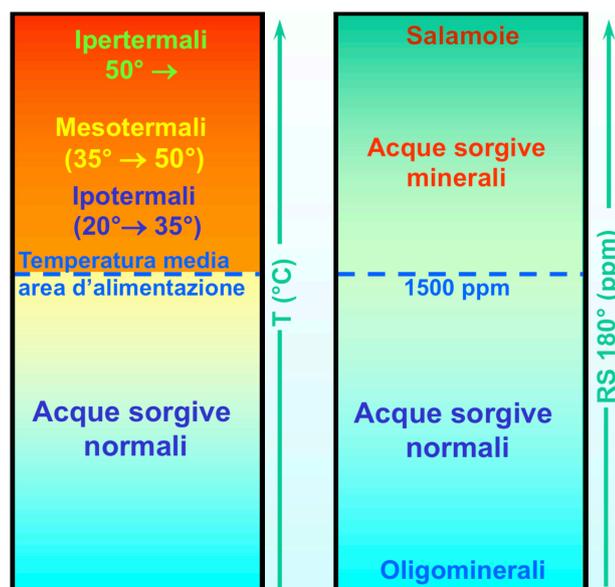


Figura 2.1. Suddivisione delle acque sorgive in relazione della temperatura (a sinistra) e dei solidi disciolti (a destra).

2.3. Sorgenti normali

Le sorgenti per l'uomo risultano essere estremamente importanti infatti costituiscono una risorsa idrica fondamentale, derivabile, che a differenza delle acque captate nei pozzi, sono disponibili senza ulteriori costi energetici.

Bisogna comunque tenere in considerazione un'analisi di costi e benefici valutando diversi fattori:

- Quota della sorgente riportata all'utenza da servire
- Portate e regime della sorgente
- Qualità di base delle acque sorgive
- Vulnerabilità all'inquinamento dell'acquifero alimentante la sorgente

La quota della venuta a giorno risulta essere molto importante sia nel caso dove l'utenza finale si trovi ad una quota maggiore, quindi bisogna tenere in considerazione i costi di sollevamento, sia se si trovi a quote minori e quindi applicare degli accorgimenti al fine di dissipare il carico idraulico in eccesso.

Per la portata sorgiva Meinzer (1927) ha proposto una classificazione quantitativa in otto classi di portata, fornendo anche una rapida formula per determinare l'indice di variabilità:

$$R_v = \frac{Q_{max} - Q_{min}}{Q_{med}} \cdot 100$$

dove a seconda del valore assunto la sorgente è classificata:

- Costante se $R_v \leq 0,25$
- Subvariabile se $0,25 > R_v > 1$
- Variabile se $R_v > 1$

Tabella 2.1. Classificazione delle sorgenti in base alla portata minima annua.

Classe	Portata minima annua (m ³ /s)
1	> 10
2	10 ÷ 1
3	1 ÷ 0,1
4	0,1 ÷ 0,01
5	0,01 ÷ 0,001
6	0,001 ÷ 0,0001
7	0,0001 ÷ 0,00001
8	< 0,00001

2.3.1. Schematizzazione delle sorgenti

Civita nel 1973 propose una schematizzazione facendo riferimento solo alle sorgenti normali, dove valutando la portata, sia conveniente la costruzione delle opere di presa di acque destinate al consumo umano, ovvero riferendosi alle prime cinque classi della classificazione di Meinzer e alla 6^a con indice di variabilità minore di 0,25.

Le sorgenti normali vengono quindi divise in tre classi principali, ognuna delle quali è suddivisa in ulteriori due sottoclassi. Questa divisione è basata sulla prevalenza di uno dei fattori idrogeologici principali di controllo genetico di ciascuna sorgente rispetto agli altri:

- A. Il grado di permeabilità relativa delle formazioni idrogeologiche impegnate
- B. La struttura idrogeologica
- C. L'andamento della superficie topografica

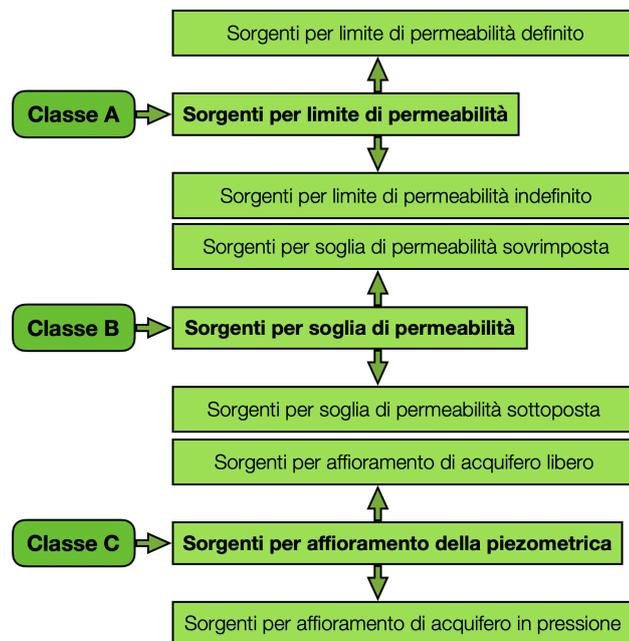


Figura 2.2. Schematizzazione tecnica delle sorgenti normali (Civita, 1973).

2.3.2. Sorgenti per limite di permeabilità

Si ha un limite di permeabilità quando esiste una separazione geometrica tra due complessi idrogeologici sovrapposti. Considerando una visione idrostrutturale il limite definito può corrispondere anche a un piano di discordanza angolare, basti che i piani abbiano una giacitura leggermente inclinata.

Ci si trova di fronte a un limite definito quando è presente un piano di stratificazione tra due terreni litologicamente differenti dove l'elemento geometrico è ben individuato.

Quando invece un complesso è uniforme, non presentando una stratificazione distinta tra differenti terreni, il limite di permeabilità è caratterizzato da diversi gradi di permeabilità tra la zona superiore che presenta un grado di permeabilità più elevato rispetto quella inferiore: si può dire quindi che l'elemento di separazione non è definito geometricamente, il limite quindi, verrà chiamato indefinito.

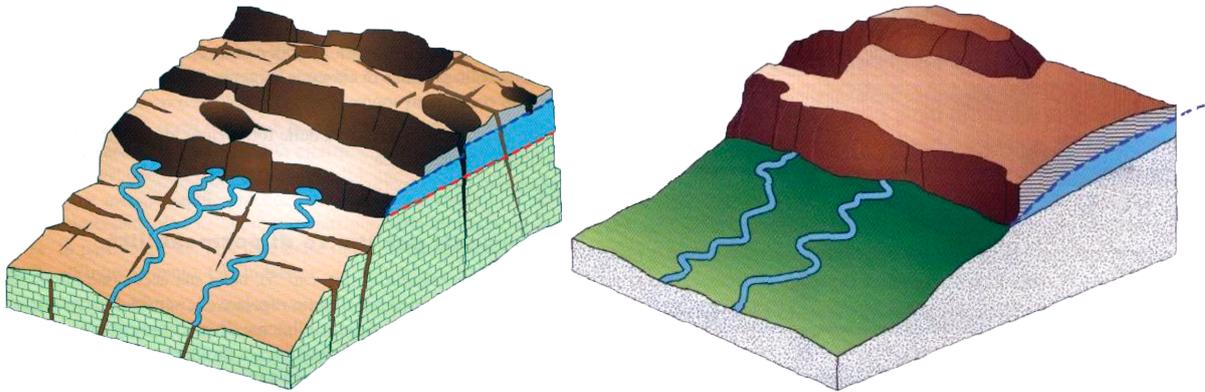


Figura 2.3. Schema di sorgente per limite di permeabilità indefinito a sinistra e definito a destra.

Un limite indefinito coincide spesso con un passaggio litologico graduale: come per esempio le molteplici sorgenti che sgorgano in corrispondenza del passaggio graduale tra il basamento dolomitico e la sovrastante successione calcarea nelle facies di piattaforma carbonatica.

Acquiferi in presenza di un limite di permeabilità definito sono molto comuni in qualunque intorno idrogeologico, sono infatti molto frequenti nelle zone nelle quali la serie idrogeologica è ricca di intercalazioni a bassa permeabilità. Nelle Alpi Marittime, ad esempio, si rilevano numerose sorgenti per limite di permeabilità definito, in quando gli acquiferi carbonatici poggiano indirettamente sul basamento cristallino.

2.3.3. Sorgenti per soglia di permeabilità

Un tipo di struttura idrogeologica, nelle regioni montane formate da fenomeni tettonici più o meno recenti, è data da una formazione a basso grado di permeabilità che limita lateralmente un acquifero, andando a formare uno sbarramento idraulico che come conseguenza implica una brusca variazione del grado di permeabilità orizzontale, così generando un serbatoio d'acqua sotterranea tanto più capace quanto maggiore è la zona del acquifero che si trova a quote assolute inferiori alla quota del punto più basso della cintura impermeabile. Ovvero, il livello piezometrico dell'acquifero aumenterà fino al raggiungimento della quota del punto altimetricamente più basso di una soglia di permeabilità.

Geneticamente, una soglia di permeabilità può essere un'evoluzione tettonica di un limite di permeabilità. Nelle regioni dove la tettonica è prevalentemente rigida, la

contrapposizione tra acquifero e impermeabile avviene in prevalenza per faglia rovescia.

Un caso peculiare, ma non così tanto in Italia, è la giustapposizione per faglia diritta, sub-verticale, osservabile nelle aree appenniniche.

Comunque qualsiasi sia l'origine strutturale delle soglie di permeabilità, queste si riducono a due principali forme:

- Soglia di permeabilità sottoposta quando l'impermeabile che genera la soglia si trova sotto l'acquifero
- Soglia di permeabilità sovrainposta quando i complessi con bassa permeabilità che genera la soglia si trovano al di sopra l'acquifero

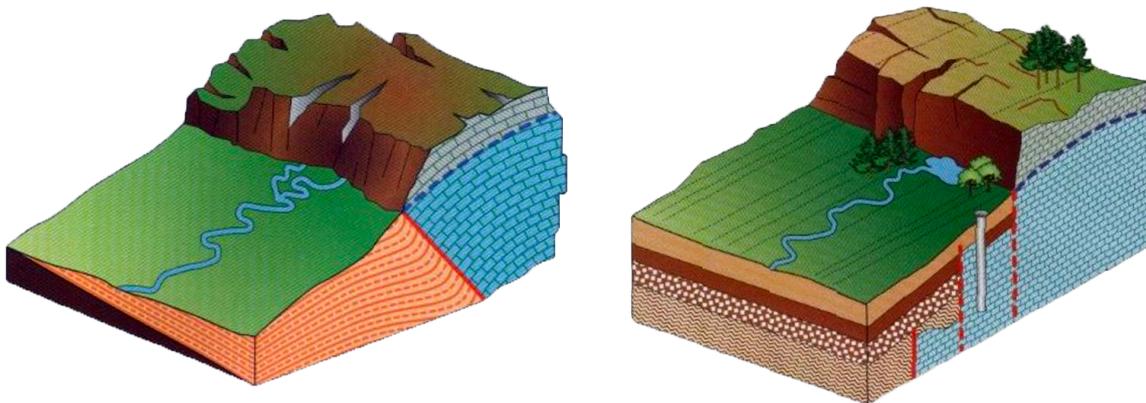


Figura 2.4. Schema di sorgente per soglia di permeabilità sottoposta a sinistra e sovrainposta a destra.

2.3.4. Sorgenti per affioramento della piezometrica

In questa classe la topografia, ovvero il risultato degli agenti morfogenetici nel tempo di una determinata area, è il fattore determinante.

Infatti quando l'azione dei fattori morfogenetici nel tempo porta a un progressivo abbassamento della superficie topografica, si può raggiungere il limite dell'intersezione di tale superficie con quella piezometrica dell'acquifero sottostante. La localizzazione delle venute a giorno è tutt'altro che casuale: le sorgenti si manifestano nei punti dove l'erosione produce il massimo effetto come valli di escavazione fluviale o di esarazione glaciale ovvero, in quei punti della superficie topografica che si trovano più vicini alla superficie piezometrica dovute alle variazioni del grado di permeabilità dell'acquifero o a variazioni in spessore dello stesso.

La seguente classe, come le precedenti due, è suddivisa in due sottoclassi, a seconda che l'acquifero che alimenta la scaturigine sia libero o in pressione.

Nella prima sottoclasse, la sorgente si genera nel punto e nel momento in cui la superficie topografica interseca quella piezometrica. Si nota però in questo caso che durante il periodo di magra, la portata si riduce, poiché il livello dell'acquifero è più basso della superficie topografica.

Nel secondo caso, invece, l'erosione dovrà intaccare lo strato impermeabile che limita superiormente l'acquifero in pressione almeno per uno spessore tale da consentire alle stesse acque dell'acquifero di aprirsi la strada grazie alla pressione idrostatica. In realtà, però, si osserva che il tetto impermeabile dell'acquifero in pressione presenta delle discontinuità fisiche (zone a permeabilità più alta o fratture) che favoriscono la risalita delle acque che sgorgano in superficie nel momento in cui questa arriva a coincidere con la quota del livello piezometrico.

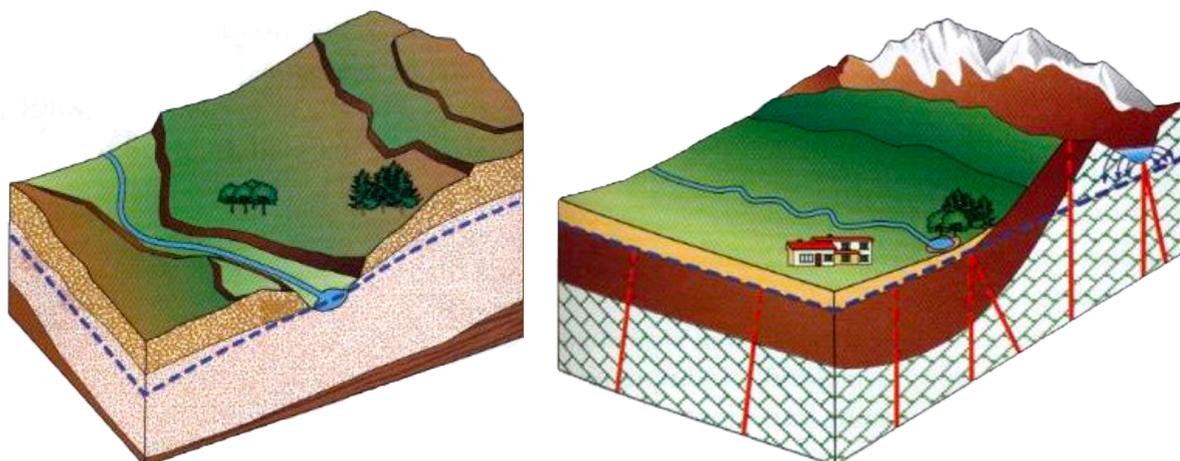


Figura 2.5. Schema di sorgente per affioramento della piezometrica di un acquifero libero a sinistra e confinato a destra.

2.4. Studio di fattibilità delle opere di presa

Per poter procedere a una progettazione corretta e completa in ogni parte di un'opera di presa moderna è necessario una grande quantità di dati idrogeologici, idrometrici e geognostici tale da fornire un quadro dettagliato della struttura idrogeologica alimentatrice, in generale, e della zona sorgiva, in particolare; della dinamica delle acque sotterranee; della formazione, evoluzione spazio-temporale e consistenza delle risorse idriche; della vulnerabilità delle stesse al depauperamento qualitativo (inquinamento) e quantitativo (sovrasfruttamento). A questi dati strettamente tecnici si aggiungono di regola altre considerazioni, di natura economica e logistica, che possono condizionare in maniera determinante il progetto, indipendentemente dalla situazione tecnica.

I dati tecnici indispensabili alla progettazione dell'opera di presa si ottengono mediante un programma d'indagini, la cui metodologia si è andata sempre più affinando negli anni. Tale metodologia, nata per lo studio di importanti sorgenti in Italia centro-meridionale, viene oggi applicata, sia pure con ovvie proporzioni di spesa, in tutti i casi (Civita et al., 1991). Essa comprende:

- il rilievo idrogeologico di dettaglio dell'area di alimentazione presunta, completo di un'accurata ricostruzione tettonica, geomorfologica e paleogeografica della

struttura acquifera alimentante le sorgenti in questione, la quale viene in tal modo identificata anche sulla base di appositi rilevamenti e analisi strutturali, prove con traccianti

- uno studio del regime pluviometrico e termico della struttura idrogeologica, raccogliendo i dati forniti dalle stazioni meteorologiche esistenti, integrando queste all'occorrenza con altre stazioni appositamente installate nei punti dominanti
- redazione del bilancio idrogeologico potenziale e/o completo con lo scopo di identificare l'area di alimentazione e i suoi limiti
- un programma di monitoraggio delle portate delle scaturigini, della loro temperatura e del loro chimismo
- elaborazione dei dati chimici, termici, idrometrici, geostrutturali ecc.
- indagini geognostiche di dettaglio nella zona sorgiva, che comprendono normalmente una prospezione geofisica (geoelettrica e/o sismica) e una rete di sondaggi meccanici di controllo, i quali vengono di regola utilizzati come piezometri, allo scopo di tenere periodicamente sotto controllo l'andamento piezometrico locale

Una regola della buona pratica professionale consiste di effettuare la prima perforazione geognostica immediatamente a monte della sorgente, e una seconda a valle, interessando un buon tratto nel sottosuolo, in modo da mettere in chiaro la tipologia di sorgente su cui si inizia a lavorare.

Le indagini, una volta concluse, forniscono tutti gli elementi necessari e sufficienti alla progettazione, compresi quelli forniti dalla modellazione degli idrogrammi di magra inerenti all'ammontare delle riserve idriche effettivamente sfruttabili e altri, riguardanti la qualità delle acque e, dunque, l'eventuale necessità di un impianto di trattamento.

Accade però frequentemente che il progetto dell'opera di presa sia condizionato da elementi contingenti, ad esempio la necessità di mantenere una quota minima di restituzione, l'ubicazione delle sorgenti all'interno o ai margini di un centro abitato ecc. Fattori di questo genere possono costringere a soluzioni di progetto spesso molto diverse e più onerose di quella ottimale, a discapito della efficienza e della razionalità dell'opera stessa.

2.5. Ricarica attiva di una sorgente

È estremamente importante conoscere la ricarica degli acquiferi, per fare in modo di gestire correttamente le acque, è importante anche per modellare i fluidi e conoscere in modo dettagliato il trasporto, all'interno dell'acquifero, possibili inquinanti. Le acque provenienti dal sottosuolo sono parte fondamentale del sistema idrologico. Le acque sotterranee venivano sfruttate dall'uomo già da migliaia di anni, ma soltanto negli ultimi 200 anni l'utilizzo è incrementato notevolmente e solo di recente però si è compreso come questa risorsa non sia illimitata ed estremamente

vulnerabile a una possibile contaminazione. Il tasso di ricarica è una delle componenti a capo in ogni bilancio delle acque che provengono da sottosuolo o della vulnerabilità degli acquiferi, in quanto questo tasso comprende il tempo e la quantità di acqua necessaria per riempire l'acquifero. Gli idrogeologi che si sono occupati dei flussi delle acque sotterranee e di come i contaminanti si divincolano nel sottosuolo sono molti; In molti testi infatti è citata l'importanza della ricarica, ma su questi vengono dati non molte informazioni sulla sua descrizione e sui modelli d'analisi per stimarla.

La quantificazione della ricarica delle sorgenti, risulta un'operazione di elevata difficoltà, poiché le conoscenze sui vari bacini idrogeologici che costituiscono l'area di alimentazione delle sorgenti non sono quasi sempre approfondite.

Esistono molte definizioni di bacino idrografico che vengono qui di seguito elencate:

- Il bacino idrografico è definito come quella porzione di territorio il cui deflusso idrico superficiale viene convogliato verso una fissata sezione di un corso d'acqua che è definita sezione di chiusura del bacino
- Il bacino idrografico è delimitato dallo spartiacque e può essere definito come la linea più elevata separante il bacino imbrifero dai bacini limitrofi, unendo le massime quote relative secondo la minore pendenza
- Il primo articolo delle "Norme per il riassetto organizzativo e funzionale della difesa del suolo" (Legge 18 maggio 1989, n. 183 ora abrogata dal D.Lgs. del 3 aprile 2006 n. 152) definisce così il bacino idrografico: "Il territorio dal quale le acque pluviali o di fusione delle nevi e dei ghiacciai, defluendo in superficie, si raccolgono in un determinato corso d'acqua direttamente o a mezzo di affluenti, nonché il territorio che può essere allagato dalle acque del medesimo corso d'acqua, ivi compresi i suoi rami terminali con le foci in mare ed il litorale marittimo prospiciente; qualora un territorio possa essere allagato dalle acque di più corsi d'acqua, esso si intende ricadente nel bacino idrografico il cui bacino imbrifero montano ha la superficie maggiore"
- L'articolo 54 comma r (decreto legislativo del 3 aprile 2006 n. 152) definisce il bacino idrografico come il territorio nel quale scorrono tutte le acque superficiali attraverso una serie di torrenti, fiumi ed eventualmente laghi per sfociare al mare in un'unica foce, a estuario o delta

Il bacino idrografico si distingue dal bacino idrogeologico, difatti questo raccoglie le acque nel sottosuolo e può essere anche molto diverso per forma e dimensioni, per questo il bacino idrogeologico si definisce come la linea che unisce i culmini piezometrici costituendo lo spartiacque sotterraneo.

Quando ci si riferisce al solo scorrimento superficiale, la delimitazione del bacino risulta semplice, perchè, in base al rilievo del terreno, si tratta di individuare lo spartiacque topografico o superficiale. Risulta invece molto più complicato

delimitare la porzione del territorio che concorre alla formazione dei deflussi totali comprendendo i contributi sotterranei o profondi. Lo spartiacque sotterraneo, ovvero la linea che delinea il sistema idrico del sottosuolo scolante verso la sezione di chiusura del bacino, di solito non coincide con quello di tipo topografico e quindi può essere determinato solo tramite degli studi idrogeologici.

Il bilancio idrogeologico, è espresso attraverso l'equazione sotto citata, nella quale si assume che qualunque differenza tra quantità d'acqua in ingresso e quantità d'acqua in uscita dal sistema, causa una variazione del volume d'acqua del sistema stesso:

$$P = ETR + R + I$$

con:

- P = Precipitazione incidente
- ETR = Evapotraspirazione
- R = Ruscellamento superficiale
- I = infiltrazione

L'infiltrazione efficace (i.e.) ovvero la quantificazione diretta della ricarica attiva non può prescindere dalla complessità e dalla massa dei dati necessari per la redazione di un bilancio idrogeologico globale che tenga conto non solo degli afflussi e degli efflussi naturali, ma anche dell'interscambio con corpi idrici superficiali e sotterranei, delle ricariche artificiali, come irrigazione, urbanizzazione, reinfiltrazione, e dei prelievi relativi (Civita M. e De Maio M., 2001). Alla base di qualsiasi metodologia di valutazione di questo parametro esiste una schematizzazione dei processi fisici che intervengono attraverso diversi modelli matematici con differenti gradi di complessità.

È possibile individuare due differenti classi di metodologie:

- Nei metodi diretti viene utilizzata la stima diretta del parametro a partire dalle misurazioni delle portate entranti e uscenti dal sistema, come sorgenti, flusso di base di corsi d'acqua o pozzi
- Nei metodi indiretti si stima il parametro partendo dalle variabili ad esso associate con cui è più facile ottenere misure come traccianti e bilanci inversi

La scelta del metodo da utilizzare per valutare la ricarica è naturalmente condizionata da diversi fattori come la disponibilità di dati in possesso, la scala alla quale deve essere condotto lo studio e il riferimento temporale. La metodologia descritta nel paragrafo seguente, nota come "Il bilancio idrogeologico inverso" (Civita M. e De Maio M., 2001), appartiene alla classe dei metodi indiretti e consiste in un modello numerico con parametri distribuiti, eseguibile in GIS.

2.5.1. Metodologia

Per giungere alla stima del tasso di infiltrazione all'interno di un'area nota, attraverso la metodologia del bilancio inverso, si tiene conto di una serie di parametri, generalmente disponibili, come la piovosità e la temperatura, la quota altimetrica e l'inclinazione dei versanti, le caratteristiche di permeabilità del suolo e delle rocce. La verifica dei risultati ottenuti può essere eseguita mettendo a confronto la stima della ricarica attiva, con dati bibliografici o sperimentali, se reperibili, relativi all'area di studio. L'approccio di questa metodologia dopo aver identificato l'area da studiare, prevede la suddivisione dell'area in un grigliato con maglia regolare (Elementi Finiti Quadrati) di lato da decidere in base alla grandezza dell'area stessa. Per ogni cella che va a formare l'area vengono associate delle grandezze fondamentali al fine di una corretta applicazione della metodologia del bilancio idrogeologico inverso:

1. Vengono posizionate e georeferenziate le stazioni pluviometriche e termometriche all'interno e al di fuori del territorio d'interesse
2. Utilizzazione delle serie storiche dei dati per periodi mediamente lunghi, che possono andare dai 10 ai 20 anni, tali da includere variazioni pluriennali delle precipitazioni e della temperatura
3. Determinazione delle medie mensili ed annuali dei dati pluviometrici e termometrici per ogni stazione in esame
4. Determinazione delle temperature medie ed annuali corrette (T_c) in relazione della piovosità in quel arco temporale
5. Determinazione delle equazioni di piovosità/quota $P = f(q)$
6. Determinazione delle equazioni di temperatura corretta/quota $T_c = f(q)$
 Note, ora, tutte le relazioni generali, valide su tutta l'area di studio, si procede alle elaborazioni che riguardano ogni cella elementare:
7. Calcolo della quota media (q) di ciascun EFQ
8. Calcolo della piovosità (P), in base ai punti 5, 6 e 7
9. Calcolo della evapotraspirazione (E_r), in base al 4°, 5° 6° e 7° punto
10. Calcolo della piovosità efficace (Q) in base ai punti 8 e 9
11. Identificazione del coefficiente d'infiltrazione (χ), irrispetto alla litologia superficiale (se affiorante o sotto scarsa copertura di suolo) o alle caratteristiche della tessitura del suolo, all'indice di fratturazione (IF), all'indice di carsismo (IC) e ad altri parametri correttivi che dipendono dalla soggiacenza, dall'uso del suolo, dalla tipologia e densità della rete drenante superficiale
12. Determinazione della ricarica (I) e del ruscellamento (R), in base ai punti 10 e 11
13. Calcolo per sommatoria della ricarica e del ruscellamento competente all'intera area d'interesse, interpretazione e cartografia tematica delle diverse componenti del bilancio

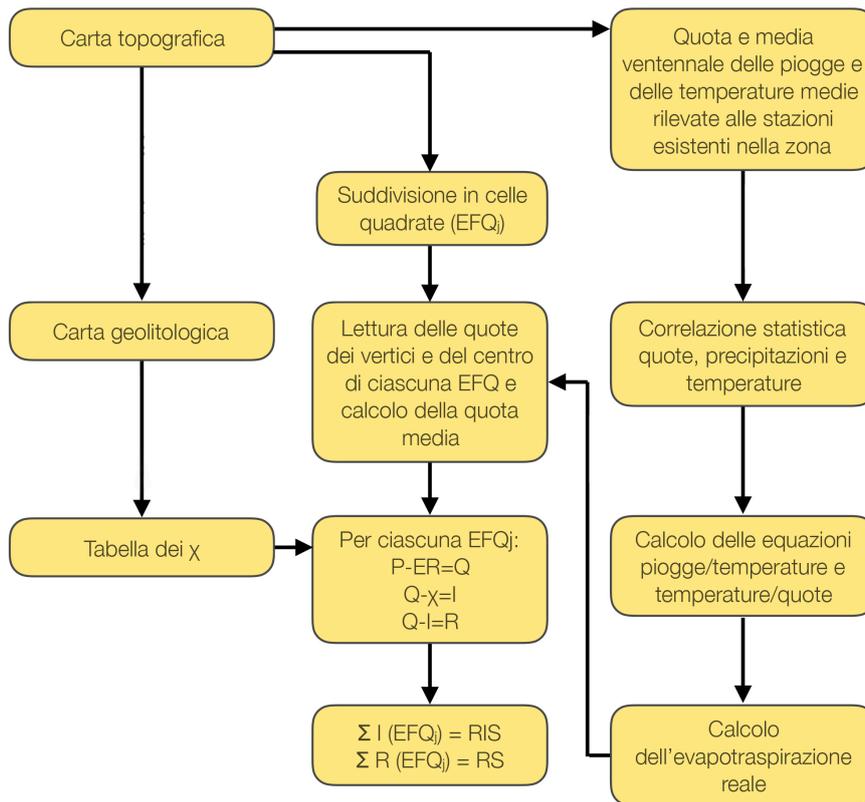


Figura 2.6. Diagramma di flusso della metodologia del bilancio inverso.

2.6. Area di salvaguardia di una sorgente

Una delle prime operazioni, essenziali, da effettuare è quella di determinare tutti gli interventi tecnici e i provvedimenti da eseguire direttamente sulle captazioni, con una zona di intervento in prossimità del punto da salvaguardare e determinare invece quelli che cercano di difendere la risorsa idrica sotterranea. Al primo gruppo viene associato il termine “difesa del punto” e al secondo “difesa a tutto il campo”.

Per difesa del punto si intendono tutti quegli interventi, sia strutturali che non, con cui le leggi attuali prevedono la salvaguardia delle captazioni e delle acque provenienti dal sottosuolo destinate al consumo umano.

Le fasce di rispetto, ovvero il sistema di salvaguardia, viene suddiviso in 4 differenti zone, regolamentate da vincoli disposti da legge, imposti per proteggere la risorsa idrica captata:

- ZTA = Zona di tutela assoluta
- ZRR = Zona di rispetto ristretta
- ZRA = Zona di rispetto allargata
- ZP = Zona di protezione

Generalmente al posto della distinzione tra Zona di rispetto ristretta e Zona di rispetto allargata si utilizza Zona di rispetto (ZP).

Oltre alla definizione delle fasce di rispetto, bisogna considerare anche un sistema di difesa attiva, ovvero un sistema di monitoraggio, che che assicuri un allarme in caso d'inquinamento con largo anticipo spazio-temporale.

La determinazione di queste aree può essere fatta utilizzando due criteri diversi:

- *Geometrico*: attraverso tracciamento di fasce geometriche rispetto alla captazione. Questo concetto di determinazione del perimetro, però, può penalizzare il territorio, la qualità delle acque sotterranee in presenza di inquinanti non degradabili non sarebbe salvaguardata. La poca affidabilità di una difesa di punto basata solo sul criterio geometrico si osserva chiaramente quando si considera il flusso sottosuolo, che è in funzione delle caratteristiche idrogeologiche dell'acquifero, è completamente ignorato all'atto della determinazione dei limiti geometrici. Il criterio geometrico, quindi, può essere applicato con una limitante efficacia alle delimitazioni dell'area di protezione dell'opera di approvvigionamento. Con riferimento al Decreto Legislativo 152/06 articolo 94 il criterio geometrico viene utilizzato per la delimitazione della ZTA e alla delimitazione provvisoria della ZR
- *Idrogeologico*: utilizzato quando si ha un maggior numero di dati disponibili o reperibili con studi generali e prove in situ per la caratterizzazione dell'acquifero preso in considerazione. Questo criterio tiene in considerazione il rapporto che esiste tra tutta struttura idrogeologica e tutto il flusso delle acque del sottosuolo. Il criterio idrogeologico è considerato come il metodo più scientifico, basato sui diversi elementi idrogeologici, idrochimici e idrologici:
 - Determinazione della struttura geologica dell'acquifero e della sua estensione ed individuazione delle zone di alimentazione
 - Individuazione delle velocità di circolazione delle acque nel acquifero
 - Individuazione delle facies attraverso le analisi idrogeochimiche delle acque
 - Localizzazione dei possibili potenziali centri di pericolo

Questo criterio idrogeologico è utilizzato esclusivamente per le zone di protezione e per le zona di rispetto, dove le condizioni idrogeologiche presentano livelli di difficoltà tali da invalidare l'utilizzo efficace del criterio temporale.

- *Temporale*: è principalmente fondato sul concetto di tempo di sicurezza ovvero il tempo che serve per realizzare le misure opportune di difesa della captazione. Il tempo di sicurezza deve essere risultare minore del time of travel, ovvero il tempo che impiega un inquinante idroportato per raggiungere l'obiettivo. Questo è dipende da
 - Caratteristiche idrogeochimiche e idrogeologiche dell'acquifero
 - Velocità del flusso d'acqua del sottosuolo
 - Capacità dell'acquifero di eliminare l'inquinante

Il criterio temporale è utilizzato esclusivamente per la determinazione della sola zona di rispetto (Suozzi E., 2012).

2.6.1. Zona di tutela assoluta (ZTA)

La zona di tutela assoluta è l'area più interna che circonda la captazione, destinata esclusivamente all'opera di captazione della sorgente, costruzioni e le attrezzature di servizio; dentro a questa zona possono essere effettuate solo le attività come l'impianto di prato e/o bosco basti che siano esenti da concimazioni.

La zona di tutela assoluta, dove possibile, deve essere accuratamente recintata, provvista di canali artificiali per la raccolta delle acque meteoriche ed eventualmente deve essere presente un impermeabilizzazione per il terreno superficiale che prevenga qualsiasi alterazione dei requisiti di qualità cui devono rispettare le acque che sono captate. In essa dovranno essere assicurati: un'efficace protezione da frane, fenomeni di intensa erosione ed alluvionamenti; l'isolamento del sottosuolo dalla superficie per mezzo di copertura impermeabile naturale e/o artificiale.

Nel caso che la zona di tutela assoluta non costituisca area demaniale, essa deve essere preferibilmente acquistata dall'Ente gestore del servizio di acquedotto.

Il dimensionamento della zona di tutela assoluta deve essere determinato tenendo conto della estensione, articolazione e soggiacenza delle diverse parti dell'opera di captazione e della sua tipologia (bottini di presa, drenaggi, gallerie drenanti, trincee drenanti, pozzi verticali e dreni orizzontali, captazione diretta in cavità sotterranea o gallerie) (Suozzi E., 2012).

Esso si basa sul:

- Criterio geometrico, destinato esclusivamente ad una perimetrazione non definitiva, in base al quale la zona si determina attraverso un cerchio di raggio superiore ai 10 m (dove l'assetto geomorfologico e strutturale lo consentano) con centro nel punto dell'opera di captazione
- Criterio temporale, il quale si basa sul tempo di dimezzamento della portata massima annua e utilizzato per la delimitazione definitiva della zona

Il dimensionamento della zona di tutela assoluta può essere ottimizzato in funzione della vulnerabilità del sito, del rischio e della rilevanza della captazione.

2.6.2. Zona di rispetto (ZR) e zona di protezione (ZP)

La zona di rispetto è un area intermedia di raggio superiore ai 200 metri dal punto dell'impianto di captazione.

Il dimensionamento della zona di rispetto si basa, su:

- Criterio temporale, basato sul tempo di dimezzamento della portata massima annua, e utilizzato esclusivamente per determinare la zona in via provvisoria;
- Criterio idrogeologico, basato sul utilizzo di traccianti, per una delimitazione definitiva della zona di rispetto.

Nella zona di rispetto vengono applicati i vincoli individuati per la classe di sensibilità 1, a prescindere dal grado di vulnerabilità locale definito dalla carta di vulnerabilità degli acquiferi della zona.

Per gli studi non definitivi, la zona di protezione si riferisce a tutta l'area di alimentazione delle sorgenti.

Essa deve essere delimitata con il criterio idrogeologico, basato sull'esito degli studi (anche mediante l'uso di traccianti e di isotopi ambientali) tenendo conto del grado di vulnerabilità delle risorse idriche.

In via definitiva, la zona di rispetto deve collimare con la zona di protezione e, quindi, con l'intera area di alimentazione delle falde acquifere che vengono utilizzate dalla captazione nel caso di vulnerabilità è alta.

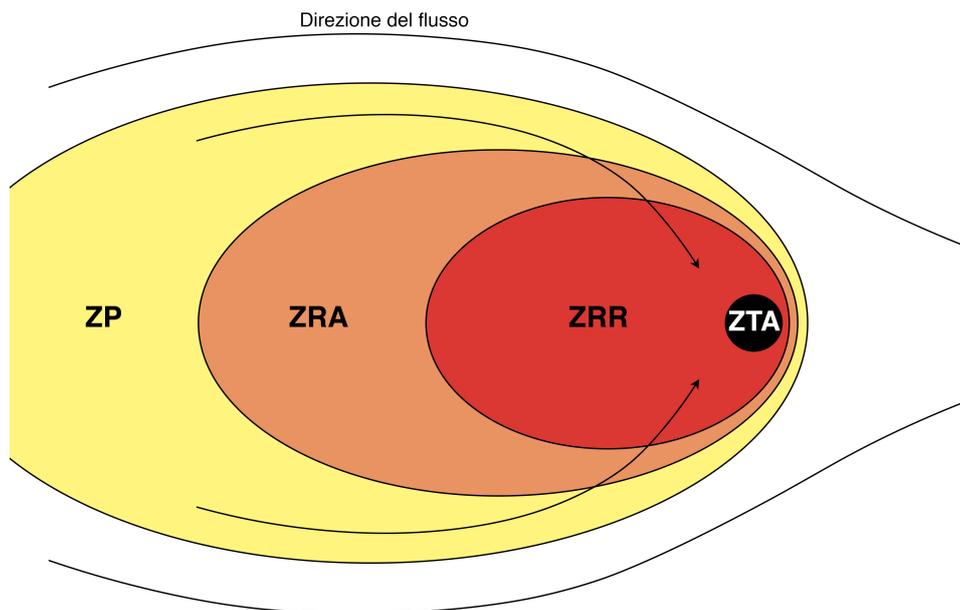


Figura 2.7. Schema delle aree di salvaguardia di captazione per pozzi (fonte: UK Groundwater Forum).

2.7. Metodi di analisi

2.7.1. Metodo del tempo di dimezzamento (Metodo Civita)

Il metodo del tempo di dimezzamento è una metodologia per definire l'area di salvaguardia delle sorgenti con l'ausilio di un parametro di facile rilevamento che serve a classificare le diverse situazioni sorgive identificando la velocità di spostamento massima di un inquinante nei relativi acquiferi anche non disponendo di dati specifici, come prove con traccianti, prove di permeabilità, ecc (Civita M., 1988).

Tale parametro è stato identificato nel *tempo di dimezzamento* della portata massima annuale, ossia il tempo, misurato in giorni, intercorso tra il verificarsi della portata massima ed il verificarsi di una portata pari alla metà di questa. Esso rappresenta il tempo di spostamento (time of travel) dell'acqua sotterranea

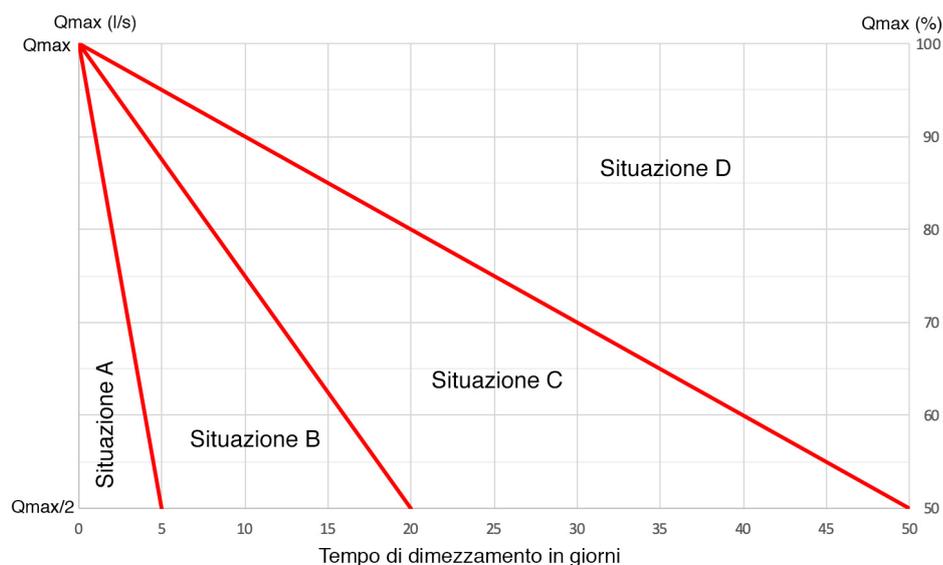


Figura 2.8. Determinazione della situazione di vulnerabilità in funzione del tempo di dimezzamento.

attraverso l'insaturo ed è correlabile direttamente con lo svuotamento dei meati più ampi dell'acquifero.

La scelta del parametro ha evidenti ragioni di praticità e di semplicità: basterà, infatti, munire le sorgenti da proteggere di un apparato di misura della portata in continuo per disporre del dato che potrà essere controllato, rivedendo, se il caso, periodicamente, il piano delle aree di salvaguardia (Civita M., 1988).

Utilizzando le correlazioni tra i valori disponibili di velocità di deflusso e il tempo di dimezzamento, sono state identificate quattro situazioni base di vulnerabilità (Figura 2.8 e Tabella 2.2)

Tabella 2.2. Situazione di vulnerabilità in funzione del tempo di dimezzamento della portata massima annua.

Situazione	Tempo di dimezzamento (t _D ,d)	Velocità di flusso	
		(m/s)	(m/d)
A	t _D <5	>10 ⁻²	>1000
B	5≤t _D ≤20	10 ⁻² ÷ 10 ⁻³	100
C	20<t _D ≤50	10 ⁻³ ÷ 10 ⁻⁴	10
D	t _D >50	10 ⁻⁴ ÷ 10 ⁻⁵	1

La velocità di svuotamento e anche funzione della portata massima e, quindi, del volume dinamico corrispondente, calcolabile per integrazione delle stesse equazioni in funzione del tempo. Il rapporto Q/V è il tempo di ritardo dovuto all'immagazzinamento, dove più grande è il valore del rapporto, più lungo sarà lo svuotamento e di conseguenza il tempo di dimezzamento.

Disponendo, quindi, delle portate giornaliere della sorgente e in particolare, di quelle che permettono di creare la parte iniziale della curva di svuotamento è possibile, attraverso la Tabella 2.2, stabilire il corrispondente intervallo di valore della velocità di flusso e, quindi, quella di propagazione di un inquinante idroportato di ciascun caso esaminato (Civita M., 1988).

In base alla classe di vulnerabilità, si giunge al tipo più indicato di prescrizioni per la salvaguardia statica della risorsa d'interesse.

Dimensionamento delle fasce di rispetto

Il dimensionamento della zona di tutela assoluta può essere adeguatamente ampliato in funzione della vulnerabilità del sito e del rischio cui è soggetta la risorsa: in genere, per le sorgenti, si deve avere un'estensione non inferiore ai 10m. Il perimetro della zona deve essere determinato tenendo conto dell'estensione e soggiacenza delle diverse parti dell'opera di captazione (Civita M., 1988).

Per la captazione alla sorgente si ha una ZTA di lunghezza (D) misurata a partire dalla scaturigine verso monte flusso sotterraneo, (d) misurata verso valle e 3/4D lateralmente.

Tabella 2.3. Valori indicativi di D e d per il dimensionamento della zona di tutela assoluta di una sorgente nelle diverse situazioni di vulnerabilità.

Situazione	Estensione verso monte di "D" (m)	Estensione verso valle di "d" (m)	Estensione laterale "3/4D" (m)
A	40	10	30
B	30	5	22,5
C	20	5	15
D	10	2	7,5

Il dimensionamento della ZR è impostato sia su criteri idrogeologici generali, sia su criteri temporali basati, per quanto possibile, sul tempo di percorrenza. Quando non si dispone di prove con traccianti isotopici o ambientali, che forniscano un dato più veritiero, si può giungere a un affidabile dimensionamento e un'identificazione della geometria della ZR per le quattro situazioni distinte in precedenza. Per determinare la forma della ZR da perimetrale nelle situazioni C e D, si è fatto riferimento alla situazione idrocinemica più ricorrente nella porzione di acquifero libero immediatamente adiacente all'area sorgiva. Il forte richiamo costituito dalla venuta a giorno delle acque sotterranee comporta traiettorie centripete dei filetti fluidi nella suddetta porzione di acquifero. Il pannello piezometrico è di tipo radiale, convergente a valle, con profilo parabolico molto accentuato in prossimità della scaturigine. Pertanto viene identificato un settore circolare il cui angolo al centro è di solito inferiore a 90°. La forma più adatta della ZR è un trapezoide rovesciato con base minore coincidente col limite a valle della zona di tutela assoluta, apertura

laterale di almeno 30° rispetto ai margini laterali della suddetta area ed estensione a monte (Civita M., 1988).

Tabella 2.4. Dimensionamento della zona di rispetto nelle diverse situazioni di vulnerabilità identificate.

Situazione	Estensione a monte	D (m)
A	Tutta l'area di alimentazione	Efficacia limitata
B	Tutta l'area di alimentazione	Riducibile a 2000 m in caso di acquifero protetto in superficie
C	L = 400 m	—
D	L = 200 m	—

Il dimensionamento della zona di protezione è possibile solo in base allo studio idrogeologico della struttura acquifera alimentante. Facendo riferimento a situazioni idrogeologiche le più frequenti in Italia, appare opportuno comprendere in ZP l'intera area di alimentazione delle sorgenti (Civita M., 1988).

Il metodo pensato da M. Civita per la valutazione permette, quindi, una stima della vulnerabilità delle sorgenti anche quando non sono reperibili gli studi e le valutazioni, sicuramente più rigorose ma altrettanto impegnative e costose.

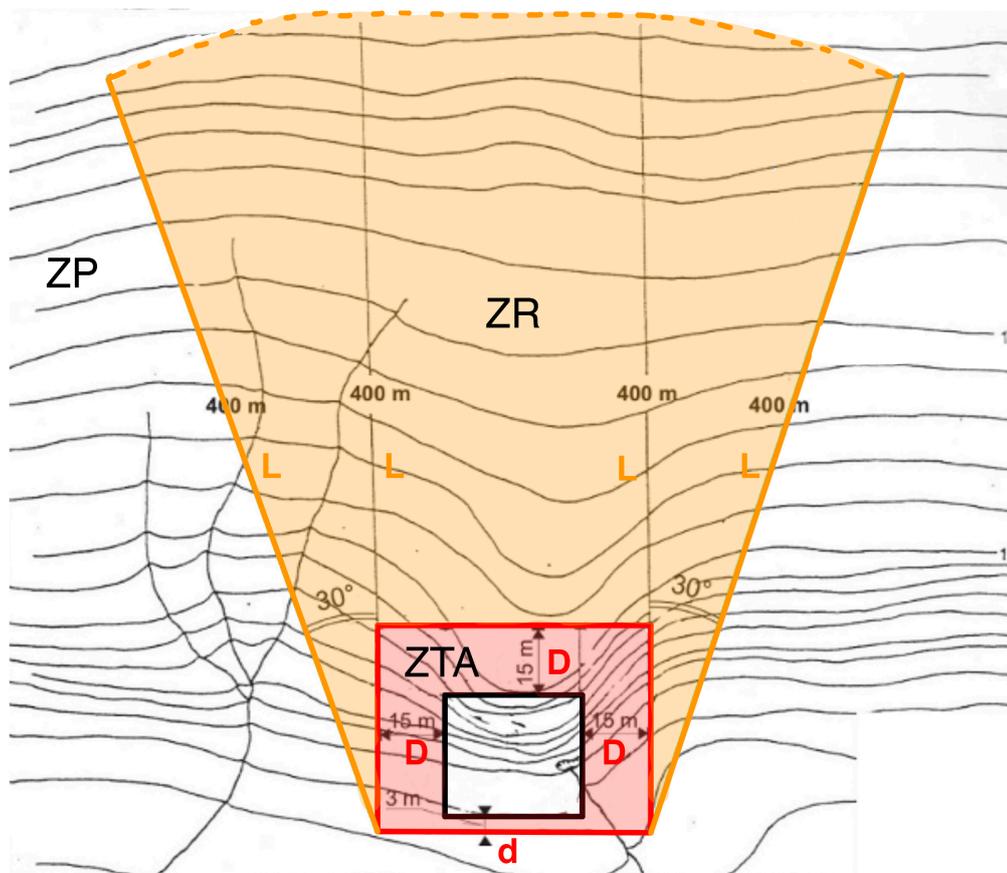


Figura 2.9. Esempio di rappresentazione del dimensionamento del sistema di aree di salvaguardia di una sorgente.

2.7.2. Indice V.E.S.P.A. (Vulnerability Estimation for Spring Protection Area)

Il Politecnico di Torino collaborando la Regione Piemonte sul progetto denominato come "Tecniche di analisi del segnale applicate alla delimitazione delle aree di salvaguardia", ha sviluppato una nuova metodologia per la determinazione delle aree di salvaguardia delle sorgenti captate per uso idropotabile.

Si è arrivato a questo perchè effettuando lo studio applicando il metodo di M. Civita sono state riscontrate diverse difficoltà con situazione idrogeologiche molto particolari come ad esempio situazioni di massima portata raggiunta durante la fase di fusione della neve e alimentazione della sorgente da parte di corsi d'acqua superficiali.

Per questo motivo è stata elaborata dal Prof. Vigna Bartolomeo una nuova metodologia denominata V.E.S.P.A. (Vulnerability Estimation for Spring Protection Area), che oltre ad utilizzare il valore di portata sorgiva ingloba anche la variazione massima di temperatura annuale e la conducibilità elettrica specifica delle acque.

Lo studio delle risposte dell'idrogramma della sorgente rispetto agli eventi infiltrativi nella zona di ricarica delinea l'inizio per l'applicazione del metodo VESPA. L'analisi annessa tra la portata, la temperatura e la conducibilità elettrica offre essenzialmente un eccellente strumento per individuare la vulnerabilità dell'opera di captazione. Per trovare l'indice di vulnerabilità, però, sono necessari almeno 365 giorni e sonde che acquisiscano in modo automatico i dati con passo non superiore ai 120 minuti poiché questo è il minimo intervallo di tempo che consente di limitare i probabili errori associati con la perdita di informazioni (Suozzi E., 2012, L. Galleani, B. Vigna et al., 2011).

L'indice VESPA è definito come:

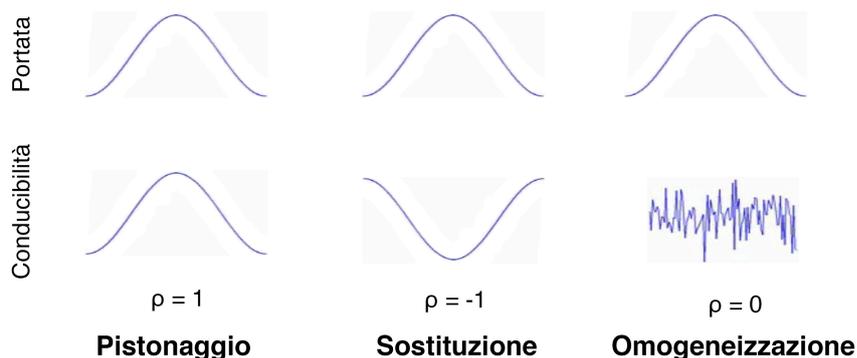
$$V = c(\rho)\beta\gamma$$

con:

$c(\rho)$ = fattore di correlazione dipeso dal tipo di funzionamento della sorgente (Figura 2.10)

β = termine collegato alla variazione di temperatura

γ = dipendente dalla portata



Fattore di correlazione

Il fattore di correlazione è definito da:

$$c(\rho) = [u(-\rho) + \alpha u(\rho)] |\rho|$$

con:

ρ = coefficiente di correlazione tra portata e conducibilità elettrica calcolata in un intervallo di tempo $t_0 = 1$ anno (idrologico)

α = coefficiente scalare compreso tra $0 \leq \alpha \leq 1$

$u(\rho)$ = funzione di Heaviside a gradino

$$\rho = \frac{\int_0^{t_0} Q(t)\sigma(t)dt}{\sqrt{\int_0^{t_0} Q^2(t)dt}\sqrt{\int_0^{t_0} \sigma^2(t)dt}}$$

$$u(\rho) = \begin{cases} 1, & \rho \geq 0 \\ 0, & \rho < 0 \end{cases}$$

Quest'ultima formula può più semplicemente essere riscritta come:

Se $\rho \geq 0$, poi $u(\rho)=1$ e $u(-\rho) = 0$

Invece se $\rho < 0$, poi $u(\rho)=0$ e $u(-\rho) = 1$

L'elemento chiave del fattore di correlazione è quello che il coefficiente di correlazione può variare tra $-1 \leq \rho \leq 1$

Fattore di variabilità della temperatura

La variazione di temperatura è definita come:

$$\beta = \left(\frac{T_{max} - T_{min}}{1^\circ C} \right)^2$$

Dove T_{max} e T_{min} si riferiscono al massimo e al minimo valore, rispettivamente, della temperatura nell'intervallo di tempo di riferimento t_0 (minimo 1 anno idrologico). La divisione per $1^\circ C$ viene fatta per rendere il parametro β adimensionale.

Una stabilità della temperatura per tutto il periodo considerato indica un lungo tempo di permanenza nell'acquifero, la massima variazione di temperatura è un parametro fondamentale per stimare la vulnerabilità di una sorgente.

Quindi, si usa il valore al quadrato per migliorare il peso corrispondente all'indice di vulnerabilità (V) (Suozzi E., 2012, L. Galleani, B. Vigna et al., 2011).

Fattore legato alla portata

Il fattore legato alla portata misura la sua variabilità in una serie temporale ed è definito da:

$$\gamma = \left(\frac{Q_{max} - Q_{min}}{Q_{media}} \right)$$

Dove Q_{max} e Q_{min} sono il massimo e il minimo valore, rispettivamente, della portata Q in riferimento all'intervallo temporale t_0 , e Q_{media} è la portata media data da:

$$Q_{media} = \frac{1}{t_0} \int_0^{t_0} Q(t) dt$$

Classificazione

L'indicatore di vulnerabilità (V) dell'acquifero viene definito sulla base del calcolo dei tre indici dei parametri monitorati.

Gli intervalli dell'indicatore di vulnerabilità e le relative classi di vulnerabilità (Tabella 2.5) all'inquinamento di un acquifero sono stati definiti attraverso studi idrogeologici molto dettagliati su differenti sistemi acquiferi (Suozi E., 2012, L. Galleani, B. Vigna et al., 2011).

Tabella 2.5. Classi di vulnerabilità.

Grado Vulnerabilità	Indicatore di vulnerabilità [V]
Molto alto (A)	$V > 10$
Alto (B)	$1 < V \leq 10$
Medio (C)	$0,1 < V \leq 1$
Basso (D)	$V \leq 0,1$

Una volta determinate le classi di vulnerabilità, per le aree di salvaguardia si utilizza il medesimo criterio del tempo di dimezzamento.

2.7.3. Covarianza incrociata e correlazione incrociata

Molte applicazioni di analisi di dati casuali constano nella determinazione di relazioni lineari tra due o più set di dati. Queste relazioni lineari sono in genere estratte mediante la funzione di correlazione. Questo è il motivo per cui è un'altra metodologia di analisi utilizzata è quella della covarianza incrociata e correlazione incrociata (Suozi E., 2012).

Considerando due processi casuali $X(t)$ e $Y(t)$, per misurare il grado di dipendenza lineare tra X all'istante t_1 e Y all'istante t_2 si può impiegare la funzione covarianza incrociata (detta anche cross covarianza) così definita:

$$C_{xy}(t_1 - t_2) = E \left\{ \left[X(t_1) - \mu_x(t_1) \right] \left[Y(t_2) - \mu_y(t_2) \right] \right\}$$

Se si assume la stazionarietà per entrambi i processi, C_{xy} dipende solo dalla differenza $(t_1 - t_2)$:

$$C_{xy}(t_1 - t_2) = E \left\{ \left[X(t_1) - \mu_x \right] \left[Y(t_2) - \mu_y \right] \right\}$$

In questo caso, poiché la covarianza dipende solo dalla differenza $(t_1 - t_2)$, usualmente si scrive $t = t_1$ e $t_2 = t + \tau$:

$$C_{xy}(\tau) = E \left\{ \left[X(t) - \mu(X) \right] \left[Y(t + \tau) - \mu_y \right] \right\}$$

Se non si sottraggono i valori medi, si ottiene la funzione di correlazione incrociata (detta anche cross correlazione):

$$R_{xy}(\tau) = E \left[X(t)Y(t + \tau) \right]$$

Le due formule precedenti $C_{xy}(\tau)$ e $R_{xy}(\tau)$ sono legate dalla relazione:

$$C_{xy}(\tau) = R_{xy}(\tau) - \mu_x \mu_y$$

e coincidono se entrambi i processi hanno valore medio nullo.

Questo tipo di analisi viene usata per comprendere quale corrispondenza esiste tra portate - precipitazioni e portate - conducibilità elettrica, così da ricavare il numero esatto di giorni che scrono tra l'inizio della precipitazione ed il suo effetto in sorgente, riconoscibile dall'interpretazione del suo idrogramma.

Così facendo si ottiene un tempo di percorrenza secondo il quale, la parte di acqua meteorica d'infiltrazione, arrivata nel bacino della sorgente, riesce a raggiungere il bottino di presa. Quindi immaginando di sostituire all'acqua di infiltrazione un inquinante, sia esso connesso ad attività antropica come settore agricolo o industriale oppure naturale, se ne determina il tempo che occorre a quest'ultimo per arrivare l'opera di captazione e quindi essere distribuito nella rete. Quindi ad un

basso valore ricavato dalla funzione di cross correlation si attribuisce un elevato grado di vulnerabilità alla sorgente.

Sostanzialmente il metodo della cross correlation studia lo spostamento che trascorre tra due segnali o forme d'onda. I due segnali in usati in idrogeologia sono la precipitazione e la portata o conducibilità elettrica. Il tempo che passa tra i due segnali è chiamato time lag e realisticamente corrisponde al tempo necessario alle precipitazioni per essere avvertite all'opera di presa. È possibile quindi analizzare per portata e conducibilità elettrica sia le forme d'onda nella forma cumulata, ovvero come appare l'idrogramma se vengono riportati su un grafico tutti i dati così come vengono acquisiti dalla sonda, sia nella forme d'onda scorporata per singoli incrementi in modo da renderla più facilmente interpretabile con le precipitazioni insistenti sull'area in esame. Facendo così si ottiene un risultato più molto attendibile del time lag ottenuto di seguito all'applicazione di questo tipo di funzione. In conclusione si va quindi a correlare le precipitazioni registrate dalle varie stazioni di monitoraggio adiacenti al bacino della sorgente con i dati di portata e conducibilità elettrica ottenuti dalla sonda nell'opera di captazione, sia con i dati depurati dal periodo invernale in modo da ottenere una correlazione più realistica tra i vari parametri. Quest'ultima scelta è effettuata in quanto le sorgenti monitorate si trovano in un ambiente di montagna, durante il periodo invernale, quando il terreno è ghiacciato, il che porta a diminuire notevolmente la circolazione idrica all'interno dello stesso e l'applicazione della funzione non fornisce un risultato corretto.

Per rendere comparabile il risultato fornito da questa metodologia con quello delle altre si prendono in considerazione le seguenti classi di vulnerabilità espresse in giorni (Tabella 2.6).

Tabella 2.6. Classi di vulnerabilità per l'analisi mediante il metodo della cross correlation.

Classe di Vulnerabilità	Grado di Vulnerabilità	Giudizio di Vulnerabilità
0 - 4	A	Molto alto
5 - 9	B	Alto
10 - 20	C	Medio
> 20	D	Basso

2.7.4. Studio della curva di svuotamento ed esaurimento

Per studiare gli idrogrammi sorgivi esistono diversi modelli matematici, tra questi il più utilizzato è quello esponenziale di Maillet del 1911 che utilizza la parte finale della curva d'efflusso, ovvero quella di esaurimento, attraverso:

$$Q_t = Q_0 e^{-\alpha t}$$

dove:

Q_t = portata al tempo t diverso da t_0 durante lo svuotamento della riserva del acquifero che accresce la sorgente

Q_0 = portata sorgiva al tempo t_0

$e = 0,043429$ (base dei logaritmi neperiani)

α = coefficiente di esaurimento

Con questo modello di approssimazione, viene studiata esclusivamente la curva di esaurimento, che rappresenta le portate in funzione del tempo in un diagramma log-normale, con le portate in ordinate logaritmiche e i tempi in ascisse normali. Una volta tracciato il grafico si nota un allineamento della parte finale della curva, è quindi possibile tracciare su questi dati una retta di best-fitting, che si prolunga fino all'asse delle ordinate. Dal punto di intersezione si ricava la Q_0 , la Q_t e il t corrispondente (Suozi E., 2012).

Partendo dall'equazione di Maillet si può procedere alla determinazione di tutti i parametri che caratterizzano la sorgente.

Il coefficiente di esaurimento (α) si ottiene tramite la relazione:

$$\alpha = \frac{\log Q_0 - \log Q_t}{0,043429 \cdot t}$$

α è una caratteristica intrinseca dell'acquifero perché:

- Direttamente proporzionata al tempo di esaurimento dell'acquifero
- Indica la velocità di "svuotamento" della riserva acquifera
- È funzione inversa della porosità utile, della lunghezza e dello spessore della zona di saturazione della rete acquifera e del volume dinamico in essa immagazzinato (Schoeller H., 1965)

In generale:

Se α è elevato significa che:

- La risposta della sorgente risulta impulsiva
- La capacità di laminazione dell'acquifero è ridotta
- Il periodo di esaurimento della sorgente più breve

Se α è piccolo significa che:

- La risposta della sorgente alla ricarica risulta lenta
- La capacità di laminazione dell'acquifero è elevata
- Il periodo di esaurimento della sorgente più esteso

È possibile identificare una serie di indici e fattori idrogeologici, che permettono l'individuazione dei processi idrodinamici e di quantificare le risorse rinnovabili in gioco e la loro dinamica spazio-temporale, dopo aver ricavato il coefficiente di

esaurimento (α).

Il volume di immagazzinamento della sorgente, che corrisponde alla quantità d'acqua immagazzinata dall'acquifero al tempo t uguale a zero che corrisponde all'inizio dello svuotamento viene determinato attraverso:

$$W_0 = \frac{86400 \cdot Q_0}{\alpha}$$

Questo permette di calcolare il volume delle riserve ancora presenti nell'acquifero ad un qualsiasi tempo t diverso da zero, ossia la riserva regolatrice, o anche detto volume di esaurimento W_t .

Il volume di esaurimento è il volume di acqua che viene erogato dalla sorgente una volta finita la ricarica (nel periodo di esaurimento) prima che inizi un nuovo ciclo di alimentazione; W_t è definito da:

$$W_t = \frac{86400 \cdot (Q_0 - Q_t)}{\alpha}$$

Sul idrogramma è possibile ricavare il tempo di dimezzamento, ovvero il tempo, espresso in giorni, al quale corrispondono il numero dei giorni con cui la portata massima misurata si riduce del 50%.

La capacità di svuotamento del sistema è rappresentata dalla risorsa dinamica consumata in assenza di infiltrazione tra l'inizio dello svuotamento e la fine dell'esaurimento come:

$$\Delta W_i = 86400 \left[\frac{Q_0}{\alpha} (1 - e^{-\alpha t}) \right]$$

Con questo parametro si riesce a valutare quanti litri delle riserve regolatrici defluiscono ogni anno e quale volume potrebbe essere sfruttato con un'opera di captazione.

Da questi parametri ricavati dall'analisi delle curve di esaurimento, si ottengono ulteriori dati utili alla descrizione dei processi propri del sistema.

Il primo tra tali questi è il tasso di rinnovamento medio, che rappresenta in percentuale, i volumi di risorsa dinamica rinnovati, durante l'anno idrologico, per effetto dell'infiltrazione efficace:

$$T_{rin} = \left(\frac{\Delta W}{W_0} \right) \cdot 100$$

Questo termine è più vicino al 100%, quanto più il volume delle risorse regolatrici è trascurabile ed è nulla la capacità di autoregolazione del sistema; contrariamente, valori vicino allo 0% denotano la presenza di ingenti riserve regolatrici e una notevole capacità di compensazione ovvero una bassa sensibilità del sistema acquifero a periodi lunghi di siccità.

Il tempo di rinnovamento, invece, rappresenta il tempo che occorre affinché tutto il volume della riserva si sia rigenerato e viene calcolato tramite:

$$t_{mr} = \frac{W_0}{\Delta W}$$

dove il tempo è espresso in anni, dal momento che i dati si devono riferire a una media interannuale.

Il Delay Time, o anche chiamato tempo di auto-sostentamento della portata, determina l'intervallo di tempo, espresso in giorni, nel quale il volume delle riserve d'acqua ancora presenti nell'acquifero potrebbe reggere una portata sorgiva, in media uguale a quella della fine dell'esaurimento, ipotizzando l'assenza di ogni ricarica attiva:

$$DT_t = \frac{\frac{Q_0}{\alpha} \cdot e^{-\alpha t}}{Q_t} \cdot 86400$$

2.8. Legislazione italiana

Con il Decreto legislativo del 3 aprile 2006 numero 152, pubblicato sulla Gazzetta Ufficiale numero 88, Supplemento ordinario n. 96 del 14 aprile 2006, è stato approvato il *Codice dell'Ambiente*, ovvero l'attuativo della Legge al Governo del 15 dicembre 2004 n. 308 per il riordino, il coordinamento e l'integrazione della legislazione in materia ambientale e misure di diretta applicazione.

Il Codice dell'Ambiente riorganizza la normativa ambientale esistente in sei campi:

- Disposizioni comuni e principi generali
- Procedure per la valutazione ambientale strategica (VAS), per la valutazione d'impatto ambientale (VIA) e per l'autorizzazione ambientale integrata (IPPC)
- Difesa del suolo e la lotta alla desertificazione, la tutela delle acque dall'inquinamento e la gestione delle risorse idriche
- Gestione dei rifiuti e la bonifica dei siti contaminati
- Riduzione delle emissioni in atmosfera e tutela dell'aria
- Risarcimento tutelativo contro i danni all'ambiente.

Esso è un testo unico contenente 318 articoli e 45 allegati, che recepisce 8 direttive comunitarie nei settori oggetto della delega, accorpando le disposizioni riguardanti

vari settori di disciplina, abrogando diverse leggi, disposizioni di legge e decreti legge.

In particolare si vuole portare all'attenzione l'articolo 94 del Codice dell'Ambiente che disciplina le aree di salvaguardia delle acque superficiali e sotterranee destinate al consumo umano (Suozzi E., 2012).

1. Su proposta delle Autorità d'ambito, le regioni, per mantenere e migliorare le caratteristiche qualitative delle acque superficiali e sotterranee destinate al consumo umano, erogate a terzi mediante impianto di acquedotto che riveste carattere di pubblico interesse, nonché per la tutela dello stato delle risorse, individuano le aree di salvaguardia distinte in zone di tutela assoluta e zone di rispetto, nonché, all'interno dei bacini imbriferi e delle aree di ricarica della falda, le zone di protezione.
2. Per gli approvvigionamenti diversi da quelli di cui al comma 1, le Autorità competenti impartiscono, caso per caso, le prescrizioni necessarie per la conservazione e la tutela della risorsa e per il controllo delle caratteristiche qualitative delle acque destinate al consumo umano.
3. La zona di tutela assoluta è costituita dall'area immediatamente circostante le captazioni o derivazioni: essa, in caso di acque sotterranee e, ove possibile, per le acque superficiali, deve avere un'estensione di almeno dieci metri di raggio dal punto di captazione, deve essere adeguatamente protetta e dev'essere adibita esclusivamente a opere di captazione o presa e ad infrastrutture di servizio.
4. La zona di rispetto è costituita dalla porzione di territorio circostante la zona di tutela assoluta da sottoporre a vincoli e destinazioni d'uso tali da tutelare qualitativamente e quantitativamente la risorsa idrica captata e può essere suddivisa in zona di rispetto ristretta e zona di rispetto allargata, in relazione alla tipologia dell'opera di presa o captazione e alla situazione locale di vulnerabilità e rischio della risorsa. In particolare, nella zona di rispetto sono vietati l'insediamento dei seguenti centri di pericolo e lo svolgimento delle seguenti attività:
 - a) dispersione di fanghi e acque reflue, anche se depurati;
 - b) accumulo di concimi chimici, fertilizzanti o pesticidi;
 - c) spandimento di concimi chimici, fertilizzanti o pesticidi, salvo che l'impiego di tali sostanze sia effettuato sulla base delle indicazioni di uno specifico piano di utilizzazione che tenga conto della natura dei suoli, delle colture compatibili, delle tecniche agronomiche impiegate e della vulnerabilità delle risorse idriche;
 - d) dispersione nel sottosuolo di acque meteoriche proveniente da piazzali e strade;
 - e) aree cimiteriali;
 - f) apertura di cave che possono essere in connessione con la falda;

- g) apertura di pozzi ad eccezione di quelli che estraggono acque destinate al consumo umano e di quelli finalizzati alla variazione dell'estrazione ed alla protezione delle caratteristiche quali-quantitative della risorsa idrica;
 - h) gestione di rifiuti;
 - i) stoccaggio di prodotti ovvero sostanze chimiche pericolose e sostanze radioattive;
 - j) centri di raccolta, demolizione e rottamazione di autoveicoli;
 - k) pozzi perdenti;
 - l) pascolo e stabulazione di bestiame che ecceda i 170 chilogrammi per ettaro di azoto presente negli effluenti, al netto delle perdite di stoccaggio e distribuzione. È comunque vietata la stabulazione di bestiame nella zona di rispetto ristretta.
5. Per gli insediamenti o le attività di cui al comma 4, preesistenti, ove possibile, e comunque ad eccezione delle aree cimiteriali, sono adottate le misure per il loro allontanamento; in ogni caso deve essere garantita la loro messa in sicurezza. Entro centottanta giorni dalla data di entrata in vigore della parte terza del presente decreto le regioni e le province autonome disciplinano, all'interno delle zone di rispetto, le seguenti strutture o attività:
- a) fognature;
 - b) edilizia residenziale e relative urbanizzazioni;
 - c) opere viarie, ferroviarie e in genere infrastrutture di servizio;
 - d) pratiche agronomiche e contenuti dei piani di utilizzazione di cui alla lettera e) del comma 4.
6. In assenza dell'individuazione da parte delle regioni o delle province autonome della zona di rispetto ai sensi del comma 1, la medesima ha un'estensione di 200 metri di raggio rispetto al punto di captazione o di derivazione.
7. Le zone di protezione devono essere delimitate secondo le indicazioni delle regioni o delle province autonome per assicurare la protezione del patrimonio idrico. In esse si possono adottare misure relative alla destinazione del territorio interessato, limitazioni e prescrizioni per gli insediamenti civili, produttivi, turistici, agro-forestali e zootecnici da inserirsi negli strumenti urbanistici comunali, provinciali, regionali, sia generali sia di settore.
8. Ai fini della protezione delle acque sotterranee, anche di quelle non ancora utilizzate per l'uso umano, le regioni e le province autonome individuano e disciplinano, all'interno delle zone di protezione, le seguenti aree:
- a) aree di ricarica della falda;
 - b) emergenze naturali ed artificiali della falda;
 - c) zone di riserva.

3. Cambiamenti climatici

Il fenomeno del riscaldamento globale venne reso pubblico quando Svante Arrhenius, chimico e fisico svedese che ricevette il premio Nobel per la chimica nel 1903, nella fine 19° secolo illustrò per la prima volta al mondo la sua teoria, secondo la quale l'anidride carbonica (CO_2) attraverso un'incidenza sul clima, riusciva a causare dei cambiamenti climatici; questi, infatti ora, sono conosciuti come l'effetto principale del riscaldamento globale.

3.1. Gas serra

Pochi anni dopo della scoperta di Arrhenius, si scoprì che l'anidride carbonica non era la sola a causare questo riscaldamento, ma altrettanti gas quali il metano (CH_4), l'ossido di diazoto (N_2O), l'ozono (O_3) e in maniera indiretta, il vapore acqueo (H_2O). Questi gas presero il nome di "gas serra", dando vita al cosiddetto "effetto serra".

L'attività dell'uomo aumenta le concentrazioni di questi gas che sono già presenti in natura, infatti senza questa attività antropica, l'effetto serra, può essere considerato un fenomeno naturale, descritto come la capacità dell'atmosfera di assorbire e trattenere in equilibrio l'umidità e il calore solare. La presenza di questi gas è dunque fondamentale per permettere la vita sulla Terra. Senza i gas serra, cioè senza l'atmosfera terrestre, le temperature medie, si aggirerebbero intorno ai -18°C mentre l'effetto serra fa sì che la temperatura globale media sia intorno ai 14-15 gradi.

Nel 1985 nuovi studi hanno dimostrato come altri gas di derivazione chimica come i CFC, ossia clorofluorocarburi, responsabili dell'assottigliamento dello strato di ozono (O_3), influiscano allo stesso livello dell'anidride carbonica sul riscaldamento globale.

3.2. Cause ed effetti

I principali responsabili di un incremento globale dell'anidride carbonica sono i combustibili fossili che vengono bruciati dall'uomo per la produzione di energia elettrica (responsabile del 75,2% delle emissioni di gas ad effetto serra), riscaldamento e per il settore dei trasporti (come automobili ed aeroplani). L'incremento di metano, invece, è dovuto principalmente al settore agricolo e quindi all'allevamento del bestiame (responsabile per il 16,1%). Anche la deforestazione contribuisce all'aumento della CO_2 in atmosfera, infatti, le foreste, sono dei veri e propri polmoni del pianeta terra che assorbono e trattengono CO_2 , per questo la loro distruzione impedisce il regolare assorbimento di questo gas.

Questi cambiamenti climatici stanno portando delle conseguenze tangibili sull'ecosistema terrestre e sulle popolazioni, le più evidenti sono:

- Lo scioglimento delle calotte polari e dei ghiacci perenni (permafrost)
- L'aumento in frequenza ed in intensità dei fenomeni meteorologici estremi
- Le variazioni delle distribuzioni annuali delle precipitazioni piovose e nevose
- L'aumento del livello dei mari e l'acidificazione degli oceani
- L'aumento del rischio idrogeologico e di inondazione
- L'aumento della siccità e quindi del rischio incendi
- Le variazioni nella distribuzione degli habitat e l'estinzione di specie animali
- La variazione della produttività agricola

3.3. Situazione Europea

In Europa, le temperature sono in crescita, con un deciso incremento a partire dagli inizi del 21° secolo (Figura 3.1).

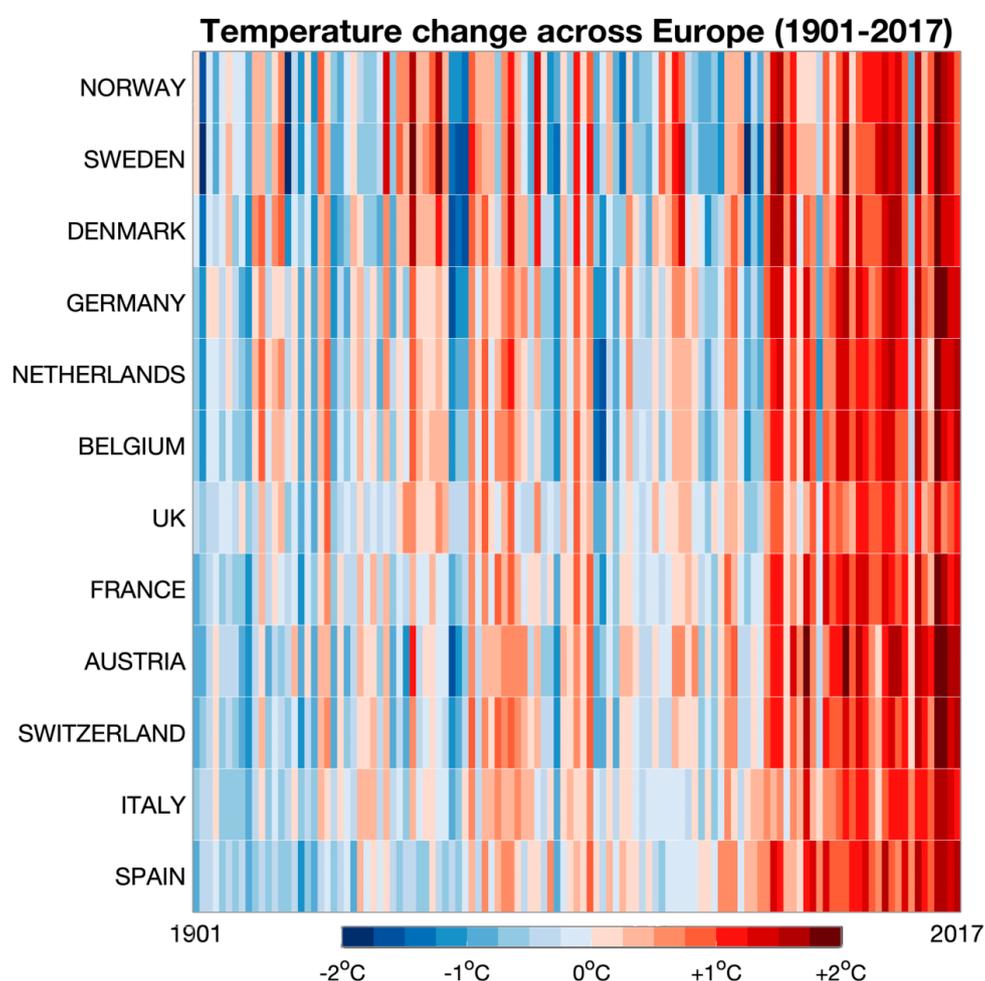


Figura 3.1. Variazione delle temperature annuali da 1901 al 2017 nei principali Paesi Europei.

In conseguenza di ciò, nell'Europa centro-meridionale si stanno registrando ondate di calore, incendi forestali e un aumento esponenziale di siccità. La zona mediterranea si sta trasformando in una regione arida, il che la rende ancora più

vulnerabile di fronte agli incendi boschivi e alla siccità. L'Europa settentrionale sta diventando, invece, sempre di più umida e le alluvioni invernali potrebbero diventare un fenomeno ancora più ricorrente.

3.3.1. Accordo di Parigi

Per evitare delle conseguenze più gravi del cambiamento climatico, i Paesi (196 Stati) sottoscrittori della Convenzione quadro delle Nazioni Unite sui cambiamenti climatici (UNFCCC), con l'Accordo di Parigi del 2015, sono riusciti a concordare di limitare al di sotto dei 2°C l'aumento della temperatura superficiale globale media rispetto al periodo pre-industriale. Per raggiungere questo obiettivo, le emissioni di gas serra globali dovranno raggiungere il loro picco nel più breve tempo possibile e quindi poi diminuire rapidamente. Infatti entro il 2050, le emissioni globali dovranno essere ridotte del 50% rispetto ai livelli del 1990, per poi raggiungere, entro la fine del 2100, la neutralità carbonica.

L'Unione Europea asseconda l'obiettivo dell'UNFCCC e mira a ridurre, entro il 2050, le proprie emissioni di gas serra di circa il 90% rispetto ai livelli degli anni '90.

3.4. Situazione italiana

Una delle variabili meteorologiche più influenti per quanto riguarda il cambiamento climatico è sicuramente la temperatura, infatti proprio questa nell'ultimo secolo, in Italia, si stima che sia aumentata di 1°C/secolo e di 2°C/secolo nella seconda metà del 20° secolo e negli ultimi 30 anni questa variazione risulta ancora più accentuata. Si è notato anche che l'aumento è più propenso nelle stagioni estive e primaverili.

La seconda variabile meteorologica che viene considerata in tema di cambiamenti climatici è sicuramente la precipitazione di pioggia che per quanto riguarda l'Italia, nel lungo periodo è in diminuzione, nell'ordine del 1%/decennio.

Nonostante ciò, il livello di significatività delle variazioni di queste variabili è indubbiamente anche influenzato dall'area geoclimatica, dall'intervallo di tempo e dalle stagioni.

3.4.1. Serie storiche

Le conoscenze del clima passato degli ultimi 150 anni, si possono valutare dal monitoraggio di queste variabili meteorologiche, ovvero dalle serie storiche di osservazione.

L'Italia, tra tutti i paesi mondiali, è lo Stato che è riuscito ad archiviare tra le più lunghe serie di dati meteorologici esistenti al mondo.

Questo è stato possibile sia grazie alle attività di monitoraggio e gestione degli archivi da parte degli enti preposti a fare ciò, sia dalle attività di analisi statistica e recupero delle osservate, svolte nell'ambito di alcuni progetti di ricerca nazionali o eseguendo compiti istituzionali. Il programma di ricerca che spicca in questo ambito è stato quello ventennale svolto tra la collaborazione dell'Istituto per le Scienze dell'Atmosfera e del Clima del Consiglio Nazionale delle Ricerche (ISAC-CNR) e dal Dipartimento di Fisica dell'Università degli Studi di Milano, i quali hanno consentito di organizzare un archivio di serie secolari, svolgendo analisi aventi il compito di documentare la variabilità e i cambiamenti climatici in Italia nel 19° e 20° secolo (Brunetti et al., 2006; Nanni et al., 2009).

Attualmente oltre ai già citati, diversi organi nazionali e regionali si occupano di archiviare dati storici meteo-climatici: il Servizio Meteorologico dell'Aeronautica Militare (SMAM), il Consiglio per la Ricerca e la Sperimentazione in Agricoltura – Unità di ricerca per la Climatologia e la Meteorologia applicate all'Agricoltura (CRA-CMA, ex UCEA), l'Istituto Superiore per la Ricerca e la Protezione Ambientale (ISPRA), i Centri Funzionali di Protezione Civile e le Agenzie Regionali per la Protezione dell'Ambiente (ARPA).

Dieci anni fa, nel 2009, dei centri funzionali regionali operativi nelle Regioni del Nord Italia hanno firmato un accordo creando un archivio meteo-climatologico di dati giornalieri, l'Archivio Climatologico per l'Italia Settentrionale (ARCIS), avente come obiettivo l'omogeneità statistica dei dati e la produzione di analisi oggettive giornaliere a partire dagli anni '60.

3.4.2. Temperature

La temperatura media registrata nell'ultimo secolo in Europa, è superiore di 1,3°C rispetto l'aumento medio globale tra il primo decennio del 21° secolo e l'epoca pre-industriale (EEA, 2012), è anche da sottolineare che il decennio più recente risulta il più caldo di tutto l'arco temporale. Dalla stessa serie si può notare anche come da gli anni '80 ci sia stata una maggiore velocità nella variazione della temperatura.

Brunetti et al. nel 2006 hanno iniziato a studiare l'andamento della temperatura in Italia negli ultimi 220 anni, aggiornando le stime in rete mensilmente dal gruppo di climatologia storica dell'ISAC-CNR, già citato in precedenza.

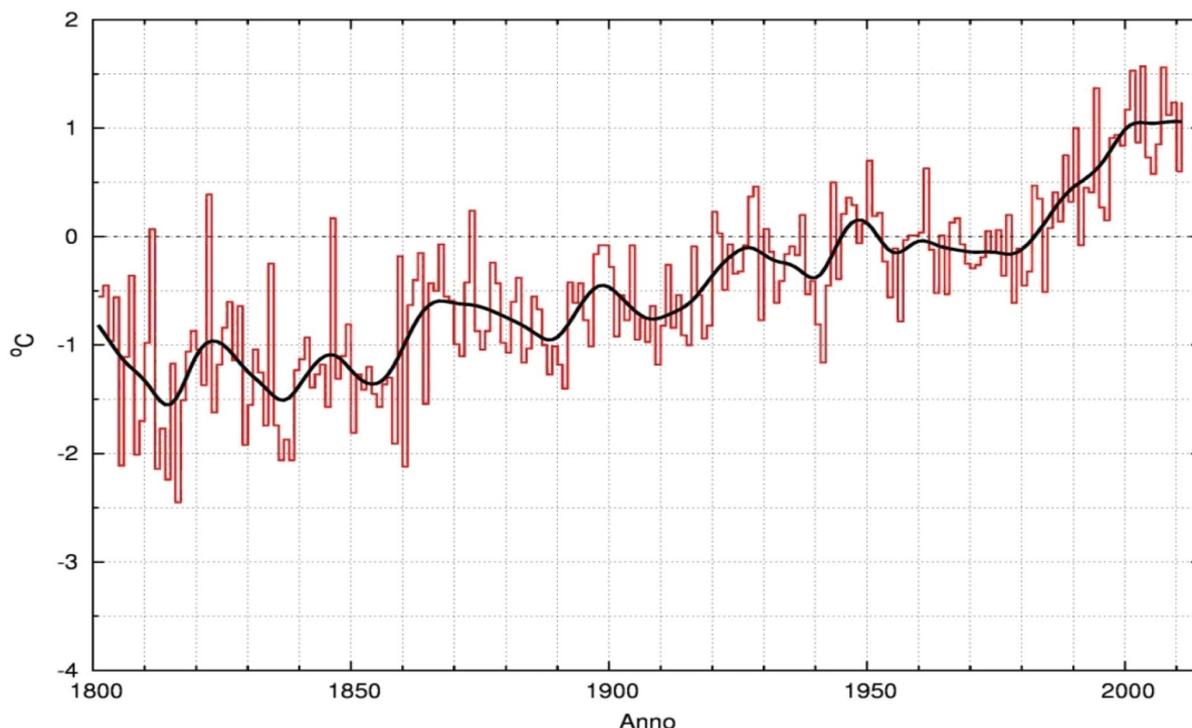


Figura 3.2. Temperatura media annuale per l'Italia nel periodo 1800–2011. I dati sono espressi in termini di anomalie rispetto al periodo 1961-1990. La curva rappresenta la serie che si ottiene mediante l'applicazione un filtro gaussiano passa-basso.

Fonte: ISAC-CNR.

Nel periodo che va dal 1981 al 2012 è stato osservato un aumento medio delle temperature in Italia di circa $0,5 \pm 0,13^{\circ}\text{C}$ in primavera e in estate, mentre in inverno e in autunno la tendenza, comunque positiva, non risulta statisticamente significativa (ISPRA, 2013).

La variazione della temperatura media in Italia nell'ultima metà di secolo (Figura 3.3) viene stimata e aggiornata periodicamente dall'ISPRA in base alla serie di anomalia media ottenuta da 65 serie omogenee. Le variazioni stimate dal 1961 al 2011, sono di circa 1°C (Desiato et al., 2012).

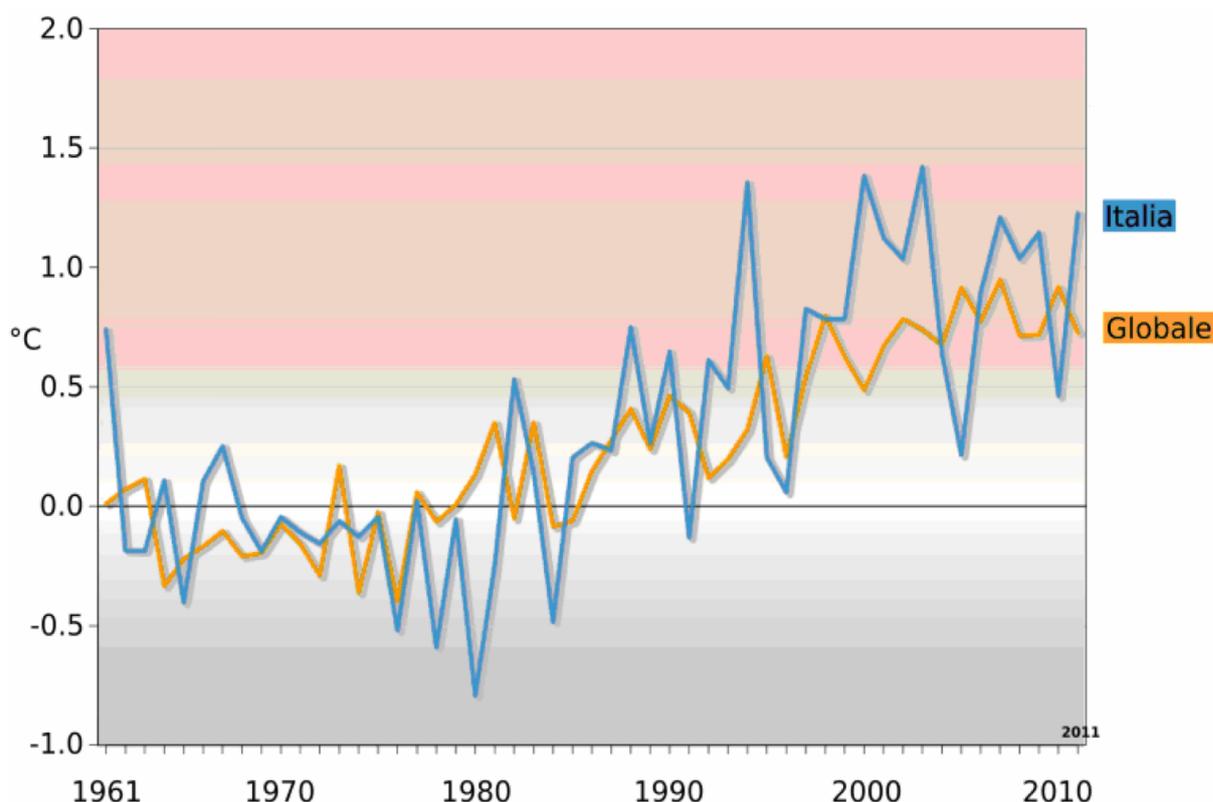


Figura 3.3. Serie temporali delle anomalie di temperatura media globale e in Italia, rispetto ai valori climatologici normali 1961-1990. Fonti: ISPRA e NCDC/NOA.

Negli ultimi 27 anni, escludendo il 1991, la temperatura media in Italia è stata sempre superiore al valore climatologico normale 1961-1990. L'anno più caldo è risultato quello del 2003, con un'anomalia media stimata di +1,57 °C (stima ISAC-CNR) o di 1,42 °C (stima ISPRA); Il 2011 e il 2012 si collocano primi tra i posti dell'intera serie.

3.4.3. Precipitazioni

Le precipitazioni medie europee non indicano variazioni rilevanti a partire dal '50 (Haylock et al., 2008). A scala sub-continentale, si rileva un aumento importante delle precipitazioni sull'Europa Nord-Orientale dell'ordine di 70 mm negli ultimi 50 anni, e, una diminuzione delle precipitazioni sempre di circa gli stessi millimetri, sulla Penisola Iberica.

In Italia, la serie di precipitazioni medie annuali è mostrata in Figura 3.4, ottenuta da una versione aggiornata del database presente in Brunetti et al., 2006, oltre a due serie rappresentative dell'Italia settentrionale e meridionale. Tale serie presenta una sequenza di massimi e minimi relativi, sovrapposta ad un trend in lieve diminuzione.

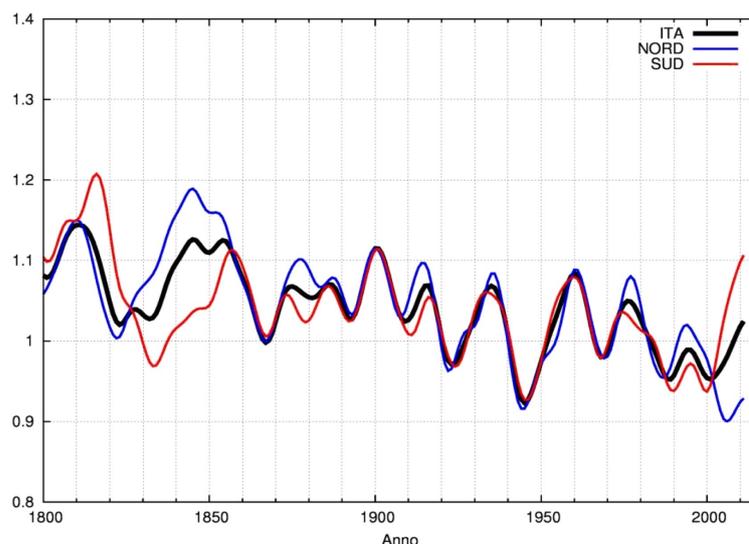


Figura 3.4. Precipitazioni cumulate in Italia nel periodo 1800–2011. I dati sono espressi in termini di anomalie moltiplicative rispetto al periodo 1971-2000. Le curve sono ottenute mediante l'applicazione di un filtro gaussiano passa-basso.

Fonte: ISAC-CNR.

Il trend sull'intero periodo (1800-2011) è lievemente negativo ($-0,58 \pm 0,15\%$ /decennio) e maggiormente evidente al Nord ($-0,71 \pm 0,19\%$ /decennio). Questo trend diventa via via più marcato ma diminuisce la significatività statistica del segnale. Gli ultimi dieci anni sono caratterizzati da tendenze opposte al Nord (negativo) e al Sud (positivo).

A livello stagionale si nota un'importante diminuzione invernale e primaverile per l'Italia meridionale (-22% e -12% dal 1800 ad oggi, rispettivamente) con un'inversione di tendenza negli ultimi decenni, mentre per l'Italia del sud le stagioni con il segnale negativo più forte sono l'estate e l'autunno (-19% e -25% dal 1800 ad oggi, rispettivamente).

3.4.4. Acque profonde

I corpi idrici sotterranei sono ampiamente distribuiti sul territorio italiano. Le grandezze monitorate ai fini della valutazione delle quantità sono le portate sorgive e i livelli di falda negli acquiferi. A differenza delle precipitazioni e delle temperature, queste grandezze sono influenzate sia dai cambiamenti climatici che dai prelievi effettuati dall'uomo. Il monitoraggio delle acque sotterranee è piuttosto carente, rispetto a quella dei dati climatici, sia in termini di numero delle stazioni sia di lunghezza delle serie storiche necessarie a determinare gli effetti dei cambiamenti climatici sulle acque sotterranee.

È importante, quindi, valutare unicamente gli effetti dei cambiamenti climatici per le acque sotterranee appartenenti a bacini idrogeologici poco o per niente affetti da attività antropiche, con a disposizione serie storiche sufficientemente lunghe. Ancora

più difficile è analizzare i possibili impatti sugli acquiferi confinati, nei quali le distanze tra la zona di ricarica e quelle di sfruttamento della sorgente variano da pochi metri a centinaia di chilometri, con regimi di risposta in funzione dell'assetto idrogeologico. Diversi autori, Cambi & Dragoni, 2000; Cambi et al., 2003; Di Matteo & Dragoni, 2006; Fiorillo & Guadagno, 2010, hanno cercato di analizzare alcuni sistemi sorgivi, del centro Italia, concludendo con una possibile riduzione dell'afflusso del 20% nei prossimi decenni. Va tenuto in considerazione che gli acquiferi sono esposti oltre che alla riduzione della ricarica naturale e a un contemporaneo aumento dei prelievi, anche all'apporto di inquinanti derivanti da fonti agricoli, civili e industriali. Tali fenomeni determinano una diminuzione della qualità, particolarmente rilevante negli acquiferi costieri, nei quali, oltre ai problemi già menzionati si aggiunge il fenomeno dell'intrusione salina.

3.5. Situazione in Valle d'Aosta

La presenza delle Alpi rappresenta l'elemento centrale del continente Europeo, infatti l'agenzia Europea per l'ambiente definisce questa catena montuosa come la "Water towers" dell'Europa, ovvero "Serbatoi sopraelevati", proprio perchè i principali e i più importati corsi d'acqua Europei sorgono lì e per questo proprio le regioni alpine danno un concreto contributo ai volumi d'acqua contenuti nei fiumi.

Oltre a questo, bisogna considerare che le Alpi svolgono un ruolo estremamente importante all'interno della società Europea, infatti, gli altri aspetti da tenere in considerazione sono l'elevata suscettibilità ai rischi naturali, il ruolo economico compiuto dalla produzione di energia idroelettrica e il turismo.

Questi sono tutti aspetti che con i cambiamenti climatici in atto, rendono lo studio degli effetti causati da esso un tema prioritario negli ambienti alpini. Basti considerare che con i dati a disposizione oggi, questi effetti sono estremamente evidenti in queste zone, infatti queste serie di dati riportano un incremento della temperatura alpina di ben 2°C da fine '800 ad oggi, questo contornato con le medie dell'Emisfero Boreale, corrisponde a circa il doppio (Beniston, 2012).

Le variabili meteorologiche, come già anticipato in precedenza, di estrema importanza per il cambiamento climatico, anche in ambiente valdostano e quindi alpino, sono la temperatura e le precipitazioni, sia liquide che nevose.

La variazione di queste due variabili si potrebbero verificare in due modi, il primo quello delle oscillazioni dei valori medi annui e medi stagionali e il secondo invece con l'intensificarsi dei fenomeni estremi.

L'ambiente alpino, e in particolare modo quello valdostano, è definito da una topologia eterogenea ed ampiamente variabile, grazie alla quale aiuta a differenziare il macro clima in varie tipologie microclimatiche, aumentando il grado di incertezza

delle previsioni della temperatura e precipitazioni nel tempo. La quota è la variabile topografica che di più di tutto influenza i parametri climatici.

Nella figura 3.5 è possibile osservare la stima dell'innalzamento delle temperature attese sulla distribuzione spaziale dell'arco alpino.

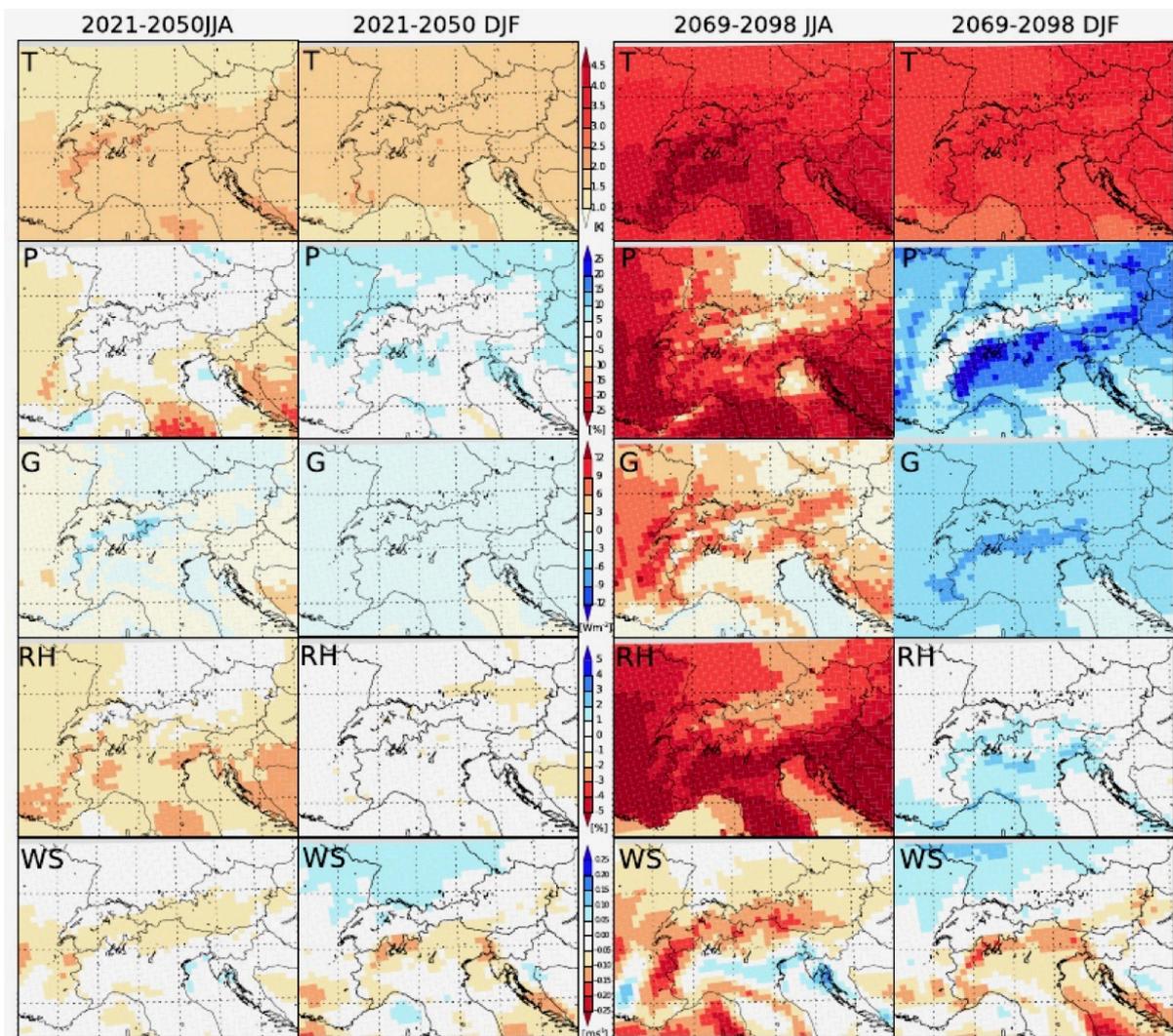


Figura 3.5. Distribuzione spaziale dei cambiamenti medi attesi nelle regioni alpine per una serie di parametri meteo-climatici. T=temperatura, P=precipitazione. I cambiamenti medi sono calcolati come differenza rispetto alla media del periodo di riferimento 1961-1990 e sono suddivisi per stagione (JJA= giugno-luglio-agosto, DJF= dicembre-gennaio-febbraio). La colonna di sinistra si riferisce al periodo 2021-2050, quella di destra al periodo 2069-2098. Fonte: Gobiet et al., 2013.

Le alpi, si po' osservare dall'immagine, faranno fronte, già dal prossimo decennio (2021-2050) ad un clima più caldo, particolarmente durante i periodi estivi (JJA).

L'aumento delle temperature medio per la Valle d'Aosta varierà stagionalmente da +2°C rispetto i giorni d'oggi, durante i mesi estivi e +1,5°C nella stagione invernale.

La situazione nel periodo 2069-2098 cambierà in senso peggiorativo infatti sono previsti un $+4,5^{\circ}\text{C}$ in estate e un $+3^{\circ}\text{C}$ in inverno.

Per quanto riguarda le precipitazioni invece, nel primo periodo studiato, non ci si aspetta una significativa variazione nei mesi estivi, cosa contraria però in quelli invernali dov'è previsto invece un lieve aumento delle precipitazioni medie. Le previsioni cambiano ulteriormente studiando la seconda metà del secolo, ovvero sono previste delle diminuzioni sia in estate che in inverno pari al 15% e 20% (Gobiet et al., 2013).

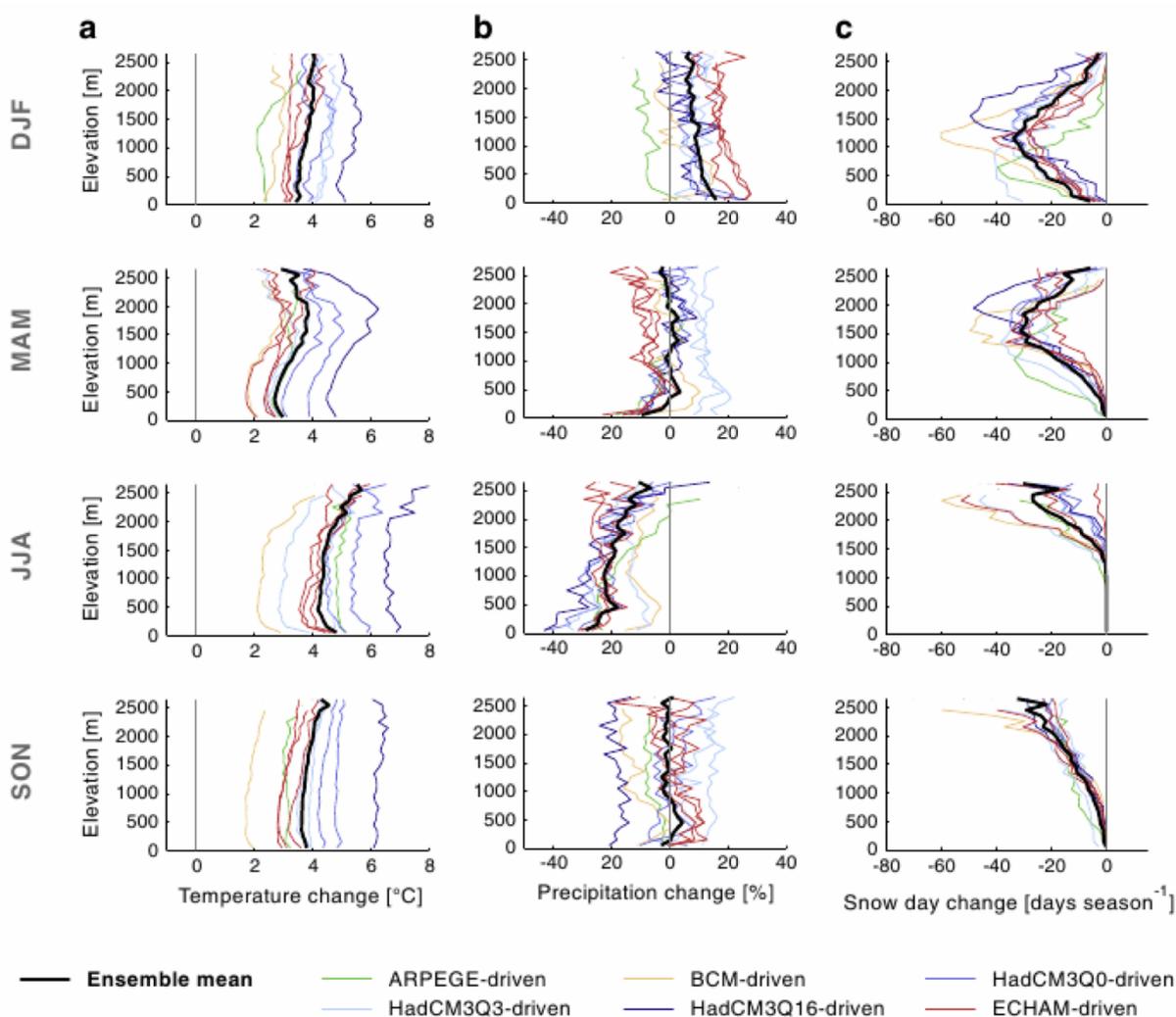


Figura 3.6. Distribuzione altitudinale della variazione media di (a) temperatura, (b) precipitazione e (c) numero di giorni con neve al suolo. I risultati si basano su 10 diversi modelli di circolazione globale e regionale (progetto ENSEMBLES) e sono raggruppati per stagioni meteorologiche. Le variazioni sono computate per differenza tra il periodo 2070-2099 e il periodo di riferimento 1961-1990. Fonte: Gobiet et al., 2013.

Nella Figura 3.6 è riportata la distribuzione secondo l'altitudine dei cambiamenti attesi di temperatura (a), di precipitazioni (b) e di numero di giorni con neve al suolo (c) entro la fine del 2100.

Studiando la temperatura si osserva come a quote più elevate ci sia un'amplificazione del processo di riscaldamento in tutte le stagioni, con valori maggiori però riscontrati soprattutto nei mesi estivi (JJA).

Le precipitazioni invece mostrano un comportamento differente a seconda della quota, si può osservare infatti una diminuzione del trend all'aumentare del dislivello da mare, sia che il trend risulti in aumento durante l'inverno, sia in diminuzione durante l'estate.

I grafici della durata della neve al suolo mostrano il massimo effetto a quote tra i 1000 e 2000 metri, con una riduzione che varia tra i 20 e i 40 giorni partendo dai mesi primaverili e arrivando a quelli invernali (Gobiet et al., 2013).

Gli effetti sul manto nevoso sono dipendenti dall'effetto che combina temperatura e precipitazioni. Infatti i modelli indicano che la variazione di temperatura sarà il fattore cardine per i regimi di neve futuri. Questo implica che l'aumento che ci si aspetta delle precipitazioni invernali previsto dagli studi per l'arco Alpino sarà insufficiente a bilanciare le perdite di neve al suolo.

Uno studio svizzero, ma applicabile anche al versante italiano delle Alpi, mostra (Figura 3.7) come tra quote che variano dai 1700 ai 2200 metri, ovvero la fascia montana maggiormente propensa per un uso turistico in termini di manto nevoso, stimi una perdita tra il 40 e il 60% del suo volume nevoso attualmente disponibile, ipotizzando un aumento di temperatura di 4°C.

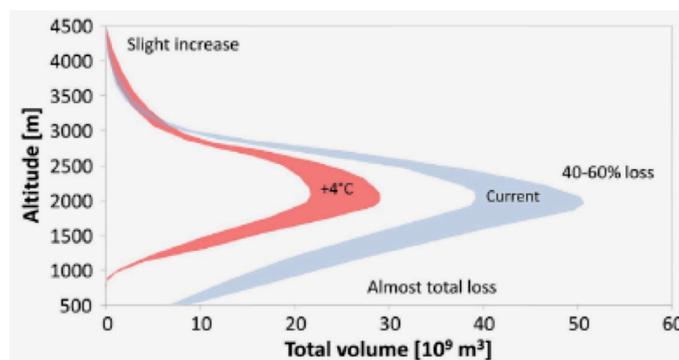


Figura 3.7. Stima del volume totale di neve al suolo in Svizzera in funzione della quota. Situazione attuale (azzurro) e proiezioni con un aumento di temperatura di 4°C (rosso).

Sempre in Figura 3.7 si può notare, anche però, che raggiungendo quote superiori ai 3000 metri, il volume non risente dell'aumentare delle temperature previste e quindi sopra quelle quote non è previsto una netta diminuzione del manto nevoso.

Per quanto riguarda gli eventi estremi di precipitazione, invece, va segnalato che risultano i maggiori rischi naturali per le regioni Alpine, implicando importanti conseguenze per tutti gli ecosistemi naturali locali.

Gli studi effettuati mostrano come le precipitazioni sulle zone Alpine si siano intensificate nel precedente secolo, allo stesso tempo però le serie storiche di alluvioni e piene mostrano un'elevata variabilità a scale decennali e superiori, rendendo non dimostrabile se l'intensificazione degli eventi estremi sia da ritenersi un fenomeno indotto dai cambiamenti climatici o un fenomeno naturale ciclico.

Dalle analisi condotte per le regioni Alpine svizzere viene indicato come entro la fine di questo secolo 6 inverni su un totale di 10 potranno essere caldi quanto quello del 2006/2007 e un'estate su due potrà raggiungere le temperature estive del 2003 (Beniston, 2012).

Per riassumere in Valle d'Aosta:

- Entro la metà del 21° secolo sarà previsto un riscaldamento di 2°C
- La precipitazione estiva diminuirà ed aumenterà quella invernale
- Il volume di neve al suolo a 2000m si dimezzerà di circa 40÷60%
- La durata della neve al suolo diminuirà di 20÷40 giorni

4. Esri

4.1. GIS

Un Geographic Information System (Sistema Informativo Geografico), o in breve GIS, è un sistema hardware-software in grado di raccogliere, gestire ed analizzare dei database (banche dati), utilizzando la posizione spaziale del dato stesso e organizzando queste informazioni su diversi layers sovrapposti a delle mappe.

Oltre al posizionamento geografico degli oggetti, il database contiene anche attributi e informazioni che, in relazione al tipo di utilizzazione, servono a distinguere tra loro gli oggetti e a metterne in evidenza le relazioni al fine di risolvere problemi di gestione e pianificazione territoriale.

Il GIS è dunque, in sostanza, uno strumento in grado di trattare e gestire dati associati a una base cartografica: le banche di dati demografiche, per esempio, possono essere associate alle mappe dei quartieri delle città o dei singoli edifici residenziali, i dati censuari alle cartografie delle unità territoriali statistiche (sezioni di censimento, comuni, province, regioni).

I sistemi GIS dispongono di specifici strumenti di analisi quali la ricerca di elementi distribuiti nel territorio e la loro selezione per attributi, la generazione di modelli digitali del terreno o anche la scelta della modalità di rappresentazione.

Per queste loro caratteristiche, per le estensioni e personalizzazioni che si possono ottenere, i GIS vengono utilizzati in numerosi campi applicativi tra i quali possono essere citati quelli relativi alla progettazione urbanistica e regionale, allo studio, catalogazione e gestione dei beni culturali, all'organizzazione delle risorse agricole, alla gestione dei beni demaniali e del catasto, alla protezione civile, al monitoraggio ambientale, alle analisi socioeconomiche, alla gestione e progettazione di reti di distribuzione e trasporto come acquedotti, oleodotti, gasdotti, elettrodotti e di telecomunicazioni, all'organizzazione sul territorio di operazioni militari e di polizia. Arrivando così sempre ad un obiettivo comune: ottenere informazioni che siano fruibili da tutti, estraendo informazioni dai dati elaborati.

Un GIS complesso associa una descrizione topologica, e non solamente geometrica, degli oggetti cartografati a un sistema di gestione relazionale dei descrittori, permettendo di effettuare anche relazioni logiche e topologiche. Ma soltanto le applicazioni tematiche più esigenti in termini di massa di dati e di possibilità operative necessitano del ricorso a tali sistemi complessi di analisi.

Un GIS, infatti, non è necessariamente un software complesso che debba funzionare in un ambiente informatico prestazionale, in cui oltre alle difficoltà di analizzare e di organizzare l'informazione si aggiunge quella di apprendere il funzionamento del programma.

I dati spaziali che possono essere trattati sono di formato: *raster* o vettoriale. Il primo formato ha una struttura a celle elementari (pixel) ed è utilizzato per la gestione di immagini (fotografie da aereo o immagini satellitari) che vengono acquisite punto per punto, mediante scanner. I GIS in formato vettoriale rappresentano i campi attraverso punti, linee, superfici che definiscono gli oggetti cui vengono associati gli attributi.

Lo sviluppo dei nuovi software GIS procedono velocemente, di pari passo con lo sviluppo dell'hardware, seguendo l'innovazione tecnologica e unificando il linguaggio di comunicazione tra utenza ed elaboratore, semplificando le modalità di collegamento in rete telematica tra sistemi, e facilitando l'integrazione di software applicativi.

Le principali caratteristiche che i nuovi prodotti possiedono sono l'estrema facilità d'uso, la possibilità di leggere contestualmente vari tipi di formati di dati grafici, il collegamento con dati alfanumerici in database relazionali esterni, la possibilità di programmazione dell'interfaccia.

Il GIS ha radicalmente cambiato il modo in cui le persone creano e interagiscono con le informazioni geografiche, infatti, ora, con il GIS online chiunque può dare vita a delle mappe utilizzando il Web GIS per poi poter essere condivise con il resto degli utenti ed usufruibili su qualsiasi device che sia un computer, tablet o smartphone.

Le mappe stampate, comunque, e i loro corrispettivi digitali, come i PDF, continueranno a occupare in modo significativo buona parte del lavoro di molti professionisti di mappatura, con la differenza però che ora gli strumenti GIS sono così talmente evoluti da poter arrivare a generare delle cartografie professionali di altissimo livello.

4.2. Storia del GIS

Negli ultimi cinquant'anni, il GIS si è evoluto fino ad essere considerato una scienza. L'evoluzione fenomenale del GIS da uno strumento rudimentale a una piattaforma moderna e potente per comprendere e pianificare il nostro territorio è segnato da diversi traguardi chiave.

4.2.1. Storia antica del GIS

Il National Center for Geographic Information and Analysis, guidato da Michael Goodchild, finalizò la ricerca su argomenti chiave della scienza dell'informazione geografica come l'analisi spaziale. Questi primi sforzi hanno alimentato una rivoluzione quantitativa nel mondo della scienza geografica e hanno gettato le basi per il GIS.

L'espressione Geographical Information System appare alla fine degli anni sessanta per indicare quei programmi informatici in grado di georeferenziare le informazioni, ovvero associare dei punti a delle coordinate geografiche e quindi riuscire a fornire delle risposte a problemi territoriali che per quegli anni erano ancora impensabili.

4.2.2. Il primo GIS

La costanza che Roger Tomlinson impiegò per avviare, pianificare e sviluppare la Canada Geographic Information System ha portato al primo GIS informatizzato al mondo nel 1963. Infatti, il Governo canadese aveva commissionato a Tomlinson la creazione di un inventario delle sue risorse naturali per la gestione del suolo, arrivando così ad immaginare di usare i computer per unire i dati delle risorse naturali di tutte le province. Tomlinson ha creato poi il progetto per il calcolo automatizzato per l'archiviazione e l'elaborazione di grandi quantità di dati, che ha permesso al Canada di iniziare ad utilizzare il suo programma nazionale per la gestione dell'uso del suolo, dando in fine il nome al GIS.

4.2.3. Nascita di Esri

Nel 1969, Jack Dangermond, membro dell'Harvard Lab di Tomlinson e sua moglie Laura fondarono Environmental Systems Research Institute, Inc. (Esri).



Figura 4.1. Jack Dangermond, fondatore di Esri.

La società ha implementato la mappatura informatica e l'analisi spaziale per aiutare i pianificatori e i gestori delle risorse del territorio a prendere decisioni. I primi lavori di Esri hanno dimostrato quanto possa valere il GIS per la risoluzione dei problemi territoriali.

Esri ha continuato a sviluppare molti dei metodi di mappatura tramite il GIS e altrettanti di analisi spaziale ancora tutt'oggi in uso. Tutti questi risultati hanno

generato molto interesse nei confronti del software sviluppato dall'azienda che ora sono uno standard per il GIS.

4.2.4. GIS diventa commerciale

Con l'aumentare delle capacità hardware dei computer, Esri è riuscita a migliorare i suoi software; lavorare, infatti, su progetti che hanno portato la risoluzione di molteplici problemi del mondo reale ha portato l'azienda a innovare e sviluppare svariati strumenti e approcci GIS utili per ogni situazione. Il lavoro svolto da Esri ha ottenuto il riconoscimento come un nuovo modo di effettuare analisi dello spazio e pianificazione dello stesso. La necessità di analizzare un numero crescente di progetti in modo più efficace, Esri ha sviluppato ARC e INFO, come i primi prodotti GIS commerciali. Queste tecnologie, infatti, sono state rilasciate nel 1981, anno nel quale Esri si è evoluta in una società di software.

4.2.5. GIS oggi

Oggi il GIS offre alle persone la possibilità di creare i propri livelli di mappe digitali per aiutare a risolvere svariati problemi, per poi evolversi in un mezzo per la condivisione e la collaborazione tra gli utenti dei propri dati elaborati. Oggi, di fatto, centinaia di migliaia di organizzazioni condividono il loro lavoro, creano miliardi di mappe per raccontare storie, modelli e tendenze di qualsiasi genere di cose.

4.2.6. Futuro del GIS

Il GIS è diventato una piattaforma rilevante per qualsiasi attività umana dal web, passando per il mondo del cloud e finendo integrandole con le informazioni che si possono ricevere in tempo reale attraverso l'IoT (Internet of Things), come quasi un vero e proprio sistema nervoso del pianeta. Poiché il nostro mondo affronta problemi legati all'incremento demografico della popolazione, ma allo stesso tempo alla diminuzione di natura incontaminata e all'aumento dell'inquinamento, il GIS dovrà svolgere un ruolo sempre più importante e centrale nel modo in cui comprendiamo e affrontiamo questi problemi fornendo un mezzo per comunicare le possibili soluzioni utilizzando le mappe come linguaggio universale comprensibile a tutti.

4.3. Environmental System Research Institute

Esri oggi, è il maggior fornitore internazionale di sistemi GIS, web GIS e gestione geodatabase, detenendo una quota di mercato del 43% circa, del Software GIS in tutto il mondo, superando qualsiasi altro fornitore (dati aggiornati al 2014).

La sede centrale di Esri si trova al 380 New York Street, Redlands in California a



Figura 4.2. Sede Esri in California.

circa 100 Km da Los Angeles, attualmente possiede 10 uffici regionali negli Stati Uniti e oltre 80 distributori internazionali, come Esri Italia.

La società ora conta circa 4000 dipendenti internazionali, 350000 organizzazioni, più di un milione di clienti in 200 paesi, andando a superare nel 2016 gli 1,1 miliardi di dollari di ricavi annui.



Figura 4.3. Logo attuale di Esri.

4.3.1 Prodotti

Esri usa il nome ArcGIS per fare riferimento alla sua suite di prodotti GIS, che opera su piattaforme desktop, server, mobile ed online, includendo anche prodotti per sviluppatori e servizi web. I software aziendali di punta sono:

Desktop:

Di versioni desktop Esri ha sviluppate due, che a partire da luglio 2019 sono state aggiornate ad ArcGIS Desktop 10.7.1 e ArcGIS Pro 2.4. ArcGIS Desktop è costituito da diverse applicazioni integrate, tra cui ArcMap, ArcCatalog e ArcToolbox. Oggi però l'applicazione principale della suite è ArcGIS Pro che sta lentamente sostituendo i precedenti componenti principali di ArcGIS Desktop. Collettivamente queste applicazioni consentono agli utenti di creare, analizzare, mappare, gestire, condividere e pubblicare informazioni geografiche.

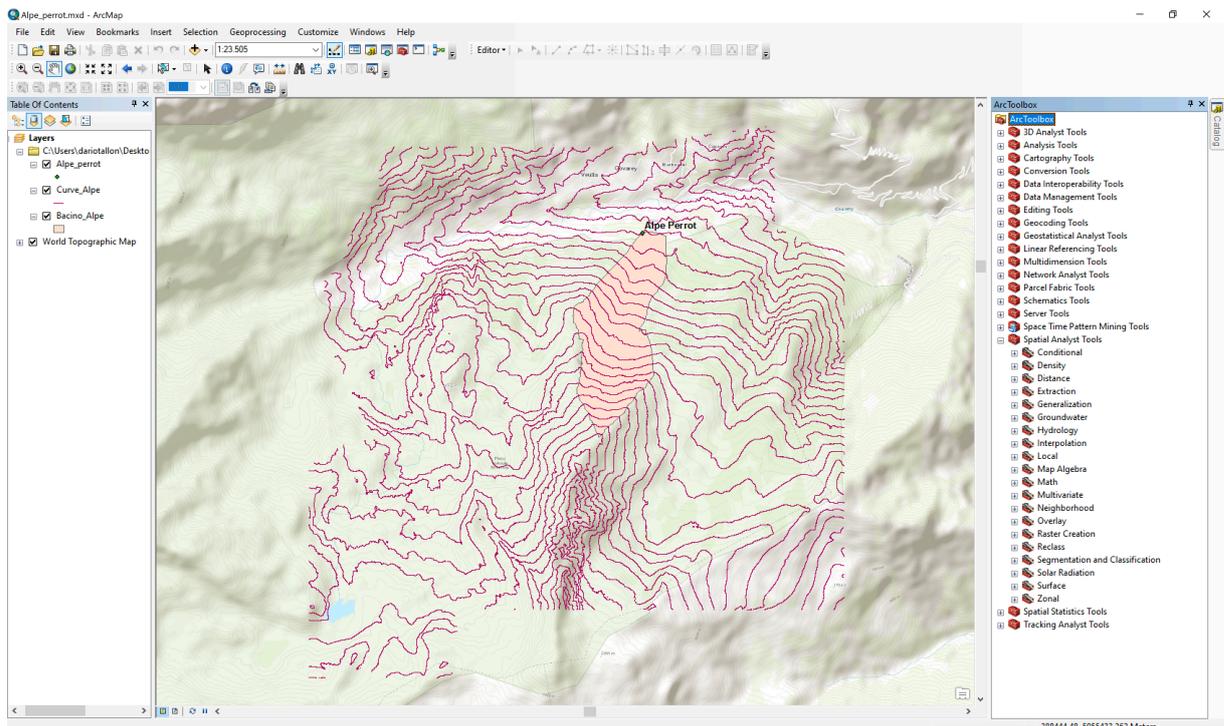


Figura 4.4. ArcGIS Desktop 10.7.1.

ArcGIS Pro è stato introdotto all'inizio del 2015 come un'applicazione moderna e completamente a 64 bit, consentendo di realizzare progetti in 2D e 3D, grazie a una interfaccia intuitiva, e di renderli accessibili molto più velocemente e semplicemente di prima, rappresentando un notevole avanzamento nelle capacità di visualizzazione, di analisi, di processamento delle immagini, per la gestione e l'integrazione dei dati. La suite di prodotti è disponibile in tre livelli di licenza: Basic, Standard e Advanced (precedentemente chiamati ArcView, ArcEditor e ArcInfo). Basic fornisce un set base di funzionalità GIS adatte a molte applicazioni GIS. Lo standard, consente una modifica e una manipolazione dei dati più estese, inclusa la modifica del geodatabase del server. Advanced, di fascia alta invece, offre funzionalità complete e avanzate di analisi e gestione dei dati, inclusi strumenti di analisi geostatistica e topologica. Per tutti e tre i livelli sono disponibili delle estensioni, tra cui lo Spatial Analyst, per l'analisi di raster e il 3D Analyst per le cartografie e le analisi territoriali.

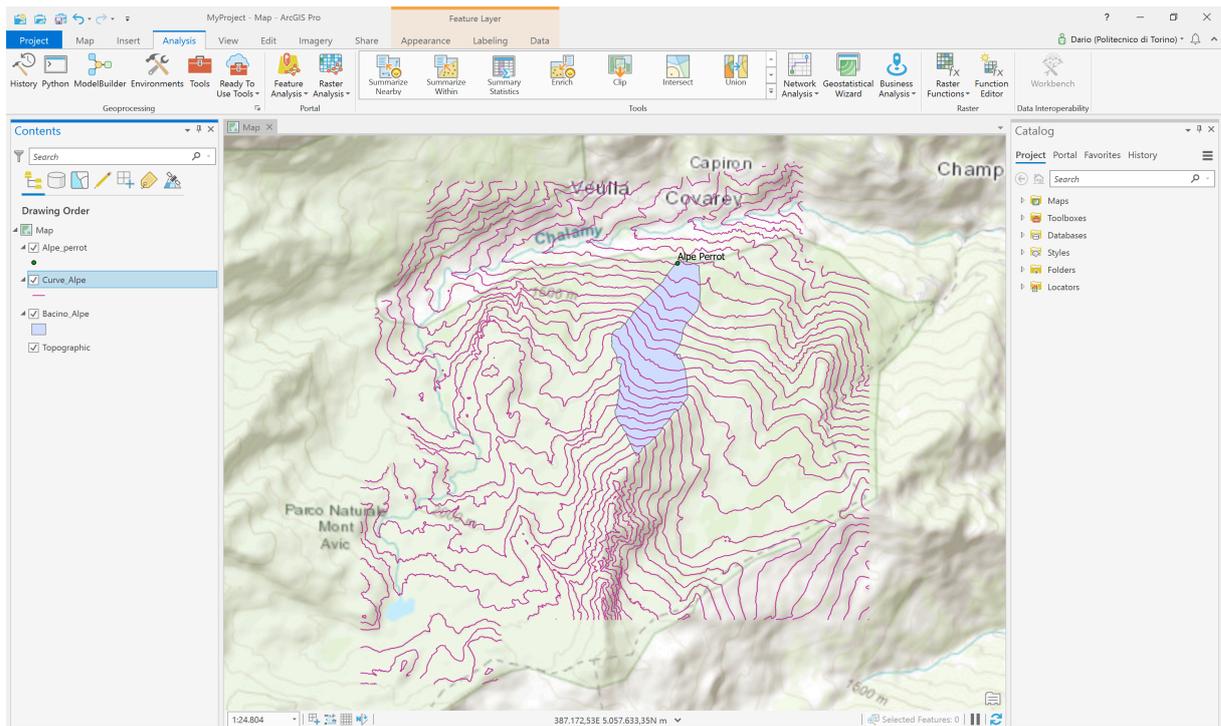


Figura 4.5. ArcGIS Pro 2.4.

Server:

ArcGIS Server è un servizio di applicazione Internet, utilizzato per estendere la funzionalità di ArcGIS Desktop su un ambiente browser. Viene utilizzato come connettore del sistema di gestione del database relazionale per altri software Esri per archiviare e recuperare i dati GIS all'interno di un database disponibile in commercio: attualmente, può essere utilizzato con database Oracle, PostgreSQL e Microsoft SQL Server.

Mobile:

Il GIS mobile integra come feature principale il GPS, permettendo alla tecnologia ArcGIS di raccogliere informazioni dettagliate direttamente in campo, semplicemente possedendo un app su un device, questo sia uno smartphone o un tablet, con sistema iOS o Android. I prodotti dell'azienda per questo uso includono Collector, Survey123 o QuickCapture.

Online:

ArcGIS online include funzionalità Internet in tutti i prodotti software Esri. I servizi, forniti tramite ArcGIS Online, includono API Web, servizi di geolocalizzazione e un programma di condivisione degli utenti. La varietà di basemaps è una caratteristica distintiva di ArcGIS Online.

StoryMaps:

Le ArcGIS StoryMaps sono lo strumento, ideato da Esri, le quali combinano mappe interattive disponibili sul web con testo, foto, video, link ed altri contenuti multimediali.

Le StoryMaps, sono in grado di veicolare in modo molto più efficace il messaggio che si vuole trasmettere essendo visivamente molto dinamico e intuitivo lo stile di lettura di questo nuovo tipo di presentazione.

Ovviamente essendo un prodotto web l'accesso alle informazioni è garantito da infiniti dispositivi desktop che mobile.

Questi sono i motivi che hanno portato a scegliere proprio le StoryMaps per racchiudere tutto il lavoro svolto sulle sorgenti.

4.4. Esri Italia

Esri Italia è Official Distributor di Esri per il territorio italiano con sede principale in Roma, via Casilina 98 e altre sedi nelle città di Milano e Cagliari.

Il Fondatore e Presidente è Bruno Ratti, invece dal 2016 Emilio Misuriello, Architetto formatosi al Politecnico di Torino, ricopre il ruolo di Amministratore Delegato dell'azienda.



Figura 4.6. Logo attuale di Esri Italia.

Le soluzioni e i prodotti offerti da Esri Italia sono gli strumenti fondamentali scelti da aziende e organizzazioni di numerose aree di business, come: Pubbliche Amministrazioni, aziende dei settori Utilities, Energia, Risorse Naturali, Telecomunicazioni, Trasporti, Commercio, supportando anche il mondo delle Università, Enti di Ricerca e da Associazioni del settore No Profit.

Un esempio può essere quello di Roma Capitale, dove le tecnologie GIS hanno permesso di rendere più efficienti i processi organizzativi e decisionali, migliorando i servizi offerti; infatti il patrimonio stradale e la condizione di degrado delle pavimentazioni degli oltre 800 Km di strade asfaltate, grazie al supporto di Esri Italia, è monitorato attraverso un sistema per la sorveglianza in tempo reale su piattaforma ArcGIS Online dai Vigili Urbani, direttamente collegata con l'Amministrazione Capitolina.

Anche Aeroporti di Roma (ADR) che gestisce i due aeroporti della Capitale, quello di Ciampino e il grande hub internazionale di Fiumicino, dove solo nel 2018 ha visto

transitare la cifra record 43 milioni di passeggeri, si serve dei servizi offerti da Esri Italia con la quale si è potuto georeferenziare tutti gli asset dell'aeroporto e gestire i processi più importanti, come la sicurezza delle piste e di tutte le altre aree presenti, la pianificazione dell'evoluzione delle strutture e anche condurre i passeggeri alla scoperta dei servizi dell'aeroporto. Tutto questo è servito per raggiungere elevati standard di qualità, difatti l'aeroporto di Fiumicino è stato designato per il secondo anno consecutivo come il miglior aeroporto per la qualità percepita dall'Airports Council International.



Figura 4.7. Web GIS App di ADR.

Questi sono alcuni semplici esempi che dimostrano come i servizi offerti da Esri Italia e quindi da Esri stessa non sono utili esclusivamente per la mappatura del territorio, ma vengono utilizzati soprattutto a migliorare la qualità della vita del singolo cittadino.

4.4.1 Formazione

Per preparare al meglio questo lavoro si è deciso di partecipare a diversi corsi di formazioni proposti da Esri Italia nella sede di Roma, suddivisi per argomento e sviluppati su più settimane.

Il primo "Introduction to Geoprocessing Scripts Using Python" è stato seguito per apprendere le basi di programmazione Python applicata al GIS e quindi riuscire a creare gli script che sono serviti a popolare il Geodatabase che è stato in parte anche generato grazie, alle basi fornite nel secondo corso seguito "Building the Geodatabases". Per concludere e riuscire ad elaborare e perfezionare i dati che sono stati caricati sulla StoryMap si è preso parte, invece, al corso "Editing Data with ArcGIS for Desktop".

Nel primo gli argomenti trattati sono stati molteplici: tra cui un'introduzione generale sia per quanto riguarda Python in se, sia all'integrazione del linguaggio di

programmazione con i software Esri, come ArcMap. È stato poi mostrato e spiegato il compilatore usato negli applicativi GIS “PyScripter IDE” dove IDE sta per Integrated Development Environment e il modulo creato e di proprietà esclusiva Esri “ArcPy”, modulo che è la base di tutta la programmazione e l’integrazione tra Python e i Programmi Esri.

Il corso poi è proseguito esplorando tutte quelle operazioni che tramite l’utilizzo base di ArcMap avrebbero richiesto molto tempo in più rispetto alla più semplice creazione di uno script, per fare in modo che tutto il processo esecutivo possa essere automatizzato.

Queste automazioni possono essere, sia di modifica del singolo Shapefile, oppure di una Feature Class se il file da modificare è contenuto in un Geodatabase.

La programmazione integrata al GIS permette anche poi di creare e di modificare tutte quelle geometrie fondamentali nell’utilizzo di questo tipo di software: il punto, la linea e il poligono; con la possibilità anche si effettuare delle operazioni tra i vari elementi.

L’ultima parte di questo corso si è concentrata sul creare un eseguibile al fine di rendere lo script distribuibile.

Il secondo modulo, sulla creazione e modificazione dei Geodatabases è iniziato facendo capire il vantaggio di utilizzare un Geodatabase rispetto a molteplici Shapefiles, esplorando tutte le sue caratteristiche.

Proseguendo poi, il corso si è focalizzato sulle modalità di inserimento dei dati all’interno del Geodatabase sia in formato GIS, CAD e GPS.

Si è passati poi alla creazione dei sottotipi (subtypes), utili per tenere organizzati tutti i file all’interno del Geodatabase classificandoli ed assegnare loro una determinata simbologia uguale per ogni file appartenente al suo subtypes.

Anche la creazione dei domini, ovvero la determinazione un un range entro il quale può stare un determinato oggetto inserito in un Geodatabase, è stato un argomento trattato nel corso, fondamentale per attribuire un valore corretto e valido ad un determinato file.

È stato anche mostrato come sia possibile associare sin dato esterno all’elemento questo sia un immagine, un PDF o in link internet, per poi riuscirlo a mostrare direttamente sulla mappa visualizzata a schermo attraverso un semplice pop-up.

Per concludere, come il precedente corso, si sono mostrate le tecniche per riuscire trasmettere un intero Geodatabase, allegando anche tutte le modifiche e sue associazioni che sono state fatte.

In conclusione a nel modulo relativo all’editing, sono stati utilizzati i tools utili a rendere sia i punti che le linee che i poligoni graficamente presentabili evitando i più comuni errori topologici come sovrapposizione di aree, vuoti tra un poligono ed un altro oppure disallineamento tra più linee e/o poligoni, eliminandoli per poi validare la topologia corretta.

Parte di quest'ultimo corso si è incentrata anche sulle possibili modifiche che sono permesse fare all'interno delle tabelle degli attributi della singola Feature Class, come aggiungere nuovi campi, associare più Feature Class tra loro e anche calcolarne le geometrie.

5. Python

5.1. Storia

Python è considerato un linguaggio di programmazione ad alto livello, valutato così perché vicino alla logica e all'uso del linguaggio naturale.

Nasce da un'idea di Guido Van Rossum, programmatore olandese attualmente operativo in Dropbox, che durante le vacanze di natale del 1989 iniziò a lavorare a questo nuovo linguaggio, mentre era impegnato nel team di sviluppo del National Research Institute for Mathematics and Computer Science di Amsterdam (seconda metà degli anni '80), prendendo da alcuni elementi del linguaggio di programmazione "ABC".

Il 20 febbraio 1991 dopo più di un anno di lavoro il programmatore rilasciò, sotto licenza Open-Source, quindi gratuitamente, la prima versione di Python. Nel 2000 pubblicò invece la seconda versione, integrando in sé il supporto per Unicode. La terza release del linguaggio, chiamata anche Python 3000 o py3k, è stata resa pubblica il 3 dicembre 2008.

La versione utilizzata in questo lavoro è la 3.7.5.

Attualmente, lo sviluppo di Python viene gestito dall'organizzazione no-profit Python Software Foundation.

Il suo nome si deve alla commedia Monty Python's Flying Circus del gruppo comico britannico Monty Python, in onda sulla BBC nel corso degli anni 70.

Il logo rappresenta due pitoni che si intrecciano di colore blu e giallo (Figura 5.1).



Figura 5.1. Logo attuale di Python.

5.2. Caratteristiche

Python nasce come linguaggio pseudo-interpretato, estremamente veloce grazie alla pre-compilazione in un bytecode molto efficiente, che viene quasi sempre riutilizzato dopo la prima esecuzione del programma, evitando così di reinterprete ogni volta lo script e incrementando le prestazioni; così come efficiente è l'implementazione del meccanismo di "garbage collection", modalità automatica capace di gestione dello spazio, mediante la quale un compilatore libera porzioni di memoria non più utilizzate dallo stesso. In altre parole, il garbage collector annoterà le aree di memoria non più referenziate, cioè allocate da un processo attivo, e le libererà automaticamente così da poter essere riutilizzata in futuro.

L'esser pseudo-interpretato rende Python un linguaggio portabile. Una volta scritto uno script, esso può essere interpretato ed eseguito sulla gran parte delle piattaforme attualmente in commercio, siano queste di casa Apple (Mac) che PC (Microsoft Windows e GNU/ Linux)

Questo linguaggio supporta diversi paradigmi della programmazione, come quello Object-Oriented (con supporto all'ereditarietà multipla), la programmazione strutturata, quella imperativo, funzionale e riflessionale.

L'Object-Oriented Programming (programmazione orientata agli oggetti) permette di definire degli oggetti software in grado di interagire gli uni con gli altri scambiando dei messaggi. È particolarmente adatta nei contesti in cui si possono definire delle relazioni di interdipendenza tra i concetti da modellare.

La programmazione ad oggetti prevede di riunire in una zona circoscritta del codice sorgente (chiamata classe), la dichiarazione delle strutture dati e delle procedure che operano su di esse. Le classi, quindi, costituiscono dei modelli astratti, che a tempo di esecuzione vengono invocate per istanziare o creare oggetti software relativi alla classe invocata. Questi ultimi sono dotati di attributi (dati) e metodi (procedure) secondo quanto definito/dichiarato dalle rispettive classi.

Un'altra caratteristica che contraddistingue il linguaggio Python fra quelli più diffusi è il suo sistema di indentazione della sintassi dove invece di usare parentesi, come nel linguaggio C, usa l'*indentazione* stessa per indicare i blocchi nidificati in congiunzione col carattere "due punti" (:). Si può usare indifferentemente sia una tabulazione, attraverso il tasto dedicato "TAB", sia un numero arbitrario di spazi, ma per convenzione lo standard Python è di 4 spazi.

Questo si rivela molto vantaggioso, perché risulta conciso e obbliga a scrivere sorgenti indentati correttamente, aumentando così la leggibilità del codice, rendendo la sua sintassi semplice, chiara e lineare. Infatti Python, nelle intenzioni di Guido van Rossum, è stato creato per essere un linguaggio da subito intuibile per essere appreso, utilizzato e capito.

La libreria built-in fornita assai ricca, unita alla gestione automatica della memoria e a robusti costrutti per la gestione delle eccezioni fanno di Python uno dei linguaggi più ricchi e comodi da usare. Di fatto le librerie disponibili sono innumerevoli e in continua crescita, sia quelle standard che quelle di terze parti, le quali permettono di scrivere dei software ben strutturati che favoriscono lo sviluppo di applicazioni anche molto complesse, come da esempio il machine learning o anche lo sviluppo mobile.

Python utilizza la tipizzazione dinamica per le variabili, ovvero in compilatore in base al valore assegnato alla variabile, ne decide e interpreta il tipo.

Il dinamismo della tipizzazione è dato dal fatto che le variabili non devono essere dichiarate in anticipo, come accade con altri linguaggi di programmazione, ma verranno assegnati nomi variabili dietro ai quali si nasconderanno solamente un tipo di entità di programmazione. Infatti solo al momento dell'esecuzione del codice appena scritto vengono verificati i valori assegnati ad ogni variabile.

Python tutt'ora è disponibile in due versioni. La 2.x (oggi release 2.7) ha rappresentato per lungo tempo la piattaforma "standard" per gli sviluppatori, quella che si doveva conoscere e usare anche se esistevano già le versioni 3.x. Il motivo che portava la convivenza delle due macroversioni è quello di usare due sintassi diverse, il che rendeva incompatibile una grande quantità di codice; infatti non esistevano per Python 3.x molte librerie che invece c'erano per la versione 2.7. Oggi però le cose sono diverse e Python 3.x (oggi release 3.7) ha tutti gli strumenti che servono in quanto a librerie. In più porta diverse funzioni utili che a Python 2.7 mancano, per questi motivi da gennaio 2020 cesserà il supporto e gli aggiornamenti per la seconda versione del linguaggio, costringendo gli sviluppatori a programmare con la nuova release.

Per concludere Python è free software: non solo il download dell'interprete per la propria piattaforma, così come l'uso di Python nelle proprie applicazioni, è completamente gratuito; ma in aggiunta a questo Python può essere facilmente e liberamente modificato e così ridistribuito, secondo le regole di una licenza pienamente open-source.

Queste caratteristiche hanno fatto di Python il protagonista di un'enorme diffusione in tutto il mondo, e anche in Italia, negli ultimi anni.

5.3. Librerie

Python ha il grande vantaggio, essendo un linguaggio open-source, di possedere molteplici librerie sviluppate da diversi programmatori, al fine di ampliare le possibilità di usabilità del codice.

Per fare in modo che Python possa quindi interpretare parti di script che senza librerie interromperebbero l'esecuzione del codice, una volta installata la libreria stessa sul computer, tramite il comando "import" seguito dal nome del modulo, scritto antecedente allo script, fa in modo che Python iniziando a leggere i comandi dall'inizio riesca a caricare le librerie necessarie per interpretare le righe successive.

Le librerie impegnate più frequentemente, servite anche per scrivere lo script che è stato utilizzato per questo lavoro sono:

- math: contenitore di funzioni matematiche

- numpy: aggiunge supporto a grandi matrici e array multidimensionali insieme a una vasta collezione di funzioni matematiche di alto livello per poter operare efficientemente su queste strutture dati
- matplotlib: utilizzata per generare grafici 2D sia a barre che a dispersione, come anche istogrammi, spettri, e diagrammi di errore. Il tutto è controllabile, dallo stile di linea, proprietà dei caratteri e assi, tramite l'interfaccia orientata agli oggetti
- psycopg: è l'adattatore del database PostgreSQL, per la versione 3 di Python la libreria prende il nome di psycopg2
- datetime: fornisce le classi per manipolare date e tempi, focalizzandosi su un'efficiente estrazione delle componenti, per l'interpretazione dell'input e la formattazione dell'output
- statistics: utile quando di devono effettuare statistiche matematiche su dati numerici reali

5.4. Database

Tra i molteplici database disponibili per il linguaggio Python, per questo lavoro è stato utilizzato quello nominato PostgreSQL.

PostgreSQL è un Object Database Management System, ODMS (modello di base di dati ad oggetti), nato inizialmente come INGRES da un progetto dell'Università della California a Berkeley nel 1982 con a capo Michael Stonebraker, importate ricercatore nel campo dei database.

Nel 1985 Stonebraker lasciò l'università per dare vita a un nuovo progetto post-Ingres, chiamato successivamente Postgres.

Questo progetto aveva l'obiettivo di fornire un supporto completo ai tipi di dati, in particolare la possibilità di definire nuovi tipi di dati, User Defined Function e User Defined Types, preservando l'integrità dei dati e capace di leggere informazioni da tabelle relazionate in modo naturale, seguendo le regole definite dall'utente.

Nel giugno del 1989 viene rilasciata la prima versione, mentre la terza pubblicata nel 1991, venne riscritta da zero aggiungendo il supporto ai gestori multipli di immagazzinamento dei dati e migliorando notevolmente il motore di query.

Nel 1994 il progetto passò a due studenti della Berkeley, A. Yu e J. Chen, che aggiunsero a Postgres in interprete SQL e solo nel 1996 prese il nome che possiede attualmente, PostgreSQL.



Figura 5.2. Logo attuale di PostgreSQL.

Utilizzando il linguaggio SQL, i dati sono immagazzinati come una serie di tabelle con chiavi esterne che servono a mettere in relazione i dati correlati, richiedendo che sia l'utente a prelevare e raggruppare le informazioni correlate utilizzando le query.

I principali pregi di PostgreSQL sono:

- L'incremento delle prestazioni, rispetto un qualsiasi altro database, in quanto la logica viene applicata direttamente dal server di database, riducendo il passaggio di informazioni tra il client ed il server
- Il miglioramento dell'affidabilità, dovuto alla centralizzazione del codice di controllo sul server
- Il codice del client può essere più snello e semplice avendo inserito i livelli di astrazione dei dati, ovvero la loro organizzazione e memorizzazione, direttamente sul server,

PostgreSQL riesce quindi a ridurre il tempo totale di programmazione di molti progetti, con i vantaggi sopracitati che crescono con la complessità del progetto stesso.

6. Sorgenti valdostane

6.1. Legislazione valdostana

Per quanto riguarda la Regione Autonoma Valle d'Aosta sono in vigore le seguenti leggi per quanto riguarda le sorgenti:

- Art. 42 della Legge regionale 6 aprile 1998, n. 11:
Fasce di tutela, rispetto e protezione delle captazioni e delle opere di stoccaggio delle acque per consumo umano.
 1. Le varianti di adeguamento del PRG devono definire ed evidenziare zone di tutela assoluta, di rispetto e di protezione, sia con riferimento alle captazioni, sia con riguardo alle opere di stoccaggio dell'acqua, nel rispetto delle disposizioni dei commi 2, 3, 4, 5 e 6.
 2. Le zone di tutela assoluta sono adibite esclusivamente ad opere di presa e a costruzioni di servizio; esse devono essere recintate e provviste di canalizzazione per le acque meteoriche e devono avere un'estensione di raggio non inferiore a dieci metri, ogni qualvolta sia possibile; l'estensione della zona di tutela assoluta è adeguatamente ampliata in relazione alla situazione locale di vulnerabilità e di rischio della risorsa.
 3. Le zone di rispetto sono delimitate in relazione alle risorse idriche da tutelare e devono comunque avere un'estensione di raggio non inferiore a duecento metri rispetto al punto di captazione; tale estensione può essere ridotta in relazione alla situazione locale di vulnerabilità e rischio della risorsa.
 4. Le varianti di adeguamento del PRG definiscono l'ampiezza delle zone di protezione e stabiliscono le destinazioni e gli interventi che vi sono ammessi, ove del caso limitandoli ed imponendo misure a tutela della captazione o dello stoccaggio.
 5. Nell'adempiere a quanto disposto dal comma 4, le varianti di adeguamento del PRG applicano altresì le prescrizioni del PTP.
 6. Nelle more dell'adeguamento del PRG, trovano comunque applicazione le disposizioni di legge in materia, con le relative norme di attuazione, nonché le prescrizioni direttamente prevalenti e cogenti del PTP.
- Delibera Consiglio Regionale n. 792/XI del 28 luglio 1999:
Fasce di tutela, rispetto e protezione delle captazioni e delle opere di stoccaggio delle acque per consumo umano (Art. 42 L.R. 11/1998), Paragrafo A, Disposizioni transitorie.
 1. Il PRG evidenzia sulla Carta degli elementi, degli usi, e delle attrezzature con particolare rilevanza urbanistica, le delimitazioni delle aree di salvaguardia dei pozzi e delle sorgenti (zona di protezione, zona di rispetto, zona di tutela assoluta) già perimetrata e per le quali esiste un parere positivo da parte delle competenti strutture regionali.

2. Il PRG, in assenza di specifiche indagini condotte in base alle norme tecniche da emanarsi da parte della Giunta regionale, considera tutte le sorgenti e pozzi destinati a uso idropotabile, esclusi quelli di servizio a singoli privati, individuando le aree di salvaguardia sulla Carta degli elementi, degli usi, e delle attrezzature con particolare rilevanza urbanistica sulla base dei seguenti criteri geometrici.
 - a. Sorgenti:
 1. per la zona di protezione il bacino imbrifero afferente la sorgente.
 2. per la zona di rispetto, un semicerchio di almeno 200 metri di raggio a monte e a fianco dell'emergenza della sorgente, adattato in relazione alla situazione locale di vulnerabilità e rischio della risorsa e segnalando nella relazione la presenza di eventuali centri di rischio per la risorsa.
 3. per la zona di tutela assoluta un cerchio di almeno 10 metri di raggio dall'emergenza della sorgente.
 - b. Pozzi:
 1. per la zona di protezione; la presumibile area di ricarica delle falde estesa per almeno 2000 metri di raggio.
 2. per la zona di rispetto, un cerchio di almeno 200 metri di raggio, adeguatamente adattato in relazione alla situazione locale di vulnerabilità e rischio della risorsa e segnalando nella relazione la presenza di eventuali centri di rischio per la risorsa; l'adattamento potrà essere oggetto di concertazione tra Comune, tecnici incaricati e struttura regionale competente.
 3. per la zona di tutela assoluta un cerchio di almeno 10 metri di raggio dalla testa del pozzo. Norme d'uso nelle zone di salvaguardia.
3. Dovranno essere rispettate in generale le indicazioni del D.P.R. 24 maggio 1988, n. 236 - Attuazione della direttiva CEE numero 80/778 concernente la qualità delle acque destinate al consumo umano, ai sensi dell'art. 15 della legge 16 aprile 1987, n. 183, in particolare:
 - a. nella zona di protezione i PRG dovranno valutare attentamente e studiare sotto l'aspetto idrogeologico le destinazioni d'uso in atto e previste che comportino la realizzazione e l'ampliamento di insediamenti civili, produttivi, turistici, agroforestali e zootecnici e opere infrastrutturali che comportino un potenziale rischio per le risorse.
 - b. nella zona di rispetto sarà vietata l'edificazione di stalle e in genere la realizzazione di allevamenti di bestiame. Sarà fatto divieto inoltre di realizzare in esse interventi di tipo industriale, artigianale o di servizio (p.e. cimiteri) che comportino lo stoccaggio e il trattamento di rifiuti, reflui, sostanze chimiche pericolose e sostanze radioattive. La nuova edificazione di infrastrutture ed edifici sarà consentita solo se compatibile con la sicurezza della risorsa idrica e comunque a seguito di specifico studio che

attesti tale compatibilità e dia indicazione delle cautele e degli accorgimenti da adottare per minimizzare il rischio di incidentali inquinamenti.

c. nelle zone di tutela assoluta è vietato ogni tipo di intervento che non sia teso alla tutela della risorsa.

4. Nelle zone di rispetto e di protezione il PRG stabilisce specifiche disposizioni per le abitazioni esistenti e le attività in atto indicando le cautele e gli accorgimenti da adottare per minimizzare il rischio di incidentali inquinamenti.

- Deliberazione del Consiglio regionale n. 1788/XII dell'8 febbraio 2006:
Piano regionale di tutela delle acque ai sensi dell'art. 44 del decreto legislativo n. 152/1999 e successive modificazioni ed integrazioni nel quale sono individuati gli obiettivi di qualità ambientale e per specifica destinazione dei corpi idrici e gli interventi volti a garantire il loro raggiungimento o mantenimento, nonché le misure di tutela qualitative e quantitative tra loro integrate e coordinate per bacino idrografico.

6.2. Raccolta dati

Il presente lavoro si basa sulla raccolta ed analisi di dati provenienti dalle varie sorgenti di montagna monitorate dal Politecnico di Torino dal 2010 e dalle stazioni meteo presenti sul territorio valdostano (Figura 6.1).



Figura 6.1. Inquadramento geografico della Valle d'Aosta.

Il territorio valdostano pur avendo un'estensione areale estremamente ridotta, 3263 km², possiede un numero elevato di sorgenti, circa 1700 (Figura 6.2).

Partendo dal Progetto Strada concluso nel 2012, dove di queste sorgenti ne sono state individuate 20 (Figura 6.3), quelle più rappresentative di una particolare tipologia considerando la quota sul livello medio del mare ed l'ubicazione in particolari contesti caratterizzati da un elevato rischio di inquinamento, si è deciso di aggiornare il database aggiornandolo con gli ultimi dati, valutando come le portate e i parametri caratteristici delle sorgenti siano cambiati nel tempo in funzione dei cambiamenti climatici.

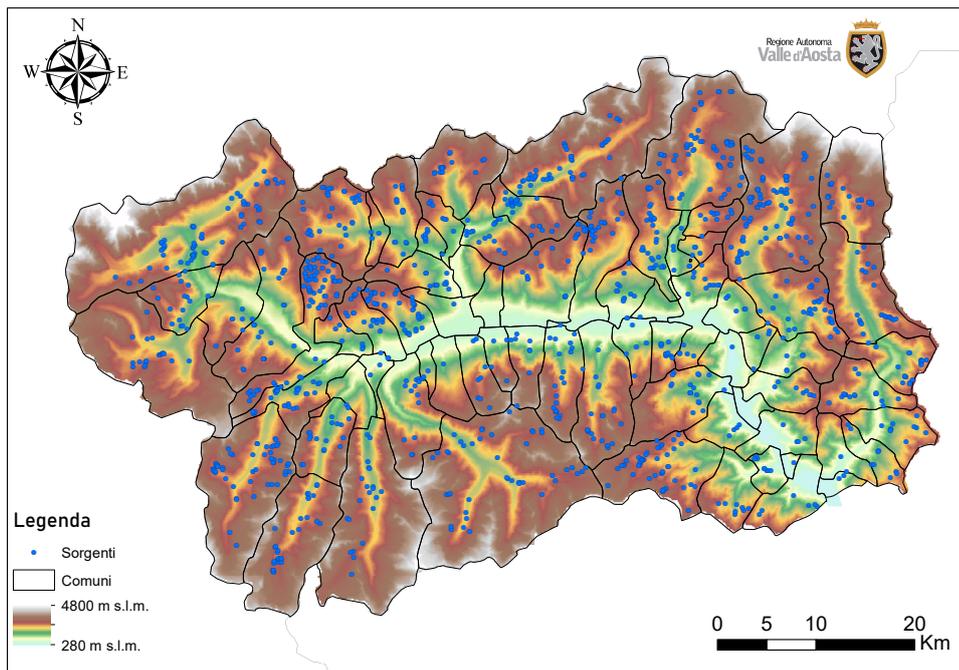


Figura 6.2. Sorgenti valdostane.

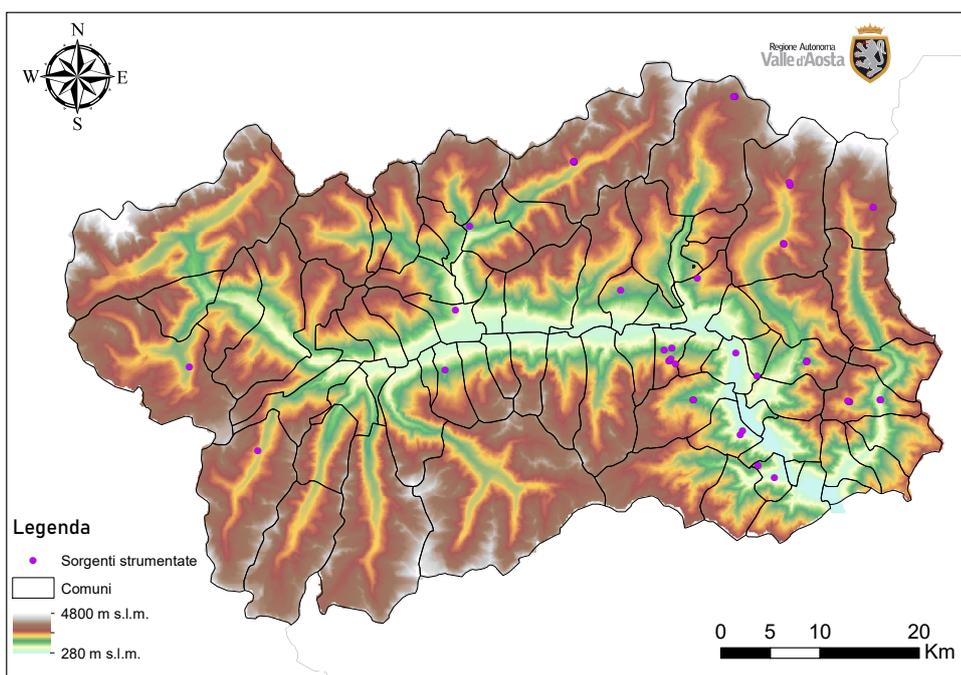


Figura 6.3. Sorgenti strumentate.

6.2.1. Sonde

Per determinare le aree da salvaguardare, delle sorgenti oggetto di studio dal Progetto Strada, è stata necessaria un'approfondita analisi del anno idrologico.

Nel Progetto si è reso necessario posizionare delle sonde le quali misurino la conducibilità elettrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$), il livello (cm) e la temperatura ($^{\circ}\text{C}$) delle acque.

Una volta noto il livello, la portata per i futuri studi è stata determinata attraverso uno stramazzo dotato di profilo regolato e di dimensioni conosciute all'interno dell'opera di captazione. È necessario, difatti, individuare la portata, per definire i parametri caratteristici della sorgente, inoltre le temperature e le conducibilità sono servite al fine di poter valutare ogni variazione che potrebbe essere associata ad un probabile inquinamento, implementando questi ultimi due anche all'interno dei nuovi modelli sperimentali modelli per definire la vulnerabilità all'inquinamento delle sorgenti, il VESPA e il modello della cross correlation.

La valutazione, fatta dal Progetto, della strumentazione da introdurre all'interno delle opere di captazione è stata effettuata tenendo conto i principali e più noti produttori a livello internazionale di sonde per la misura di questi tre parametri.

Le sonde installate che sono state scelte appartengono al brand tedesco OTT, commercializzate sul territorio nazionale dalla Corr-Tek Idrometria S.r.l..

Il modello utilizzato è OTT-CTD, queste sono state scelte perchè presentano un sensore ceramico di conducibilità elettrica facilmente riparabile, con valori di errore dello strumento molto bassi ed infine anche perchè riescono a funzionare con semplici batterie stilo da 1,5 V.



Figura 6.4. Immagine della Sonda OTT-CTD a sinistra e schema a destra.

Le sonde, dopo l'avvenuta installazione, sono state impostate per l'acquisizione dei parametri richiesti con frequenza di campionamento oraria. Al fine di un corretto campionamento del livello per valutare la portata della sorgente, la sonda è stata inserita in un classico tubo di PVC in modo da ridurre le possibili oscillazioni del pelo libero dell'acqua connesse alle turbolenze generate dal inserimento della stessa nell'opera di presa impostando, così, un livello di riferimento "0", dopo una corretta taratura.



Figura 6.5. Operazioni di configurazione della sonda inserita nel tubo di PVC.

6.3. Analisi dei dati

Periodicamente questi dati sono stati scaricati ed archiviati, ma con questo lavoro, si è deciso di organizzarli tutti in un geodatabase sito nel Dipartimento di Ingegneria dell'Ambiente, del Territorio e delle Infrastrutture (DIATI) del Politecnico di Torino.

Grazie a questa organizzazione e all'implementazione di alcuni script programmati in Python 3 è stato possibile generare i grafici degli idrogrammi delle sorgenti, scegliendo in periodo interessato, come l'anno idrologico, per studiarne l'andamento o anche le singole curve di esaurimento, ricavando i relativi parametri idrodinamici così da poter definire a quale classe di vulnerabilità appartiene la sorgente in esame attraverso il metodo pensato da Civita nel 1988.

Lo script utilizzato insieme agli altri, che saranno citati in seguito, sono riportati nell'appendice di questo lavoro.

Nel seguente capitolo verrà mostrata in dettaglio la sorgente Alpe Perrot e tutti gli studi che sono stati effettuati con i dati raccolti dal 2010 al 2018.

6.4. Stazioni meteo

Oltre a tutti i dati provenienti dalle sonde prese in considerazione, sono state inserite sempre nello stesso geodatabase anche tutte le misurazioni effettuate dalle stazioni meteo più vicine alle opere di captazione. I sensori installati su queste stazioni sono: barometri, igrometri, nivometri, pluviometri, radiometri e termometri.

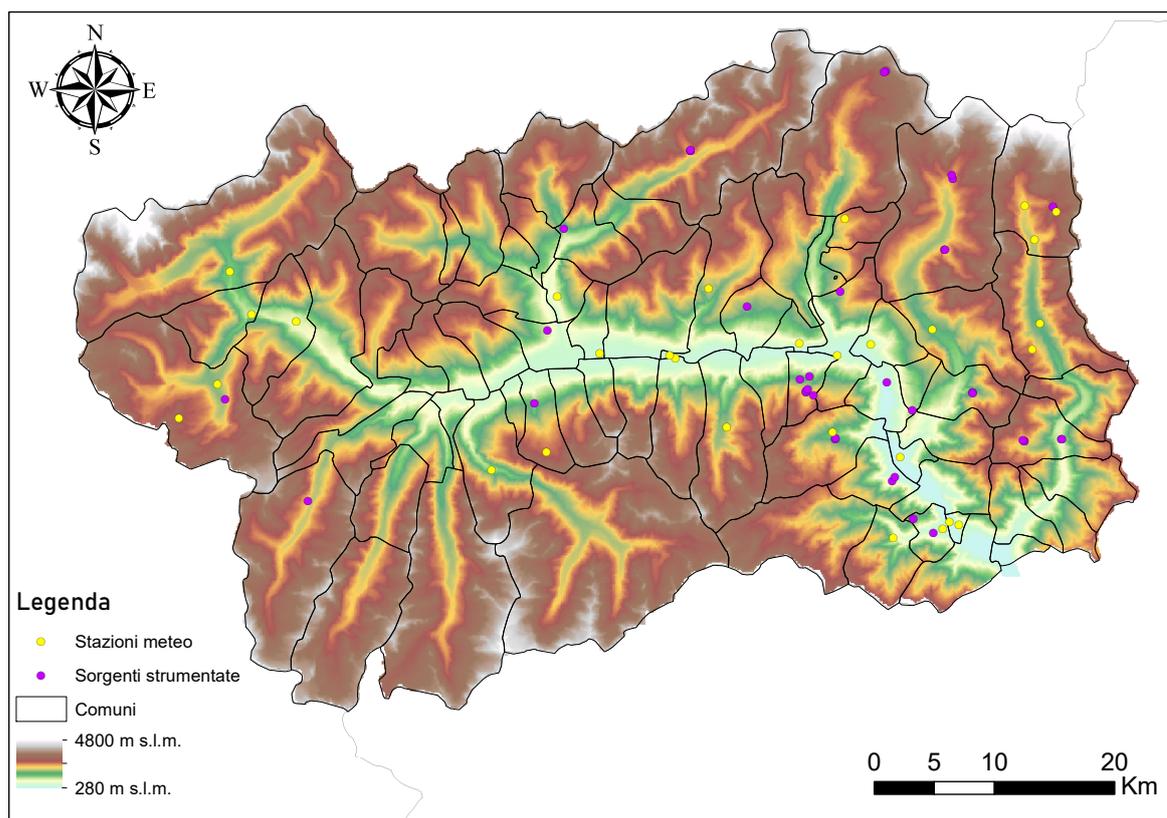


Figura 6.6. Inquadramento delle stazioni meteo confrontate con le sorgenti.

Anche per le stazioni meteo è stato sviluppato uno script Python che aiuti e faciliti le operazioni di inserimento del database e anche poi per una fase successiva ad estrarre i dati sia un singolo sensore o anche tutti i sensori di una sola stazione meteo.

Questi dati e in particolare quelli provenienti dai pluviometri sono serviti per trovare una correlazione tra i millimetri di pioggia caduti sul territorio e gli idrogrammi per ogni anno idrologico delle sorgenti, al fine di studiarne l'andamento col passare degli anni e determinare una correlazione tra essi.

7. Alpe Perrot

7.1. Inquadramento geografico

La sorgente valdostana, denominata Alpe Perrot, è ubicata sul territorio del Comune di Champdepraz ad una quota che si aggira intorno ai 1290 m s.l.m. in corrispondenza del Pian di Port. Per giungere a questa è indispensabile percorrere la Strada Comunale che da Champdepraz porta verso le frazioni Covarey e Chantonet (M. De Maio, et al., 2012).

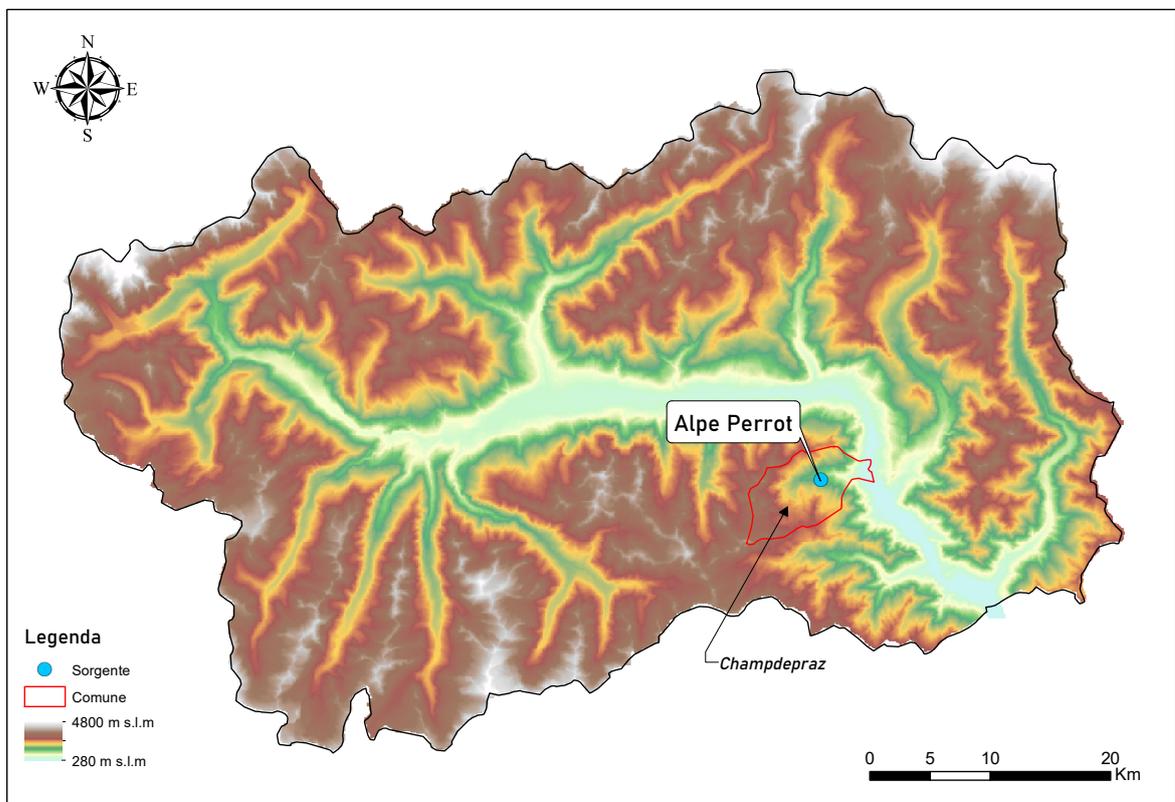


Figura 7.1. Inquadramento geografico della sorgente Alpe Perrot rispetto la Valle d'Aosta.

7.2. Inquadramento geologico

Il sito visto da un punto geologico è compreso all'interno delle sequenze della zona piemontese. Si parla di un sistema multi-falda che divide con continuità il gruppo Austroalpino (Zona Sesia-Lanzo e Sistema della Dent Blanche) da quelle inferiori e più esterne falde Pennidiche del Gran Paradiso, del Gran San Bernardo e del Monte Rosa. Invece a sud della faglia Aosta - Col de Joux - Ranzola, sul versante destro orografico della Valle d'Aosta, vengono riconosciute Unità ofiolitiche a metamorfismo eclogitico riconducibili all'unità Zermatt Saas e unità piemontesi esterne simili da un punto di vista litologico e metamorfico alle rocce della zona del

Combin Auct. (Guide Geologiche Regionali, 1992). La sorgente, quindi, è ubicata in conformità delle unità ofiolitiche a metamorfismo eclogitico, rappresentate da serpentiniti e subordinati metabasalti. Le formazioni superficiali si possono essenzialmente dividere in accumuli di detrito di versante e depositi glaciali indifferenziati (M. De Maio, et al., 2012).



Figura 7.2. Dettaglio del inquadramento geografico di Alpe Perrot.

7.3. Opera di presa

Nell'opera di presa (Figura 7.3) della sorgente sono presenti due vasche, da circa 6,6 m² l'una. L'acqua attraverso un dreno defluisce nella prima, dove funge anche da vasca di calma. La vasca di carico, invece è rappresentata dalla seconda in comunicazione con la prima tramite uno stramazzo.

Il primo sopralluogo effettuato su questa sorgente è avvenuto il 21 luglio 2010 dove è stato effettuato un primo campionamento. Durante un secondo sopralluogo, avvenuto il 28 ottobre 2010, è stata inserita la sonda OTT CTD, strumentando così la sorgente. La sonda è stata bloccata nel angolo sud-ovest della vasca da dove arriva l'acqua dal dreno.

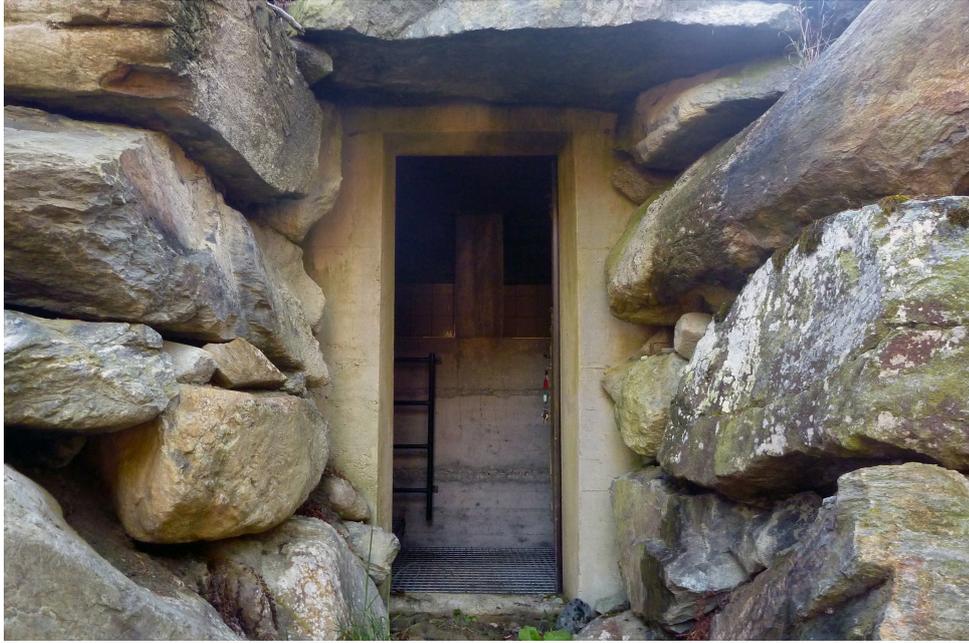


Figura 7.3. Ingresso dell'opera di presa di Alpe Perrot.

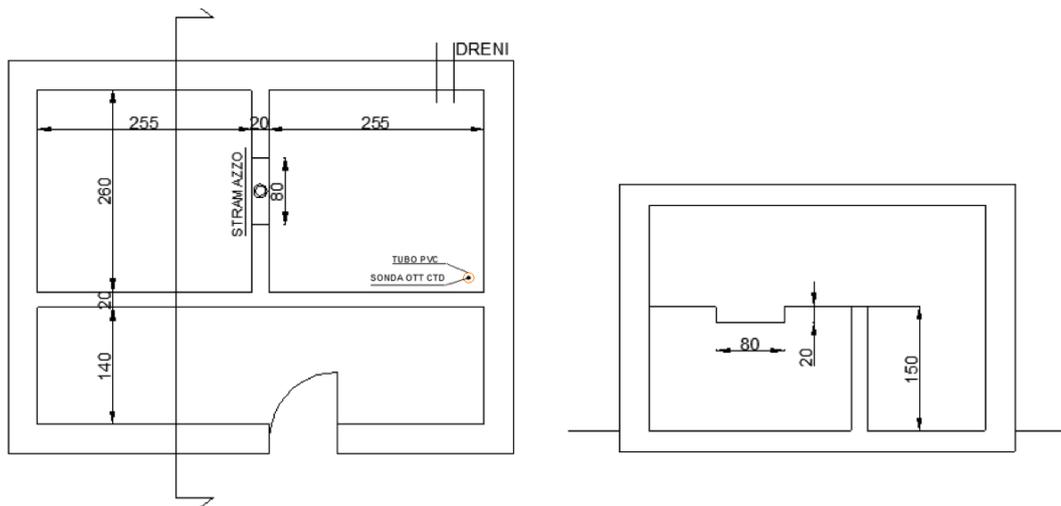


Figura 7.4. Planimetria (a destra) e sezione (a sinistra) dell'opera di presa della sorgente Alpe Perrot. Immagine fuori scala e misure riportate in cm.



Figura 7.5. Stramazzo tra le due vasche dell'opera di presa.

7.4. Criticità

In prossimità della sorgente a circa 50 metri a monte, è situato un grande edificio sprovvisto di allacciamento alla rete fognaria, questo pertanto rappresenta un importante centro di pericolo di inquinamento per la risorsa idrica sotterranea che va ad alimentare la sorgente, e quindi data la ridotta distanza tra l'opera di captazione e l'edificio un qualsiasi inquinamento non sarebbe arginabile.

La presenza, inoltre, di animali da pascolo per lunghi periodi durante l'anno nell'area adiacente alla captazione, con conseguente accumulazione di feci sul suolo e dilavamento delle stesse da parte dell'acqua piovana, rappresenta anch'esso un rischio di inquinamento biologico grave (M. De Maio, et al., 2012).

7.5. Idrogrammi

Con i dati che sono stati caricati nel geodatabase è stato possibile generare dei grafici raffiguranti gli idrogrammi della sorgente Alpe Perrot per i differenti anni idrologici, avendo a disposizione dati che partono dal 1 gennaio 2010 fino al 1 giugno 2018 (Figura 7.6) per quanto riguarda le portate sorgive, sono stati individuati i seguenti anni idrologici, ovvero gli archi temporali dove come estremi vengono considerati le portate minori:

1. Dal 11-03-2011 al 15-03-2012 (Figura 7.7)
2. Dal 15-03-2012 al 04-04-2013 (Figura 7.8)
3. Dal 04-04-2013 al 15-03-2014 (Figura 7.9)
4. Dal 15-03-2014 al 20-03-2015 (Figura 7.10)
5. Dal 20-03-2015 al 23-03-2016 (Figura 7.11)
6. Dal 23-03-2016 al 02-03-2017 (Figura 7.12)
7. Dal 02-03-2017 al 28-03-2018 (Figura 7.13)

Lo script è stato studiato in modo tale da risultare di facile comprensione inserendo nel titolo oltre le due grandezze che si stanno mettendo in relazione, anche le due date estreme del anno idrologico, il codice che è stato assegnato alla determinata sorgente, che in questo caso per Alpe Perrot corrisponde a "269224" e quello assegnato alla stazione meteo più vicino all'opera di presa, dove per Alpe Perrot è quello installato sulla stazione meteo di Chevrère con codice "1090".

Nell'asse delle ordinate di sinistra è possibile leggere i valori di portata uscenti dalla sorgente in litri al secondo, invece in quella di destra sono riportati i millimetri di precipitazione.

Nella seguente Figura 7.6 sono rappresentate sia la sorgente sia la stazione meteo da dove sono stati estratti i dati utilizzati.

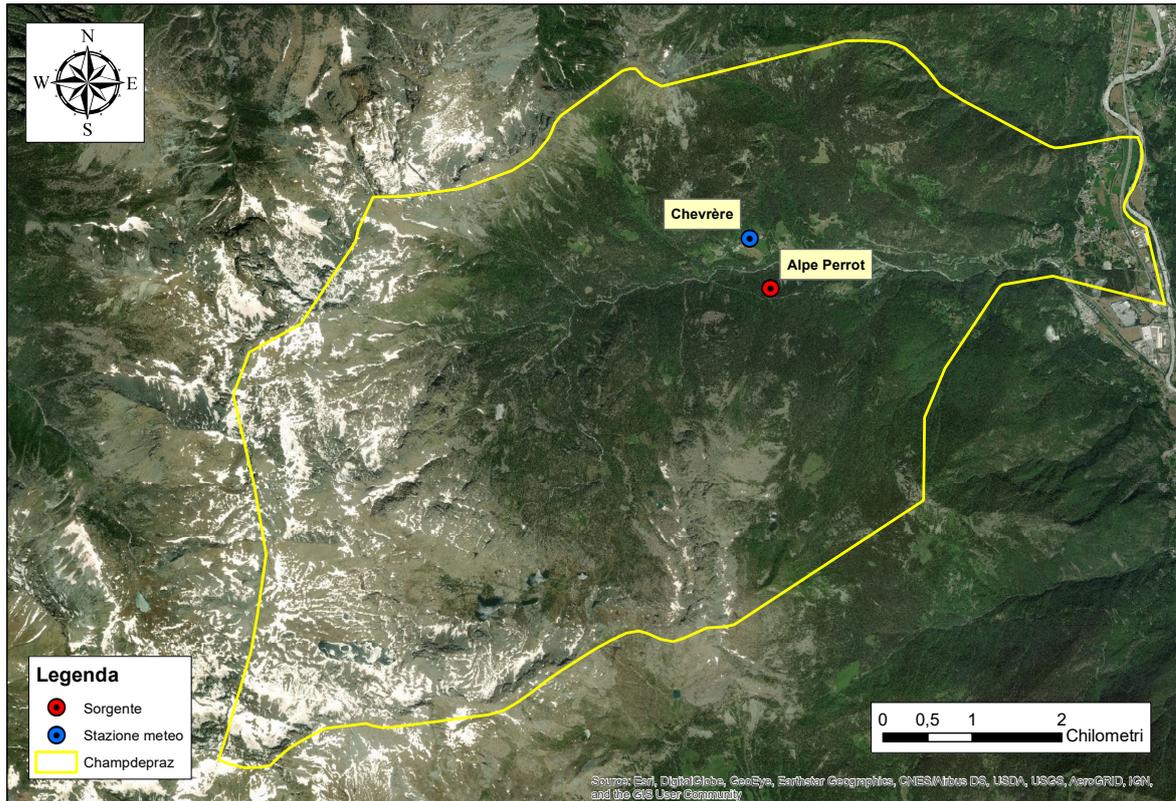


Figura 7.6. Inquadramento della stazione meteo rispetto la sorgente.

Si può notare come i due punti interessati siano ad una distanza molto ravvicinata, questa, infatti, risulta essere di appena 600 metri.

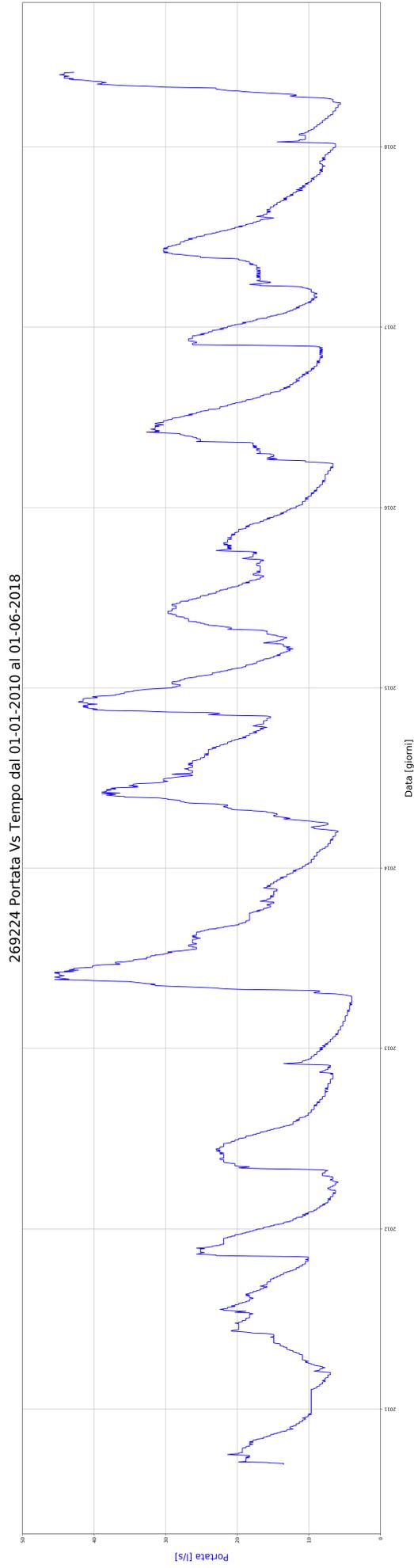


Figura 7.7. Idrogramma complessivo rappresentativo di tutti i dati inseriti nel geodatabase per Alpe Perrot.

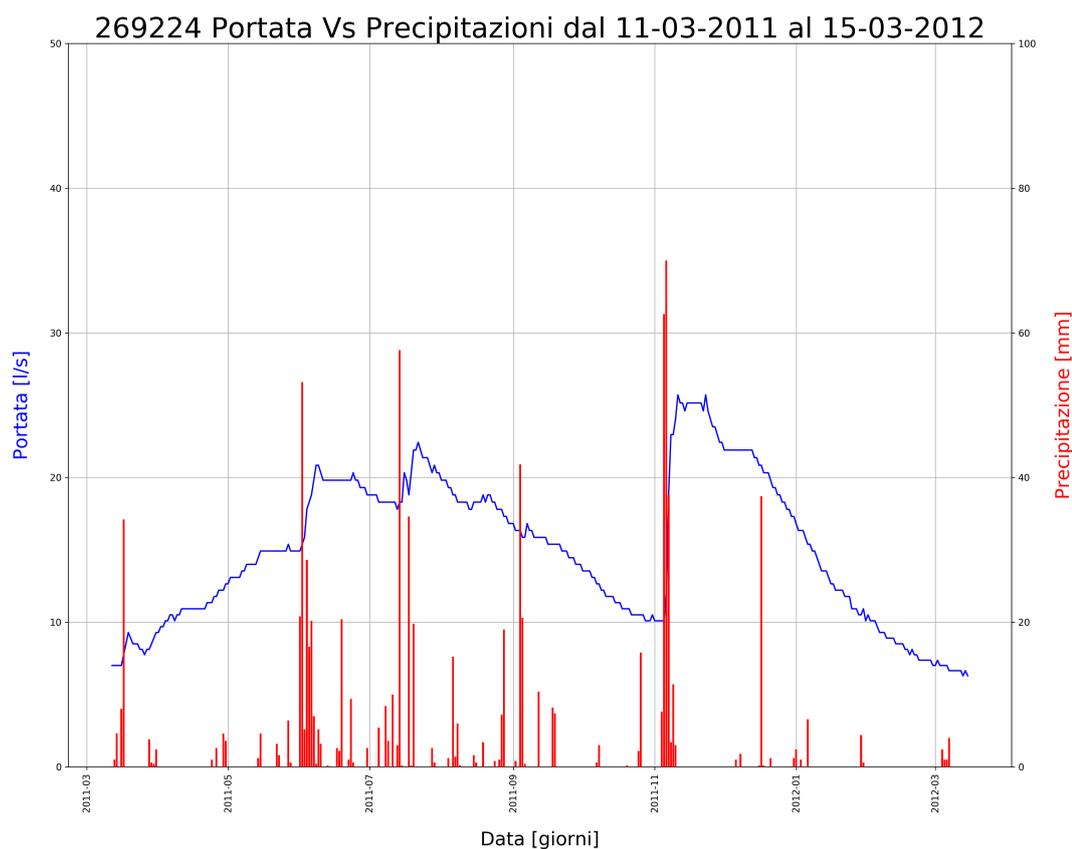


Figura 7.8. Dettaglio del 1° anno idrologico.

Partendo dal primo anno idrologico (Figura 7.8) si osserva che, intorno la fine della prima decade di marzo si sono verificate alcune precipitazioni che hanno quasi raggiunto i 40 mm di pioggia, incrementando la fusione nivale che di conseguenza hanno aumentato la portata della sorgente. Circa due mesi dopo, intorno ai primi di giugno un'importante precipitazione, di circa 60 mm, fanno crescere repentinamente la curva, che fino alle piogge di metà luglio, rimane costante con 20 l/s. Pochi giorni dopo gli eventi atmosferici di metà mese, si osserva un'attenuazione del regime meteorico che porta alla diminuzione della curva fino a raggiungere i 10 l/s verso la fine ottobre. Nei primi giorni di novembre, la precipitazione più abbondante dell'anno che conta 70 mm, incrementa drasticamente la curva di portata della sorgente, in un arco temporale estremamente breve, portandola a far fuoriuscire oltre 25 l/s. Successivamente agli eventi di novembre, non vengono più riscontrate delle precipitazioni che riescono a far invertire l'andamento della curva, dove il 15 marzo 2012 tocca il punto più basso registrando in questo periodo un valore di portata sorgiva pari a 7 l/s.

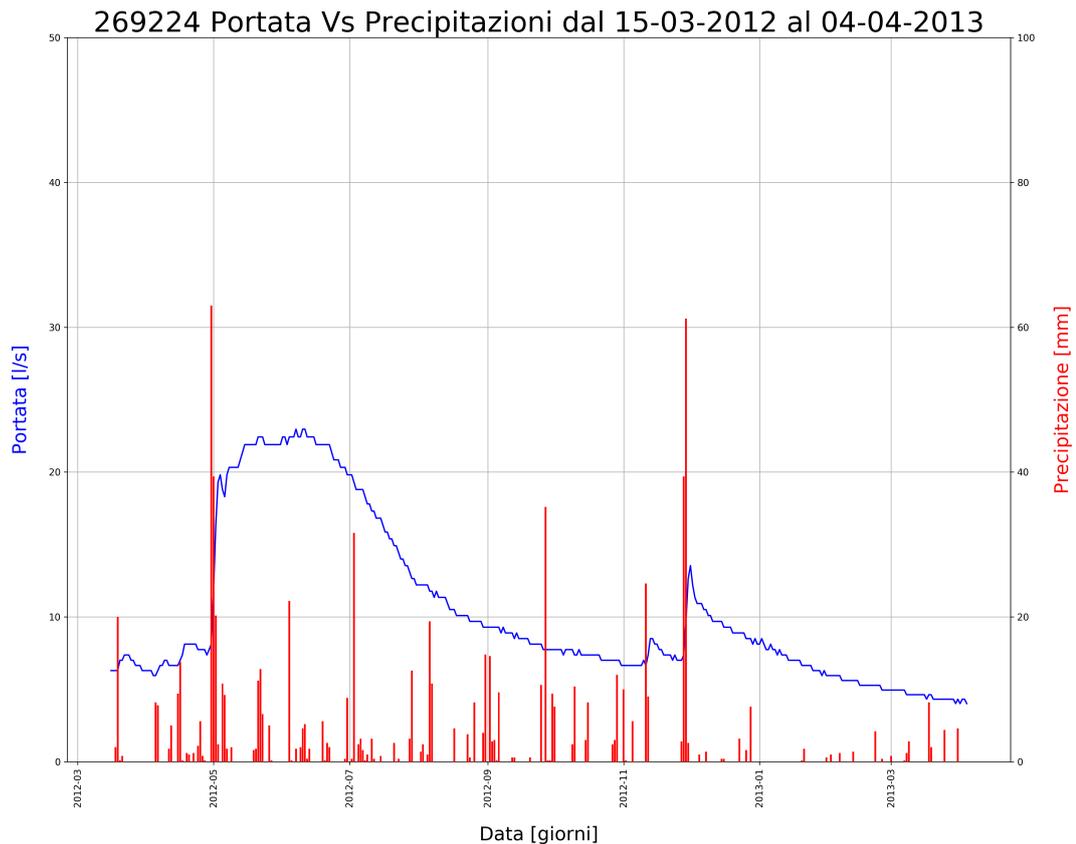


Figura 7.9. Dettaglio del 2° anno idrologico.

Il secondo anno (Figura 7.9) risulta simile all'anno precedente, ma si possono notare comunque delle differenze che caratterizzano l'anno 2012/13 rispetto al 2011/12. Infatti delle copiose precipitazioni che si sono manifestate tra la fine di aprile ed inizio maggio, insieme alla fusione nivale, sono riuscite a portare il sensore a misurare oltre i 60 mm di pioggia, aumentando la portata dai precedenti 8 l/s ai 22 l/s con un tempo di ritardo di solo qualche giorno. Durante invece il periodo che va da giugno fino a fine novembre, non si sono verificati eventi atmosferici che hanno influenzato l'abbassamento della curva, solo delle precipitazioni intorno al 15 novembre sono riuscite, anche se solo di pochi litri al secondo, a incrementare la portata. Tuttavia, un'importante precipitazione dei primi giorni di dicembre è riuscita a far invertire l'andamento dell'idrogramma, ma a causa della neve presente su suolo e alle basse temperature di quel periodo la sorgente è riuscita a far fuoriuscire solo poco più di 15 l/s.

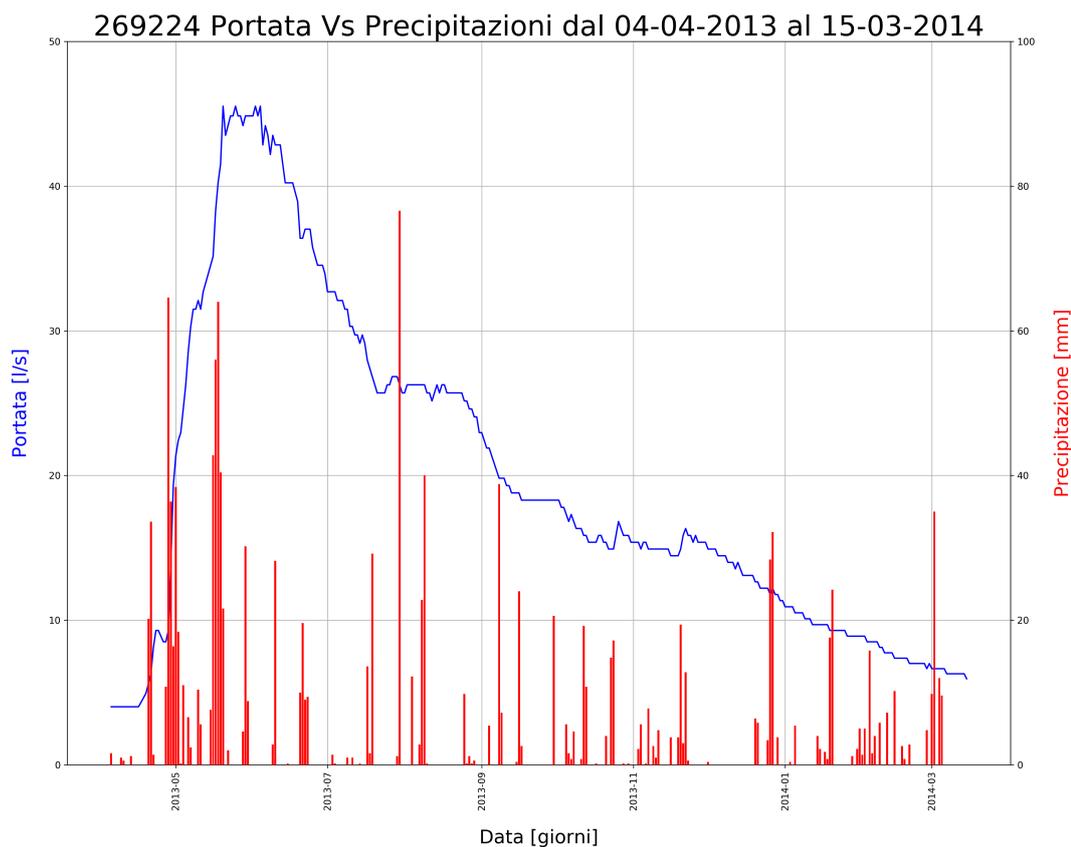


Figura 7.10. Dettaglio del 3° anno idrologico.

L'anno seguente quello che inizia il 4 aprile 2013 risulta avere un andamento differente rispetto gli altri anni, questo si può dedurre dall'idrogramma (figura 7.10) dove le piogge risultano essere sia più frequenti sia più abbondantemente distribuite. Le più importanti intorno al mese di maggio insieme alla fusione della neve a causa delle alte temperature facendo registrare una portata di 45 l/s per tutto il mese di giugno. Da fine giugno però, le precipitazioni non sono più riuscite a far aumentare la portata della sorgente che inizia a diminuire concludendo l'anno idrologico con 6 l/s.

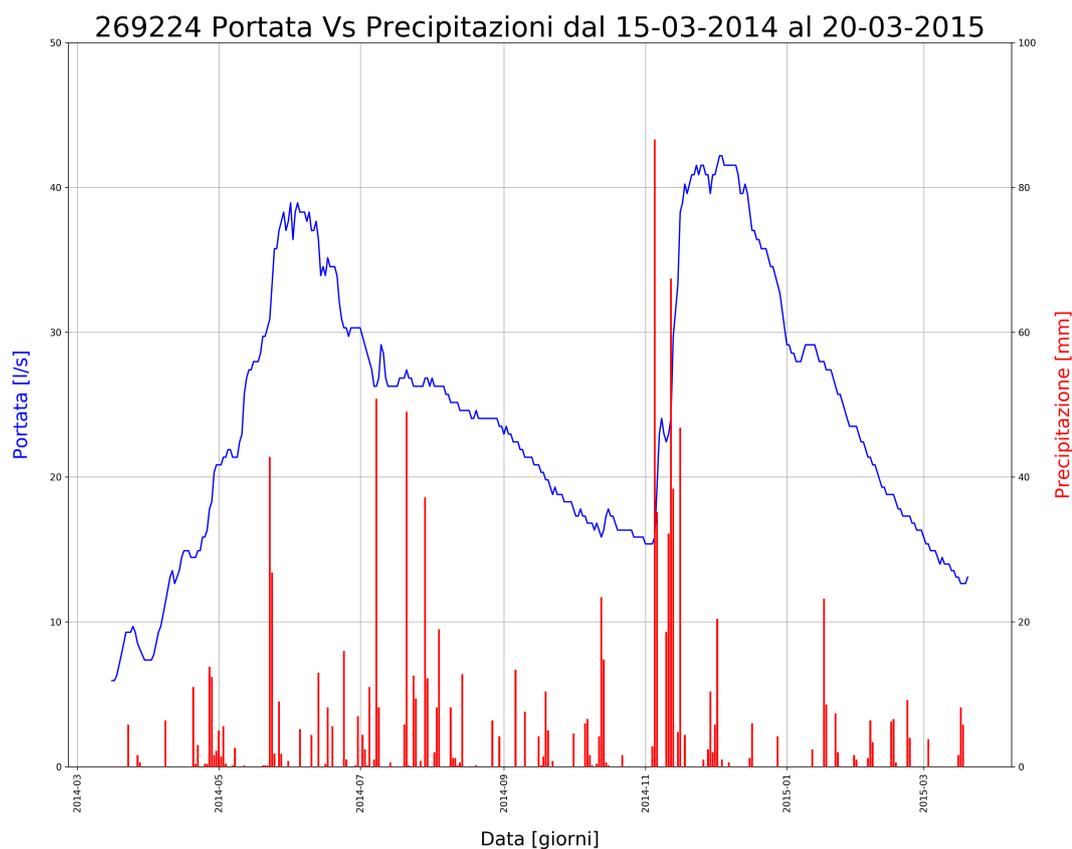


Figura 7.11. Dettaglio del 4° anno idrologico.

Il 4° anno (Figura 7.11) risulta essere quello più abbondante in termini di portata della sorgente dove i due picchi della curva raggiungono circa i 40 l/s a giugno e dicembre. Si arriva al primo picco dopo una repentina crescita della curva soprattutto a causa della fusione nivale tipica di questa stagione, aiutata principalmente dal evento meteorologico di fine maggio con circa 45 mm di pioggia. Dopo una decrescita della portata altalenante che porta la sorgente a erogare 15 l/s, la curva ricomincia a salire influenzata dalle frequenti piogge nel mese di novembre, le quali registrano un picco stagionale di 90 mm.

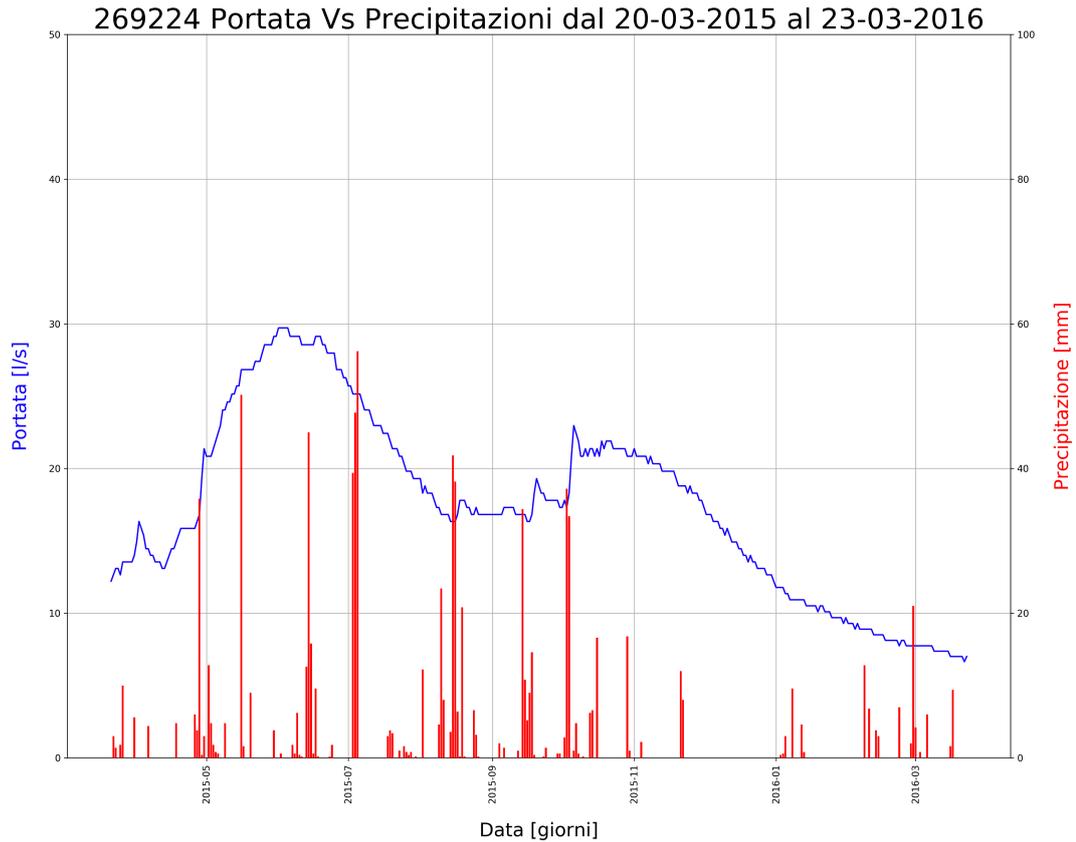


Figura 7.12. Dettaglio del 5° anno idrologico.

Nell'anno 2015/2016 (Figura 7.12) le piogge vengono concentrate principalmente nel periodo che va da maggio ad ottobre, dove oltre che a quest'ultime l'aumentare delle temperature e quindi la fusione nivale ha portato la sorgente ad una portata di 30 l/s nei primi giorni di giugno. Dopo la diminuzione della curva nella stagione estiva, si arriva a un periodo di stabilità per la sorgente che riesce a distribuire circa 18 l/s costantemente fino al mese di ottobre, in questo periodo si registra il secondo picco annuale causato dalle piogge avvenute proprio all'inizio di questo mese. Nel periodo che intercorre da novembre fino alla fine dell'anno idrologico non si sono verificate piogge tali da permettere alla curva di risalire, toccando il minimo stagionale nella seconda decade di marzo 2016 con circa 8 l/s.

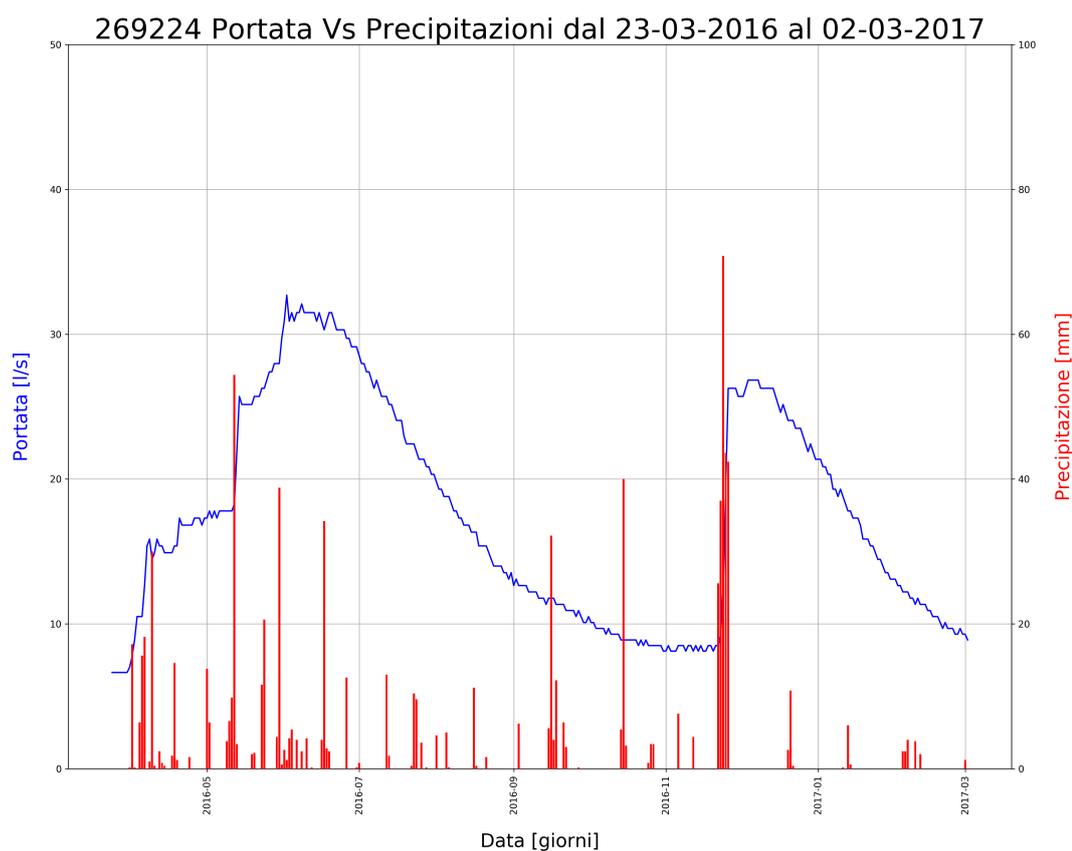


Figura 7.13. Dettaglio del 6° anno idrologico.

Il penultimo anno ricavato dalla serie di dati disponibili (Figura 7.13) presenta anch'esso i due picchi che contraddistinguono l'anno idrologico, ma con alcune differenze. Il primo si raggiunge sempre a giugno ma solo dopo che diverse precipitazioni in periodi distinti, inizio aprile e metà maggio, unite alla fusione nivale. La fusione favorita dalle alte temperature porta a registrare un picco di 33 l/s. A giugno con l'arrivo dell'attenuazione del regime meteorico, si verifica la diminuzione della curva della sorgente, che solo dopo giorni di pioggia con valori rilevanti, porta l'andamento della stessa al secondo picco annuale in tempi estremamente brevi; per poi procedere con la consueta diminuzione della portata di fine anno.

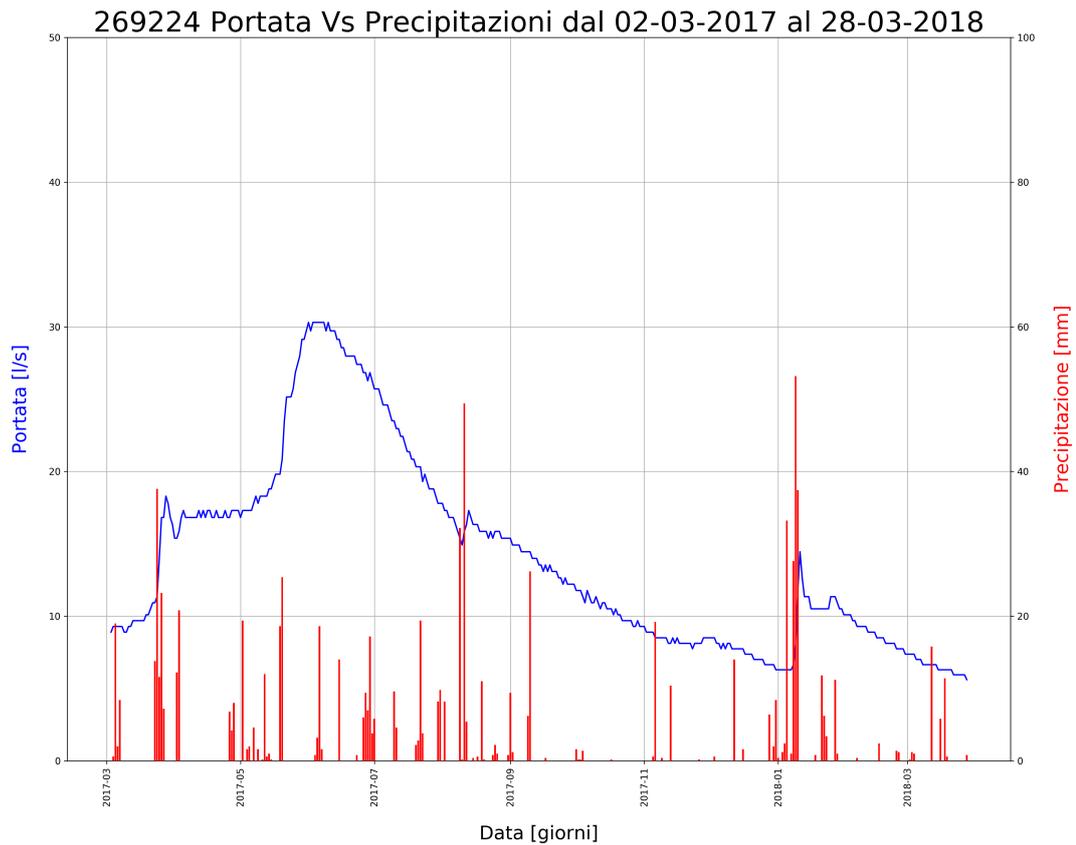


Figura 7.14. Dettaglio del 7° anno idrologico.

Nell'ultimo anno (Figura 7.14), le piogge avvenute ad inizio aprile incrementano la portata sorgiva a 18 l/s, la quale si stabilizza fino a giugno. L'aumentare delle temperature, poi, e le continue precipitazioni registrate favoriscono la fusione nivale, riuscendo a portare la curva al massimo stagionale di 31 l/s. Inizia poi la diminuzione che viene interrotto per pochi giorni da un abbondante precipitazione di circa 50 mm di pioggia. Nella seconda metà di gennaio altrettante piogge le quali anch'esse intorno ai 50 mm invertono l'andamento dell'idrogramma della sorgente, andando a generare il secondo picco stagionale, che però a causa delle basse temperature e quindi alla formazione di neve non riescono a far erogare più di 15 l/s.

Si può notare quindi che il picco maggiore in questi anni è stato registrato all'interno del 3° anno idrologico con una portata di circa 45 l/s nel mese di giugno. La portata miniere della sorgente invece è stata registrata tra il secondo e il terzo anno con un minimo di poco meno di 5 l/s. Invece la precipitazione più abbondante avvenuta in questi anni si è verificata nell'anno tra il 2014 e il 2015, arrivando ai 90 mm di pioggia caduti nel mese di novembre.

7.6. Curve di esaurimento e parametri caratteristici della sorgente

Tramite i dati estrapolati dalle sonde è stato possibile, oltre che visualizzare ancora più nel dettaglio le curve di esaurimento della sorgente, analizzare come i parametri che caratterizzano la sorgente siano variati negli anni e valutare un possibile collegamento con gli attuali cambiamenti climatici.

Le curve di esaurimento individuate sono:

1. Dal 30-09-2010 al 11-03-2011
2. Dal 22-11-2011 al 15-03-2012
3. Dal 01-12-2012 al 04-04-2013
4. Dal 21-12-2013 al 15-03-2014
5. Dal 04-12-2014 al 20-03-2015
6. Dal 21-10-2015 al 23-03-2016
7. Dal 07-12-2016 al 02-03-2017
8. Dal 06-07-2017 al 30-12-2017
9. Dal 10-01-2018 al 28-03-2018

Il tool Python sviluppato ha permesso la visualizzazione delle curve di esaurimento. In figura 7.15. è rappresentata la curva che va dal 21-10-2015 al 23-03-2016.

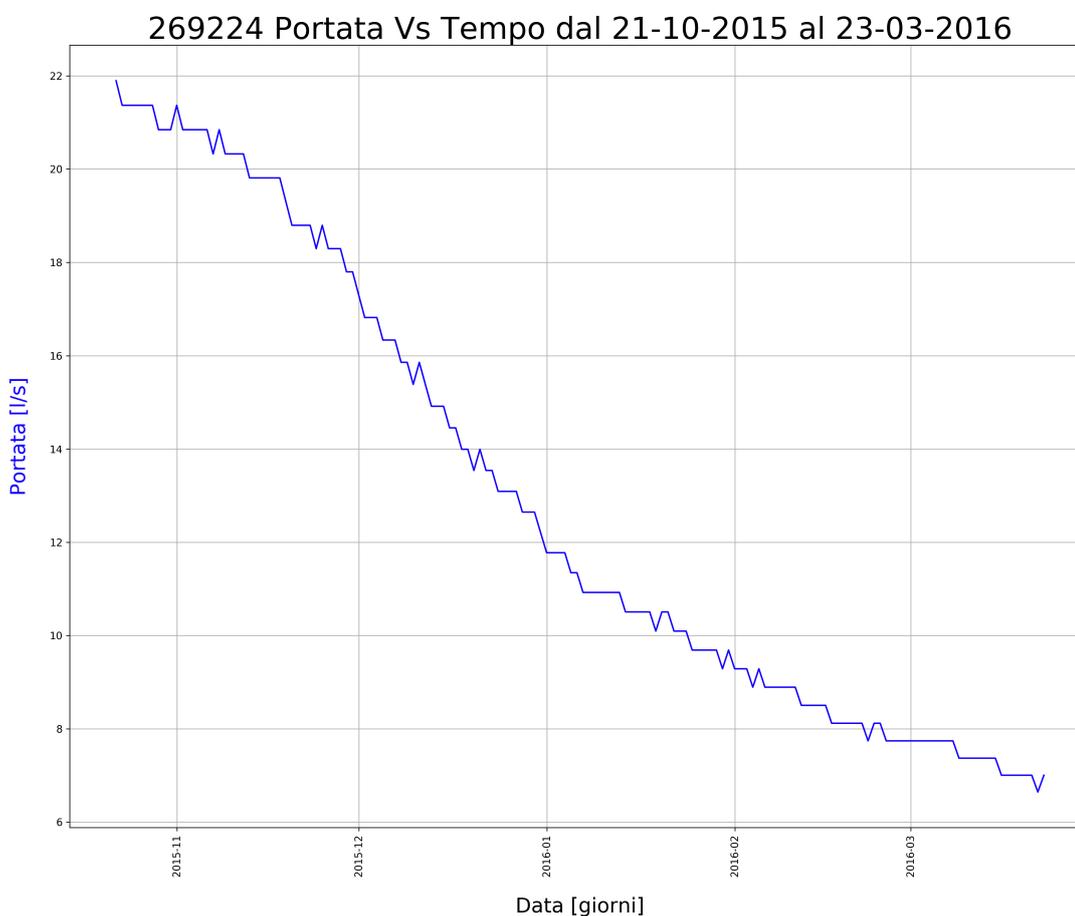


Figura 7.15. Dettaglio di una curva di esaurimento di Alpe Perrot.

Sulla curva mediante il medesimo script che l'ha generata sono stati ricavati i parametri che caratterizzano la sorgente utilizzando il modello esponenziale di Maillet, approfondito nel capitolo 2 di questo lavoro.

Tabella 7.1. Parametri caratterizzanti la sorgente Alpe Perrot divise per curve di esaurimento.

Parametro	Sigla	2010/11	2011/12	2012/13	2013/14	2014/15	2015/16	2016/17	2017	2018	Unità di misura
Portata al t0	Q0	0,0214	0,0257	0,0122	0,0122	0,0415	0,0219	0,0268	0,0246	0,0145	mc/s
Portata t ≠ t0	Qt	0,0074	0,0063	0,004	0,0059	0,0131	0,007	0,0089	0,0066	0,0056	mc/s
Tempo zero	t0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	giorni
Tempo diverso da zero	t	162	114	124	84	106	154	85	177	77	giorni
Coefficiente di esaurimento	α	0,0066	0,0123	0,009	0,0086	0,0109	0,0074	0,013	0,0074	0,0123	-
Volume delle riserve regolatrici	W0	281016	179942	117546	123191	329503	255663	178452	287480	101555	mc
Volume defluo a un tempo t	Wt	184095	135896	78920	63189	225641	173877	119316	209814	62158	mc
Capacità di svuotamento	ΔW_i	184072	135882	78911	63179	225615	173857	119301	209791	62149	mc
Tasso di rinnovamento	Trin	65,51	75,522	67,14	51,294	68,479	68,01	66,862	72,984	61,206	%
Tempo medio di rinnovamento	t _{mr}	1,526	1,324	1,489	1,95	1,46	1,47	1,496	1,37	1,634	anni
Delay Time	DTt	152	81	111	116	91	135	76	135	81	giorni

Coefficiente di esaurimento (α) [-]

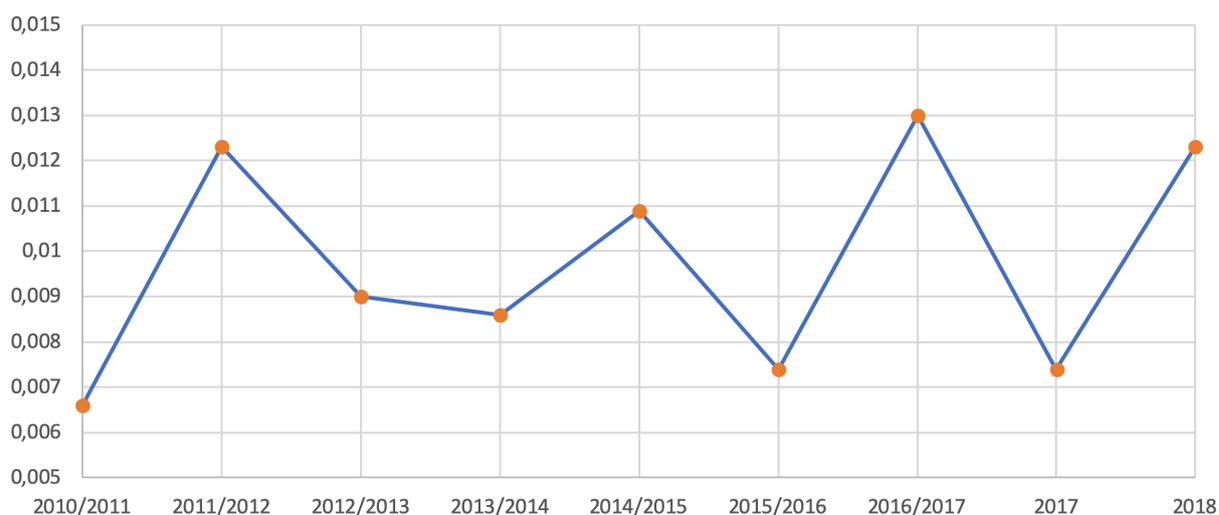


Figura 7.16. Andamento del coefficiente di esaurimento negli anni.

Esaminando il grafico sulla variazione del coefficiente di esaurimento α (Figura 7.16), è possibile notare come esso sia estremamente lineare, bisogna tenere in considerazione però che le ultime due curve sono state studiate separatamente a causa di una forte pioggia che ha interrotto la decrescita lineare della curva stessa. Partendo dal valore più basso registrato in questi anni, quello della curva di esaurimento del 2010/2011, inizia a oscillare di curva in curva rimanendo invece molto simile tra le curve degli anni 2011/2012. Nell'ultimo periodo però, quello del 2018, il coefficiente risulta essere tra i migliori registrati. Di media però, α , risulta avere un valore di circa 0,009.

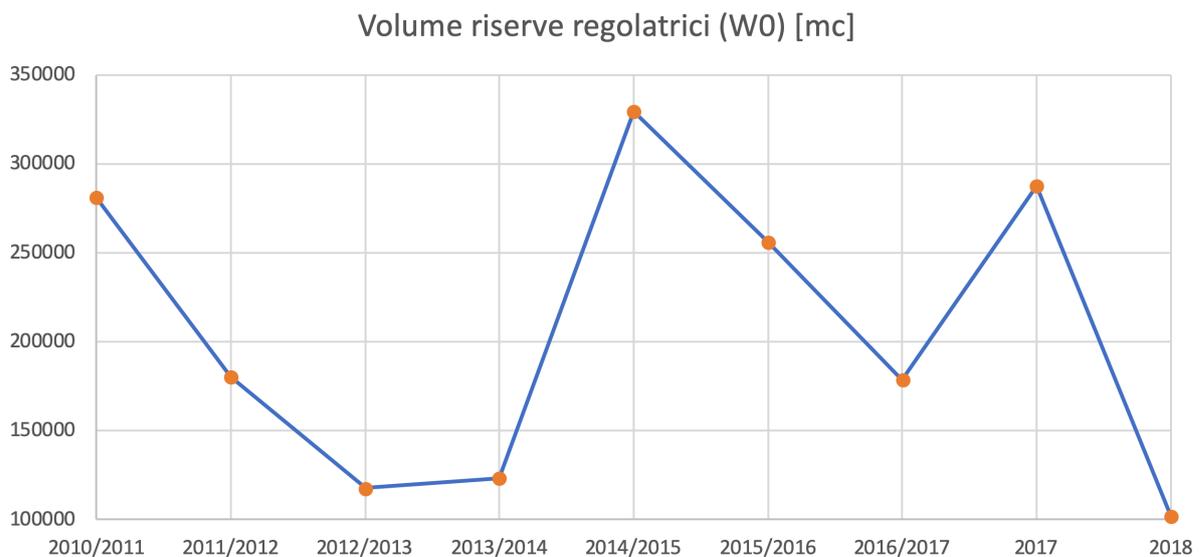


Figura 7.17. Andamento del volume delle riserve regolatrici negli anni.

La quantità d'acqua immagazzinata dall'acquifero all'inizio della curva di esaurimento (Figura 7.17) con i primi anni va sempre più a decrescere fino ad arrivare all'anno idrologico tra il 2014 e il 2015 dove, come già osservato nel precedente paragrafo, le abbondanti piogge hanno permesso alle riserve di Alpe Perrot di incrementare il proprio volume. Con la curva registrata nel 2018 però questo volume risulta il minore di tutta la serie di dati esaminati, tenendo tuttavia conto che il periodo che racchiude quest'ultima curva di esaurimento risulta essere di appena 3 mesi.

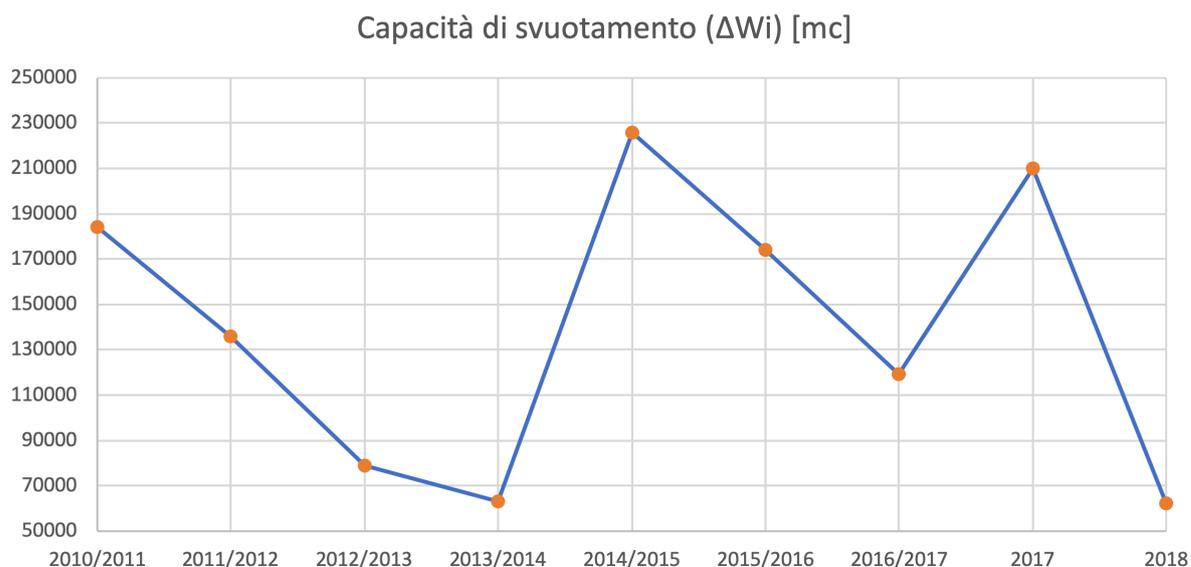


Figura 7.18. Andamento della capacità di svuotamento negli anni.

La capacità di svuotamento e quindi la risorsa dinamica consumata in carenza di infiltrazione tra quando la riserva inizia lo svuotamento e la fine dello stesso (Figura 7.18) risulta conforme a quanto già osservato per il volume delle riserve regolatrici, infatti è possibile osservare come gli andamenti dei due grafici risultino simili, escludendo la curva del 2011/2012.

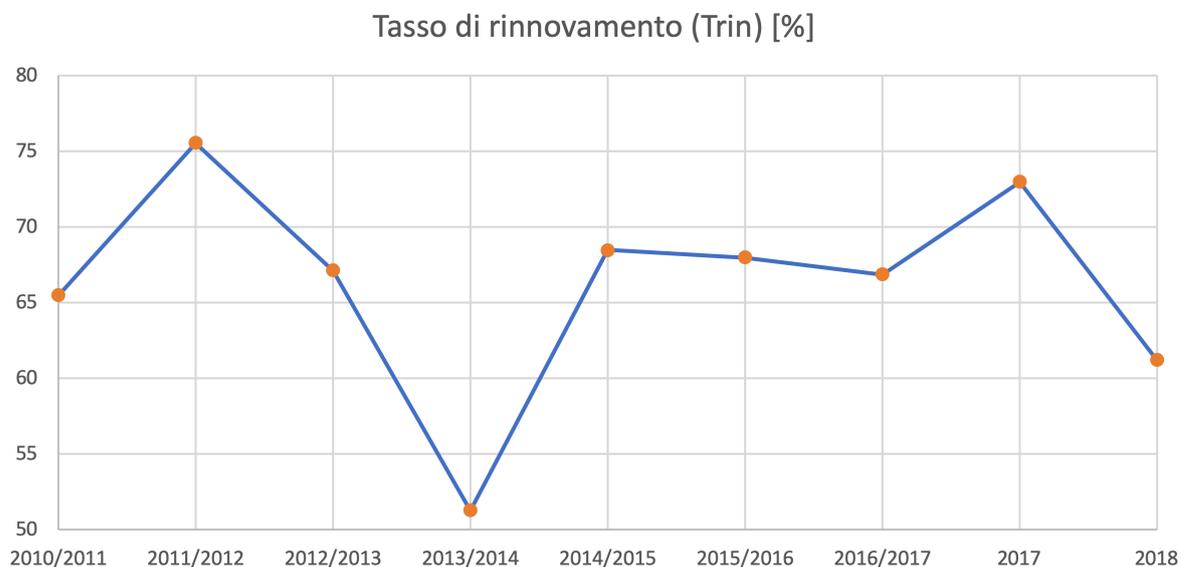


Figura 7.19. Andamento del tasso di rinnovamento negli anni.

Il tasso di rinnovamento medio (Figura 7.19) risulta essere in linea in tutto l'arco temporale, fatta eccezione per la curva di esaurimento tra il 2013/2014 dove questo risulta di poco superiore al 50%, per le restanti curve invece oscilla tra il 60 e il 75%.

Tempo medio di rinnovamento (trm) [anni]

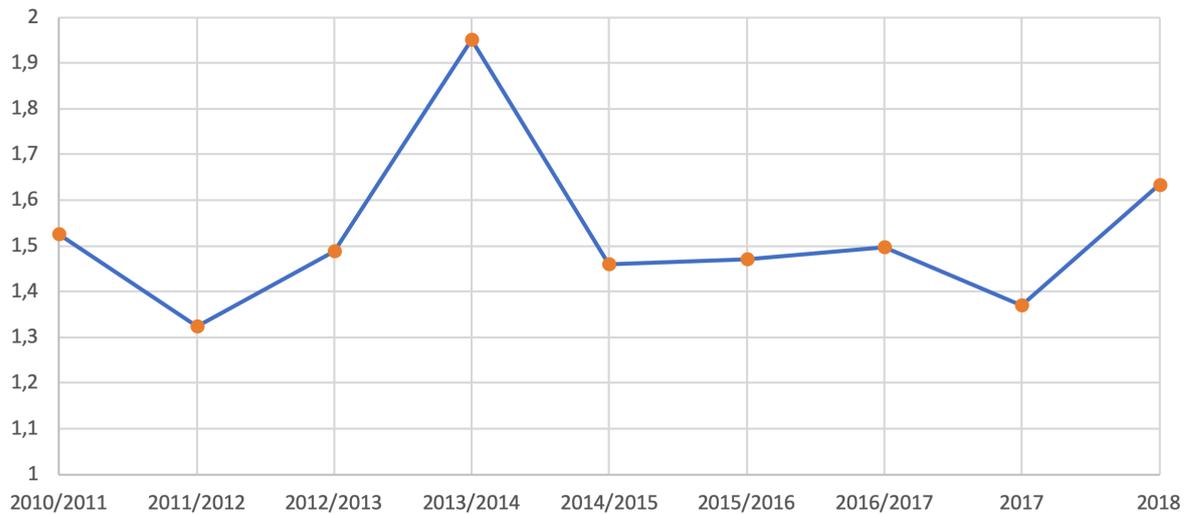


Figura 7.20. Andamento del tempo medio di rinnovamento negli anni.

Di conseguenza il tempo medio di rinnovamento (Figura 7.20) risulta opposto rispetto al tasso di rinnovamento, infatti solo per la curva 2014/2015 questo tempo si avvicina ai 2 anni, rimanendo più o meno costante negli altri.

Delay Time (Dt) [giorni]

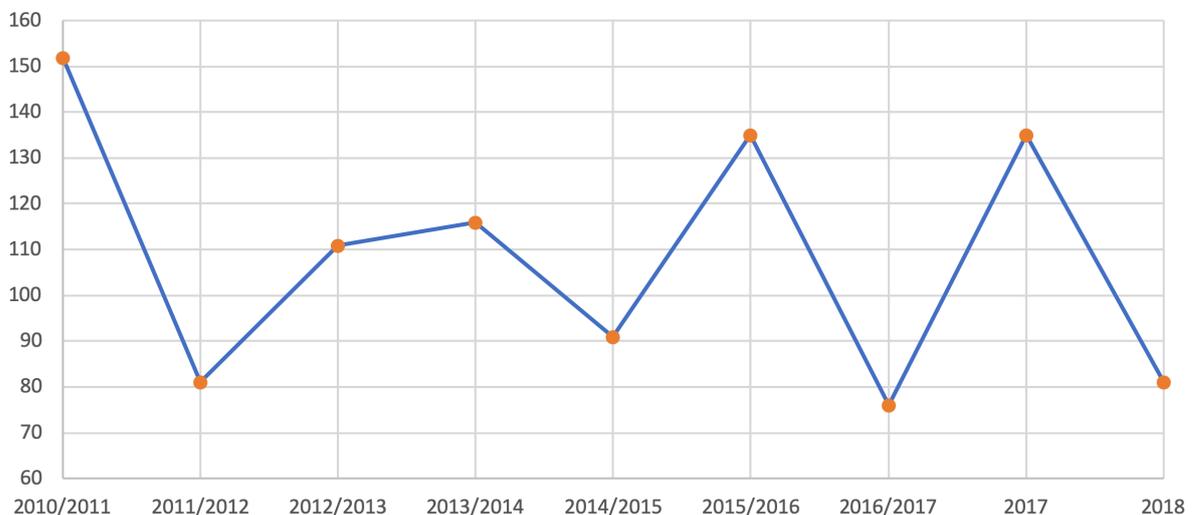


Figura 7.21. Andamento del Delay Time negli anni.

In fine il valore del Delay Time (Figura 7.21) risulta essere altalenante soprattutto negli ultimi quattro anni, facendo arrivare nel 2018, la sorgente ad una possibile auto-sostensione della portata di soli 81 giorni.

Importante è anche lo studio fatto sulle precipitazioni annuali, ottenute sommando tutte quelle registrate dal pluviometro di Chevrère nei pressi di Alpe Perrot, anno per anno (Tabella 7.2). Escludendo però quelle cadute nel 2013, che come già osservato, è risultato un anno molto più piovoso in quelli in considerazione.

Tabella 7.2. Precipitazioni annuali. Stazione Chevrère.

Anno	Precipitazioni [mm]
2010	1019,6
2011	856,6
2012	790,4
2014	1182,2
2015	1073,2
2016	902,2

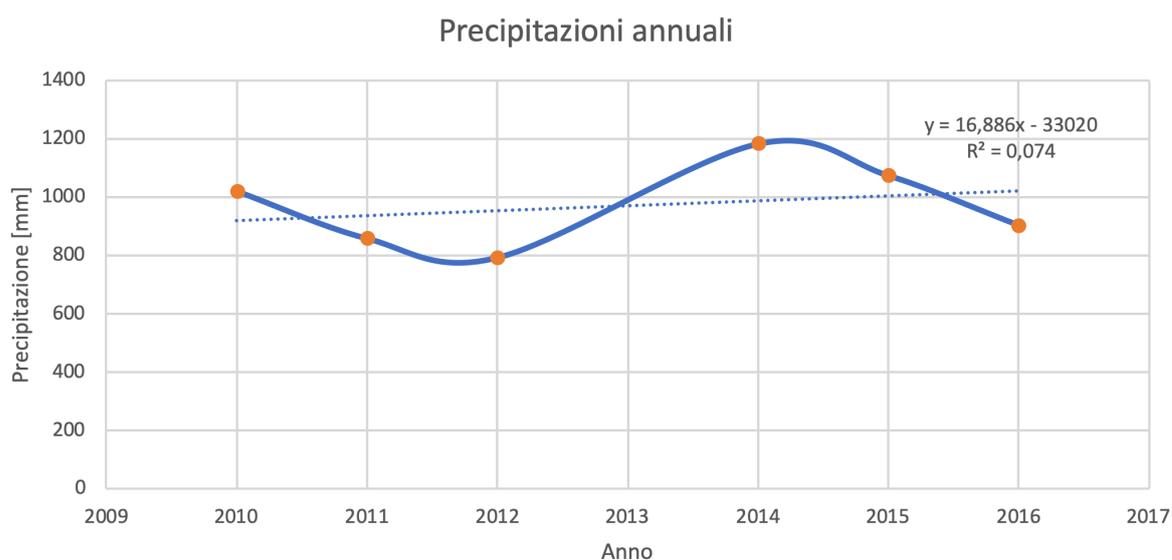


Figura 7.22. Grafico delle precipitazioni annuali.

In questo grafico (Figura 7.22) è possibile osservare un trend di crescita delle precipitazioni nei pressi di Alpe Perrot con un aumento del 5,9% dal 2010.

W0 Vs P

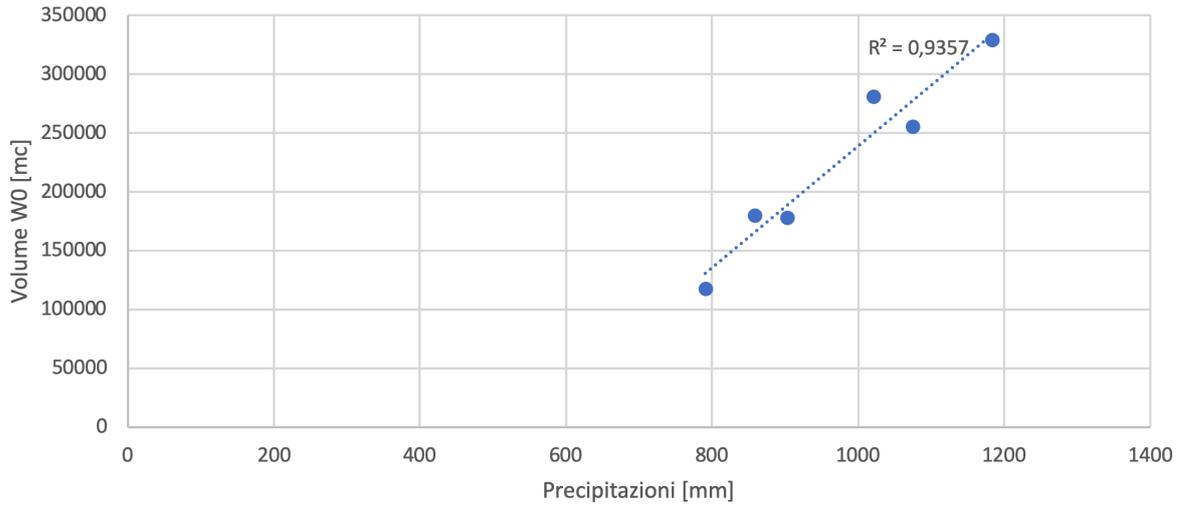


Figura 7.23. Correlazione tra precipitazioni e riserve regolatrici.

Wt Vs P

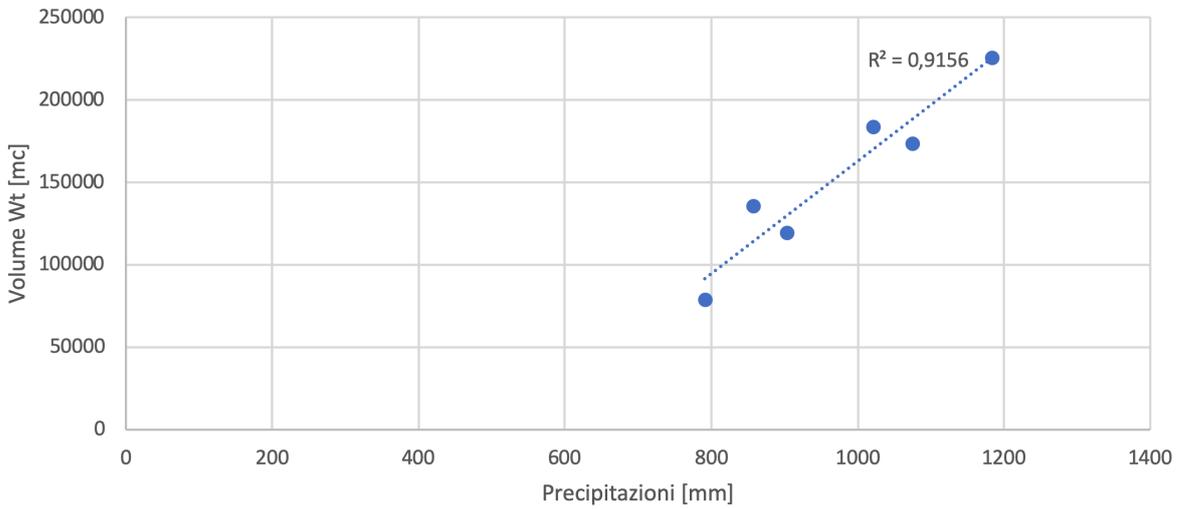


Figura 7.24. Correlazione tra precipitazioni e volume defluito a un tempo t.

ΔW_i Vs P

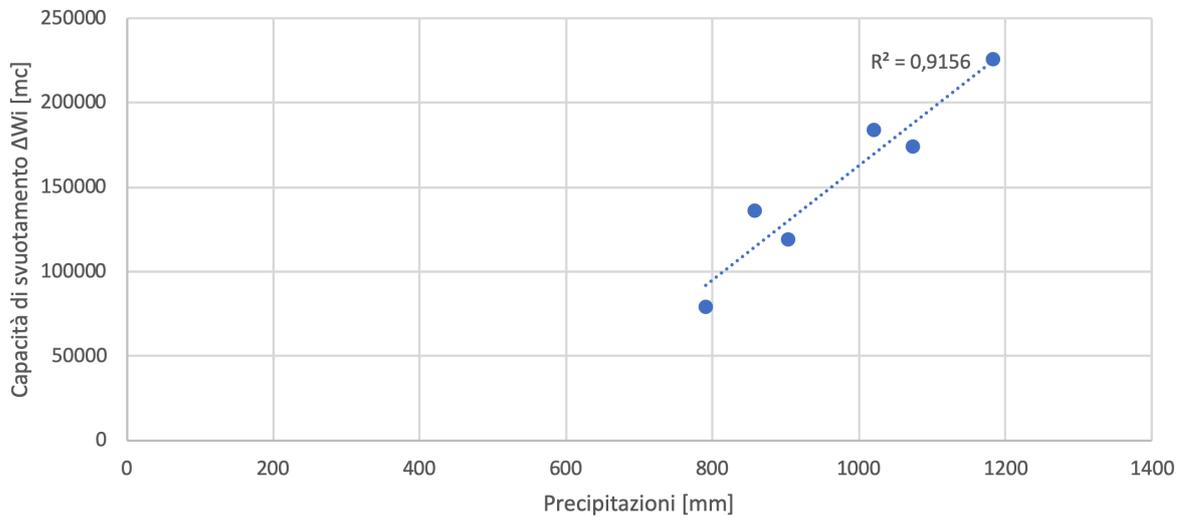


Figura 7.25. Correlazione tra precipitazioni e la capacità di svuotamento.

Si può notare inoltre che non c'è un depauperamento della risorsa idrica, anzi negli ultimi anni la quantità d'acqua immagazzinata all'interno dell'acquifero è aumentata nel tempo mantenendo un'ottima correlazione alle precipitazioni (Figure 7.23, 7.24, 7.25).

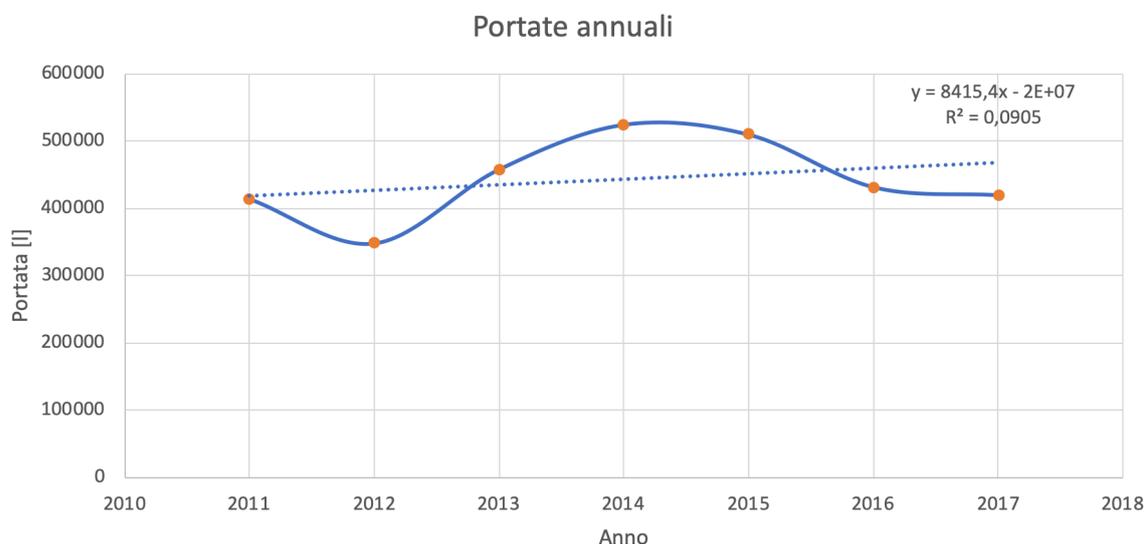


Figura 7.26. Grafico delle portate annuali.

Sul Grafico di Figura 7.26 è possibile osservare, come è stato già fatto per le precipitazioni, l'andamento annuo delle portate di Alpe Perrot. Anche in questo caso si può notare un trend di crescita che indica come negli ultimi anni la portata della sorgente sia in aumento.

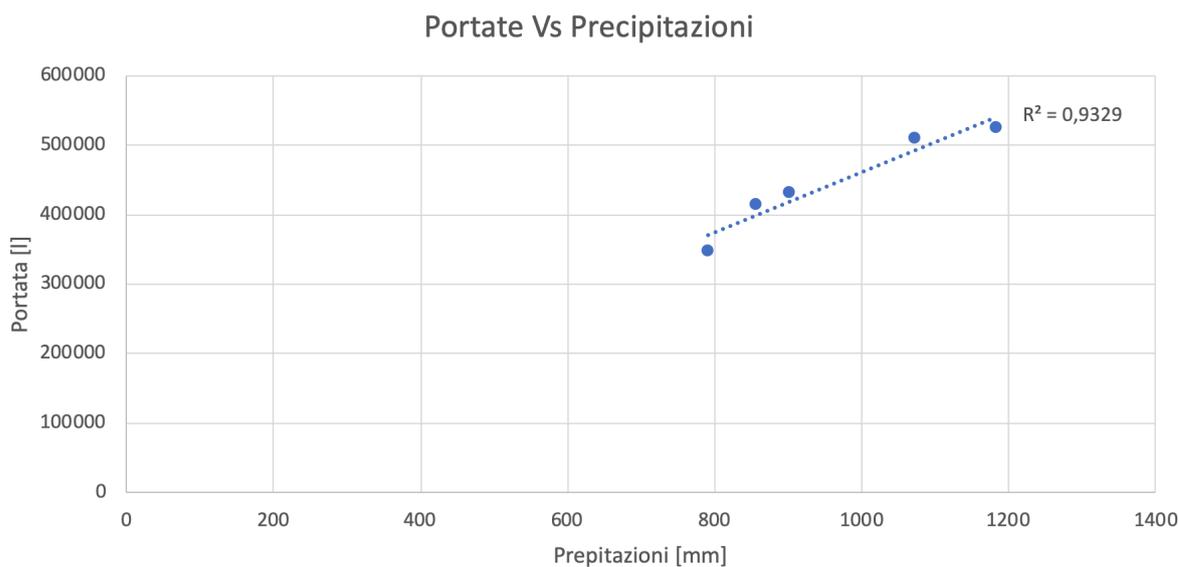


Figura 7.27. Correlazione tra precipitazioni annue e portate annue.

In Figura 7.27 viene rappresentata la correlazione tra le precipitazioni e le portate; anche su questo grafico è possibile osservare un'elevata corrispondenza tra i millimetri di pioggia caduti nei pressi di Chevrère e i litri che sono fuoriusciti dalla sorgente.

7.7. Area di salvaguardi

Per determinare le aree di salvaguardia di Alpe Perrot, si sono paragonate le tre metodologie già descritte nel secondo capitolo, quella del tempo di dimezzamento, il V.E.S.P.A. e lo studio fatto con la cross correlation.

Per gli ultimi metodi sono stati creati e utilizzati due script, che hanno permesso di automatizzare tutte le operazioni richieste, in modo tale che basti connettersi al database, indicare la sorgente e il periodo su da studiare e ricevere a schermo le informazioni richieste.

Metodo del tempo di dimezzamento

Per determinare l'area di salvaguardia di questa sorgente è stato deciso di effettuare per tre diverse curve il calcolo utilizzando questa metodologia, sono stati presi quindi sia i periodi estremi, 30-09-2010 / 11-03-2011 e 10-01-2018 / 28-03-2018, sia uno intermedio quello dal 21-10-2015 al 23-03-2016, al fine di verificare se con il passare degli anni quest'area fosse variata.

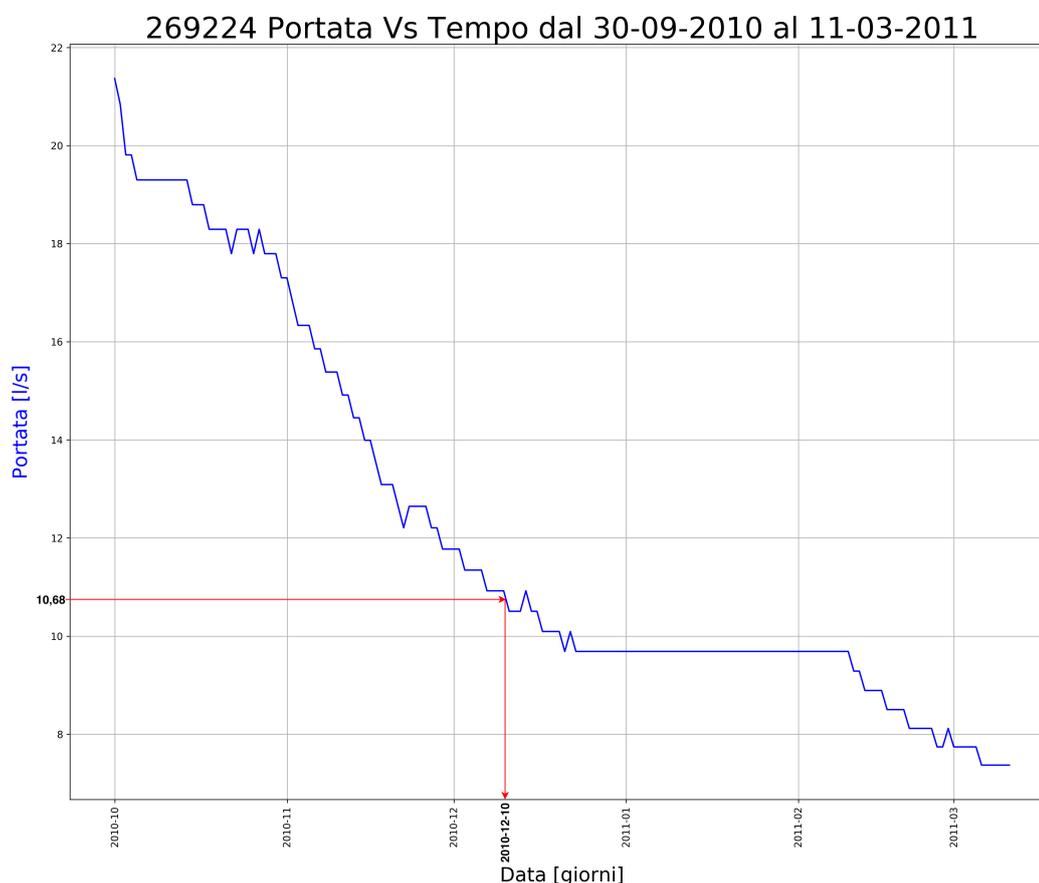


Figura 7.28. Prima curva di esaurimento di Alpe Perrot.

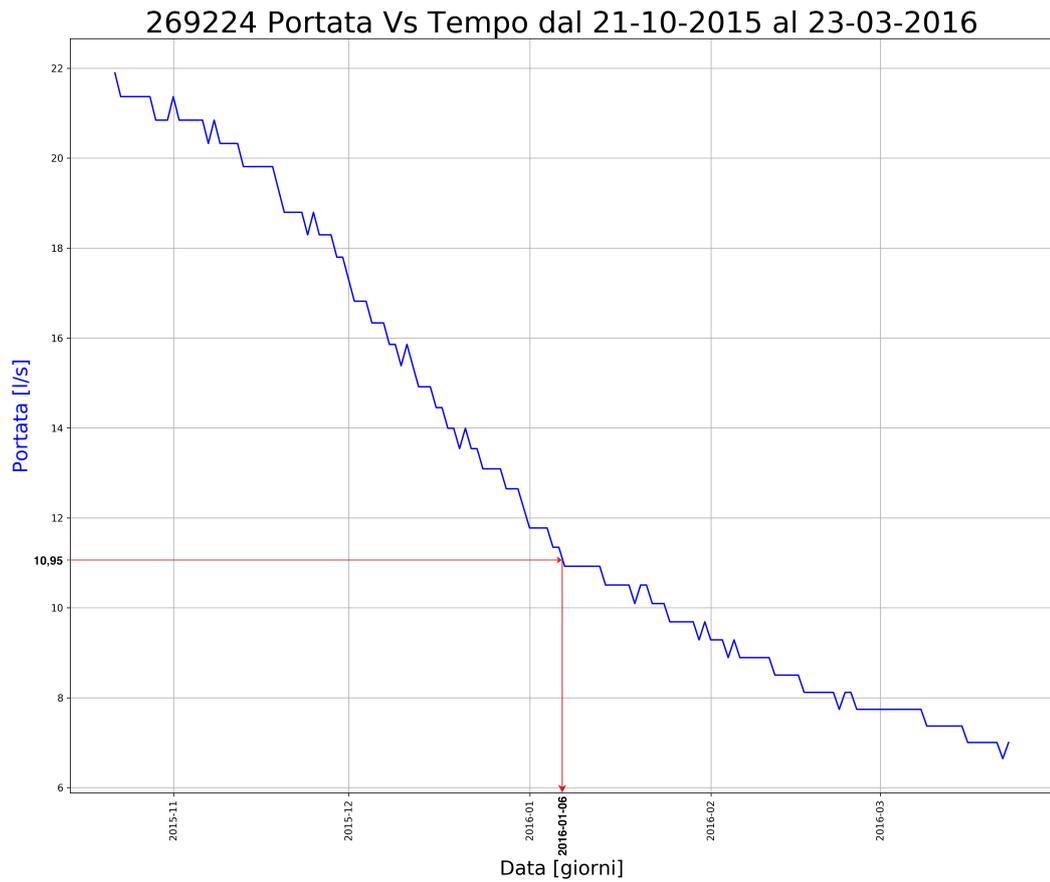


Figura 7.29. Curva di esaurimento intermedia di Alpe Perrot.

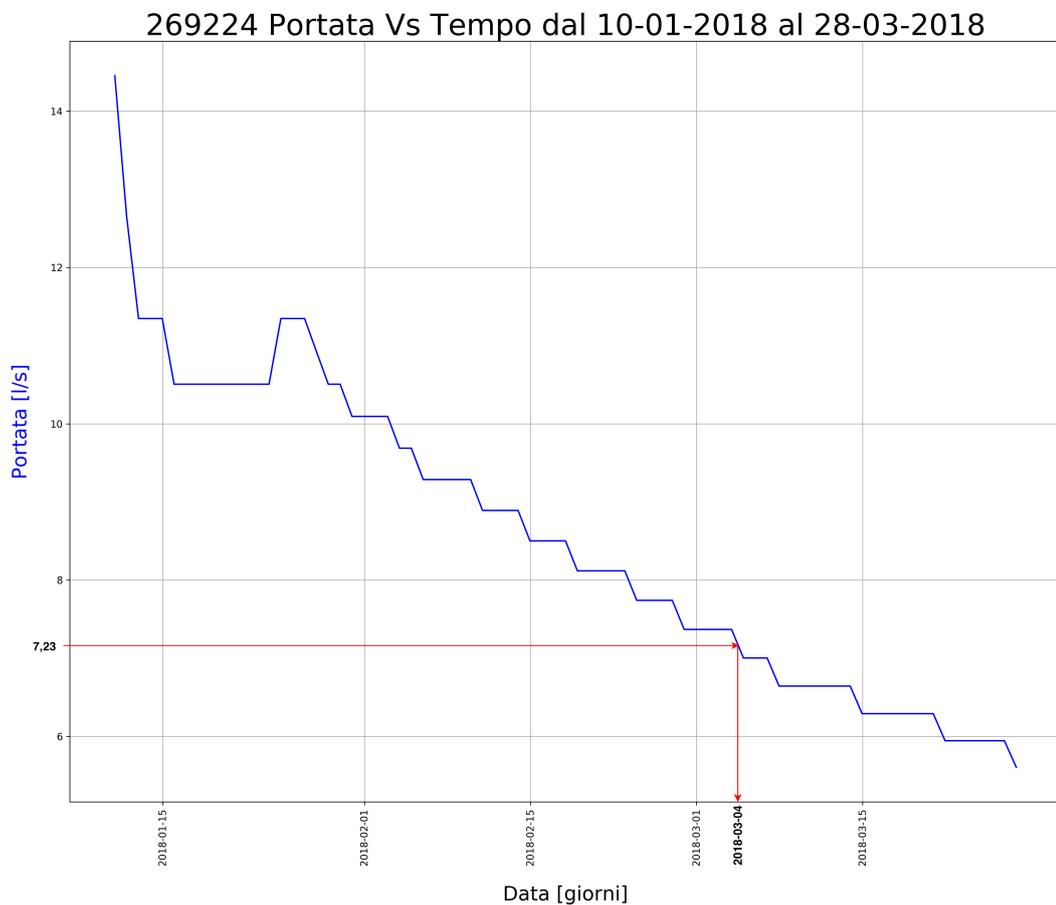


Figura 7.30. Ultima curva di esaurimento di Alpe Perrot.

Tabella 7.3. Classe di vulnerabilità per le tre curve di Alpe Perrot.

Curva	Q _{max} [l/s]	Q _{max} /2 [l/s]	Giorno Q _{max} /2	Intervallo giorni	Classe di vulnerabilità
30-09-2010 11-03-2011	21,37	10,685	10-12-2010	72	D
21-10-2015 23-03-2016	21,90	10,95	06-01-2016	78	D
10-01-2018 28-03-2018	14,46	7,23	04-03-2018	53	D

Dai dati in Tabella 7.3 viene confermato che la classe di vulnerabilità è rimasta invariata e i limiti per le aree di salvaguardia sono:

Per la ZTA:

- D (estensione verso monte) = 10 m
- d (estensione verso valle) = 2 m
- 3/4 D (estensione laterale) = 7,5 m

Per la ZR:

- L (estensione a monte) = 200 m

Questi dati indicano che utilizzando il metodo del tempo di dimezzamento la vulnerabilità della sorgente rientra nella classe “D” ovvero la più bassa.

Indice V.E.S.P.A

L'indice V.E.S.P.A. attraverso lo script creato, restituisce i seguenti valori:

Tabella 7.4. Vulnerabilità secondo l'indice V.E.S.P.A. per gli anni idrologici di Alpe Perrot.

Anno idrologico	Punteggio	Vulnerabilità
11-03-2011 / 15-03-2012	0,029974	Bassa
15-03-2012 / 04-04-2013	0,009376	Bassa
04-04-2013 / 15-03-2014	0,015901	Bassa
15-03-2014 / 20-03-2015	0,009057	Bassa
20-03-2015 / 23-03-2016	0,216716	Media
23-03-2016 / 02-03-2017	0,047001	Bassa
02-03-2017 / 28-03-2018	0,009419	Bassa
Media	0,048263	Bassa

Secondo il punteggio ricavato dall'indice V.E.S.P.A. la vulnerabilità per ogni anno idrologico risulterebbe bassa, con l'eccezione del 5° anno dove questa è risultata media.

Mediando, però, tutti i valori ottenuti si ottiene così un punteggio di circa 0,0482 e quindi essendo minore di 0,1 per Alpe Perrot si può considerare una vulnerabilità media bassa.

Bisogna però tenere in considerazione che il metodo V.E.S.P.A. è stato studiato per restituire un grado di vulnerabilità per ambienti carsici, infatti per Alpe Perrot trovandosi in un ambiente poroso non può far affidamento soltanto a questo indice.

Cross correlation

Con lo studio effettuato invece attraverso il metodo della cross correlation si evince esattamente l'opposto rispetto i due metodi precedenti.

Infatti, secondo questa metodologia, che mette in relazione portate con precipitazioni e portate, restituendo la differenza di giorni che bisogna aspettare affinché le acque meteoriche riescano a raggiungere l'opera di presa, a seguito di un evento atmosferico, restituisce come risultato una vulnerabilità molto alta con un time lag di appena 2 giorni in media, rispetto gli anni idrologici.

Per grafica questo time lag si è scelto di prendere un anno di riferimento, dove come per gli esempi precedenti corrisponde al 5°.

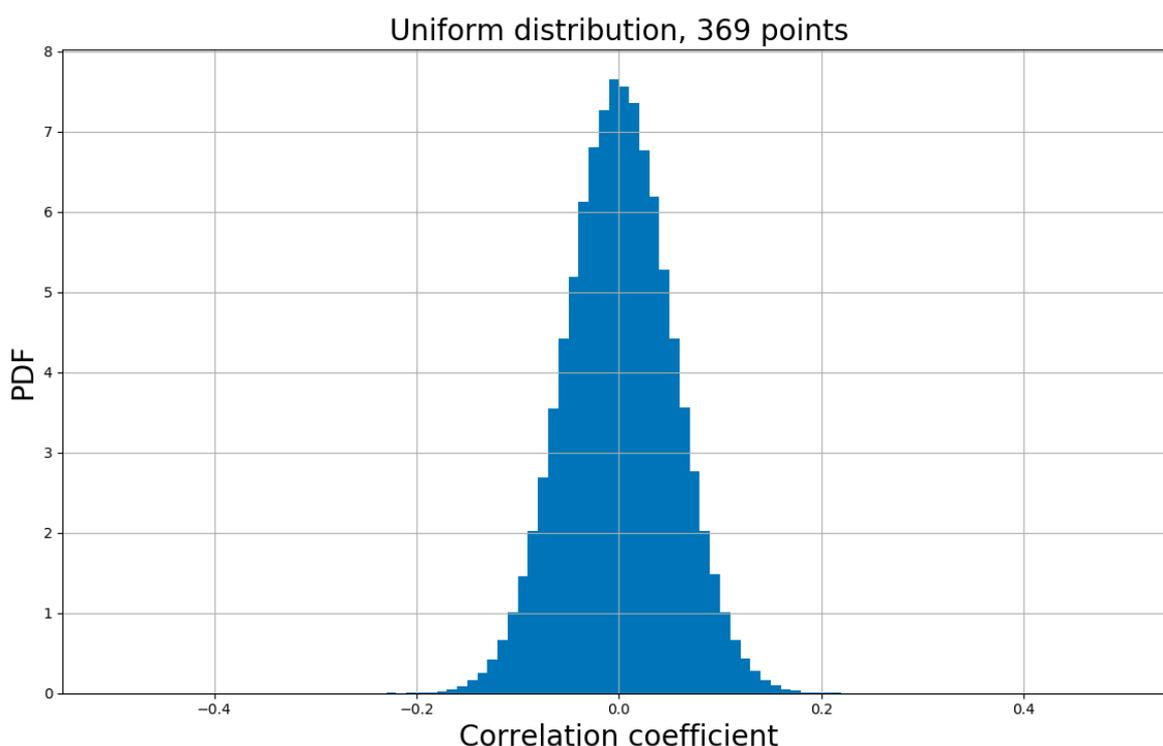


Figura 7.31. Distribuzione dei valori dell'anno dal 20/3/15 al 23/3/16.

Nel grafico (Figura 7.31) viene mostrato la correlazione dei dati utilizzati al fine di determinare il time lag del periodo che va dal 20/3/2015 al 23/3/2016. La curva essendo molto allungata verso il cento "0.0" e non dispersa verso gli estremi, indica un ottima correlazione dei dati.

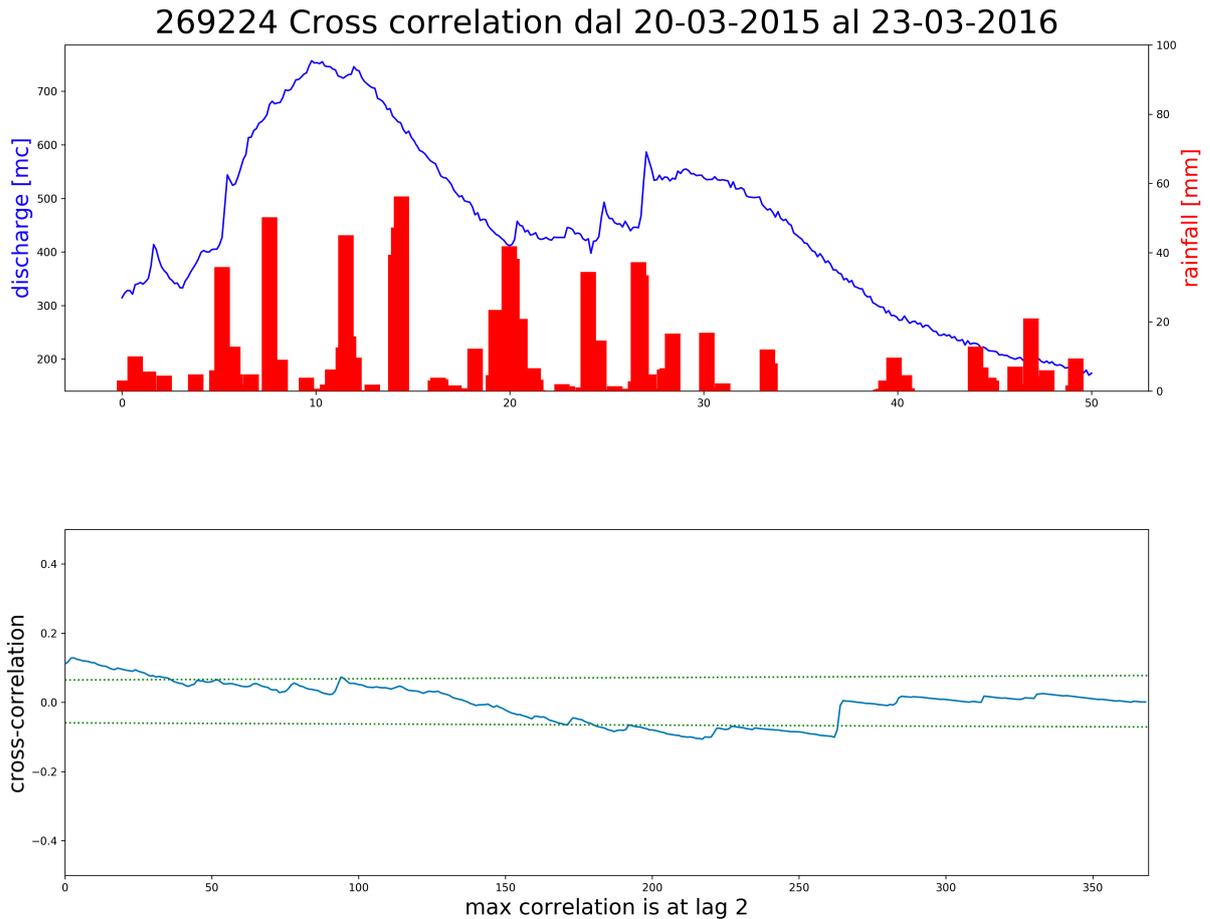


Figura 7.32. Cross correlation dell'anno dal 20/3/15 al 23/3/16.

Nel primo grafico della Figura 7.32, in questo caso vengono visualizzati le precipitazioni paragonandole ai metri cubi giorno fuoriusciti dalla sorgente. Dal grafico sottostante, sempre di Figura 7.32, è possibile determinare il time lag, ovvero il picco della curva letto sull'asse dei giorni. Come è possibile osservare questo picco risulta appartenere a un time lag di 2 giorni.

Dopo aver applicato tutti i tre metodi al fine di determinare la vulnerabilità e quindi le aree di salvaguardia della sorgente si è visto come questi siano estremamente contrastanti tra loro, inoltre si è potuto osservare come la metodologia proposta da M. Civita sottostimi il grado della sorgente a causa della fusione nivale, ovvero quel fattore che più di tutti influenza la ricarica dell'acquifero, inoltre anche l'indice V.E.S.P.A. in questo caso specifico, quello di Alpe Perrot, risulta poco attendibile per le cause già citate.

Per questi motivi si è deciso di dare un peso minore, al fine di calcolare le aree di salvaguardia, sia al metodo del tempo di dimezzamento che all'indice V.E.S.P.A.; è stata fatta questa scelta anche per rimanere in linea con i pesi già delineati dal testo "Linee guida per la gestione delle sorgenti in aree montane" (M. De Maio, E. Suozzi, et al., 2012) estratto da "STRategie di ADattamento ai cambiamenti climatici" programma di cooperazione transfrontaliera Italia Svizzera 2007-2013.

In conclusione, tenendo in considerazione tutte le osservazioni elencate in precedenza, il grado di vulnerabilità assegnato alla sorgente presa in considerazione in questo studio risulta essere pari al secondo in una scala da “estremamente alto” a “basso”, ovvero “alto”.

Questo grado in termini di distanze da rispettare si traduce in:

Per la ZTA:

- D (estensione verso monte) = 30 m
- d (estensione verso valle) = 5 m
- $3/4 D$ (estensione laterale) = 22,5 m

Per la ZR:

- L (estensione a monte) = 2000 m, risultando però il bacino meno esteso di questo valore si considera come limite tutta l'area di alimentazione della sorgente

Per la ZP:

- Tutta l'area di alimentazione della sorgente

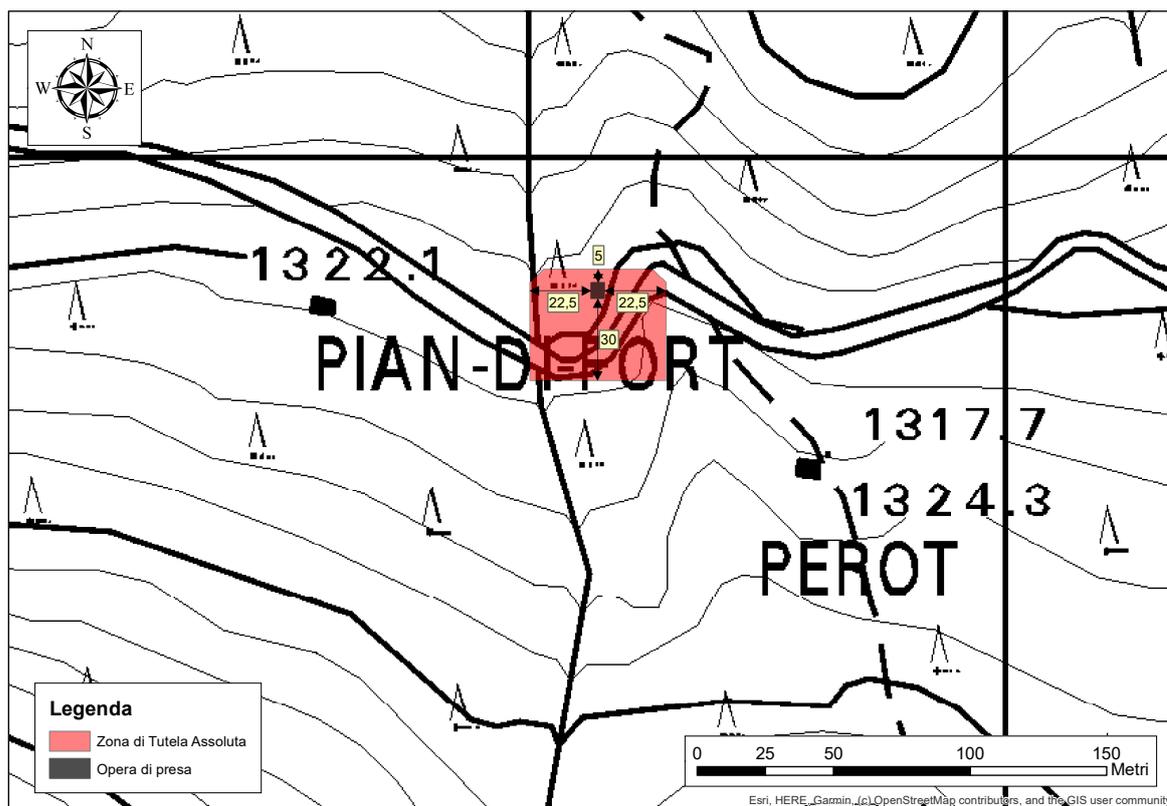


Figura 7.33. Rappresentazione della Zona di Tutela Assoluta rispetto l'opera di presa.

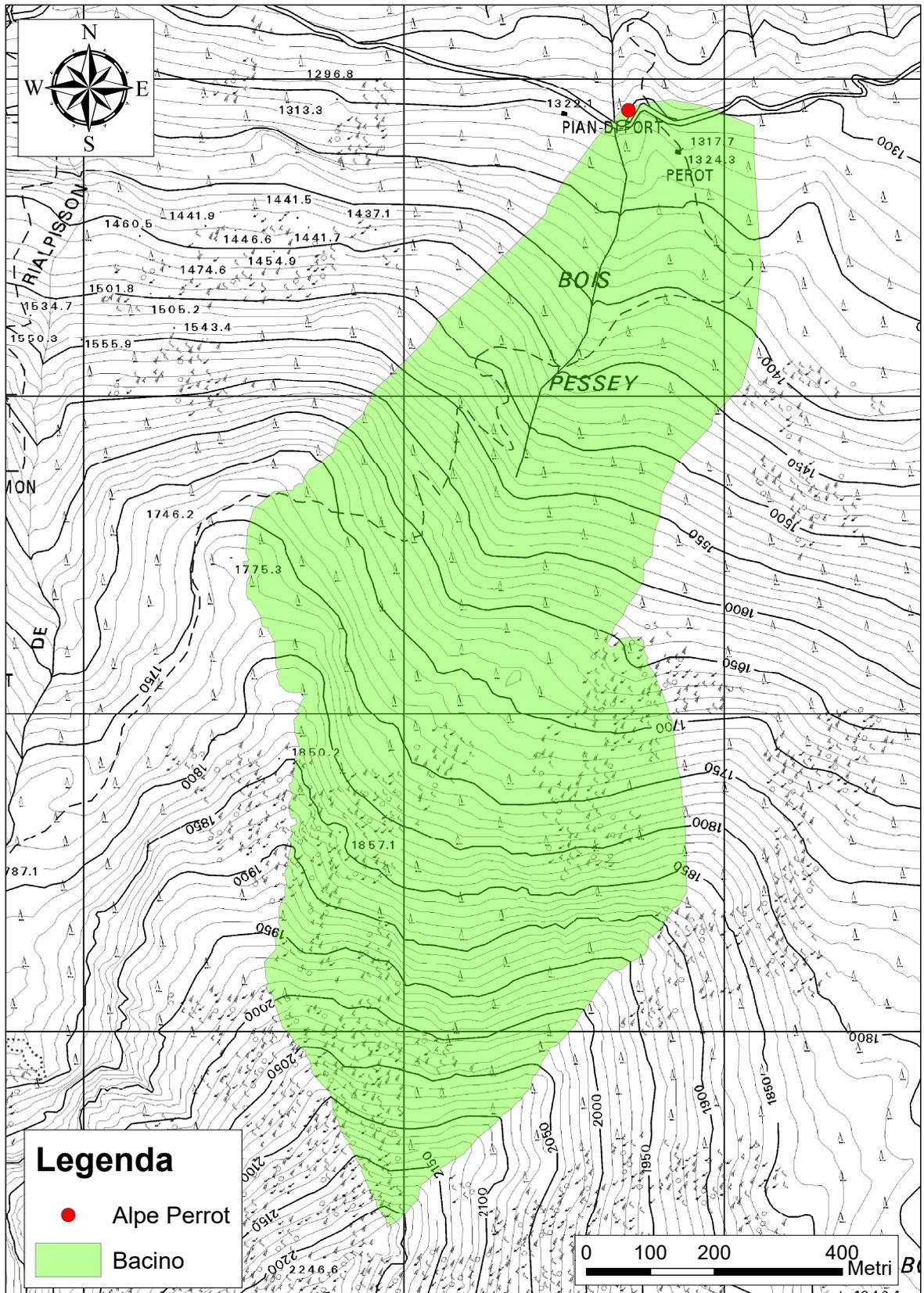


Figura 7.34. Bacino di Alpe Perrot.

7.8. StoryMaps

Tutte le informazioni ricavate dalle elaborazioni e i dati ottenuti sono stati poi riportati su una Esri StoryMap appositamente creata per questo lavoro, per rendere la comprensione di questi dati di facile lettura a chiunque.

Per visualizzare questa StoryMap è sufficiente cercare su un qualsiasi motore di ricerca web, come Google, “sorgenti valdostane” (Figura 7.35)

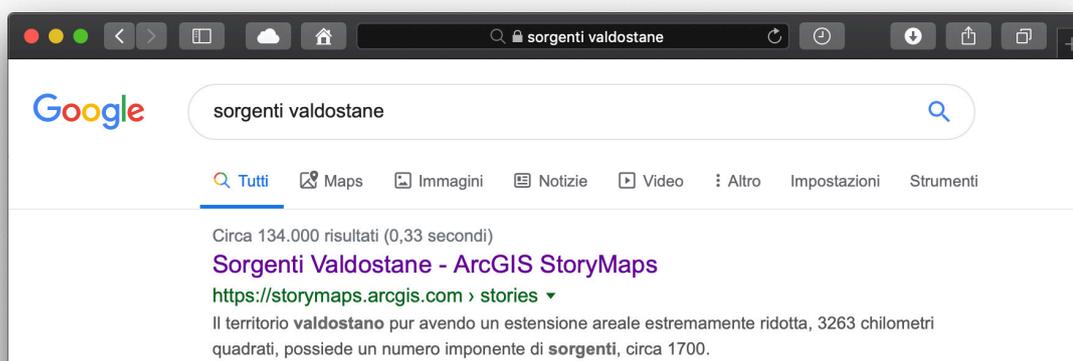


Figura 7.35. Risultato della ricerca di “sorgenti valdostane”.

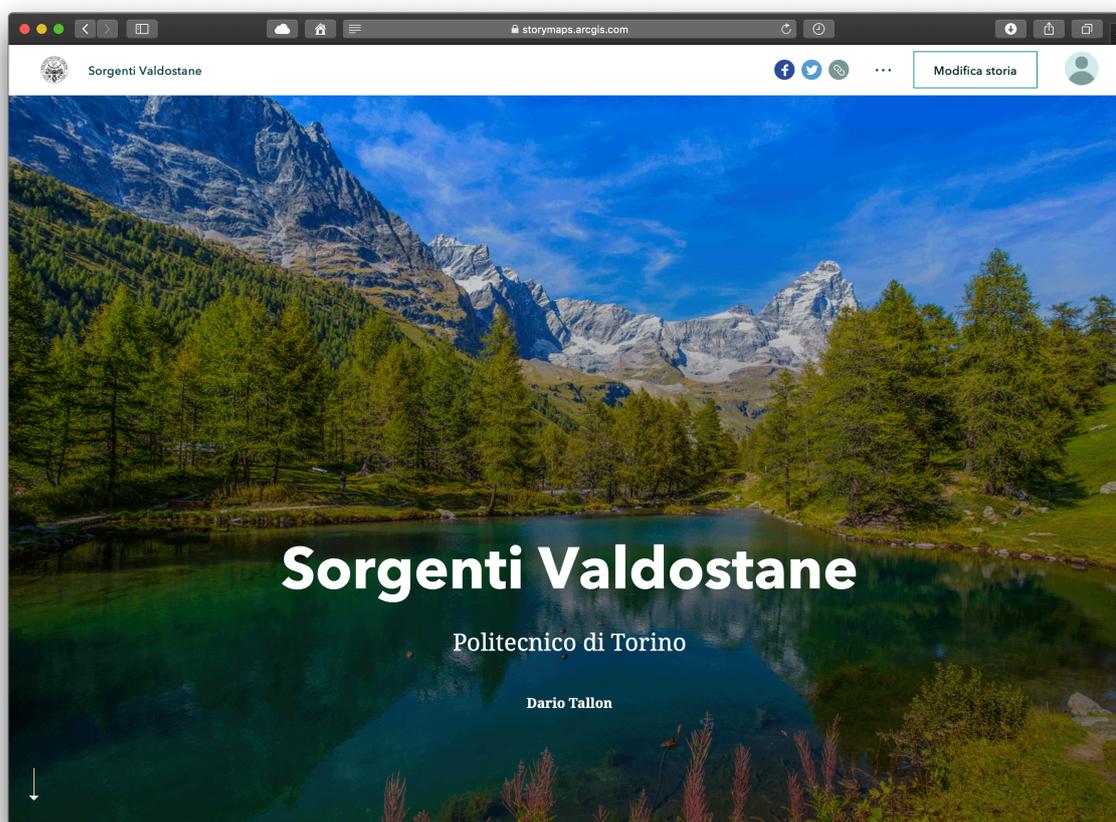


Figura 7.36. Screenshot della copertina della StoryMap.

8. Conclusioni

Con questo lavoro, per concludere, si è visto come sia stato possibile creare un geodatabase, utile al fine di archiviare tutti i dati, in materia di sorgenti, provenienti sia dalle sonde, sia dai sensori installati sulle stazioni meteo della Regione Autonoma Valle d'Aosta, al fine di tenerli organizzati.

La scelta di utilizzare un geodatabase è stata dettata dal fatto che attraverso poche righe di codice è possibile ottenere una serie di output che difficilmente, utilizzando un file excel, si è in grado di replicare. Attraverso delle queries, sia utilizzando python che l'interfaccia di Postgres, si può facilmente interrogare il database e costruire delle nuove tabelle di output. Nella seconda modalità è possibile visualizzare a schermo i valori richiesti con la possibilità di modificarli ed esportarli.

Gli script infatti sono serviti, oltre che alla semplice visualizzazione del dato in se, alla modifica, come la conversione da altezza del livello idrico a portata della sorgente, o anche a determinare le portate medie orarie, giornaliere e annuali di portate e precipitazioni.

Un'altra caratteristica di Python, che è stata utile al fine di portare a termine questo progetto, è stata quella di poter mettere in relazione più dati insieme appartenenti a database differenti, come ad esempio portate e piogge per determinare il time lag, o portate, temperature e conducibilità per l'indice V.E.S.P.A..

Questi nuovi scripts, comunque, sono stati creati e rimarranno all'interno del server nel DIATI, che è stato utilizzato per caricare, modificare e scaricare i dati, così da poter essere riutilizzati per ulteriori aggiornamenti.

Lo studio che è stato effettuato per determinare una diretta correlazione tra la sorgente in esame le variazioni climatiche ha mostrato come ci sia stato un aumento delle precipitazioni in quest'area, infatti in questi anni non si è verificato un depauperamento della risorsa idrica come ci si potrebbe aspettare dal aumento delle temperature globali, anzi la quantità d'acqua immagazzinata all'interno dell'acquifero, alimentante Alpe Perrot, è aumentata nel tempo mantenendo un ottima correlazione alle precipitazioni, le quali, nell'arco temporale considerato hanno avuto un rilevante trend di crescita.

Questo lavoro sì, si è concentrato solo sulla Valle d'Aosta, ma la creazione degli scripts è stata concepita per fare in modo che tutte le strumentazioni delle sorgenti italiane possano usufruire di tali codici, per fare in modo che il sistema di lettura del dato e la sua divulgazione sia omogenizzato su tutto il territorio italiano.

A tale proposito la creazione della ArcGIS StoryMap, con protagonista la sorgente valdostana Alpe Perrot, è stata soltanto presa da esempio, con l'idea in un futuro prossimo di riuscire a concatenare tutte le altre sorgenti sul territorio valdostano, per poi passare a quello nazionale, in un'altra e più articolata ArcGIS StoryMap, così da riuscire ad unificare tutte quelle informazioni che ad oggi, se si riescono a reperire, il più delle volte sono incomplete e/o poco chiare, fornendo a chiunque ne vorrà usufruire, una lettura del dato rapida e di facile comprensione, permettendo così al cittadino, non solo di approfondire e comprendere le dinamiche del territorio che lo

circonda, ma anche di scoprire nuove informazioni utili e curiosità del Paese in cui vive: l'Italia.

9. Appendice

9.1. Script per idrogrammi e curve delle sorgenti

Per generare gli idrogrammi delle sorgenti e le curve di esaurimento è stato programmato il seguente script.

```
# coding=utf-8
import logging
import os
import datetime

def initialize_logging(filename='spring.log'):
    """
    This function initializes log file
    :param filename: name of the log file
    :return: initialized logger
    """
    from logging import FileHandler
    logger = logging.getLogger(name=__file__)
    hdlr = FileHandler(filename)
    logger.addHandler(hdlr)
    logger.setLevel(logging.DEBUG)
    return logger

logger = initialize_logging()

try:
    import psycopg2 as pg2
    import matplotlib
    import matplotlib.pyplot as plt
    import matplotlib.ticker as ticker
    import statistics
    import numpy as np
    import math
except Exception as ex:
    logger.error('Error importing libraries for {}'.format(ex))

# Accesso Database
def connect_to_pg():
    params = {
        'host': '123.456.78.910', # 'localhost',
        'port': 1234,
        'database': 'VDA',
        'user': 'user',
        'password': 'password'
    }

    # Connect to an existing database
    conn = pg2.connect(**params)

    # Open a cursor to perform database operations
    cur = conn.cursor()
    return cur, conn

# Creazione tabella nel database parametri idrodinamici
def create_table_dataset(cur, conn):
```

```

# cur.execute('DROP TABLE IF EXISTS springs.esaurimento')
cur.execute('CREATE TABLE IF NOT EXISTS springs.esaurimento('
    'gid serial PRIMARY KEY, '
    'id_probe INTEGER, '
    'year_analyze SMALLINT, '
    'start timestamp, '
    'stop timestamp, '
    'flow_rate_t0_mcls FLOAT, '
    'flow_rate_tno0_mcls FLOAT, '
    'tno0_days SMALLINT, '
    'exhaustion_rate FLOAT, '
    'Volume_delle_riserve_regolatrici_mc INTEGER, '
    'Volume_defluito_a_un_tempo_t_mc INTEGER, '
    'Tasso_di_rinnovamento_perc FLOAT, '
    'Tempo_medio_di_rinnovamento_years FLOAT, '
    'Delay_Time_days SMALLINT, '
    'Capacità_di_svuotamento_mc INTEGER);'
)
conn.commit()

# Estrazione dati da database
def estrazione(cur, start, stop, sorg, sensor):
    probe_list = []
    cur.execute(
        """SELECT * FROM springs.data WHERE id_probe = %s AND id_sensor= %s AND date_time >= %s AND
date_time <= %s ORDER BY date_time""",
        (sorg, sensor, start, stop))
    for x in cur:
        probe_list.append(x)
    return probe_list

# Upload dati idrodinamici su tabella
def upload_indb(curR, connR, list_value):
    list_value = list_value[0].split(',')
    print(int(list_value[0]))
    value = int(list_value[1])
    curR.execute("""INSERT into springs.esaurimento (id_probe, year_analyze, start, stop, flow_rate_t0_mcls,
flow_rate_tno0_mcls, tno0_days, exhaustion_rate, Volume_delle_riserve_regolatrici_mc,
Volume_defluito_a_un_tempo_t_mc, Tasso_di_rinnovamento_perc, Tempo_medio_di_rinnovamento_years,
Delay_Time_days, Capacità_di_svuotamento_mc)
VALUES(%s, %s, %s)""",
        (list_value[0], list_value[1], list_value[2], list_value[3], list_value[4], list_value[5],
list_value[6], list_value[7], list_value[8], list_value[9], list_value[10], list_value[11],
list_value[12], list_value[13],)
    )
    connR.commit()

#Estrazione selettiva dei dati
def estrazione_step2(cur, start, stop, sorg, sensor):
    probe_list = []
    cur.execute(
        """SELECT date_time, sample FROM springs.data WHERE id_probe = %s AND id_sensor= %s AND
date_time >= %s AND date_time <= %s ORDER BY date_time""",
        (sorg, sensor, start, stop))
    for x in cur:
        probe_list.append(x)
    return probe_list

# Calcolo della media
def calculate_daily_mean(values):
    value = []
    mean_day = []
    if values[0][4] != None:
        value.append(float(values[0][4]))

```

```

for x in range(1, len(values)):
    if values[x - 1][2].date() == values[x][2].date():
        if values[x][4] != None:
            value.append(float(values[x][4]))
        else:
            if value == []:
                mean_value = None
            else:
                mean_value = round(statistics.mean(value), 3)
            mean_day.append([values[x - 1][1], values[x - 1][2], values[x - 1][3], mean_value])
            value = []
        if values[x][4] != None:
            value.append(float(values[x][4]))
return mean_day

```

```

# Creazione grafico Portata vs Tempo
def plot_sorg(x, y, g_title='Portata vs Tempo'):
    fig, ax = plt.subplots(figsize=(18, 14), dpi=300)
    ax.plot(x, y, color = 'b')

    ax.set(xlabel='Data [giorni]', ylabel='Portata [l/s]', title=g_title)
    for tick in ax.get_xticklabels():
        tick.set_rotation(90)
    ax.grid()
    ax.yaxis.labelpad = 20
    ax.xaxis.labelpad = 20
    plt.xlabel('Data [giorni]', fontsize=20)
    plt.ylabel('Portata [l/s]', fontsize=20, color = 'b')
    plt.title(g_title, fontsize=30)
    ax.set_ylim(0, 50)

    # Salvataggio del grafico
    fig.savefig('{} .png'.format(g_title))

    #Grafico a video
    plt.show()

```

```

# Creazione grafico Portata vs Temperatura
def plot_qvst(x, y, z, g_title='Portata vs Temperatura'):
    fig, ax = plt.subplots(figsize=(60, 14), dpi=300)
    ax.plot(x, y, color = 'b')

    ax.set(xlabel='Data [giorni]', ylabel='Portata [l/s]', title=g_title)
    for tick in ax.get_xticklabels():
        tick.set_rotation(90)
    ax.grid()
    ax.yaxis.labelpad = 20
    ax.xaxis.labelpad = 20
    plt.xlabel('Data [giorni]', fontsize=20)
    plt.ylabel('Portata [l/s]', fontsize=20, color = 'b')
    plt.title(g_title, fontsize=30)
    ax.set_ylim(0, 50)

    # Creazione assi secondari da sovrapporre ai primari
    sa = ax.twinx()
    sa.set_frame_on(True)
    sa.patch.set_visible(False)
    for sp in sa.spines.values():
        sp.set_visible(False)

    sa.spines['right'].set_visible(True)
    sa.plot(x, z, color = 'r')
    sa.yaxis.labelpad = 20
    plt.ylabel('Temperatura [°C]', fontsize=20, color = 'r')

```

```

sa.set_ylim(0, 6)

fig.savefig('{} .png'.format(g_title))
plt.show()

# Creazione grafico Portata vs Conducibilità
def plot_qvsc(x, y, z, g_title='Portata vs Conducibilità'):
    fig, ax = plt.subplots(figsize=(60, 14), dpi=300)
    ax.plot(x, y, color = 'b')

    ax.set(xlabel='Data [giorni]', ylabel='Portata [l/s]', title=g_title)
    for tick in ax.get_xticklabels():
        tick.set_rotation(90)
    ax.grid()
    ax.yaxis.labelpad = 20
    ax.xaxis.labelpad = 20
    plt.xlabel('Data [giorni]', fontsize=20)
    plt.ylabel('Portata [l/s]', fontsize=20, color = 'b')
    plt.title(g_title, fontsize=30)
    ax.set_ylim(0, 50)

    sa = ax.twinx()
    sa.set_frame_on(True)
    sa.patch.set_visible(False)
    for sp in sa.spines.values():
        sp.set_visible(False)

    sa.spines['right'].set_visible(True)
    sa.plot(x, z, color = 'g')
    sa.yaxis.labelpad = 20
    plt.ylabel('Conducibilità [ $\mu$ S/cm]', fontsize=20, color = 'g')
    sa.set_ylim(0, 100)

    fig.savefig('{} .png'.format(g_title))
    plt.show()

def find_name_spring(cur, sorg):
    cur.execute(
        """SELECT spring_name FROM springs.metadata WHERE id_probe = %s""" % (
            sorg))
    for x in cur:
        return x[0]

def calculate_date_mean(values_list):
    mean_day = calculate_dayly_mean(values_list)
    date_day = []
    sample_day = []
    for y in range(0, len(mean_day)):
        date_day.append(mean_day[y][1])
        sample_day.append(mean_day[y][3])
    return date_day, sample_day

def list_springs(cur, conn):
    cur.execute(
        """SELECT id_probe, spring_name FROM springs.metadata WHERE id_probe > 0 """)
    conn.commit()
    for x in cur:
        print(x)

# calcolo della Portata
def calculate_discharge(probe, sample_day, cur, conn):

```

```

cur.execute(
    """SELECT weir_type, large_angle FROM springs.metadata WHERE id_probe = '%s'""" % (
        probe))
conn.commit()
for x in cur:
    weir, value = x[0], x[1]
    logger.debug('stramazzo: {}, apertura o angolo: {}'.format(weir, value))
    q = np.zeros(len(sample_day))
    if weir == 'rettangolare':
        for x in range(0, len(sample_day)):
            if sample_day[x] == None:
                sample_day[x] = np.NaN
            # stramazzo Bazin a parete sottile: formula  $Q = 2/3 * 0.61 * L * \sqrt{2*9.822} * \text{pow}(h, 1.5)$  STANDARD
            ASTM
            if x == 0:
                q[x] = 1.77286 * value / 100 * pow(np.amax(sample_day), 1.5)
            else:
                q[x] = 1.77286 * value / 100 * pow(sample_day[x - 1], 1.5)
            elif sample_day[x] > 0:
                q[x] = 1.77286 * value / 100 * pow(sample_day[x], 1.5)
            else:
                q[x] = 1.77286 * value / 100 * pow(sample_day[x - 1], 1.5)
        elif weir == 'triangolare':
            for x in range(0, len(sample_day)):
                # stramazzo a parete sottile con angolo di n gradi: formula  $Q = 8/15 * 0.58 * \tan(n \text{ in radianti}/2) * \sqrt{2*9.8} * \text{pow}(h, 2.5)$ 
                if sample_day[x] == None:
                    if x == 0:
                        q[x] = 1.37101 * np.tan(value / 2) * pow(sample_day[x], 2.5)
                    else:
                        q[x] = 1.37101 * np.tan(value / 2) * pow(sample_day[x - 1], 2.5)
                elif sample_day[x] > 0:
                    q[x] = 1.37101 * np.tan(value / 2) * pow(sample_day[x], 2.5)
                else:
                    q[x] = 1.37101 * np.tan(value / 2) * pow(sample_day[x - 1], 2.5)
    return q

def calculate_time(id, sorg, start, stop, sensor, dt_start_tot):
    dt_stop_tot = datetime.datetime.now()
    logger.debug('Sorgente: {}, Start Time: {}, Stop Time: {}, Sensor: {}'.format(sorg, start, stop, sensor))
    logger.debug('Start Program Time: {}'.format(dt_start_tot))
    logger.debug('Fase {} completata in {}'.format(id, dt_stop_tot-dt_start_tot))
    logger.debug('-----')
    return dt_start_tot

# Fase 1 - estrazione dati
def phase_1(cur, start, stop, sorg, sensor, dt_start_tot):
    id = 1
    # estrazione dei valori della sorgente
    list_value = estrazione(cur, start, stop, sorg, sensor)
    # calcola media giornaliera
    date_day, sample_day = calculate_date_mean(list_value)
    # plotta il grafico
    plot_sorg(date_day, sample_day, g_title='{} Portata Vs Tempo dal {} al {}'.format(sorg, start, stop))
    dt_start_tot = calculate_time(id, sorg, start, stop, sensor, dt_start_tot)
    return dt_start_tot

# Fase 2 - generazione grafici
def phase_2(cur, conn, sorg, dt_start_tot, sensor=1):
    id = 2

    # Per inserire manualmente il periodo da esaminare
    start = input('Data inizio (GG-MM-AAAA): ')

```

```

stop = input('Data fine (GG-MM-AAAA): ')

# Per tutto il periodo
# start, stop = '01-01-2010', '01-06-2018'

# Per curve di esaurimento (Portata vs Tempo e .txt) di Alpe Perrot
# start, stop = '30-09-2010', '11-03-2011'
# start, stop = '22-11-2011', '15-03-2012'
# start, stop = '01-12-2012', '04-04-2013'
# start, stop = '21-12-2013', '15-03-2014'
# start, stop = '04-12-2014', '20-03-2015'
# start, stop = '21-10-2015', '23-03-2016'
# start, stop = '07-12-2016', '02-03-2017'
# start, stop = '06-07-2017', '30-12-2017'
# start, stop = '10-01-2018', '28-03-2018'

# Per anno idrologico (Portata vs Temperature e Portata vs Conducibilità) di Alpe Perrot
# start, stop = '11-03-2011', '15-03-2012'
# start, stop = '15-03-2012', '04-04-2013'
# start, stop = '04-04-2013', '15-03-2014'
# start, stop = '15-03-2014', '20-03-2015'
# start, stop = '20-03-2015', '23-03-2016'
# start, stop = '23-03-2016', '02-03-2017'
# start, stop = '02-03-2017', '28-03-2018'

# Estrazione lista
list_value = estrazione(cur, start, stop, sorg, sensor)
list_value_temp = estrazione(cur, start, stop, sorg, 2)
list_value_cond = estrazione(cur, start, stop, sorg, 4)

# Calcola media giornaliera e generazione grafici
date_day, sample_day = calculate_date_mean(list_value)
date_day, t = calculate_date_mean(list_value_temp)
date_day, c = calculate_date_mean(list_value_cond)
q = calculate_discharge(sorg, sample_day, cur, conn)
logger.debug('lunghezza vettore portate: {}, lunghezza vettore date: {}'.format(len(q), len(date_day)))
plot_sorg(date_day, q * 1000, g_title='{} Portata Vs Tempo dal {} al {}'.format(sorg, start, stop))
plot_qvst(date_day, q * 1000, t, g_title='{} Portata Vs Temperatura dal {} al {}'.format(sorg, start, stop))
plot_qvsc(date_day, q * 1000, c, g_title='{} Portata Vs Conducibilità dal {} al {}'.format(sorg, start, stop))
dt_start_tot = calculate_time(id, sorg, start, stop, sensor, dt_start_tot)
if not 't' in locals():
    t = []
if not 'c' in locals():
    c = []
return q, t, c, start, stop, dt_start_tot

# Fase 3 - Determinazione e upload dati idrodinamici
def phase_3(cur, conn, sorg, sensor, start, stop, q, dt_start_tot):
    id = 3
    q0 = q[0]
    qt = q.take(-1)
    delta = datetime.datetime.strptime(stop, '%d-%m-%Y') - datetime.datetime.strptime(start, '%d-%m-%Y')
    t = delta.days
    alfa = (math.log10(q0) - math.log10(qt)) / (0.43439 * t)
    w0 = (q0 / alfa) * 86400
    wt = ((q0 - qt) / alfa) * 86400
    tr = (wt / w0) * 100
    tm = w0 / wt
    dt = (((q0 / alfa) * (math.exp(-alfa * t))) / qt)
    deltaw = ((q0 / alfa) * (1 - math.exp(-alfa * t)) * 86400)
    out_list = []
    values = '{}.format(sorg, start[-4:], start, stop, q0, qt, int(t), alfa,
int(w0), int(wt), tr, tm, int(dt), int(deltaw))
    out_list.append(values)

```

```

upload_indb(cur, conn, out_list)
dt_start_tot = calculate_time(id, sorg, start, stop, sensor, dt_start_tot)

return dt_start_tot, out_list

# Fase 4 - Creazione file .txt con dati idrodinamici
def phase_4(cur, sorg, sensor, start, stop, out_list, dt_start_tot):
    id = 4
    nome_sorgente = find_name_spring(cur, sorg)
    dir_path = os.path.dirname(os.path.realpath(__file__))
    filename = '{}_{}.txt'.format(nome_sorgente, start, stop)
    dir_filename = os.path.join(dir_path, filename)
    logger.debug(dir_filename)
    with open(dir_filename, 'w') as output:
        value = 'Parametro,sigla,valore,unità\n'
        output.write(value)
        value = 'Portata_al_t0,Q0,{},mc/s\n'.format(round(float(out_list[0].split(',')[4]), 4))
        output.write(value)
        value = 'Portata_t_#_t0,Qt,{},mc/s\n'.format(round(float(out_list[0].split(',')[5]), 4))
        output.write(value)
        value = 'Tempo_zero,t0,0,giorni\n'
        output.write(value)
        value = 'Tempo_diverso_da_zero, t,{},giorni\n'.format(int(out_list[0].split(',')[6]))
        output.write(value)
        value = 'Coefficiente_di_esaurimento,a,{},-\n'.format(round(float(out_list[0].split(',')[7]), 4))
        output.write(value)
        value = 'Volume_delle_riserve_regolatrici,W0,{},mc\n'.format(int(out_list[0].split(',')[8]))
        output.write(value)
        value = 'Volume_defluito_a_un_tempo_t,Wt,{},mc\n'.format(int(out_list[0].split(',')[9]))
        output.write(value)
        value = 'Tasso_di_rinnovamento,Trin,{},%\n'.format(round(float(out_list[0].split(',')[10]), 3))
        output.write(value)
        value = 'Tempo_medio_di_rinnovamento,tmr,{},anni\n'.format(round(float(out_list[0].split(',')[11]), 3))
        output.write(value)
        value = 'Delay_Time,DTt,{},giorni\n'.format(int(out_list[0].split(',')[12]))
        output.write(value)
        value = 'Capacità_di_svuotamento,Δwi,{},mc\n'.format(int(out_list[0].split(',')[13]))
        output.write(value)
    output.close()
    calculate_time(id, sorg, start, stop, sensor, dt_start_tot)

def main():
    logger.info('-----Start Program-----')
    dt_start_tot = datetime.datetime.now()
    logger.debug('Start Program Time: {}'.format(dt_start_tot))
    # input

    # Codice sorgente Alpe Perrot = 269224
    # sorg = '269224'

    # sensor = 1 (livello)
    # sensor = 2 (temperatura)
    # sensor = 4 (conducibilità)
    sensor = '1'
    start, stop = '01-01-2010', '01-06-2018'
    # connect to db
    cur, conn = connect_to_pg()
    if conn:
        logger.debug('Connessione al database avvenuta')
        # create_table_dataset(cur, conn)
        # choose spring
        list_springs(cur, conn)
        sorg = input('Codice Sorgente (es. 269224): ')
        dt_start_tot = phase_1(cur, start, stop, sorg, sensor, dt_start_tot)

```

```

q, t, c, start, stop, dt_start_tot = phase_2(cur, conn, sorg, dt_start_tot, sensor)
dt_start_tot, out_list = phase_3(cur, conn, sorg, sensor, start, stop, q, dt_start_tot)
phase_4(cur, sorg, sensor, start, stop, out_list, dt_start_tot)

```

```

if __name__ == '__main__':
    main()

```

9.2. Script per dati sensori

Con la creazione di questo script è stato possibile caricare i molteplici dati provenienti dai sensori sul geodatabase.

```

import psycopg2 as pg2
import datetime

```

```

def connect_to_pg():

```

```

    params = {
        'host': '123.456.78.910', # 'localhost',
        'port': 1234,
        'database': 'VDA',
        'user': 'user',
        'password': 'password'
    }

```

```

    # Connessione al database esistente
    conn = pg2.connect(**params)

```

```

    # Apertura cursore per database
    cur = conn.cursor()
    return cur, conn

```

```

def read_csv_metadata(file, cur, conn):

```

```

    list_mis = []
    with open(file, 'r', encoding='utf-8') as input:
        for line in input.readlines():
            if not line.startswith('id'):
                list = line.split(';')
                # print(list)
                if list[0] != '':
                    for x in range(0, len(list)):
                        if list[x] == '':
                            list[x] = None
                    cur.execute(
                        """INSERT into meteo.metadata (id_meteo_station, meteo_station_name, place, point,
rain_gauge, termometer, nivometer) VALUES(%s, %s, %s, ST_GeomFromEWKT('SRID=23032;POINTM(%s %s
%s)'), %s, %s, %s)""" ,
                        (list[0], list[1], list[2], float(list[3]), float(list[4]), float(list[5]), list[6], list[7],
                        list[8].split("\n")[0])
                    )
    conn.commit()

```

```

def create_list_value(line):

```

```

    list_output = []
    values = line.split(';')[1:]
    for x in range(0, len(values), 2):
        if values[x] == '' or values[x] == '\n':
            list_output.append(values[x - 1])
        elif values[x].endswith('\n'):
            list_output.append(values[x][:-1])

```

```

    else:
        list_output.append(values[x])
    return list_output

def create_list_value_riga(line):
    list_output = []
    values = line.split(';')
    for x in range(len(values)):
        if values[x] == '' or values[x] == '\n':
            list_output.append(values[x - 1])
        elif values[x].endswith('\n'):
            list_output.append(values[x][-1])
        else:
            list_output.append(values[x])
    return list_output

def create_list_station(list_param, meteo, id_station, quota, ED50_est, ED50_nord, Zona, pr):
    list_metadata = []
    station, n_meteo = station_list(meteo, list_param)
    for x in range(len(meteo)):
        values = '{}.{}.{}.{}.{}.{}.{}.{}.{}.{}'.format(station[x].split(',')[0][-1], station[x].split(',')[1][1:-1],
            station[x].split(',')[2], id_station[x], quota[x], ED50_est[x],
            ED50_nord[x], Zona[x],
            pr[x], station[x].split(',')[3])
        list_metadata.append(values)
    return list_metadata, n_meteo

def station_list(meteo, list_param, str_start='Codice'):
    list_meteo = []
    n = 2
    for item in meteo:
        if not item.startswith(str_start):
            comune = item.split('-')[0]
            localita = item.split('-')[1]
            for obj in list_param:
                if obj in localita:
                    localita = localita.split(obj)[0]
                if obj in item:
                    sensore = obj
            value = '{}.{}.{}.{}'.format(comune, localita, sensore, n)
            list_meteo.append(value)
        n += 2
    n_meteo = len(list_meteo)
    return list_meteo, n_meteo

def read_csv_meteo_metadata(file, list_param, cur, conn):
    with open(file, 'r', encoding='utf-8') as input:
        for line in input.readlines():
            if line.startswith('Data & Ora') or 'Data & Ora' in line.split(';')[0]:
                meteo = create_list_value_riga(line)
            elif line.startswith('Stld'):
                id_station = create_list_value_riga(line)
            elif line.startswith('Quota'):
                quota = create_list_value_riga(line)
            elif line.startswith('Utm ED50 Est'):
                ED50_est = create_list_value_riga(line)
            elif line.startswith('Utm ED50 Nord'):
                ED50_nord = create_list_value_riga(line)
            elif line.startswith('Zona'):
                Zona = create_list_value_riga(line)

```

```

elif line.startswith('P.R.'):
    pr = create_list_value(line)
else:
    break
list_metadata, n_meteo = create_list_station(list_param, meteo, id_station, quota, ED50_est, ED50_nord,
Zona, pr)
return list_metadata

```

```

def read_csv_meteo(file, cur, conn, start_id=6):
    with open(file, 'r', encoding='utf-8') as input:
        list_data_meteo = []
        id = 0
        number_values = 0
        for line in input.readlines():
            if id > start_id:
                riga_7 = create_list_value_riga(line)
                if len(riga_7[0]) == 10:
                    date_time = datetime.datetime.strptime(str(riga_7[0]), '%d/%m/%Y')
                elif len(riga_7[0]) == 8:
                    date_time = datetime.datetime.strptime(str(riga_7[0]), '%d/%m/%y')
                elif len(riga_7[0]) == 16:
                    date_time = datetime.datetime.strptime(str(riga_7[0]), '%d/%m/%Y %H:%M')
                else:
                    date_time = datetime.datetime.strptime(str(riga_7[0]), '%d/%m/%y %H:%M')
                for x in range(2, len(riga_7), 2):
                    if "" in riga_7[x - 1]:
                        value = float(riga_7[x - 1].split(" ")[1].replace(',','.'))
                    else:
                        value = 'NaN'
                    if '' in riga_7[x - 1]:
                        code = None
                    else:
                        code = None
                    values_station = '{},{},{}'.format(date_time, value, code, x)
                    list_data_meteo.append(values_station)
                    number_values += 1
            # break
            id += 1
        return number_values, list_data_meteo

```

```

def create_list(list_metadata, list_data_meteo):
    list_data = []
    id = []
    sensore = []
    colonna_metadata = []
    for line in list_metadata:
        list_metadata_split = line.split(",")
        id.append(list_metadata_split[3])
        sensore.append(list_metadata_split[2])
        colonna_metadata.append(list_metadata_split[9])
    data = []
    valore = []
    codice = []
    colonna = []
    for line in list_data_meteo:
        list_data_meteo_split = line.split(",")
        data.append(list_data_meteo_split[0])
        valore.append(list_data_meteo_split[1])
        codice.append(list_data_meteo_split[2])
        colonna.append(list_data_meteo_split[3])
    lista = []
    for x in range(len(list_data_meteo)):

```

```

    for y in range(len(list_metadata)):
        if colonna[x] == colonna_metadata[y]:
            list_data.append('{},{},{},{}'.format(id[y], data[x], valore[x], codice[x], sensore[y]))
    return list_data

# Creazione tabella metadata
def create_tables_metadata(cur, conn):
    # cur.execute('DROP TABLE IF EXISTS meteo.metadata_2019')
    cur.execute('CREATE TABLE IF NOT EXISTS meteo.metadata_2019 ('
        'citta VARCHAR(70), '
        'localita VARCHAR(70), '
        'stid SMALLINT, '
        'point geometry, '
        'zona VARCHAR(10), '
        'pr VARCHAR(10));'
    )
    conn.commit()

# Creazione tabella data
def create_tables_data(cur, conn):
    # cur.execute('DROP TABLE IF EXISTS meteo.data_2019')
    cur.execute('CREATE TABLE IF NOT EXISTS meteo.data_2019 ('
        'id SMALLINT, '
        'date TIMESTAMP, '
        'value FLOAT, '
        'code SMALLINT, '
        'sensor VARCHAR(20)); '
    )
    conn.commit()

# Upload su tabella metadata
def up_db_metadata(list_metadata, cur, conn):
    for x in range(0, len(list_metadata)):
        list_to_upload = list_metadata[x].split(',')
        cur.execute(
            """INSERT into meteo.metadata_2019 (citta, localita, stid, zona, pr, point) VALUES(%s, %s, %s, %s, %s,
ST_GeomFromEWKT('SRID=23032;POINTM(%s %s %s)'))""",
            (str(list_to_upload[0]), str(list_to_upload[1]), int(list_to_upload[3]), str(list_to_upload[7]),
            str(list_to_upload[8]), float(list_to_upload[5]), float(list_to_upload[6]), float(list_to_upload[4]))
        )
        conn.commit()

# Upload su tabella data
def up_db_data(list_metadata, cur, conn):
    for x in range(0, len(list_metadata)):
        list_to_upload = list_metadata[x].split(',')
        if list_to_upload[3] == 'None':
            code = None
        else:
            code = list_to_upload[3]

        cur.execute(
            """INSERT into meteo.data_2019 (id, date, value, code, sensor) VALUES(%s, %s, %s, %s, %s)""",
            (int(list_to_upload[0]), list_to_upload[1], float(list_to_upload[2]), code,
            str(list_to_upload[4]))
        )
        conn.commit()

def main():
    cur, conn = connect_to_pg()
    # cur, conn = 0, 0

    #Create tables

```

```

create_tables_metadata(cur, conn)
create_tables_data(cur, conn)

#Files di input
file_path = '/Users/dariotallon/tesi/dati1.csv'

# Lettura metadata
list_param = ['Igrometro', 'Nivometro', 'Pluvió OTT NRT', 'Radiazione totale', 'Barometro', 'Termometro Neve
Infrarossi', 'Termometro', 'Pluviometro', 'Barometro di prec.', 'Solarimetro']
list_metadata = read_csv_meteo_metadata(file_path, list_param, cur, conn)

# Caricamento in db metadata
up_db_metadata(list_metadata, cur, conn)

# Lettura data
number_values, list_data_meteo = read_csv_meteo(file_path, cur, conn, start_id=6)
data_list = create_list(list_metadata, list_data_meteo)

# Caricamento in db data
up_db_data(data_list, cur, conn)

if __name__ == "__main__":
    main()

```

9.3 Script per confronto di idrogrammi e precipitazioni

Per andare a confrontare i dati provenienti dai pluviometri con gli idrogrammi delle sorgenti è stato utilizzato questo script.

```

# coding=utf-8
import logging
import os
import datetime

def initialize_logging(filename='meteo.log'):
    """
    This function initializes log file
    :param filename: name of the log file
    :return: initialized logger
    """
    from logging import FileHandler
    logger = logging.getLogger(name=__file__)
    hdlr = FileHandler(filename)
    logger.addHandler(hdlr)
    logger.setLevel(logging.DEBUG)
    return logger

logger = initialize_logging()

try:
    import psycopg2 as pg2
    import matplotlib
    import matplotlib.pyplot as plt
    import matplotlib.ticker as ticker
    import statistics
    import numpy as np
    import math
except Exception as ex:
    logger.error('Error importing libraries for {}'.format(ex))

```

```

# Accesso Database
def connect_to_pg():
    params = {
        'host': '123.456.78.910', # 'localhost',
        'port': 1234,
        'database': 'VDA',
        'user': 'user',
        'password': 'password'
    }

    # Connect to an existing database
    conn = pg2.connect(**params)

    # Open a cursor to perform database operations
    cur = conn.cursor()
    return cur, conn

# Estrazione dati da database meteo.data_2019
def estrazione_meteo(cur, start, stop, id, sensor):
    id_list = []
    cur.execute(
        """SELECT * FROM meteo.data_2019 WHERE id = %s AND sensor= %s AND date >= %s AND date <=
%s ORDER BY date""",
        (id, sensor, start, stop))
    for x in cur:
        id_list.append(x)
    return id_list

# Estrazione selettiva dei dati meteo.data_2019
def estrazione_meteo_step2(cur, start, stop, id, sensor):
    id_list = []
    cur.execute(
        """SELECT date, value FROM meteo.data_2019 WHERE id = %s AND sensor= %s AND date >= %s AND
date <= %s ORDER BY date""",
        (id, sensor, start, stop))
    for x in cur:
        id_list.append(x)
    return id_list

# Estrazione dati da database spring.data
def estrazione_spring(cur, start, stop, sorg, sensor):
    probe_list = []
    cur.execute(
        """SELECT * FROM springs.data WHERE id_probe = %s AND id_sensor= %s AND date_time >= %s AND
date_time <= %s ORDER BY date_time""",
        (sorg, sensor, start, stop))
    for x in cur:
        probe_list.append(x)
    return probe_list

# Calcolo della somma piogge
def calculate_dayly_sum(values):
    value = []
    sum_day = []
    if values[0][2] != None:
        value.append(float(values[0][2]))
    for x in range(1, len(values)):
        if values[x - 1][1].date() == values[x][1].date():
            if values[x][2] != None:
                value.append(float(values[x][2]))
            else:

```

```

    if value == []:
        mean_value = None
    else:
        mean_value = round(sum(value), 3)
    sum_day.append([values[x - 1][0], values[x - 1][1], mean_value, values[x - 1][3]])
    value = []
    if values[x][2] != None:
        value.append(float(values[x][2]))
print(sum_day)
return sum_day

# Calcolo della media portata
def calculate_daily_mean(values):
    value = []
    mean_day = []
    if values[0][4] != None:
        value.append(float(values[0][4]))
    for x in range(1, len(values)):
        if values[x - 1][2].date() == values[x][2].date():
            if values[x][4] != None:
                value.append(float(values[x][4]))
        else:
            if value == []:
                mean_value = None
            else:
                mean_value = round(statistics.mean(value), 3)
            mean_day.append([values[x - 1][1], values[x - 1][2], values[x - 1][3], mean_value])
            value = []
            if values[x][4] != None:
                value.append(float(values[x][4]))
    return mean_day

# Creazione grafico Portata vs Piogge
def plot_qvsp(x, y, z, g_title='Portata vs Piogge'):
    fig, ax = plt.subplots(figsize=(18, 14), dpi=300)
    ax.plot(x, y, color = 'b')

    ax.set(xlabel='Data [giorni]', ylabel='Portata [l/s]', title=g_title)
    for tick in ax.get_xticklabels():
        tick.set_rotation(90)
    ax.grid()
    ax.yaxis.labelpad = 20
    ax.xaxis.labelpad = 20
    plt.xlabel('Data [giorni]', fontsize=20)
    plt.ylabel('Portata [l/s]', fontsize=20, color = 'b')
    plt.title(g_title, fontsize=30)
    ax.set_ylim(0, 50)

    # Creazione assi secondari da sovrapporre ai primari
    sa = ax.twinx()
    sa.set_frame_on(True)
    sa.patch.set_visible(False)
    for sp in sa.spines.values():
        sp.set_visible(False)

    sa.spines['right'].set_visible(True)
    sa.bar(x, z, color = 'r')
    sa.yaxis.labelpad = 20
    plt.ylabel('Precipitazione [mm]', fontsize=20, color = 'r')
    sa.set_ylim(0, 5)

    fig.savefig('{} .png'.format(g_title))
    plt.show()

```

```

def find_name_spring(cur, sorg):
    cur.execute(
        """SELECT spring_name FROM springs.metadata WHERE id_probe = %s""" % (
            sorg))
    for x in cur:
        return x[0]

def calculate_date_mean(values_list):
    mean_day = calculate_daily_mean(values_list)
    date_day = []
    sample_day = []
    for y in range(0, len(mean_day)):
        date_day.append(mean_day[y][1])
        sample_day.append(mean_day[y][3])
    return date_day, sample_day

def calculate_date_mean_sum(values_list):
    mean_day = calculate_daily_sum(values_list)
    date_day = []
    sample_day = []
    for y in range(0, len(mean_day)):
        date_day.append(mean_day[y][1])
        sample_day.append(mean_day[y][2])
    return date_day, sample_day

def list_springs(cur, conn):
    cur.execute(
        """SELECT id_probe, spring_name FROM springs.metadata WHERE id_probe > 0 """)
    conn.commit()
    for x in cur:
        print(x)

# calcolo della Portata
def calculate_discharge(probe, sample_day, cur, conn):
    cur.execute(
        """SELECT weir_type, large_angle FROM springs.metadata WHERE id_probe = '%s'""" % (
            probe))
    conn.commit()
    for x in cur:
        weir, value = x[0], x[1]
        logger.debug('stramazzo: {}, apertura o angolo: {}'.format(weir, value))
        q = np.zeros(len(sample_day))
        if weir == 'rettangolare':
            for x in range(0, len(sample_day)):
                if sample_day[x] == None:
                    sample_day[x] = np.NaN
                # stramazzo Bazin a parete sottile: formula  $Q = \frac{2}{3} * 0.61 * L * \sqrt{2 * 9.822} * \text{pow}(h, 1.5)$  STANDARD
                ASTM
                if x == 0:
                    q[x] = 1.77286 * value / 100 * pow(np.amax(sample_day), 1.5)
                else:
                    q[x] = 1.77286 * value / 100 * pow(sample_day[x - 1], 1.5)
                elif sample_day[x] > 0:
                    q[x] = 1.77286 * value / 100 * pow(sample_day[x], 1.5)
                else:
                    q[x] = 1.77286 * value / 100 * pow(sample_day[x - 1], 1.5)
            elif weir == 'triangolare':
                for x in range(0, len(sample_day)):
                    # stramazzo a parete sottile con angolo di n gradi: formula  $Q = \frac{8}{15} * 0.58 * \tan(n \text{ in radianti}/2) * \sqrt{2 * 9.8} * \text{pow}(h, 2.5)$ 
                    if sample_day[x] == None:
                        if x == 0:
                            q[x] = 1.37101 * np.tan(value / 2) * pow(sample_day[x], 2.5)

```

```

    else:
        q[x] = 1.37101 * np.tan(value / 2) * pow(sample_day[x - 1], 2.5)
    elif sample_day[x] > 0:
        q[x] = 1.37101 * np.tan(value / 2) * pow(sample_day[x], 2.5)
    else:
        q[x] = 1.37101 * np.tan(value / 2) * pow(sample_day[x - 1], 2.5)
return q

def calculate_time(id, sorg, start, stop, sensor, dt_start_tot):
    dt_stop_tot = datetime.datetime.now()
    logger.debug('Sorgente: {}, Start Time: {}, Stop Time: {}, Sensor: {}'.format(sorg, start, stop, sensor))
    logger.debug('Start Program Time: {}'.format(dt_start_tot))
    logger.debug('Fase {} completata in {}'.format(id, dt_stop_tot-dt_start_tot))
    logger.debug('-----')
    return dt_start_tot

# Fase 1 - estrazione dati e generazione dei grafici
def phase_1(cur, conn, start, stop, id, sorg, sensor_spring, sensor_meteo, dt_start_tot):
    # estrazione dei valori della sorgente meteo
    list_value_pluvio = estrazione_meteo(cur, start, stop, id, sensor_meteo)
    # estrazione dei valori della sorgente spring
    list_value = estrazione_spring(cur, start, stop, sorg, sensor_spring)
    # calcola somma giornaliera piogge
    date_day, sample_day_pluvio = calculate_date_mean_sum(list_value_pluvio)
    # calcola media giornaliera portata
    date_day, sample_day_spring = calculate_date_mean(list_value)

    # calcola la portata
    q = calculate_discharge(sorg, sample_day_spring, cur, conn)
    print(len(q))
    # plotta il grafico
    plot_qvsp(date_day, q * 1000, sample_day_pluvio, g_title='{} Portata Vs Piogge dal {} al {}'.format(sorg, start,
stop))
    dt_start_tot = calculate_time(id, sorg, start, stop, sensor_spring, dt_start_tot)
    # return dt_start_tot

def main():
    logger.info('-----Start Program-----')
    dt_start_tot = datetime.datetime.now()
    logger.debug('Start Program Time: {}'.format(dt_start_tot))
    # input

    # Codice sorgente Alpe Perrot = 269224
    # sorg = '269224'
    # id = '1090'
    sensor_spring = '1'
    sensor_meteo = 'Pluviometro'

    # Per inserire manualmente il periodo da esaminare
    start = input('Data inizio (GG-MM-AAAA): ')
    stop = input('Data fine (GG-MM-AAAA): ')

    # Per tutto il periodo
    # start, stop = '01-01-2010', '01-06-2018'

    # Per anno idrologico
    # start, stop = '11-03-2011', '15-03-2012'
    # start, stop = '15-03-2012', '04-04-2013'
    # start, stop = '04-04-2013', '15-03-2014'
    # start, stop = '15-03-2014', '20-03-2015'
    # start, stop = '20-03-2015', '23-03-2016'
    # start, stop = '23-03-2016', '02-03-2017'
    # start, stop = '02-03-2017', '28-03-2018'

```

```

# connect to db
cur, conn = connect_to_pg()
if conn:
    logger.debug('Connessione al database avvenuta')
# create_table_dataset(cur, conn)
# choose spring
list_springs(cur, conn)
sorg = input('Codice Sorgente (es. 269224): ')
id = input('Codice Sensore (es. 1090): ')
phase_1(cur, conn, start, stop, id, sorg, sensor_spring, sensor_meteo, dt_start_tot)

if __name__ == '__main__':
    main()

```

9.4 Script per V.E.S.P.A.

Per trovare l'indice V.E.S.P.A. è stato pensato e programmato questo script.

```

# Our standard imports:
import numpy as np
import matplotlib as mpl
import matplotlib.pyplot as plt
import matplotlib.lines as mlines
import psycopg2 as pg2
import statistics
# Access to many standard distributions:
import scipy.stats as ss

# Accesso Database
def connect_to_pg():
    params = {
        'host': '123.456.78.910', # 'localhost',
        'port': 1234,
        'database': 'VDA',
        'user': 'user',
        'password': 'password'
    }

    # Connect to an existing database
    conn = pg2.connect(**params)

    # Open a cursor to perform database operations
    cur = conn.cursor()
    return cur, conn

def extract_values(cur, start, stop, sorg):
    parameter = 1
    level_list = []
    cur.execute(
        """SELECT date_time, sample FROM springs.data WHERE id_probe = %s AND id_sensor= %s AND
date_time >= %s AND date_time <= %s ORDER BY date_time""",
        (sorg, parameter, start, stop))
    for x in cur:
        level_list.append(x)

    parameter = 2
    temp_list = []
    cur.execute(

```

```

"""SELECT date_time, sample FROM springs.data WHERE id_probe = %s AND id_sensor= %s AND
date_time >= %s AND date_time <= %s ORDER BY date_time""",
(sorg, parameter, start, stop))
for x in cur:
    temp_list.append(x)

parameter = 4
cond_list = []
cur.execute(
"""SELECT date_time, sample FROM springs.data WHERE id_probe = %s AND id_sensor= %s AND
date_time >= %s AND date_time <= %s ORDER BY date_time""",
(sorg, parameter, start, stop))
for x in cur:
    cond_list.append(x)

return level_list, temp_list, cond_list

```

```

def integrale(A):

```

```

    b=0
    b=np.size(A)
    D=float(0)
    for x in range(0,b-1):
        C=float(A[x]*A[x+1])/2
        D=D+C
    return D

```

```

def Vespa_index(discharge, temp, cond):

```

```

    PC, PP, CC = np.zeros(len(discharge)), np.zeros(len(discharge)), np.zeros(len(discharge))
    q, t, c = np.zeros(len(discharge)), np.zeros(len(discharge)), np.zeros(len(discharge))
    for x in range(len(discharge)):
        if discharge[x][1] == None or cond[x][1] == None:
            PC[x] = 0
        else:
            PC[x] = discharge[x][1] * cond[x][1]
        if discharge[x][1] == None:
            PP[x] = 0
        else:
            PP[x] = discharge[x][1] * discharge[x][1]
        if cond[x][1] == None:
            CC[x] = 0
        else:
            CC[x] = cond[x][1] * cond[x][1]
        q[x] = discharge[x][1]
        t[x] = temp[x][1]
        c[x] = cond[x][1]
    print(PC, PP, CC)
    # Calcolo l'integrale
    num = integrale(PC)
    den_1 = np.sqrt(integrale(PP))
    den_2 = np.sqrt(integrale(CC))
    # Calcolo il Vespa INDEX
    rho = num / (den_1 * den_2)
    if rho > 0:
        c_di_rho = 0.5 * np.abs(rho)
    else:
        c_di_rho = 1 * np.abs(rho)
    beta = (np.nanmax(t) - np.nanmin(t)) * (np.nanmax(t) - np.nanmin(t))
    gamma = np.nanmax(q) - np.nanmin(q)
    gamma = gamma / np.nanmean(q)
    # Indice VESPA
    V = c_di_rho * beta * gamma
    print(V)

```

```

# punteggio VESPA
if V <= 0.1:
    VESPA_punct = 2
    VESPA_punct_text = "Basso"
elif 0.1 < V <= 1:
    VESPA_punct = 1.5
    VESPA_punct_text = "Medio"
elif 1 < V <= 10:
    VESPA_punct = 1
    VESPA_punct_text = "Alto"
elif V > 10:
    VESPA_punct = 0.5
    VESPA_punct_text = "Molto Alto"

print(VESPA_punct, VESPA_punct_text)

file_csv = '/dariofallon/VESPA.csv'

# Per anno idrologico
# start, stop = '11-03-2011', '15-03-2012'
# start, stop = '15-03-2012', '04-04-2013'
# start, stop = '04-04-2013', '15-03-2014'
# start, stop = '15-03-2014', '20-03-2015'
# start, stop = '20-03-2015', '23-03-2016'
# start, stop = '23-03-2016', '02-03-2017'
# start, stop = '02-03-2017', '28-03-2018'

cur, conn = connect_to_pg()
# Codice sorgente Alpe Perrot = 269224
# sorg = '269224'
sorg = input('Codice Sorgente (es. 269224): ')
discharge, temp, cond = extract_values(cur, start, stop, sorg)
Vespa_index(discharge, temp, cond)

```

9.5 Script per cross correlation

Script per determinare la cross correlation.

```

# Our standard imports:
import numpy as np
import matplotlib as mpl
import matplotlib.pyplot as plt
import matplotlib.lines as mlines
import psycopg2 as pg2
import statistics

# Access to many standard distributions:
import scipy.stats as ss

# Accesso Database
def connect_to_pg():
    params = {
        'host': '123.456.78.910', # 'localhost',
        'port': 1234,
        'database': 'VDA',
        'user': 'user',
        'password': 'password'
    }

# Connect to an existing database
conn = pg2.connect(**params)

```

```
# Open a cursor to perform database operations
cur = conn.cursor()
return cur, conn
```

```
def read_csv(file_csv):
    t = []
    c = []
    c_mod = []
    q = []
    q_mod = []
    m_1 = []
    m_2 = []
    m_3 = []
    with open(file_csv, 'r', encoding='utf-8') as csv:
        for item in csv:
            if not item.startswith('Data'):
                t.append(float(item.split(';')[1]))
                c.append(float(item.split(';')[2]))
                c_mod.append(float(item.split(';')[3]))
                q.append(float(item.split(';')[4]))
                q_mod.append(float(item.split(';')[5]))
                m_1.append(float(item.split(';')[6]))
                if len(item.split(';')) > 7:
                    m_2.append(float(item.split(';')[7].split('\n')[0]))
                if len(item.split(';')) > 8:
                    m_3.append(float(item.split(';')[8].split('\n')[0]))
    t = np.asarray(t)
    c = np.asarray(c)
    c_mod = np.asarray(c_mod)
    q = np.asarray(q)
    q_mod = np.asarray(q_mod)
    m_1 = np.asarray(m_1)
    m_2 = np.asarray(m_2)
    m_3 = np.asarray(m_3)
    return t, c, c_mod, q, q_mod, m_1, m_2, m_3
```

```
def autocorr(x, twosided=False, tapered=True):
    nx = len(x)
    xdm = x - x.mean()
    ac = np.correlate(xdm, xdm, mode='full')
    ac /= ac[nx - 1]
    lags = np.arange(-nx + 1, nx)
    if not tapered:
        taper = 1 - np.abs(lags) / float(nx)
        ac /= taper
    if twosided:
        return lags, ac
    else:
        return lags[nx - 1:], ac[nx - 1:]
```

```
def mean_sem_edof(y, truncated=True, tapered_cor=True):
    ym = y.mean()
    n = len(y)
    lags, ac = autocorr(y, twosided=True, tapered=tapered_cor)
    taper = 1 - np.abs(lags) / n
    if truncated:
        i1 = np.nonzero(np.logical_and(lags >= 0, ac < 0))[0].min()
        i0 = 2 * n - i1 - 1
        sl = slice(i0, i1)
    else:
        sl = slice(None)
```

```

edof = n / np.sum(taper[sI] * ac[sI])
with np.errstate(invalid='ignore'):
    sem = y.std() / np.sqrt(edof)
return ym, sem, edof

```

```

def correlation(x):
    nx = len(x)
    t = np.arange(nx)
    x = np.random.randn(nx)
    xc = np.convolve(x, np.ones(5) / 5.0, mode='same')

    fig, (ax0, ax1) = plt.subplots(2)
    fig.subplots_adjust(hspace=0.4)
    ax0.plot(t, x, 'b', t, xc, 'r')
    ax0.set_xlabel('time')
    ax0.set_ylabel('spring discharge')

    lags, auto_x = autocorr(x)
    lags, auto_xc = autocorr(xc)
    ax1.plot(lags, auto_x, 'b', lags, auto_xc, 'r')
    ax1.set_xlabel('lag')
    ax1.set_ylabel('correlation')
    plt.show()

    for ax in (ax0, ax1):
        ax.locator_params(axis='y', nbins=4)
    for truncated in (True, False):
        print("Integrating over central peak? ", truncated)
        for tapered_cor in (True, False):
            print(" Tapered correlation estimate? ", tapered_cor)
            print(" x: %7.3f %7.3f %9.1f " %
                  mean_sem_edof(x, truncated=truncated, tapered_cor=tapered_cor))
            print(" xc: %7.3f %7.3f %9.1f " %
                  mean_sem_edof(xc, truncated=truncated, tapered_cor=tapered_cor))
            print("")

```

```

def cc(y1, y2):
    npts = len(y1)
    x = np.linspace(0, 50, npts)

    lags = np.arange(-npts + 1, npts)
    ccov = np.correlate(y1 - y1.mean(), y2 - y2.mean(), mode='full')
    ccor = ccov / (npts * y1.std() * y2.std())
    # confidence limit
    LC_1 = (1 + 1.19 * np.sqrt(len(q) + 2 - 2)) / (len(q) + 2 - 2)
    LC_2 = (1 - 1.19 * np.sqrt(len(q) + 2 - 2)) / (len(q) + 2 - 2)
    maxlag = lags[np.argmax(ccor)]

    fig, axs = plt.subplots(nrows=2, figsize=(18,14), dpi=300)
    fig.subplots_adjust(hspace=0.4)
    ax = axs[0]
    ax.plot(x, y1, 'b', label='discharge [mc]')
    ax2 = ax.twinx()
    ax2.set_frame_on(True)
    ax2.patch.set_visible(False)
    for sp in ax2.spines.values():
        sp.set_visible(False)

    ax2.spines['right'].set_visible(True)
    ax2.bar(x, y2, color='r', label='rainfall [mm]')
    ax2.set_ylim(0, 100)
    ax.set_ylabel('discharge [mc]', color='blue', fontsize=20)

```

```

ax2.set_ylabel('rainfall [mm]', color= 'red', fontsize=20)

ax = axs[1]
ax.plot(lags, ccor)
ax.set_ylim(-0.5, 0.5)
ax.set_xlim(0, npts)
l1 = mlines.Line2D([0, npts], [LC_1, LC_1*1.2], color='green', ls=':')
l2 = mlines.Line2D([0, npts], [LC_2, LC_2*1.2], color='green', ls=':')
ax.add_line(l1)
ax.add_line(l2)
ax.set_ylabel('cross-correlation', fontsize=20)
ax.set_xlabel("max correlation is at lag %d" % maxlag, fontsize=20)
plt.show()

print("max correlation is at lag %d" % maxlag)

def extract_values(cur, start, stop, sorg, station, parameter, sensor):
    probe_list = []
    cur.execute(
        """SELECT date_time, sample FROM springs.data WHERE id_probe = %s AND id_sensor= %s AND
date_time >= %s AND date_time <= %s ORDER BY date_time""",
        (sorg, parameter, start, stop))
    for x in cur:
        probe_list.append(x)
    meteo_list = []
    cur.execute(
        """SELECT date, value FROM meteo.data_2019 WHERE id = %s AND sensor= %s AND date >= %s
AND date <= %s ORDER BY date""",
        (station, sensor, start, stop))
    for x in cur:
        meteo_list.append(x)
    return probe_list, meteo_list

def calculate_date_value(values_list, param):
    mean_day = calculate_daily_mean(values_list, param)
    date_day = []
    sample_day = []
    for y in range(0, len(mean_day)):
        date_day.append(mean_day[y][0])
        sample_day.append(mean_day[y][1])
    return date_day, sample_day

def calculate_daily_mean(values, param = 'mean'):
    value = []
    mean_day = []
    if values[0][1] != None:
        value.append(float(values[0][1]))
    for x in range(1, len(values)):
        if values[x - 1][0].date() == values[x][0].date():
            if values[x][1] != None:
                value.append(float(values[x][1]))
        else:
            if value == []:
                mean_value = None
            else:
                if param == 'mean':
                    mean_value = round(sum(value*3600), 3)
                    print(mean_value)
                    mean_value = (1.77286 * 80 / 100 * pow(np.amax(mean_value), 1.5))/1000
                    print(mean_value)
                elif param == 'sum':
                    mean_value = round(sum(value), 3)
            mean_day.append([values[x - 1][0], mean_value])
            value = []

```

```

        if values[x][1] != None:
            value.append(float(values[x][1]))
    return mean_day

def correlation_coefficient(q, m_1):
    ntrials = len(q) * 2
    npts = len(q)

    np.random.seed(1234)
    y = np.random.rand(ntrials, npts)
    ccoef = np.corrcoef(y)
    print('The shape of y is %s, the shape of ccoef is %s.'
          % (y.shape, ccoef.shape))

    # we want all of the values except for the diagonal
    di = np.diag_indices(ntrials)
    ccoef = np.ma.asarray(ccoef)
    ccoef[di] = np.ma.masked
    ccoef_flat = ccoef.compressed()

    fig, ax = plt.subplots()
    ax.hist(ccoef_flat, bins=np.arange(-0.500, 0.5001, 0.01),
            density=True)
    ax.grid(True)
    ax.set_ylabel('PDF', fontsize=20)
    ax.set_xlabel('Correlation coefficient', fontsize=20)
    ax.set_title('Uniform distribution, %d points' % npts, fontsize=20)
    plt.show()
    cc1 = np.correlate(q - q.mean(), m_1 - m_1.mean())[0]
    cc1 /= (len(q) * q.std() * m_1.std())

    cc2 = np.corrcoef(q, m_1)[0, 1]

    print(cc1, cc2)

    nx = len(q)

    lags = np.arange(-nx + 1, nx)

    # Remove sample mean.
    xdm = q - q.mean()

    autocorr_xdm = np.correlate(xdm, xdm, mode='full')
    # Normalize by the zero-lag value:
    autocorr_xdm /= autocorr_xdm[nx - 1]

    fig, ax = plt.subplots()
    ax.plot(lags, autocorr_xdm, 'r')
    ax.set_xlabel('lag')
    ax.set_ylabel('correlation coefficient')
    ax.grid(True)
    plt.show()

file_csv = '/dariatallon/cross.csv'

# start, stop = '15-06-2012', '04-04-2013'

# Per anno idrologico
# start, stop = '11-03-2011', '15-03-2012'
# start, stop = '15-03-2012', '04-04-2013'
# start, stop = '04-04-2013', '15-03-2014'
# start, stop = '15-03-2014', '20-03-2015'
# start, stop = '20-03-2015', '23-03-2016'
# start, stop = '23-03-2016', '02-03-2017'

```

```

# start, stop = '02-03-2017', '28-03-2018'

cur, conn = connect_to_pg()
# Codice sorgente Alpe Perrot = 269224
sorg = '269224'
station = '1090'
parameter = '1'
sensor = 'Pluviometro'
discharge, pluvio = extract_values(cur, start, stop, sorg, station, parameter, sensor)
date_day, sample_day_pluvio = calculate_date_value(pluvio, 'sum')
date_day, sample_day_discharge = calculate_date_value(discharge, 'mean')
for x in range(len(sample_day_pluvio)):
    if np.isnan(sample_day_pluvio[x]):
        sample_day_pluvio[x] = 0
print(sample_day_pluvio)
q = np.asarray(sample_day_discharge)
m_1 = np.asarray(sample_day_pluvio)
# t, c, c_mod, q, q_mod, m_1, m_2, m_3 = read_csv(file_csv)
# print(spring, meteo)
correlation_coefficient(q, m_1)
correlation(q)
cc(q, m_1)

```

10. Bibliografia

- M. Civita; 2005. *Idrogeologia Applicata e Ambientale*. CEA, Milano.
- M. Civita; 1988. *Una metodologia per la definizione ed il dimensionamento delle aree di salvaguardia delle opere di presa delle sorgenti normali*. Boll. ASS. Min. Subalpina,
- M. De Maio, E. Suozzi, R. Ghione, G. Amanzio, S. Crepaldi; 2012. *Linee guida per la gestione delle sorgenti in aree montane*.
- E. Suozzi; 2012. *Analisi dei dati derivanti da una stazione meteorologica sperimentale al fine di quantificare e proteggere la risorsa idrica nei bacini montani*, Tesi di Dottorato in Ambiente e Territorio – Politecnico di Torino
- L. Galleani, B. Vigna, C. Banzato, S. Lo Russo; 2011. *Validation of a Vulnerability Estimator for Spring Protection Areas: The VESPA index*, *Journal of Hydrology*, Elsevier, pp. 13, 2011, Vol. 396, pp 233 a 245.
- F. Fiorillo, A. Doglioni; 2010. *The relation between karst spring discharge and rainfall by the cross-correlation analysis*. *Hydrogeol J* 18:1881–1895.
- N. Kresic, Z. Stevanovic; 2010. *Groundwater hydrology of spring: engineering, theory, management, and sustainability*. Elsevier, Amsterdam.
- Ministero dell’Ambiente e della tutela del territorio e del mare; 2014. *Rapporto sullo stato delle conoscenze scientifiche su impatti, vulnerabilità ed adattamento ai cambiamenti climatici in Italia*.
- M. Beniston; 2012. *Impacts of climatic change on water and associated economic activities in the Swiss Alps*. *Journal of Hydrology* 412, 291-296.
- A. Gobiet, S. Kotlarski, M. Beniston, G. Heinrich, J. Rajczak, M. Stoffel; 2013. *21st century climate change in the European Alps - A review*. *The Science of the Total Environment*, DOI: 10.1016/j.scitotenv.2013.07.050.
- M. Brunetti, M. Maugeri, F. Monti, T. Nanni; 2006. *Temperature and precipitation variability in Italy in the last two centuries from homogenized instrumental time series*, *Int. J. Climatol.*, 26, 345-381. doi: 10.1002/joc.1251.
- T. Nanni, M. Maugeri, M. Brunetti; 2009. *La variabilità e le tendenze del clima in Italia nel corso degli ultimi secoli*. In: *I cambiamenti climatici in Italia: evidenze, vulnerabilità e impatti*, a cura di Castellari S. e Artale V., Centro Euro-Mediterraneo per i Cambiamenti Climatici, Bononia University Press, ISBN: 978-88-7395-484-2, 11-45.
- EEA (European Environmental Agency) Report No 12/2012, *Climate change, impacts and vulnerability in Europe 2012, An indicator-based report*, ISSN 1725-9177. doi:10.2800/66071.
- ISPRA; 2013. *Rapporto annuale Gli indicatori del clima in Italia nel 2012 – Anno VIII*, Serie Stato dell’Ambiente 36/2013, ISBN: 978-88-448-0598-2.
- F. Desiato, G. Fioravanti, P. Frascchetti, W. Perconti, E. Piervitali; 2012. *Elaborazione delle serie temporali per la stima delle tendenze climatiche*, Rapporto ISPRA Serie Stato dell’Ambiente n. 32/2012.

- M. R. Haylock, N. Hofstra, A. M. G. Klein Tank, E. J. Klok, P. D. Jones, M. New; 2008. A European daily high- resolution gridded data set of surface temperature and precipitation for 1950–2006, *Journal of Geophysical Research*, 113 (D20). doi: 10.1029/2008JD010201.
- C. Cambi, W. Dragoni; 2000. Groundwater yield, climatic changes and recharge variability: consideration arising from the modelling of a spring in the Umbria-Marche Apennines. *Hydrogéologie*, 4, 11 – 25. BRGM, Orléans Cedex, France.
- C. Cambi, W. Dragoni, D. Valigi; 2003. Water management in low permeability catchments and in times of climatic change: the case of the Nestore River (western central Italy). *Physics and Chemistry of the Earth*, 28,4-5, 201-208.
- L. Di Matteo, W. Dragoni; 2006. Climate Change and Water Resources in Limestone and Mountain Areas: the case of Firenzuola Lake (Umbria, Italy). In: *Proceedings of the 8th Conference on Limestone Hydrogeology 2006*, Neuchâtel, Switzerland, 6.. Presses universitaires de Franche-Comté, Université de Franche-Comté, France.
- F. Fiorillo, F. M. Guadagno; 2010. Karst spring discharge analysis in relation to drought periods, using the SPI. *Water. Resour. Manag.*, 24, 1867-1884. Springer Science+Business Media B.V., Dordrecht, Netherlands

11. Sitografia

- www.esri.com
- www.esriitalia.it
- www.storymaps.arcgis.com
- www.poli.maps.arcgis.com
- www.python.org
- www.python.it
- www.jetbrains.com
- www.matplotlib.org
- www.postgresql.org
- www.gazzettaufficiale.it
- www.regione.vda.it
- www.arpa.vda.it
- www.arcis.it
- www.lifegate.it
- www.wwf.it
- www.reteclima.it
- www.progettostrada.net
- www.ott.com