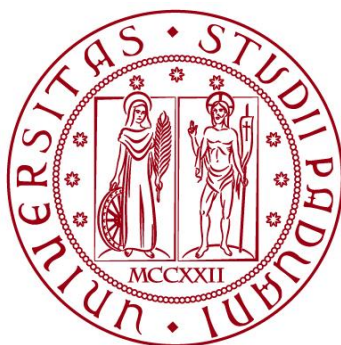


UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, EDILE, E
AMBIENTALE

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



TESI DI LAUREA

IMPATTO DEI CAMBIAMENTI
CLIMATICI SULLA RISORSA IDRICA
NEL NORD ITALIA: STATO DELL'ARTE
E SCENARI FUTURI

Relatore: PROF. SALVATORE PAPPALARDO

Laureando: DAVID ZIVIANI

ANNO ACCADEMICO 2022-2023

Abstract

I cambiamenti climatici rappresentano una delle sfide più significative e urgenti che l'umanità sta affrontando nel XXI secolo. Le economie, gli ecosistemi e le comunità locali sono sempre più influenzati da queste trasformazioni e, tra le risorse naturali più sensibili agli impatti dei cambiamenti climatici, la gestione della risorsa idrica ricopre un ruolo centrale, dove la disponibilità di acqua è cruciale per la vita umana, l'agricoltura, l'industria e la produzione di energia.

La presente tesi si propone di indagare l'impatto dei cambiamenti climatici sulla gestione della risorsa idrica nel Nord Italia, analizzando il contesto attuale, i dati climatici recenti e i modelli previsionali futuri. L'obiettivo principale è fornire una visione chiara e approfondita delle sfide che il cambiamento climatico presenta per la regione del Nord Italia, con un focus particolare sulle strategie di gestione idrica e gli adattamenti necessari per affrontare questo problema crescente.

INDICE

1. Introduzione	1
2. Indagine bibliografica	3
2.1. Concetti chiave sulla risorsa idrica	3
2.1.1. Water Footprint.....	3
2.1.2. Gestione sostenibile della risorsa idrica.....	4
2.2. Il Nord Italia come area di interesse	5
3. Metodologie	7
4. Cambiamenti climatici	9
4.1. Il ritiro dei ghiacciai, il caso dell’Adamello e della Marmolada	9
4.2. Anomalie nei regimi di precipitazione	12
4.2.1. Le Precipitazioni.....	13
4.2.2. L’indice SP.....	15
4.2.3. L’Acqua nel terreno.....	17
4.2.4. Il grado di siccità nel Po.....	18
4.3. La siccità nella Pianura Padana: il Po	19
4.3.1. Le Precipitazioni.....	23
4.3.2. I cambiamenti nel regime nevoso.....	23
4.3.3. L’evaporazione.....	24
4.3.4. I prelievi idrici.....	25
5. Scenari futuri	27
6. Approcci e strategie	29
6.1. Attuali politiche	29
6.2. Strategie da adottare	29
6.2.1. Ruolo delle Istituzioni.....	30
6.2.2. Risparmi d’acqua ed efficienza idrica.....	30
6.2.3. Il sistema agroalimentare.....	30
6.2.4. Regolamentazioni politiche e Ripristino ambientale.....	31
6.3. Best practices da altri Paesi	32
7. Conclusioni	35
8. Bibliografia	37

1. Introduzione

Nel corso degli ultimi decenni, il tema dei cambiamenti climatici è emerso come uno dei problemi più urgenti e complessi che l'umanità debba affrontare. L'aumento delle temperature globali, l'innalzamento del livello del mare e l'alterazione dei regimi meteorologici sono solo alcune delle molteplici manifestazioni di questo fenomeno globale che minaccia la stabilità dell'ecosistema terrestre e il benessere delle società umane.

Nel contesto italiano, in particolare nel Nord Italia, i cambiamenti climatici rappresentano ormai una minaccia concreta e, come vedremo, in continuo aumento. Le evidenze scientifiche indicano un aumento della temperatura media e un'alterazione dei modelli climatici che hanno conseguenze significative sull'ambiente e sulle risorse naturali. Tra le varie risorse, l'acqua riveste un ruolo vitale e di primaria importanza in quanto è fondamentale per la vita umana, l'agricoltura, l'industria e la gestione degli ecosistemi.

Il seguente elaborato si propone di esplorare gli impatti dei cambiamenti climatici sulla risorsa idrica nel Nord Italia. Il cambiamento climatico, minaccia di sconvolgere l'equilibrio dei sistemi idrici, con conseguenze disastrose: diminuzione di riserve di acqua dolce, aumento di eventi meteorologici estremi come piogge torrenziali o siccità prolungate, l'innalzamento del livello del mare che minaccia le aree costiere e l'alterazione degli ecosistemi acquatici.

Questo studio mira ad analizzare in modo approfondito questi impatti, con l'obiettivo di contribuire alla comprensione delle sfide legate ai cambiamenti climatici e alla gestione sostenibile delle risorse idriche nel Nord Italia.

Verrà considerato il contributo del ritiro dei ghiacciai, che, come vedremo è in costante espansione, tramite l'utilizzo di dati ricavati da studi scientifici eseguiti nel territorio di interesse.

Successivamente verranno considerate le anomalie nei regimi di precipitazioni, che influenzano lo stato di siccità di una regione. Verranno utilizzate ricerche e analisi sugli indici più rappresentativi in modo da ottenere risultati affidabili sugli ultimi anni idrologici nel Nord Italia. Verrà

poi esaminato il bacino più importante nella regione di studio, ossia il Bacino del fiume Po. Negli ultimi anni il corso d'acqua più lungo d'Italia ha raggiunto livelli critici, riducendo la disponibilità d'acqua per diversi settori. Verranno condotte delle analisi sulla portata allo sbocco del bacino per capire il flusso fluviale medio osservato negli anni e come vedremo, i risultati sono allarmanti. Verranno quindi ricercate le cause di questa siccità idrologica legata al bacino del Po.

Verranno proposti alcuni scenari futuri legati ai cambiamenti climatici per poi cercare di individuare alcune strategie per adattarsi a questi cambiamenti o almeno, per mitigarne gli effetti.

2. Indagine bibliografica

2.1. Concetti chiave sulla risorsa idrica

Per comprendere il contesto della gestione della risorsa idrica è opportuno anzitutto definire alcuni concetti chiave.

2.1.1. *Water Footprint*

Il concetto di *water footprint* (o impronta idrica) fornisce una valutazione sull'uso dell'acqua.

Il Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica definisce l'“impronta idrica” come un indicatore del consumo di acqua dolce, che include sia l'uso diretto che indiretto di acqua da parte di un consumatore o di un produttore. L'impronta idrica di un singolo, una comunità o di un'azienda, è calcolata come il volume totale di acqua dolce utilizzata per produrre beni e servizi, misurata in termini di volumi d'acqua consumati. [1]

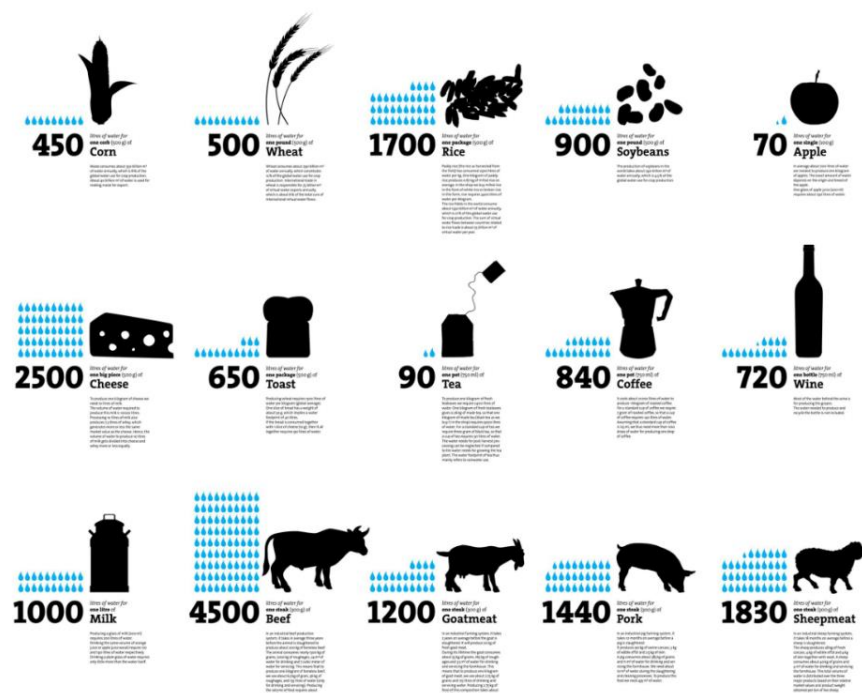


Figura 1: *Water Footprint* per la produzione di alcuni prodotti

Fonte: urban ecosystem, <https://ecosistemaurbano.org/english/the-water-footprint-every-drop-counts/> [2]

Per avere un'idea più chiara, nella figura 1 viene rappresentato l'uso dell'acqua per la produzione di certi beni.

L'uso dell'acqua è indispensabile per la nascita di alcuni beni, basti pensare che solo per la produzione di 500 grammi di riso servono 1700 litri di acqua. La produzione di semi di soia nel mondo prende parte a 290 bilioni di metri cubi di acqua all'anno, a cui corrisponde il 4-5 % dell'uso globale dell'acqua nel il settore agricolo.

Il computo totale della water footprint è dato dalla somma di tre componenti:

- acqua blu: composta da acque superficiali e sotterranee destinate ad un utilizzo per scopi agricoli, domestici e industriali;
- acqua verde: è il volume d'acqua piovana che non contribuisce al ruscellamento superficiale e si riferisce principalmente all'acqua evapo-traspirata per un utilizzo agricolo;
- acqua grigia: rappresenta il volume di acqua inquinata, quantificata come il volume di acqua necessario per diluire gli inquinanti al punto che la qualità delle acque torni sopra gli standard di qualità.

2.1.2. Gestione della risorsa idrica

Per garantire il fabbisogno di acqua in tutti i settori è di fondamentale importanza una gestione sostenibile della risorsa idrica

L'Istituto di Ricerca sulle Acque (CNR-IRSA), definisce come Gestione Sostenibile delle Risorse Idriche (SWRM) un processo che promuove l'utilizzo responsabile dell'acqua e la conservazione delle risorse ambientali ad essa correlate, al fine di raggiungere e sostenere il benessere economico e sociale, senza compromettere la sostenibilità nel tempo degli ecosistemi dipendenti dal ciclo dell'acqua. [3]

La gestione della risorsa idrica deve adattarsi a diversi fattori:

- crescente domanda, dovuta alla crescita della popolazione, allo sviluppo economico e all'urbanizzazione;
- sovrasfruttamento delle risorse;

- inquinamento idrico;

In un contesto di “stress idrico” si aggiunge anche l’impatto locale dei cambiamenti climatici.

I cambiamenti climatici hanno un impatto rilevante sulla disponibilità, qualità e la gestione della risorsa idrica in tutto il mondo.

In questo elaborato si andranno ad analizzare gli impatti che provocano in particolare il ritiro dei ghiacciai, le variazioni nei regimi di precipitazioni nel territorio di studio e le informazioni che fornisce il bacino del fiume Po, tramite dati statistici e grafici archiviati nei decenni precedenti.

2.2. Il Nord Italia come area d’interesse

Il Nord Italia sta subendo le pressioni della siccità; secondo il Joint Research Centre della Commissione Europea, nell’inverno del 2022/2023, la neve misurata sulle Alpi è stata il 30% in meno rispetto all’anno precedente, in cui alla fine di febbraio, era già presente un deficit del 67%. La scarsità di risorsa colpisce tutto l’arco alpino. [4]

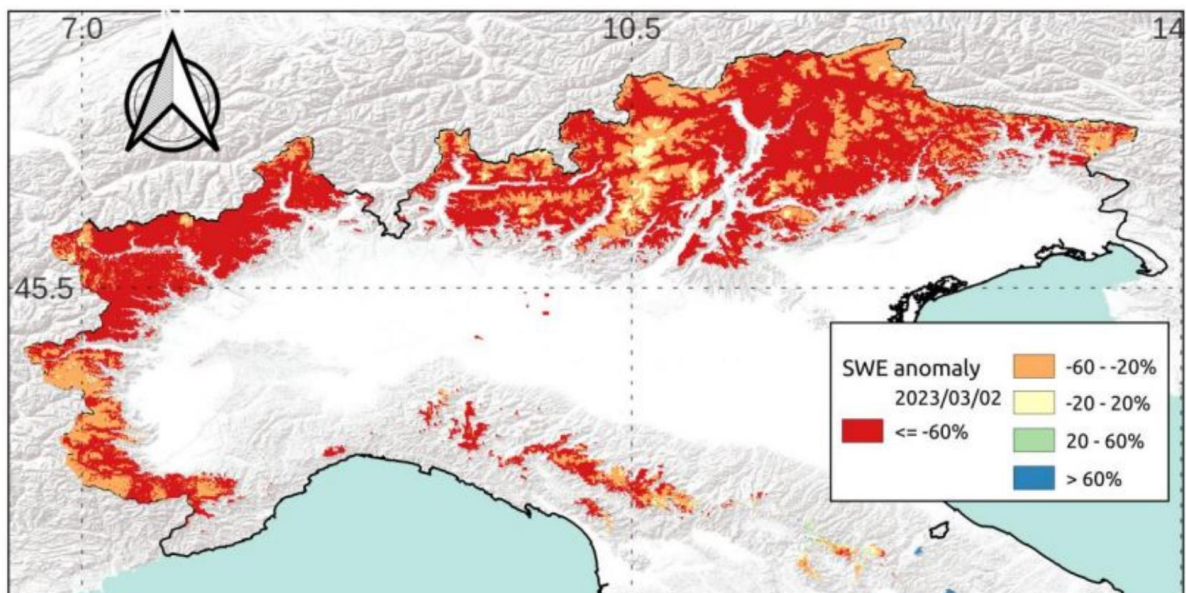


Figura 2: deficit in termini di stima di contenuti di neve

Fonte: Global Drought Observatory,
<https://edo.jrc.ec.europa.eu/gdo/php/index.php?id=2001>

L'osservatorio Anbi sulle Risorse Idriche segnala come la fusione della poca neve sui rilievi stia comunque, provocando un innalzamento dei livelli dei grandi bacini naturali del Nord Italia, ad eccezione del più grande: il lago di Garda, il cui riempimento non riesce a superare il 40%, continuando a sfiorare il minimo storico. [5]

Parallelamente all'aumento delle temperature, c'è una carenza di precipitazioni molto estesa nel tempo che provoca lunghi periodi di siccità.

“Si conferma l'impossibilità di un autonomo riequilibrio del sistema idrico. – dichiara Francesco Vincenzi, presidente dell'Associazione che riunisce i Consorzi di Bonifica Italiani – Gli esperti parlano della necessità di 50 giorni consecutivi di pioggia, evenienza certo da non augurarsi per un territorio idrogeologicamente fragile come quello italiano”. Per questo, è evidente la necessità di realizzare infrastrutture capaci di trattenere le acque di pioggia, creando riserve e rimpinguando contestualmente le falde. [6]

3. Metodologia e obiettivi

L'elaborato è basato sull'analisi di dati presenti in letteratura scientifica utilizzando grafici e studi statistici e considerando un tempo scala sufficientemente rappresentativo per la ricerca in oggetto. La zona di interesse è il Nord Italia, includendo le seguenti regioni: Liguria, Lombardia, Piemonte, Valle d'Aosta, Emilia-Romagna, Friuli-Venezia Giulia, Trentino-Alto-Adige, Veneto.



Figura 3: territorio di studio

Fonte: <https://www.visceglia.it/2396-thickbox/italia-amministrativa-nord.jpg>

Gli obiettivi della ricerca sono quelli di offrire una visione generale dei cambiamenti climatici che stanno influenzando la gestione della risorsa idrica nel Nord Italia, attraverso l'analisi di dati climatici. Si cercheranno di capire le cause della crisi idrologica misurata negli ultimi anni, considerando diversi

fattori. Verranno infine considerate delle strategie di adattamento per cercare di arginare e mitigare questo problema crescente. Ora che sono state definiti i territori d'interesse, le metodologie e gli obiettivi proseguiamo con un'analisi approfondita dei cambiamenti climatici considerati.

4. Cambiamenti climatici

Come detto in precedenza, verranno assunti come argomento di studio il ritiro dei ghiacciai, le variazioni nei regimi di precipitazione nel Nord Italia e i dati che inerenti al bacino del fiume Po.

4.1. Il ritiro dei ghiacciai

Dalla fine della Piccola età glaciale (datata 1850), nelle Alpi si è assistito ad un generale ritiro dei ghiacciai. Secondo l'Istituto sulla Ricerca per la Protezione Idrologica (IRPI), si è stimato che dal 1850 ad oggi le aree glaciali nelle Alpi si siano ridotte di circa la metà. [7]

Gli ambienti montani di alta quota (sopra i 2500 metri m.s.l.m.) hanno dimostrato di reagire in modo particolarmente rapido ai cambiamenti climatici, con segnali evidenti. Data la loro sensibilità alle variazioni climatiche, i ghiacciai sono considerati tra i migliori indicatori terrestri del cambiamento climatico [7].

I ghiacciai sono importanti regolatori del ciclo stagionale dell'acqua, fornendo acqua di disgelo durante le stagioni secche in molte regioni del mondo. Il ritiro dei ghiacciai porta spesso alla destabilizzazione dei pendii montuosi e alla formazione di laghi di acqua di disgelo arginati in modo instabile, aumentando il rischio di frane e inondazioni catastrofiche.

In un articolo pubblicato da PNAS (Proceedings of the National Academy of Science), si evince che ciò non riguarda solo il territorio alpino; a livello globale, la letteratura scientifica evidenzia che l'attuale perdita di volume dei ghiacciai è parte di un processo continuo iniziato nel XIX secolo. [8]

Il clima è diventato più caldo e i ghiacciai hanno continuato a perdere volume in risposta a questo cambiamento. Tuttavia, il tasso di perdita ha registrato un'accelerazione recentemente; ciò suggerisce che non si tratti semplicemente di un semplice aggiustamento alla fine di una "anomala" piccola era glaciale:

Dal grafico seguente, si può evincere come si sia misurato un decremento generale di alcuni dei ghiacciai nel nostro Pianeta.

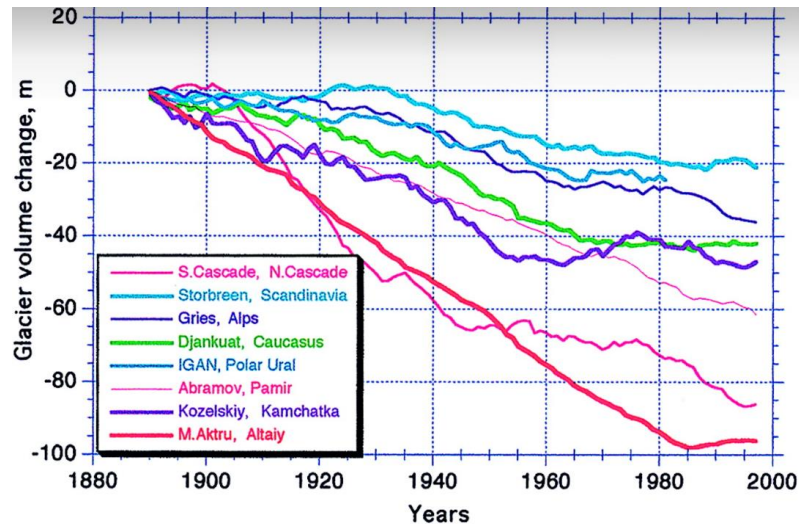


Figura 4: tasso di perdita volumetrica dei ghiacciai nel mondo (PNAS)

Fonte: <https://www.pnas.org/doi/10.1073/pnas.97.4.1406#sec-2> [8]

Agli inizi degli anni 2000 tutti i ghiacciai osservati hanno evidenziato un decremento in termini volumetrici, anche quelli dell'arco alpino.

In uno studio pubblicato dalla rivista *Theoretical and Applied Climatology*, sono state confrontate le temperature e le precipitazioni giornaliere misurate da otto stazioni meteorologiche, dal 1950 al 2012, con i dati di area, quota minima e massima di 96 ghiacciai in Piemonte centro occidentale. Dei 96 ghiacciai presenti ne sono rimasti 59 nel 1957 (-38%), 49 nel 1893 e solo 40 nel 2006 (-58%). L'area glaciale totale, stimata in 48.5 km² alla fine della Piccola Età Glaciale, ricopre ora una superficie di appena 10.1 km². [9]

Tuttavia, il segnale climatico più importante individuato è stato l'aumento delle temperature minime primaverili ed estive, osservato a partire dalla quota di 1850 metri m.s.l.m., con valori compresi tra +0.12°C/anno e +0.20°C/anno [9].

Queste analisi ci permettono di ipotizzare scenari futuri con un ulteriore regresso delle fronti glaciali nel settore alpino. È un segnale inequivocabile del declino della preziosa risorsa glaciale custodita dalle Alpi.

Di seguito vengono analizzati due dei ghiacciai principali dell'arco alpino: l'Adamello e la Marmolada.

L'Adamello



Figura 5: ritiro del ghiacciaio Adamello

Fonte:

<https://www.meteotrentinoaltoadige.it/forum/index.php?topic=1972.0>

Un esempio tra tutti lo è il ghiacciaio dell'Adamello, situato nella quasi totalità in Lombardia, in alta Val Camonica. Si distende con poca inclinazione tra una quota massima di 3530 m s.l.m. ed una quota minima di 2550 metri m.s.l.m. Il Parco Naturale Adamello Brenta comprende oggi la maggior superficie glaciale del Trentino, contando 41 ghiacciai sul proprio territorio. Nel Gruppo di Brenta ci sono 17 piccoli ghiacciai. Rispetto a quarant'anni fa sono scomparse varie lingue glaciali e la superficie complessiva dei ghiacci è diminuita di almeno un terzo. Il ghiacciaio dell'Adamello, il più grande ghiacciaio italiano (quindici chilometri quadrati di superficie), scomparirà del tutto entro la fine del secolo, ma per buona parte entro i prossimi due decenni, per effetto del riscaldamento globale. [10]

La Marmolada

La Marmolada rappresenta l'unico ghiacciaio delle Dolomiti, è situata tra le province di Belluno, nel Veneto, e di Trento, in Trentino-Alto-Adige. Secondo un articolo pubblicato da Focus, la superficie della Marmolada si è dimezzata in meno di 25 anni e si è ridotta del 75% rispetto al 1900. L'aumento della temperatura minima di 1,5 °C negli ultimi 35 anni di osservazione è la causa principale del ritiro del ghiacciaio. L'evento più recente che ha interessato il ghiacciaio è stato il crollo di una parte residuale del ghiacciaio centrale, il 3 luglio 2022. Il giorno della tragedia si è registrata

una temperatura massima di 12.7 °C, a 3343 metri m.s.l.m.. Secondo gli esperti è improbabile che il ghiacciaio possa conservarsi oltre il 2060. [11]

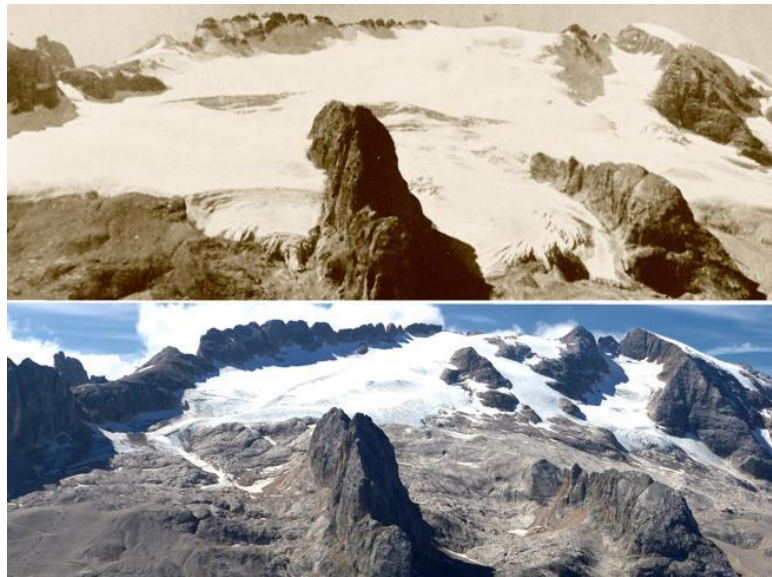


Figura 6: ritiro del Ghiacciaio della Marmolada

Fonte: https://www.corriere.it/cronache/22_giugno_19/marmolada-volo-ghiacciaio-che-sta-sparendo-la-neve-si-ritira-6-metri-l-anno-a030f54a-efc-11ec-8f59-93717c23f0aa.shtml,
Giovanni Baccolo, 2010 prima fotografia, 2023 seconda fotografia

4.2. Anomalie nei regimi di precipitazione

Una grave siccità ha colpito il Nord Italia e in particolare il bacino del fiume Po. Le condizioni sono legate ad una persistente mancanza di precipitazioni dal dicembre 2021 e il grave deficit di precipitazioni sta incidendo sulle risorse idriche. La siccità, inoltre, sta già avendo un impatto sul volume d'acqua immagazzinato per la produzione di energia nel sistema idroelettrico italiano. In questo paragrafo si andranno ad analizzare le altezze di precipitazione, il deficit d'intensità e durata di precipitazione rispetto alla media e la presenza di acqua nel terreno del Nord Italia. È stato scelto come periodo di studio il 2021/2022, fase in cui si registrò una grave siccità nel suolo norditaliano. Gli studi verranno condotti inizialmente considerando la regione piemontese in quanto sufficientemente rappresentativa.

4.2.1. Le Precipitazioni

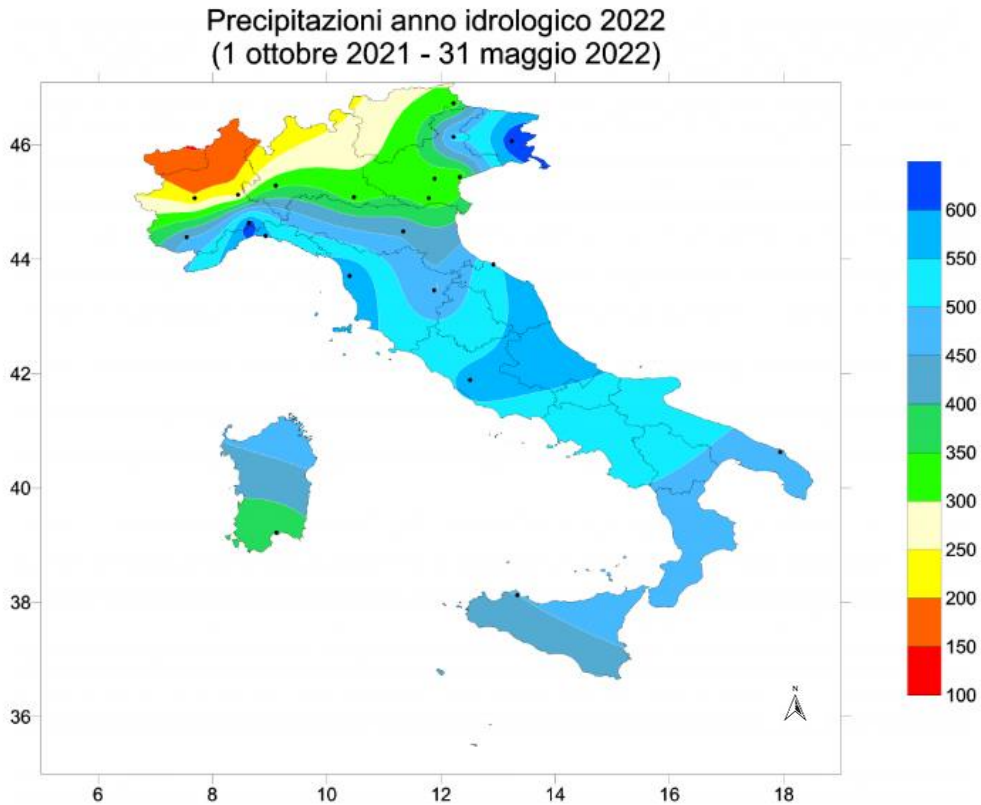


Figura 7: precipitazioni nell'anno idrologico 2022 (1° ottobre 2021-31° maggio 2022)

Fonte: <http://www.climatemonitor.it/?p=57121>

Si riesce intuitivamente a capire che la zona più colpita dall'assenza di precipitazioni tra il 1° ottobre 2021 e il 31° maggio 2022 è il Nord Italia. Le precipitazioni mensili totali sono il fattore principale per comprendere e caratterizzare la siccità. Le condizioni climatiche della regione analizzata sono caratterizzate da due principali condizioni umide: in tarda primavera e in autunno. [12]

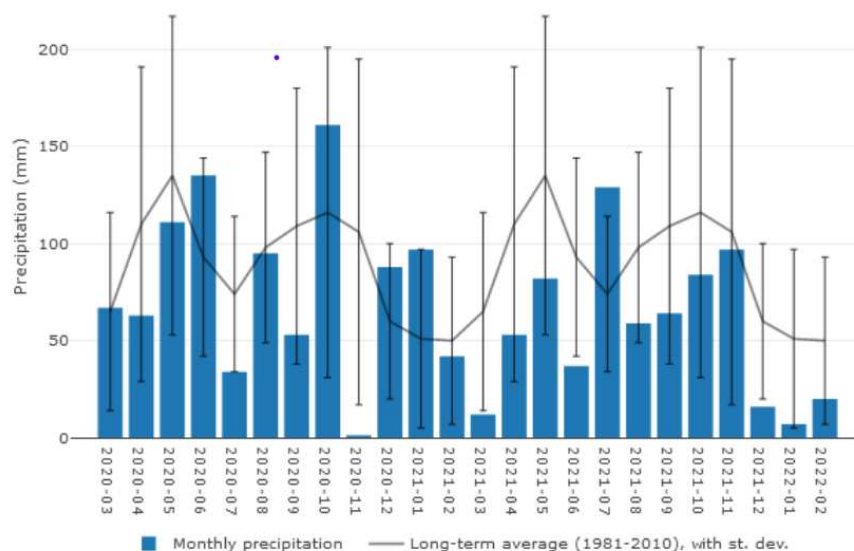


Figura 8: totale mensile delle precipitazioni da marzo 2020 a febbraio 2022

Fonte: https://edo.jrc.ec.europa.eu/documents/news/GDO-EDODroughtNews202203_Northern_Italy.pdf [13]

Nel periodo dicembre 2021-febbraio 2022, in Piemonte, non è stata registrata quasi nessuna precipitazione, contro un valore atteso di 160 mm. È stato registrato, un deficit cumulativo di precipitazioni in rapido aumento. [13]

Come previsto, si evince dal grafico che i mesi più piovosi sono quelli primaverili e autunnali, infatti, vengono registrate le maggiori altezze di precipitazione.

Sempre nel Piemonte sono state registrate delle anomalie nel periodo 1991-2020: l'ARPA Lombardia ha stimato una crescita della temperatura di +2.1°C e un deficit di precipitazione del 65%: [14]

**Winter temperature and precipitation
Piedmont and Lombardy (IT) and Ticino (CH)**
anomaly with respect to 1991-2020 baseline

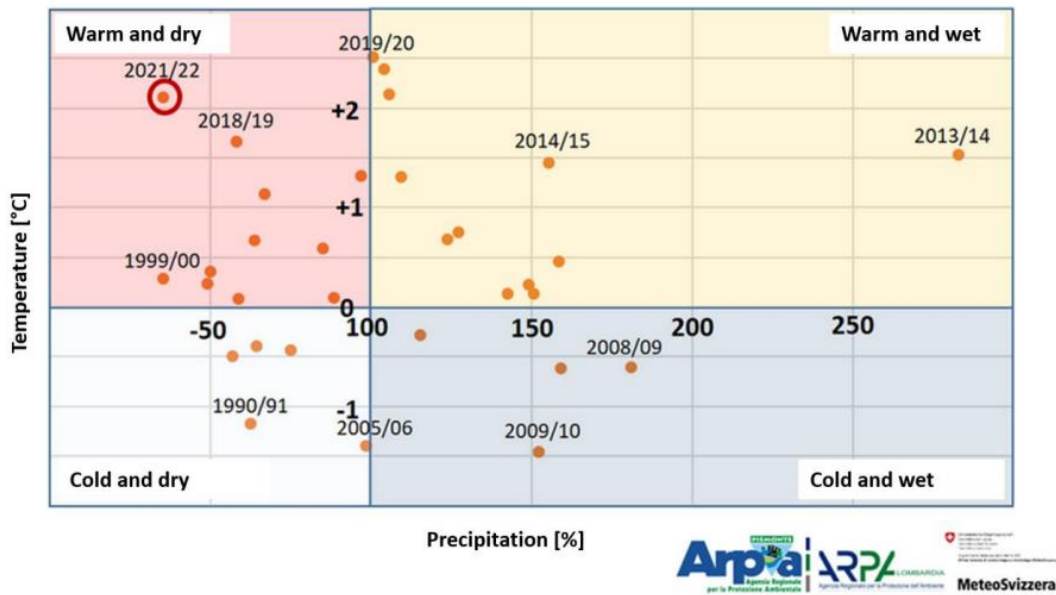


Figura 9: anomalie rispetto alla media 1991-2020 della temperatura media invernale (asse y) e precipitazioni totali invernali (asse x)

Fonte: https://edo.jrc.ec.europa.eu/documents/news/GDO-EDODroughtNews202203_Northern_Italy.pdf [13]

4.2.2. L'indice SPI

L'indice SPI (*Standardized Precipitation Index*) consente di definire lo stato di siccità in una località e quantifica il deficit di precipitazione per diverse scale temporali. Nella cartina seguente viene rappresentato l'indice SPI nel febbraio 2022.

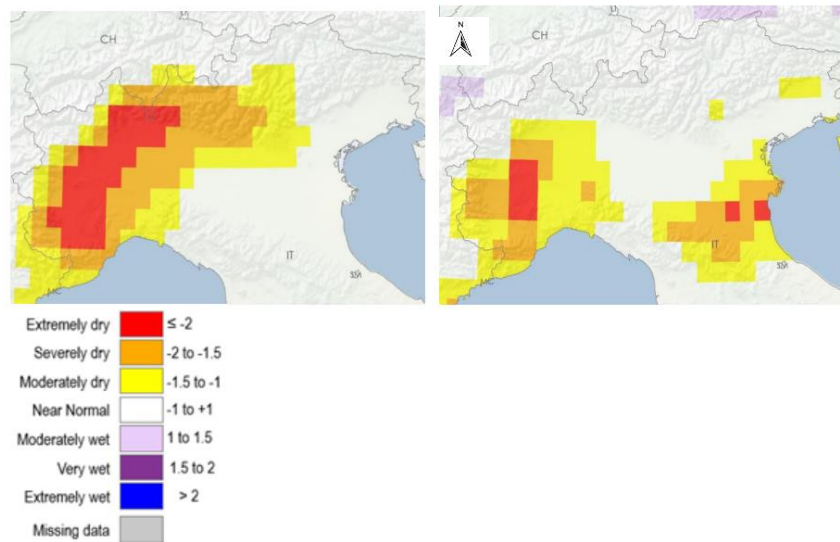


Figura 10: indice SPI nel Nord Italia (febbraio 2022)

Fonte: https://edo.jrc.ec.europa.eu/documents/news/GDO-EDODroughtNews202203_Northern_Italy.pdf [13]

Si nota subito come la zona piemontese e, in parte quella ligure, sia stata soggetta ad una siccità rilevante nel febbraio 2022. Si può infatti evincere che le zone caratterizzate da una siccità rilevante abbiano un indice SPI minore della media. Dalla legenda si associa a numeri dell'indice SPI minori di 2, un terreno estremamente secco, mentre si può notare come non si sia misurato in nessuna zona del Nord Italia un terreno anche solo moderatamente umido. Spesso viene calcolato l'indice SPI per un periodo di accumulo di 3 mesi, in modo da valutare la siccità agricola; diversamente, se considerato un periodo di accumulo di 12 mesi, può essere utilizzato per la siccità idrologica, per i fiumi con riduzione dei livelli idrometrici o per le falde acquifere che si abbassano. Di seguito vengono presentati gli andamenti degli indici SPI 3 e SPI 12 al variare dei mesi, in un periodo di riferimento che va dal marzo 2020 al febbraio 2022. [13]



Figura 11: indice SPI (3 mesi) sopra, indice SPI (12 mesi) sotto, nel periodo marzo 2020-febbraio 2022

Fonte: https://edo.jrc.ec.europa.eu/documents/news/GDO-EDODroughtNews202203_Northern_Italy.pdf

Da questi due grafici si può constatare che in entrambi i casi la siccità segue una tendenza negativa, registrandone elevati livelli nel febbraio 2022. In questo periodo infatti sono stati calcolati degli indici SPI molto bassi rispetto alla media, evidenziando un terreno particolarmente secco. Anche qui nel mese di febbraio 2022 è stato registrato un indice SPI che si aggira intorno al valore 2, evidenziando appunto un terreno molto secco. [13]

4.2.3. L'acqua nel terreno

Chiaramente la mancanza di pioggia altera la presenza d'acqua nel terreno.

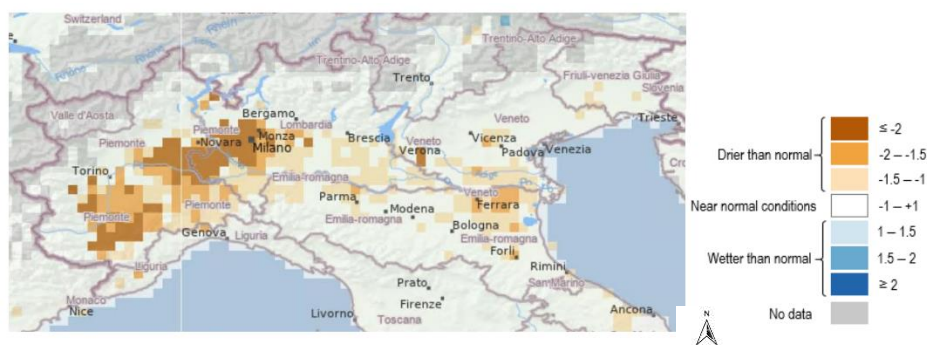


Figura 12: presenza di acqua nel suolo (marzo 2022)

Fonte: https://edo.jrc.ec.europa.eu/documents/news/GDO-EDODroughtNews202203_Northern_Italy.pdf [13]

Viene rappresentato, nel grafico 12, la presenza di acqua nel terreno. Dalla legenda si capisce come il suolo considerato sia più secco del normale e ciò rispecchia i risultati dei grafici offerti in precedenza, in cui non si registrava quasi nessuna precipitazione, in particolare nel suolo piemontese, nei primi mesi del 2022. È possibile capirlo considerando che la zona più colpita (suolo piemontese e in parte lombardo) sia caratterizzata da un terreno che è stato 1.5-2 volte più secco della media. [13]

4.2.4. Il grado di siccità del Po

L'evidenza di questa siccità idrologica è confermata anche da analisi eseguite dall'Autorità Distrettuale del Bacino del Po [13]. Nel grafico 15 viene mostrato il rischio di siccità in tutto il bacino assumendo valori preoccupanti nelle stazioni di Piacenza (1), Cremona (2), Boretto (3), Borgoforte (4) e Pontelagoscuro (5).

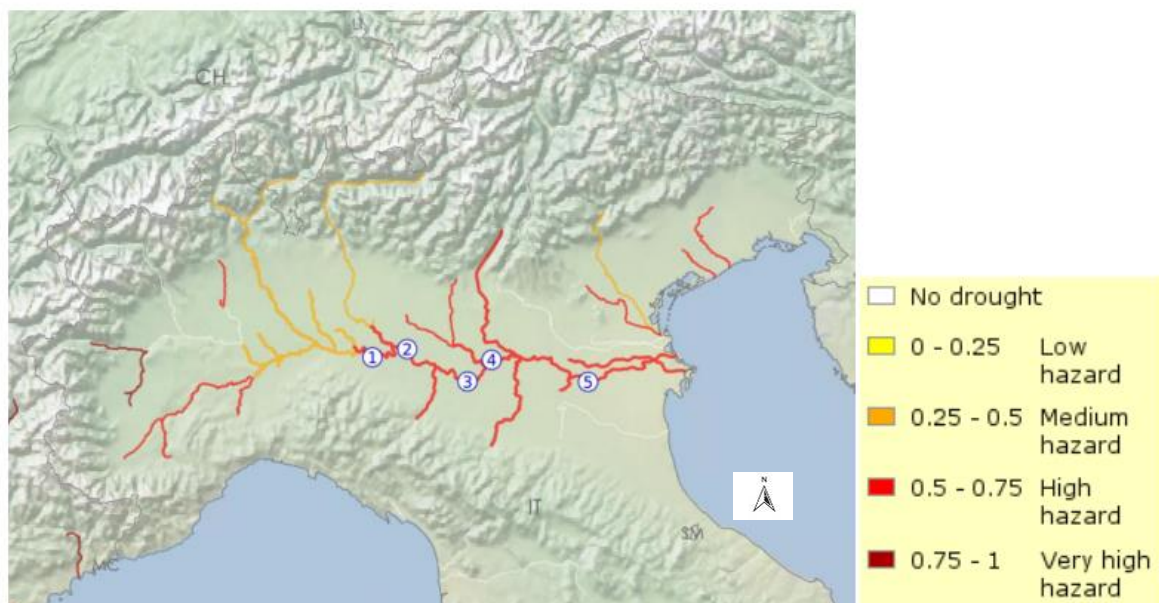


Figura 13: grado di siccità del fiume Po

Fonte: https://edo.jrc.ec.europa.eu/documents/news/GDO-EDODroughtNews202203_Northern_Italy.pdf [13]



Figura 14: siccità visibile del Po

Fonte: <https://www.editorialedomani.it/fatti/siccita-fiume-po-cremona-j77m55eg>,
[Cremona, 7 febbraio 2022](#), Cremona, 9 febbraio 2022

4.3. La siccità nella Pianura Padana: il caso Po

La maggior parte delle analisi sugli effetti dei cambiamenti climatici si concentra sui distretti e i bacini idrografici più grandi ed importanti, tra tutti, nel nostro territorio di studio, il bacino idrografico del Po.

Il Po attraversa con il suo corso gran parte dell'Italia settentrionale, da ovest verso est, percorrendo la Pianura Padana.

Il bacino idrografico italiano del Po interessa il territorio di Liguria, Piemonte, Valle d'Aosta, Emilia-Romagna, Toscana, Lombardia, Provincia Autonoma di Trento e Marche. Il bacino è ampio 71.000 km² e il regime del fiume è considerato misto poiché copre sia porzioni alpine e appenniniche.

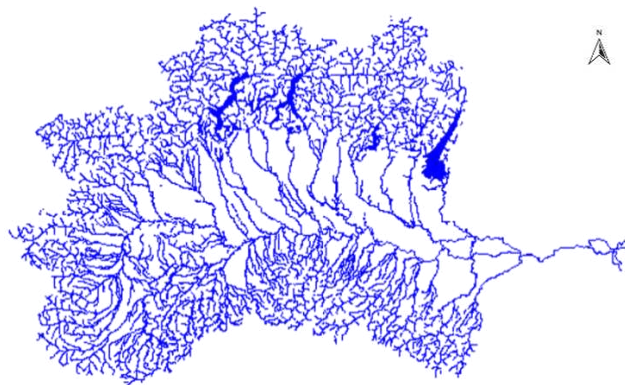
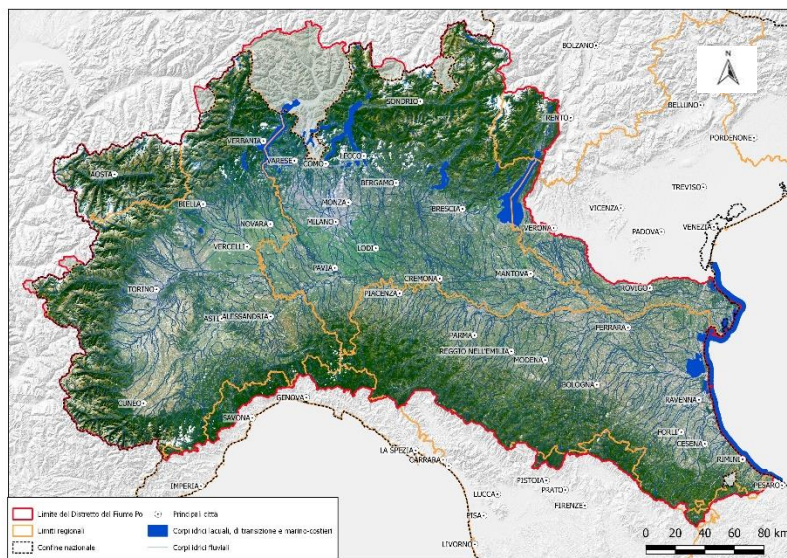


Figura 15: bacino idrografico del Po

Fonte: <https://www.adbpo.it/territorio-di-competenza/>

Durante i primi 7 mesi del 2022, su gran parte del continente europeo, si è verificata una grave siccità meteorologica, associata ad una persistente circolazione anticiclonica anomala sulla sua porzione nord-occidentale. Il fiume Po, il corso d'acqua più lungo d'Italia, ha raggiunto livelli critici, riducendo la disponibilità di acqua per l'irrigazione e provocando un'intrusione di acqua di mare non trascurabile. Il Po, quindi, è divenuto un indicatore chiave per capire il grado di siccità nel Nord Italia, dal momento che il suo bacino si trova nel mezzo della Pianura Padana. Diversi comuni, lungo il bacino del Po, hanno dovuto razionare l'acqua e sono state adottate misure straordinarie per sostenere gli agricoltori poiché la Pianura Padana fornisce circa il 40% della domanda alimentare del paese. La siccità ha avuto ripercussioni anche sulla produttività delle centrali idroelettriche e

termoelettriche, motivo di grande preoccupazione nel contesto dell'attuale crisi energetica globale. La gravità di questo evento riguarda la crescente frequenza delle siccità idrologiche, il loro impatto socioeconomico e lo stato futuro delle risorse idriche.

Si andranno ad individuare le cause della diminuzione della portata in uscita dal bacino, considerando che le precipitazioni cumulative da novembre 2021 a luglio 2022 sul bacino del fiume Po non sono state eccezionalmente basse, evidenziando quindi che ulteriori fattori diversi dalla scarsità di precipitazioni hanno aggravato la siccità idrologica del 2022.

In un articolo pubblicato da Science, si analizza la registrazione più lunga della portata del fiume Po, ovvero una serie temporale di portate mensili del fiume a Pontelagoscuro (vicino allo sbocco del bacino), che va dal gennaio 1807 all'agosto 2022. [15]

Ci concentreremo sui mesi primaverili-estivi calcolando i valori annuali della portata media del fiume per quattro finestre di aggregazione: luglio (J), giugno-luglio (JJ), maggio-giugno-luglio (MJJ) e giugno-luglio (AMJJ), ottenendo, come vedremo, record stagionali di 216 anni.

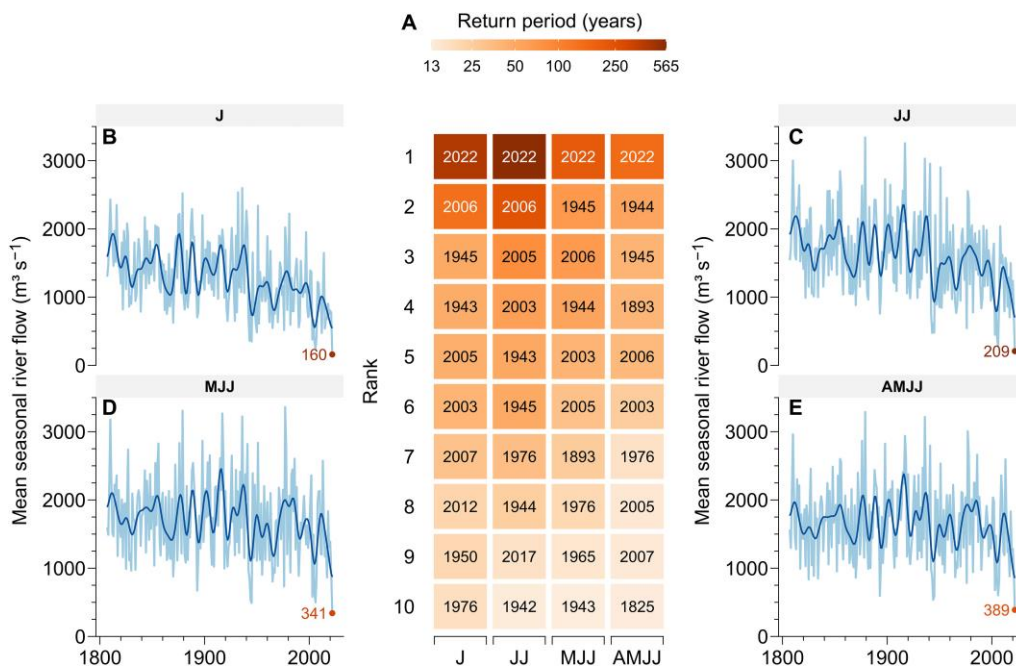


Figura 16: registrazione temporale di portate mensili allo sbocco del bacino (1807-2022)

Fonte: <https://www.science.org/doi/10.1126/sciadv.adg8304>

La siccità del 2022 è un evento storico: il flusso fluviale medio osservato nell'estate 2022 è di gran lunga peggiore degli ultimi due secoli. I secondi peggiori sono il 2006 per J e JJ e il 1945/1944 per MJJ e AMJJ. Tuttavia, i record del 2022 sono inferiori del 30% rispetto ai rispettivi secondi peggiori. Viene rappresentato di seguito il confronto tra le portate nel 2021/2022 (in nero) e le portate dei sedici anni precedenti in uscita dal bacino. [16]

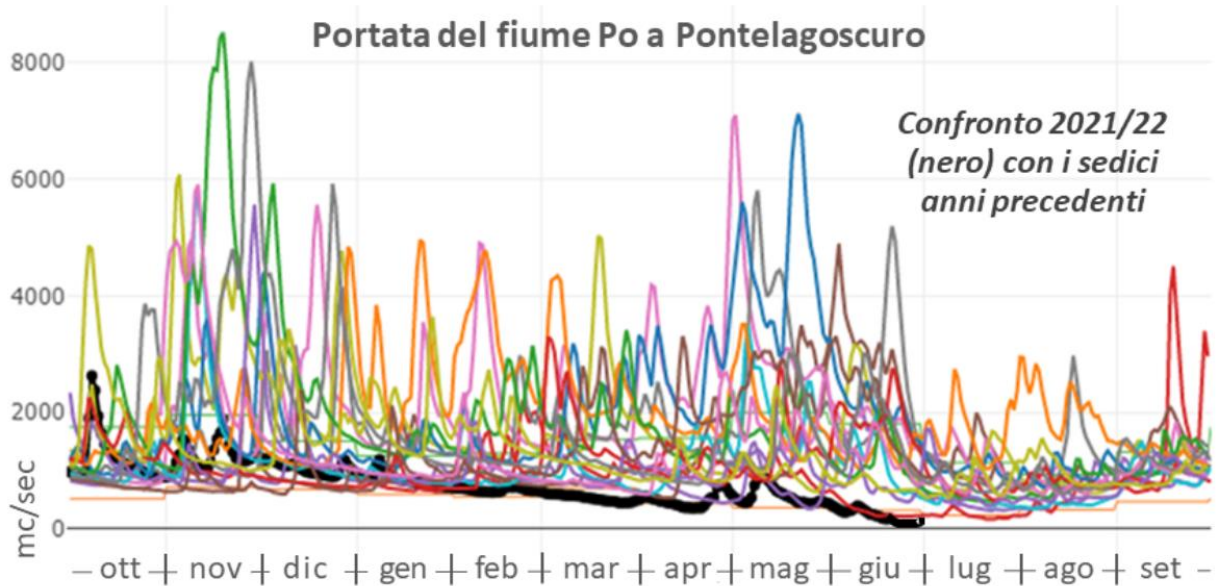


Figura 17: confronto tra le portate del fiume Po nel 2021/2022 a Pontelagoscuro e i 16 anni precedenti

Fonte: <https://www.centroeticambientale.org/grande-secca-del-po---2022-anno-record-preannunciato---valloni-giugno-2022/474/> [16]

Si andranno ora ad analizzare le possibili cause legate alla siccità del fiume Po.

4.3.1. Le precipitazioni

Per capire se la tendenza crescente alla siccità sia causata dalle precipitazioni, sono state svolte delle analisi delle precipitazioni cumulative bimestrali sul bacino del fiume Po, durante il periodo 1940-2022. [15]

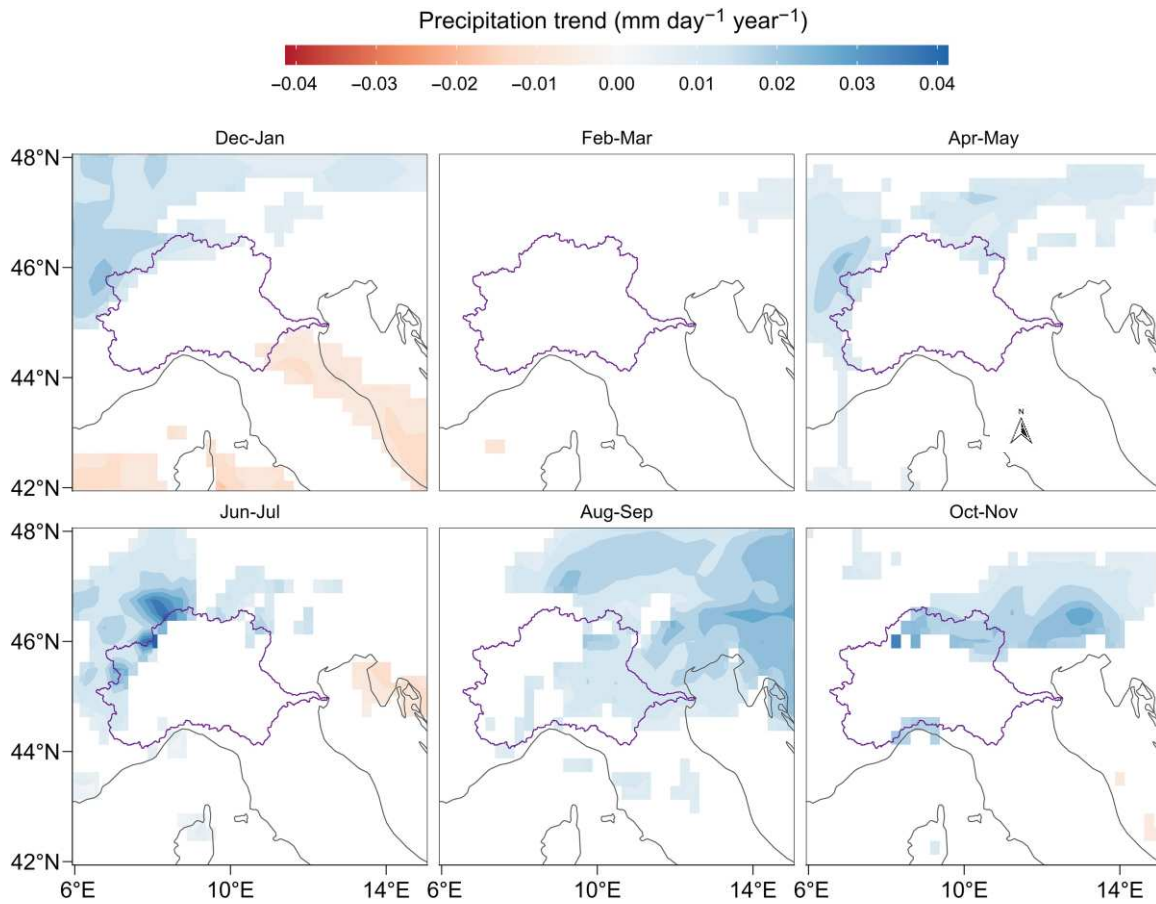


Figura 18: andamento di precipitazioni (1940-2022)

Fonte: <https://www.science.org/doi/10.1126/sciadv.adg8304> [15]

Il grafico offre una stima dettagliata delle precipitazioni areali medie sul bacino idrografico del Po, nel periodo 1940-2022. Solo nel periodo di agosto-settembre si può notare una lieve tendenza in positivo.

Pertanto, i cambiamenti climatici dovuti dalle precipitazioni non emergono come un fattore determinante della siccità del fiume Po.

Si evince anche che i fattori chiave sono i cambiamenti nella stagionalità del flusso fluviale, lo scioglimento anticipato della neve, l'aumento dell'evaporazione e l'aumento dei prelievi d'acqua durante l'estate.

4.3.2. I cambiamenti del regime nevoso

Il riscaldamento globale ha portato a cambiamenti nei regimi nevosi, che a loro volta hanno spostato i tempi delle piene in tutta Europa. Il calo dello scioglimento della neve e della frazione di neve hanno molto probabilmente contribuito alla riduzione del flusso del fiume Po. [15]

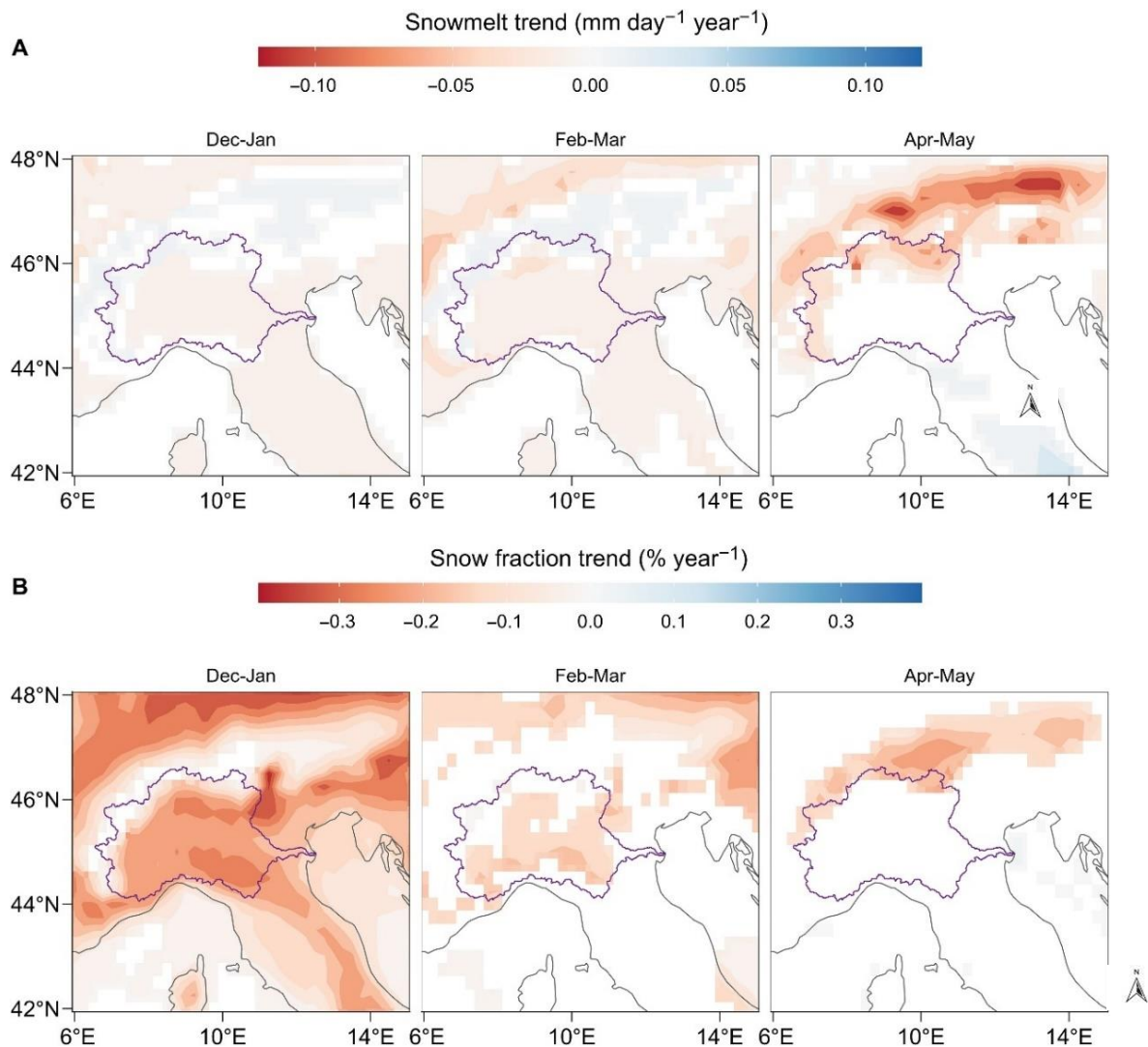


Figura 19: andamento dello scioglimento della neve (1940-2022) sopra, andamento frazione di neve (1940-2022) sotto

Fonte: <https://www.science.org/doi/10.1126/sciadv.adg8304> [15]

Si nota subito come dal 1940 al 2022, nei mesi invernali si sia misurato una tendenza in negativo per quanto riguarda la frazione di neve. La frazione di neve viene calcolata come il rapporto tra le nevicate e le precipitazioni totali.

4.3.3. L'evaporazione

Un altro fattore da considerare è l'aumento dell'evaporazione. In un grafico simile a quelli offerti in precedenza, si valuta la variazione dell'evaporazione totale, considerando il periodo 1940-2022:

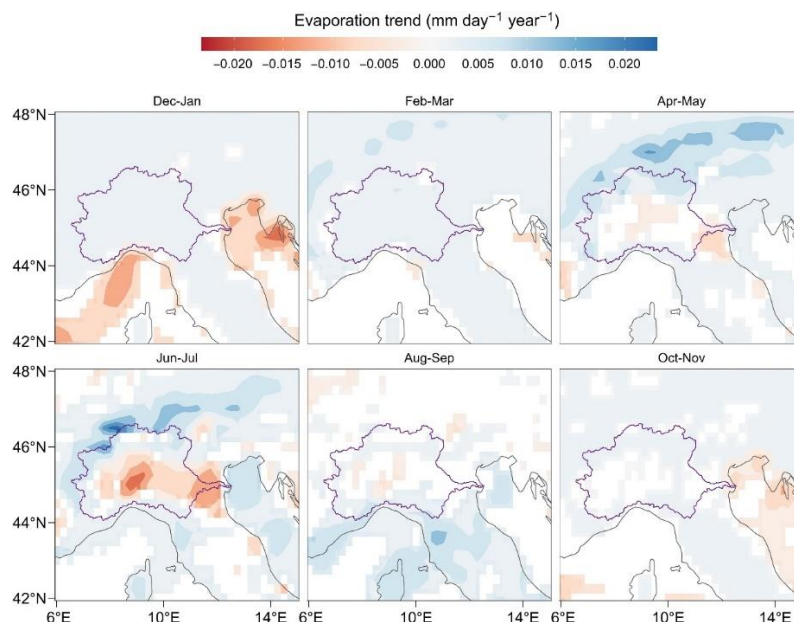


Figura 20: andamento dell'evaporazione (1940-2022)

Fonte: <https://www.science.org/doi/10.1126/sciadv.adg8304> [15]

Gli andamenti dell'evaporazione del fiume Po, in particolare lungo la catena alpina, sono prevalentemente positivi, e provocano un ulteriore deficit di deflusso. [15]

4.3.4. I prelievi idrici

Infine, un quarto fattore può essere rappresentato dai prelievi idrici, dovuti a usi per l'irrigazione. L'irrigazione rappresenta la maggioranza (75%) dei prelievi totali del bacino in esame. I consorzi di irrigazione hanno riconosciuto infatti un aumento delle richieste idriche durante la primavera e l'estate, a causa dell'anticipazione della stagione irrigua.[15]

Questa analisi rivela la tendenza decrescente a lungo termine dei flussi estivi del fiume Po, che si è accentuata dopo il 1940, ed è dovuta alla sovrapposizione di diversi fattori.

Guardando il futuro, ci si aspetta che il riscaldamento globale in corso possa esacerbare le tendenze analizzate. È probabile anche, che la sovrapposizione dei fattori visti in precedenza peggiori la gravità e la frequenza delle siccità idrologiche, superando anche l'entità dell'evento del 2022.

5. Scenari futuri

I cambiamenti climatici possono provocare importanti impatti sulla risorsa idrica, infatti, parallelamente all'aumento delle temperature, si potrà avere una maggiore evaporazione e una diminuzione delle riserve idriche nei bacini idrografici. Ciò può ridurre la disponibilità di acqua per l'approvvigionamento urbano, l'agricoltura e l'industria.

Alcuni dei possibili scenari legati alla crisi idrica possono essere:



Figura 21: fioritura algale, eutrofizzazione,

1) Le principali alterazioni dovute a cambiamenti di temperatura e precipitazioni riguardano una maggiore incidenza di fenomeni di eutrofizzazione, ossia un aumento della biomassa vegetale nella forma di fioriture (*bloom*) algali dovuti ad un aumento delle temperature e del carico di nutrienti.

Fonte: <https://www.e-gazette.it/sezione/ecologia/laghi-soffocano-sempre-piu-metano-meno-ossigeno-allarme-veneto-piano-lombardia>

- 2) La diminuzione della disponibilità di acqua e le variazioni nella temperatura dell'acqua possono influenzare la vita acquatica, con conseguenze sulla biodiversità.
- 3) In alcune regioni, a causa dell'intensità delle piene si dovrà richiedere una gestione delle inondazioni più efficace. Inoltre, il ruscellamento superficiale delle acque non trattenute dal suolo dovuto a precipitazioni intense, comporterebbe un maggiore dilavamento di sostanze presenti nel terreno, contribuendo ad aumentare i carichi di nutrienti e di patogeni.
- 4) Fenomeni di siccità e la conseguente riduzione delle portate, uniti a condizioni di sovra-sfruttamento della risorsa idrica, rendono i corsi d'acqua e le riserve idriche sotterranee costiere maggiormente esposti all'azione dell'innalzamento del livello del mare, con conseguente intrusione di acqua salata e aumento di salinità nella riserva di acqua dolce.



Figura 22: intrusione di acqua salata nel Po

Fonte:

https://www.lastampa.it/specchio/2022/02/22/news/l_acqua_del_po_sta_diventando_salata_fate_qualcosa_-2860235/

Secondo gli scenari proposti dall'IPCC per il futuro è attesa una riduzione della quantità della risorsa idrica rinnovabile, sia superficiale che sotterranea, in quasi tutte le zone semi-aride. Al contrario, nelle alte latitudini si prospetta un aumento di disponibilità della risorsa.

L'IPCC rileva però che gli impatti finora osservati sui parametri di qualità idrica provengono da studi isolati, condotti su riserve, laghi e fiumi, prevalentemente di Paesi sviluppati e disponibili solamente per un numero ridotto di variabili (es. variazioni di temperatura, contenuti di ossigeno, concentrazioni di nutrienti). Inoltre, è importante sottolineare come, le proiezioni degli impatti dei cambiamenti climatici sulla qualità della risorsa idrica siano rappresentate da un basso numero di studi che sono difficilmente comparabili in quanto presentano un grande livello di eterogeneità e sono fortemente dipendenti dalle condizioni locali, dai presupposti climatici e ambientali e dallo stato di riferimento del corso d'acqua. [17]

6. Approcci e strategie

6.1. Attuali politiche

Il Parlamento europeo definisce l'acqua come un elemento essenziale per la vita umana, animale e vegetale, nonché per l'economia. Le protezioni e la gestione delle risorse idriche superano i confini nazionali. La direttiva quadro dell'Unione Europea garantisce la tutela delle acque pulite e il loro utilizzo sostenibile nel lungo termine. La politica unionale ha istituito un quadro per la tutela e la gestione delle risorse di acqua dolce, in cui si mira a prevenire e ridurre l'inquinamento, a promuovere l'utilizzo sostenibile e a proteggere e migliorare l'ambiente acquatico. Nel 2012 la Commissione Europea ha presentato il piano per la salvaguardia delle risorse idriche europee, ossia una strategia volta a garantire un approvvigionamento adeguato sul piano qualitativo e quantitativo. Tale piano prevede una collaborazione tra gli Stati membri, contabilizzando le risorse idriche e gli obiettivi di efficienza idrica. A livello nazionale, il Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica, mira ad assicurare il buon governo della risorsa idrica, sia con il rafforzamento della capacità di programmazione e gestione, sia con il riferimento alle nuove disposizioni normative. [18]

6.2. Strategie da adottare

Negli ultimi 30 anni, la disponibilità di acqua si è ridotta del 19% in tutta Italia. Le conseguenze di un clima che sta cambiando sono quelle a cui stiamo assistendo: siccità e alto rischio di alluvioni. Soprattutto al Nord Italia ci sono riserve ridotte d'acqua a causa della siccità (come visto in Piemonte ma anche in Veneto). Mesi di totale assenza di rovesci, anche in inverno e caldo torrido fuori stagione fin dalla primavera hanno ridotto le riserve ai minimi termini. Stefano Mariani, matematico e ricercatore dell'ISPRA presso il Dipartimento per il Monitoraggio e la Tutela dell'Ambiente e per la Conservazione della Biodiversità, afferma che più è maggiore e prolungato il deficit di precipitazione, più è alta la gravità della siccità. "Ciò che sta succedendo – afferma il ricercatore – è strettamente dipendente dai cambiamenti climatici e quindi dalle emissioni di gas a effetto serra ". Bisogna quindi attuare

politiche di forte riduzioni delle emissioni di gas a effetto serra, ma allo stesso tempo tenere presente che si sta già vivendo un cambiamento climatico. È necessario incentivare nuove politiche di uso e gestione della risorsa idrica in un'ottica di adattamento e sostenibilità e puntare, ad esempio, su colture meno idroesigenti; migliorare i sistemi di gestione della risorsa in campo agricolo e industriale, favorire politiche di mitigazione e adattamento ai cambiamenti climatici. [19]

Secondo il Centro Italiano per la Riqualificazione Fluviale, per evitare una crisi idrica o almeno per mitigarne gli effetti, è necessario adottare nuove strategie: [20]

6.2.1. Il ruolo delle Istituzioni

Il Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza (MASE), con il supporto di altre istituzioni tecnico scientifiche, dovrebbe istituire protocolli di raccolta dati e modelli logico-previsionali, in modo da rendere disponibili ai cittadini le stime affidabili sulla disponibilità delle risorse idriche. Un esempio lo ricopre la Gestione Integrata delle Risorse Idriche (GIRI), in cui sono esaminate tutte le attività correlate allo sfruttamento dell'acqua, alla sua tutela e alla protezione dei pericoli naturali causati dall'acqua stessa.

6.2.2. Risparmi d'acqua ed efficienza idrica

Definire, con il supporto dell'ANCI (Associazione Nazionale Comuni Italiani), una strategia che promuova la riduzione dei consumi idrici domestici e il ricorso di acque non potabili (ad esempio acque di pioggia o acque grige depurate) per gli usi compatibili come lavaggi esterni, lavatrici, risciacquo del WC, in modo da portare al valor medio dei consumi civili di acqua potabile a non oltre 150 l/ab/giorno.

6.2.3. Il sistema agroalimentare

Il MASAF (Ministero dell'agricoltura, della sovranità alimentare e delle foreste) deve definire una strategia di trasformazione nel sistema agroalimentare, in modo che favorisca la diffusione di colture meno

idroesigenti, contenere i consumi irrigui entro i 2500 metri cubi/ettaro/anno e aumentare la capacità dei suoli agrari di trattenere l'acqua.

6.2.4. Regolamentazioni politiche e ripristino ambientale

Al fine di ripristinare le falde si vogliono destinare 2 miliardi di euro l'anno, per 10 anni, ad interventi di riqualificazione morfologica ed ecologica dei corsi d'acqua. Alcuni esempi includono:

- L'allargamento della sezione, in cui, mediante escavazione, si può ottenere una riduzione della velocità di corrente, il ripristino di sponde naturali, o un habitat per la fauna acquatica;

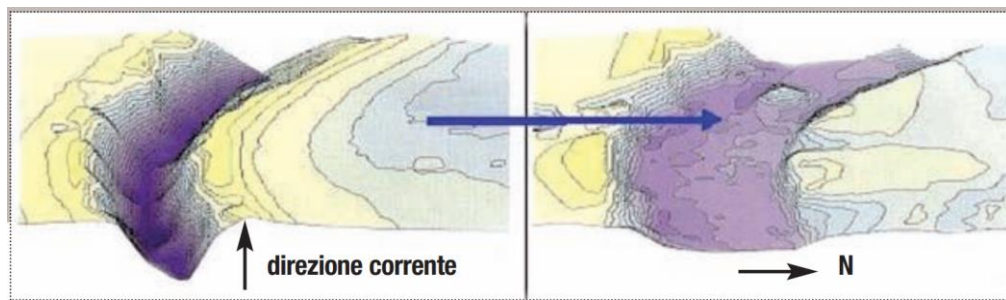


Figura 23: allargamento della sezione Fonte: https://www.provincia.novara.it/Urbanistica/RetiEcologiche/LGschedeNovara_01.pdf [20]

- Il ripristino di un tracciato sinuoso, in modo da ridurre la velocità media di corrente, garantire una maggior sedimentazione, innalzare il fondo e per offrire una maggiore tendenza all'aumento del livello di falda nella valle fluviale;

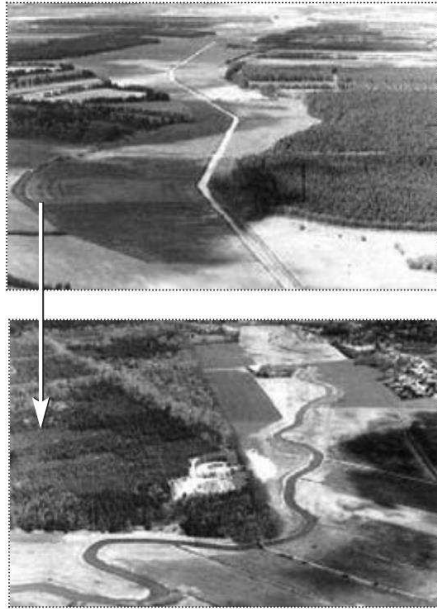


Figura 24: esempio del ripristino di un tracciato sinuoso

Fonte:

https://www.provincia.novara.it/Urbanistica/RetiEcologiche/LGschedeNovara_01.pdf

6.3. Best practices da altri Paesi

Essendo la gestione della risorsa idrica un tema di competenza globale, può essere d'aiuto comprendere le strategie di altri Paesi per salvaguardare la risorsa idrica:

- Israele è un leader mondiale nella desalinizzazione dell'acqua di mare, integrando l'acqua desalinizzata nella sua rete di approvvigionamento idrico;



Figura 25: impianto di desalinizzazione di Sorek (Israele)

Fonte:
<https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fit.globalvoices.org%2F2019%2F01%2Fisraele-una-delle-nazioni-piu-aride-del-mondo-adesso-sta-traboccando-dacqua%2F&psig=AOvVaw0heKpGpGOVLtgz1fvGlhoU&ust=1697191127387000&source=images&cd=vfe&opi=89978449&ved=0CBMQjhxFwoTCLCvWuSf8IEDFOAAAAAAdAAAAABBN>

- I Paesi Bassi sono riconosciuti per la gestione delle alluvioni e stanno investendo in sistemi di difesa dalle inondazioni e implementando misure di pianificazione del territorio;



Figura 26: Il Maeslantkering è la più grande barriera architettonica finalizzata alla protezione dalle inondazioni costiere di Rotterdam e del suo porto

Fonte: <https://www.ilgiornaledellarte.com/articoli/sos-venezia-l-approccio-olandese-a-confronto/137381.html>

- L'Islanda utilizza l'energia geotermica per il trattamento delle acque reflue e il riscaldamento delle abitazioni;



Figura 27: energia geotermica nella pianura glaciale (Islanda)

Fonte: <https://www.powerenergia.eu/lislanda-punta-in-basso-geotermia-sempre-piu-estrema/>

7. Conclusioni

La crisi idrica che ha colpito il Nord Italia è stato un evento evidente e dall'analisi dei grafici proposti si evince che le misure effettuate rispecchiano il contesto reale.

L'analisi approfondita di grafici evidenzia un chiaro aumento delle temperature medie e una variazione dei modelli di precipitazioni. La diminuzione delle nevicate invernali e lo scioglimento precoce delle nevi impattano direttamente sulla quantità d'acqua disponibile, mettendo a rischio la fornitura di acqua potabile, l'agricoltura e il sistema industriale.

In conclusione, il cambiamento climatico rappresenta una vera e propria minaccia per la risorsa idrica, ma offre anche opportunità di sviluppare nuove soluzioni innovative e sostenibili.

La protezione della risorsa idrica è una responsabilità condivisa e richiede l'azione di tutti gli attori coinvolti.

8. Bibliografia

1. Sito Ufficiale del Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica <https://www.mase.gov.it/pagina/cose-la-water-footprint>
2. Urban Ecosystem, every drop counts, Image made by Virtual water <https://ecosistemaurbano.org/english/the-water-footprint-every-drop-counts/>
3. CNR, Gestione sostenibile delle risorse idriche https://www.irsa.cnr.it/wp/?page_id=406
4. Joint Research Center-Global Drought Observatory https://commission.europa.eu/about-european-commission/departments-and-executive-agencies/joint-research-centre_en
5. Sito Ufficiale dell'Osservatorio Anbi <https://www.anbi.it/art/articoli/7148-osservatorio-anbi-risorse-idriche-a-febbraio-tornano-gia-le->
6. Green Report, siccità nel Nord italia, intervista a Francesco Vincenzi <https://greenreport.it/news/acqua/ormai-per-risolvere-la-siccita-nel-nord-italia-servirebbero-50-giorni-consecutivi-di-pioggia/>
7. Sito Ufficiale Irpi <https://www.irpi.cnr.it/focus/ghiacciai-italiani/#:~:text=Dalla%20fine%20della%20Piccola%20Et%C3%A0,ridotte%20di%20circa%201a%20met%C3%A0>
8. PNAS, ritiro dei ghiacciai, Twentieth century climate change: Evidence from small glaciers, Mark B. Dyurgerov e Marl F. Meier <https://www.pnas.org/doi/10.1073/pnas.97.4.1406#sec-2>
9. FOCUS, ritiro dei ghiacciai, The strong retreat of the italian glaciers <https://www.irpi.cnr.it/focus/ghiacciai-italiani/#:~:text=Dalla%20fine%20della%20Piccola%20Et%C3%A0,ridotte%20di%20circa%201a%20met%C3%A0>
10. Sito Ufficiale del Parco Naturale Adamello-Brenta <https://www.pnab.it/il-parco/il-parco-naturale/ghiacciai/>

11. Aldino Bondesan, Roberto Francese, Massimo Giorgi, 7 luglio 2022, Il parere di chi studia la Marmolada da 20 anni
<https://www.focus.it/scienza/scienze/marmolada-crollo-ghiacciaio-parere-ricercatori>
12. Climat Monitor, commento alla siccità, 31 maggio 2022, Luigi Mariani e Franco Zavatti <http://www.climatemonitor.it/?p=57121>
13. European Commission, Drought in Northern Italy
https://edo.jrc.ec.europa.eu/documents/news/GDO-EDODroughtNews202203_Northern_Italy.pdf
14. Sito Ufficiale Arpa Lombardia <https://www.arpalombardia.it/>
15. L. Bruno, B. Bulut D. Faranda, S. Pascala, L. Navarra, 9 agosto 2023, Science, “Why the Po River drought is the worst in the past two centuries”,
<https://www.science.org/doi/10.1126/sciadv.adg8304>
16. Centro Etical-Ambiente, confronto delle portate degli ultimi anni precedenti allo sbocco del bacino del Po, giugno 2022, Renzo Valloni <https://www.centroeticambientale.org/grande-secca-del-po---2022-anno-record-preannunciato---valloni-giugno-2022/474/>
17. Valutazioni e autorizzazioni ambientali, Piano nazionale degli adattamenti <https://va.mite.gov.it/File/Documento/771085>
18. Parlamento europeo, Note tematiche sull’Unione Europea
<https://www.europarl.europa.eu/factsheets/it/sheet/74/protezione-e-gestione-delle-risorse-idriche> commissione europea
19. Chiara Buratti, 27 ottobre 2022, Osservatorio Economia Circolare, intervista a Stefano Mariani
<https://www.osservatorioeconomicircolare.it/siccita-litalia-sta-soffrendo-cosa-ci-aspetta/>
20. Centro Italiano per la Riqualificazione Fluviale
https://www.provincia.novara.it/Urbanistica/RetiEcologiche/LGsc hedeNovara_01.pdf

Ringraziamenti

Come definire questi anni passati nel Dipartimento ICEA? Duri e spietati, pieni di tribolazioni, a tratti tormentati, sicuramente, ma, che sia chiaro, i momenti di felicità sono stati di gran lunga maggiori.

A conti fatti mi ritengo una persona davvero fortunata. Qui a Padova ho trascorso alcuni dei momenti migliori della mia esistenza, avendo avuto la fortuna di conoscere persone fantastiche.

Tengo a ringraziare in primo luogo mio padre, che, a volte anche senza le parole ha sempre sostenuto e appoggiato le mie scelte. Un grande grazie a mia madre per avermi sopportato e per avermi insegnato a come prendere la vita, in maniera spensierata ma non troppo. Un grazie particolare a mio fratello Daniel. Spero di essere stato un esempio come per alcune cose lo sei stato tu per me.

Ringrazio tutta la mia famiglia per il sostegno incondizionato. Senza di loro non sarei qui.

Grazie al mio relatore Salvatore Pappalardo per avermi fatto appassionare alla materia e per avermi assistito durante la stesura della tesi.

Grazie agli amici che mi sono fatto in questi tre anni. Mi avete aiutato tutti nel mio percorso. In particolar modo tengo a ringraziare Giacomo, Marco, Giorgia, Mattia e Laura. Siete gli amici di una vita e non mi dimenticherò mai di voi.

Grazie a tutti i miei amici veronesi. Grazie al mio grande amico Alberto per consigliarmi sempre la retta via. Grazie a Marco che sa sempre come farmi divertire. Grazie a Giovanni per la sua intraprendenza. Grazie a Riccardo e Hamza, con voi sono riuscito a maturare più di quanto avrei mai immaginato. Non chi sarei senza amici come voi.

Grazie a quanto te la rischi, grazie alla mia tastiera e grazie alla montagna.

Grazie a voi tutti, chi c'è, a chi c'è stato e a chi ci sarà.

Ultimo ma non ultimo voglio ringraziare me stesso. Molti hanno cercato di buttarmi giù, dicendomi che non fosse la strada migliore per me. Magari è così, magari non lo è. Mi ringrazio per la perseveranza dimostrata in questi anni. Il duro lavoro ripaga sempre.