

1222·2022
800
ANNI



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA

Università degli Studi di Padova
Dipartimento di Agraria e Medicina Veterinaria

Corso di Laurea
Riassetto del Territorio e Tutela del Paesaggio

Effetti del Cambiamento Climatico, Azioni e Strategie del
Consorzio di Bonifica Brenta

Relatore:

Ch.mo Prof. Michelangelo Savino

Laureando:

Alberto Bianchi

Matricola: 1116383

ANNO ACCADEMICO 2022/2023

INDICE	Pag.
1. Introduzione	3
2. Contesto e caratteristiche geo-morfologiche del Veneto	4
2.1. Il Consorzio di Bonifica Brenta	6
3. Fattori e cause del cambiamento climatico	8
3.1. La riduzione delle precipitazioni	10
3.2. L'aumento delle temperature	11
3.3. Interazioni tra fenomeni climatici globali e locali	12
4. Impatti della siccità e dei nubifragi sugli ecosistemi e sul tessuto socio-economico	14
4.1. Impatti siccità su settore economico	14
4.2. Effetti dei nubifragi sulle risorse idriche	16
4.3. Effetti dei nubifragi sull'ambiente	18
4.4. Effetti dei nubifragi sulle infrastrutture	21
4.5. Cementificazione e il problema del Veneto	23
4.6. Monitoraggio, gestione e mitigazione degli eventi estremi	24
5. Il cambiamento climatico in Veneto	27
5.1. Azioni a livello globale	30
5.2. Azioni a livello locale: cosa può fare il Consorzio di Bonifica Brenta?	31
6. Attività e strategie di gestione degli eventi estremi da parte del Consorzio di Bonifica Brenta	32
6.1. Attività e funzioni	32
6.2. Caratteristiche del sistema idraulico	32
6.3. Realtà e problematiche attuali	34
6.4. Esperimenti del Consorzio di Bonifica Brenta contro la siccità	35
6.5. Mitigazione degli eventi di piena da parte del Consorzio di Bonifica Brenta	37
7. Conclusioni	39
8. Fonti Bibliografiche e Sitografia	41

1 - Introduzione

Il ciclo idrologico della terra è un processo molto complesso che regola la distribuzione dell'acqua su scala globale, negli ultimi decenni il cambiamento climatico sta modificando questo ciclo idrologico rendendo sempre più frequenti due fenomeni meteorologici estremi che influenzano profondamente la vita sulla terra; la siccità ed i nubifragi.

Questi fenomeni sono due facce della stessa medaglia essendo strettamente collegati fra loro, ad una fase di assenza di precipitazioni ed aumento delle temperature prolungate nel tempo corrisponde una conseguente fase di piogge repentine e violente con precipitazioni concentrate in un arco di tempo ristretto.

In questo contesto, la presente tesi di laurea si propone di esplorare in modo approfondito le dinamiche e le conseguenze che comportano questi eventi meteorologici, andando ad analizzare i dati sul territorio del Consorzio di Bonifica Brenta ed approfondire le varie strategie di difesa e gli esperimenti contro questi fenomeni che il Consorzio sta implementando.

La tesi si svilupperà attraverso una serie di capitoli che andranno ad approfondire gli aspetti chiave del cambiamento climatico e gli effetti che siccità e nubifragi comportano con un focus specifico all'interno del territorio consorziale, inoltre verranno esaminati dei casi specifici di strutture costruite o in progetto da parte del Consorzio di Bonifica Brenta per mitigare questi effetti.

La recente alluvione in Emilia-Romagna e la grave siccità che ha coinvolto l'Italia intera nel 2022 mi hanno spinto a pensare ad una tesi che riguardasse i cambiamenti climatici in atto, ma è stato durante il periodo di tirocinio presso il Consorzio di Bonifica Brenta che ho maturato definitivamente la mia scelta focalizzando la tesi sul territorio del comprensorio dove risiedo.

Ho potuto quindi toccare con mano quanto questi problemi siano molto attuali e sempre più difficili da affrontare. Per la stesura della tesi ho potuto prendere spunto da molti elaborati tecnici che mi sono stati forniti in consorzio durante il periodo di tirocinio.

Oltre ad approfondire le tematiche riguardanti la siccità ed i nubifragi questa tesi di laurea vuole porre una domanda;

Il Consorzio di Bonifica Brenta è realmente pronto ad affrontare situazioni simili?

2 - Contesto e caratteristiche geo-morfologiche del Veneto

Il Veneto è una regione italiana situata nella parte nord orientale del paese, compresa fra le alpi carniche a nord, il Trentino Alto Adige a nord ovest, ad ovest troviamo il Lago di Garda, presente per un terzo della sua estensione nella regione. Troviamo poi a sud l'Emilia Romagna, confine scandito dal fiume Po e dal Mincio, unico emissario del Lago di Garda. A sud est confina per circa 200 km con il Mare Adriatico ed infine nella parte nord est con il Friuli Venezia Giulia.

Il territorio è caratterizzato da un'ampia varietà geografica, più della metà del suolo è occupato dalla pianura padana (il 56%), mentre colline e montagna occupano rispettivamente il 15% ed il 29%. Il territorio è suddiviso in zone geograficamente omogenee, accomunate da caratteri altimetrici, geologici, climatici e pedologici simili tra loro. Sono la regione alpina, le fasce prealpine e subalpine, alta e bassa pianura, la zona lagunare ed il polesine.

La regione alpina, è ricompresa particolarmente nella provincia di Belluno, è racchiusa grosso modo tra il bacino superiore del Piave e le Dolomiti orientali, presenta i tratti classici del paesaggio dolomitico, arrivando a toccare i 3343 metri con la Marmolada e presentando dal punto di vista geologico rocce sedimentarie di origine mesozoica.

Le fasce prealpine si estendono per tutta la lunghezza della regione, dal Garda al Piave, ha un'elevazione che varia dai 700 fin i 2300 metri. Si sviluppa maggiormente nelle province di Verona e Vicenza dove troviamo i monti Lessini, l'Altopiano di Asiago ed il massiccio del Grappa. Questa zona è caratterizzata da terreni molto diversi tra loro, sia dal punto di vista della costituzione geologica che morfologica, un esempio sono i rilievi morenici del Garda di origine glaciale e i monti Berici e colli Euganei di origine vulcanica.

La pianura si divide in due, a nord l'alta pianura con pendenze comprese fra il 5% ed il 2% ed a sud la bassa pianura con pendenza inferiore al 2%, questa distinzione è delineata dalla linea delle risorgive, rendendo il territorio a nord più arido a causa di un'alta permeabilità del terreno e il territorio a sud ricco d'acqua grazie alle risorgive. L'acqua trovando strati di terreno impermeabili riaffiora in creando corsi d'acqua che scorrono in superficie.

Infine, nella fascia del polesine, che si estende nella fascia costiera e nella pianura compresa tra l'Adige ed il Po. Qui troviamo caratteristiche molto differenti, queste zone hanno un'elevazione rispetto al livello del mare molto bassa, inferiore ai 5 mslm e pendenze quasi nulle, ciò favorisce il ristagno delle acque, controllato dall'uomo grazie ad opere idrauliche come argini, idrovore e canali artificiali, e l'accumulo di materiale detritico fluviale lungo le spiagge.

Oltre alle numerose risorgive sul territorio del veneto sono presenti numerosi fiumi, il Po e l'Adige scorrono nel Veronese e nel Polesine, gli altri fiumi, con portate inferiori e dall'alimentazione irregolare hanno origine nella fascia prealpina, come il Piave ed il Brenta, o nella fascia delle risorgive, come il Sile, il Tartaro ed il Bacchiglione. Numerosi sono poi i corsi d'acqua minori che vanno a confluire nei fiumi più importanti.

È presente un solo lago di grandi dimensioni, il lago di Garda, mentre sono presenti nel Bellunese alcuni laghi minori come il lago di Alleghe, di Misurina e Santa Croce.

Il clima del Veneto presenta caratteristiche peculiari, la regione collocata ad una latitudine media presenta caratteristici effetti stagionali, a ciò si aggiunge il fatto che si trova nella zona di transizione tra areale centro europeo, dominato da correnti dall'oceano atlantico ed occidentali, ed areale sud europeo con influsso di Mar Mediterraneo e degli anticicloni subtropicali. Il clima viene influenzato anche da altri fattori che vanno a definire specifiche sottozone climatiche, nell'alto bacino del Piave e nella parte nord troviamo un clima alpino con escursioni termiche elevate, in inverno si possono raggiungere i -20° e d'estate i $+30^{\circ}$, nella zona pianeggiante troviamo invece un clima moderatamente continentale, le estati sono calde ed afose mentre gli inverni freddi ed umidi.

Sulla costa dell'Adriatico e sul Lago di Garda troviamo un clima più mite e mediterraneo, con inverni meno rigidi, mitigati dalla presenza del mare e del lago.

Su tutta la regione si registrano cambiamenti stagionali marcati, interessanti sono alcuni microclimi che si possono trovare ad esempio nelle doline, che sono delle depressioni fredde dove in inverno si possono superare i -40° con marcate inversioni termiche e rapide oscillazioni delle temperature.

Le precipitazioni variano durante l'anno, la stagione invernale e quella estiva risultano le più aride per quantità di pioggia. In estate si possono creare importanti fronti temporaleschi, con celle e supercelle che possono portare a dei veri e propri nubifragi con grandinate localizzate e sparse nel territorio; in primavera ed autunno le piogge sono più dilazionate nel tempo con piogge frequenti e prolungate, infine in inverno le precipitazioni tendono ad essere più moderate, con nevicate nelle zone montuose che possono arrivare fino in pianura anche se la nevosità della pianura Veneta è inferiore rispetto al resto della pianura padana .



Figura 1: cartografia del Veneto

2.1 Il Consorzio di Bonifica Brenta

Il Consorzio di Bonifica Brenta (CBB) copre una superficie di 70'933 ettari all'interno delle province di Vicenza, Treviso e Padova comprendendo per intero od in parte la giurisdizione di 54 comuni interessando circa 250.000 abitanti. Ha sede in Cittadella, nella provincia di Padova, ed il suo territorio di competenza si estende lungo il fiume Brenta e viene diviso dalla linea delle risorgive. Il suo territorio parte dal massiccio del Grappa e dall'Altopiano di Asiago e prosegue fino alla S.S. 47 a Limena congiungendosi col fiume Bacchiglione a Padova lungo il canale Brentella, ad ovest confina col fiume Astico Tesina ed a est segue il corso del fiume Muson dei Sassi fino a Castelfranco Veneto, per poi rientrare lungo la congiungente tra Castelfranco e Cittadella

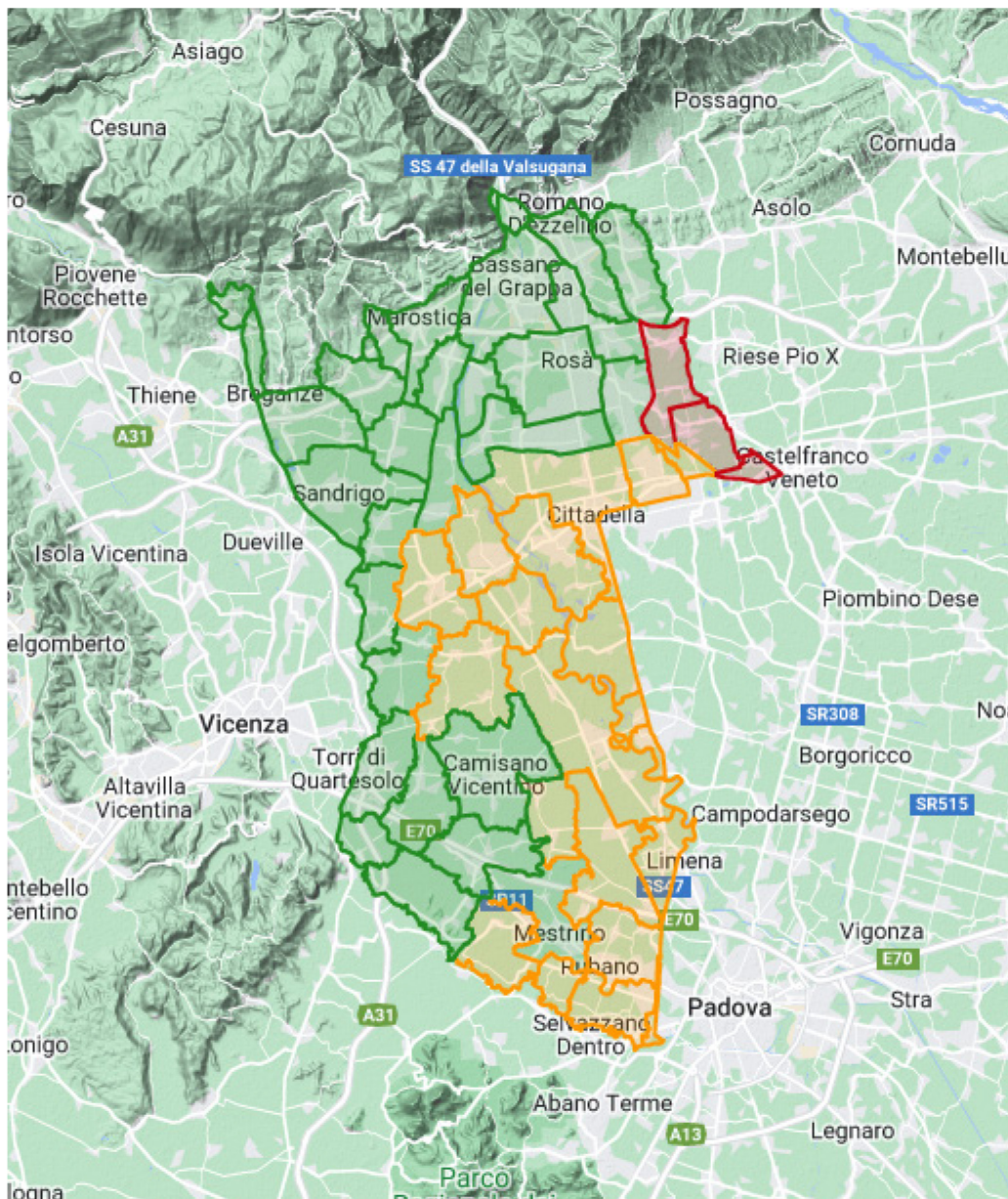


Figura 2: Territorio del consorzio di bonifica brenta

Nel corso del 2022, come ormai accade da molti anni a questa parte, i valori termici si sono mantenuti per la maggior parte dell'anno superiori alle medie di riferimento, superando vari record di caldo degli ultimi 30 anni. Alle alte temperature si sono aggiunte l'assenza prolungata di precipitazioni rendendo il 2022 l'anno più arido e caldo degli ultimi tre decenni.

Le temperature medie mensili sono state per nove mesi superiori alla norma facendo segnare ad ottobre un nuovo record per la temperatura media più elevata, mentre le precipitazioni sono risultate molto scarse con una siccità su tutto il territorio italiano persistente. Nel Veneto si sono attestate a 771 mm di media valore che ha superato in negativo il record del 2015 di 70mm. La media degli ultimi 30 anni è di 1100 mm.

Le precipitazioni non sono uniformi su tutta la regione, troviamo valori maggiori nella parte nord (fra i 1000 e i 1400mm) mentre via via diminuiscono andando verso il sud della regione (fra i 400 ed i 600mm). Nella parte nord, quella alpina, mancano fino a 700mm di pioggia mentre nel restante territorio arriviamo ad un diffuso -40% di precipitazioni come si può ben vedere in mappa.

L'andamento evidenzia che tutte le stagioni sono state caratterizzate da siccità prolungate, piogge scarse e temperature anomale, le uniche eccezioni sono i mesi di agosto e dicembre con precipitazioni leggermente superiori alla norma ed un settembre in linea con gli andamenti storici, gli altri mesi hanno deficit compresi tra il -40% ed il -83%

Per quanto riguarda il territorio del CBB vediamo che si trova proprio in un'area dove le precipitazioni sono state ancora minori dell'andamento medio regionale, in alcuni punti si tocca una differenza percentuale superiore al -45% ed una differenza con la media annuale fra i 400 ed i 560mm di pioggia non caduti, ritroviamo anche qui l'andamento che caratterizza la regione, con una maggiore piovosità verso il nord, dove si arrivano a contare fra gli 820 e i 980mm caduti, ed una minore piovosità verso sud dove si scende fino ai 500mm. Per quanto riguarda le temperature si sono attestate seguendo la linea generale dell'intera regione, con caldo anomalo e temperature sopra la media.

In questo studio dell'ARPAV (dati dal 1961 al 2004) possiamo vedere come ci siano già stati in passato anni siccitosi, principalmente sono stati 5, ovvero il 1962, il 1971, il 1983, il 1985 ed il 2003, ma di questi solo il 1971 è stato preceduto da un autunno-inverno povero di precipitazioni, anche se le siccità più severe si sono riscontrate nel 1985 e nel 2003.

In tempi più recenti si è avuta una siccità molto grave anche nel 2015, con totale assenza di copertura nevosa della parte alpina, siccità che si è poi protratta per il resto dell'anno. In totale caddero mediamente 815 mm di pioggia durante tutto l'anno, posso quindi affermare che, secondo i dati raccolti, la siccità del 2022, con i suoi 771mm di media, a livello di precipitazioni è la peggiore registrata dal 1961 ad oggi.

3 - Fattori e cause del cambiamento climatico

Per cambiamento climatico si intende un'alterazione a lungo termine dei modelli meteorologici e delle temperature che avvengono naturalmente su scale millenarie.

Possono essere causati da vari fattori come dalla variazione nella quantità di energia emessa dal Sole (radiazione solare incidente), da una variazione dell'albedo (radiazione solare che viene riflessa dalla terra) e mediante la variazione della concentrazione dei gas serra come il vapore acqueo o altri gas. Tuttavia, negli ultimi 150 anni, il fattore più importante per il riscaldamento climatico è l'uomo con l'emissione di gas serra dati dalla combustione dei combustibili fossili.

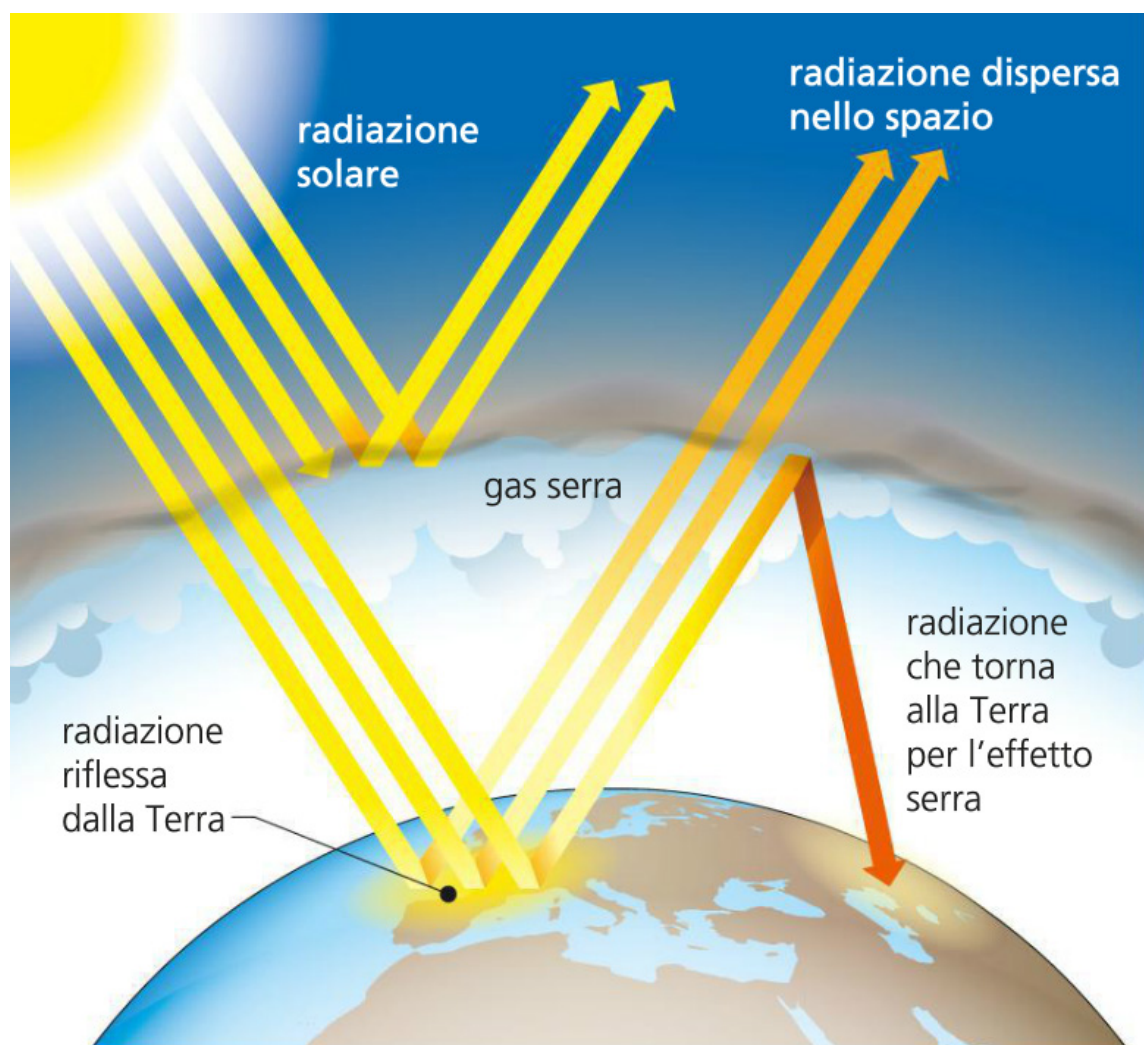


Figura 3: schema semplificato della radiazione solare che viene riflessa dai gas serra e ritorna sulla terra

Lasciando da parte il vapore d'acqua essendo un gas prodotto naturalmente e parte del ciclo idrologico e necessario alla vita, i gas emessi di origine umana sono l'anidride carbonica (CO₂), il metano (CH₄), il protossido d'azoto (N₂O) e altri gas fluorati. Questi gas imprigionano la radiazione emessa dalla superficie terrestre respingendola sulla terra, un aumento di questo gas provoca un rafforzamento del riscaldamento globale del pianeta.

Questi gas vengono anche chiamati anche gas clima-alteranti, l'anidride carbonica è quello più presente in atmosfera, migliaia di volte maggiore degli altri, viene prodotto dalla produzione industriale, di cemento e di energia elettrica, dalla deforestazione e dalla combustione di biomasse.

Il metano viene prodotto prevalentemente dall'allevamento e dall'agricoltura, dalle discariche e dalla produzione di combustibili fossili per il trasporto, è presente in quantità molto minori rispetto l'anidride carbonica, ha un ciclo di presenza in atmosfera che oscilla tra i 10 e i 15 anni (la CO₂ circa 100 anni) ma cattura 23 volte più calore.

Il protossido d'azoto viene prodotto dal trattamento dei liquami, dalla produzione di prodotti chimici ed industriali e dalla fertilizzazione dei campi, ha un potere d'assorbimento 310 volte maggiore della CO₂.

Infine troviamo i gas fluorati ad effetto serra, questi sono i peggiori arrivando ad un assorbimento 22mila volte maggiore della CO₂, questi gas sono vengono emessi dall'industria elettronica e dalla manifattura dell'alluminio (SF₆ esafluoruro di zolfo – PFC perfluorocarburi), a fini di raffreddamento e refrigerazione (HFC idrofluorocarburi) e i CFC clorofluorocarburi ormai banditi per le problematiche create all'ozono. Ci sono anche altri gas che possono influenzare indirettamente il clima come il monossido di carbonio, i composti organici volatili e gli ossidi d'azoto.

Negli ultimi 100 anni si è assistito a cambiamenti molto rapidi che hanno provocato un riscaldamento di oceani e troposfera, dello scioglimento dei ghiacci con un innalzamento del livello dei mari, una variazione dei modelli di precipitazione con siccità e nubifragi sempre più frequenti. A livello mondiale, però, ci sono zone più e meno colpite da questo fenomeno, le regioni che saranno più colpite sono l'Amazzonia, la parte orientale dell'Asia centrale, l'Indonesia e le aree tropicali dell'Africa occidentale e l'Europa centrale.

In Italia il riscaldamento climatico sta portando ad una variazione dei modelli di precipitazione nel medio e lungo periodo, dai dati di Isprambiente risulta che la maggioranza dei modelli prevede una diminuzione di qualche punto percentuale delle precipitazioni su tutto il territorio italiano, anche se alcuni modelli prevedono un debole aumento per quanto riguarda l'Italia nord-orientale.

I modelli di precipitazione stagionale vedono invece l'inverno come unica stagione dove si prevede un aumento contenuto, mentre primavera ed estate avranno riduzioni più significative. A differenza dei modelli annuali i modelli stagionali prevedono la presenza di aree dove le precipitazioni saranno maggiori ed altre zone dove saranno minori, a livello nazionale si prevede quindi una diminuzione delle precipitazioni per primavera estate ed autunno ed un aumento per l'inverno.

Andando ad analizzare la variazione d'intensità dei fenomeni estremi, i modelli mostrano come sia prevedibile una blanda sebbene progressiva intensificazione e concentrazione di questi fenomeni, rendendoli quindi meno frequenti ma più intensi su tutto il territorio nazionale. Secondo i dati aumenteranno considerevolmente i giorni consecutivi senza pioggia, con andamento progressivo nel tempo e su tutto il territorio nazionale anche se concentrato maggiormente al sud e nelle isole.

Ciò porterà a delle siccità sempre più prolungate nel tempo ed interrotte da violente e rapide precipitazioni, con il rischio di nubifragi, dissesto idrogeologico e tutto ciò che ne consegue.

La siccità è una condizione dovuta ad una scarsità di precipitazioni per un periodo di tempo eccezionalmente lungo, è un fenomeno temporaneo, ma che a causa del riscaldamento climatico è sempre più frequente e causa impatti all'ambiente, alla società ed all'economia. In relazione agli effetti prodotti, la siccità si può dividere in più definizioni;

- Siccità metereologica, dove si ha una relativa diminuzione delle precipitazioni.
- Siccità idrologica, dove sono i corpi acquiferi a rilevare una diminuzione nell'apporto idrico.
- Siccità agricola, dove il basso contenuto idrico del suolo provoca condizioni di stress idrico nelle colture.
- Siccità socio-economica ed ambientale, dove si ha uno squilibrio tra la domanda d'acqua per le attività economiche, sociali e per conservare gli ecosistemi e la disponibilità effettiva.

I fattori climatici che contribuiscono alla siccità sono principalmente due:

3.1 La riduzione delle precipitazioni

Il deficit di precipitazione si riferisce ad una diminuzione nella quantità di precipitazione che dovrebbe cadere su una determinata area in un determinato periodo di tempo, come visto in precedenza nel 2022 in Veneto abbiamo avuto un deficit superiore al 30%.

Le anomalie negative rappresentano invece una variazione significativamente inferiore rispetto alla normale variabilità storica in una determinato luogo e periodo di tempo, è un concetto simile al deficit di precipitazione ma che tende a sottolineare una situazione ancor più grave. Queste anomalie possono essere anche positive, ad esempio nell'alluvione dell'Emilia Romagna avvenuta nella primavera di quest'anno si hanno anomalie che superano i 200 mm di pioggia caduta in breve tempo.

La variazione stagionale delle precipitazioni fa riferimento alla variazione della quantità di precipitazioni fra una stagione e l'altra, queste variazioni possono subire delle alterazioni o delle estremizzazioni causate dal cambiamento climatico come un aumento delle precipitazioni durante le stagioni fredde e dei periodi più secchi nelle stagioni calde.

L'estensione geografica gioca un ruolo fondamentale, se le basse precipitazioni sono confinate in una piccola regione di territorio il problema può essere affrontato più facilmente, mentre una mancanza di precipitazioni estesa porta problematiche maggiori perché ha effetti più ampi su tutto il settore sociale, economico ed ambientale, molti settori possono essere colpiti simultaneamente e ciò richiede spesso una risposta coordinata a livello nazionale attraverso piani di emergenza e strategie di gestione delle risorse

Gli eventi meteorologici estremi, poi, sono una delle dirette conseguenze della siccità, un continuo aumento delle temperature provoca una maggior evaporazione dell'acqua, maggiore è la concentrazione di vapore in atmosfera maggiore sarà la precipitazione al suolo. Al primo ingresso di un fronte d'aria fredda si avranno quindi delle precipitazioni molto violente, localizzate e di breve durata, con accumuli fino a centinaia di millimetri che normalmente dovrebbero cadere nell'arco di alcuni mesi.

3.2 L'aumento delle temperature

Proprio le temperature sono il secondo fattore climatico più rilevante all'interno di una siccità, un aumento delle temperature provoca un'evaporazione delle riserve idriche, dei laghi e dei fiumi maggiore, ad esso si associa una crescente domanda idrica per affrontare queste alte temperature da parte dei vari settori economici e sociali.

Le alte temperature provocano anche uno scioglimento nivale accelerato portando nel lungo termine ad una diminuzione della riserva d'acqua nelle montagne. Una delle cause della siccità del nord Italia nel 2022 è stata proprio la poca copertura nivale caduta sulle alpi nell'inverno 2021-2022, ciò accomunato alle alte temperature ha portato ad uno scioglimento precoce della neve lasciando senza questa fonte cruciale le riserve idriche. Le alte temperature portano anche un'evaporazione eccessiva dell'acqua nel suolo, creando un deficit di umidità che influenza negativamente l'agricoltura e gli ecosistemi naturali.

Queste alte temperature possono portare delle vere e proprie ondate di calore, queste sono dei periodi di tempo con temperature notevolmente superiori alla norma in una determinata area geografica, queste ondate non fanno altro che peggiorare tutti gli aspetti della siccità aumentandoli e provocando ulteriore stress termico all'ecosistema.

Uno degli effetti delle ondate di calore è il fenomeno dell'isola di calore urbana. Nelle aree urbanizzate si può sperimentare questo fenomeno in cui le temperature sono nettamente più alte rispetto alle aree rurali, è dovuto da molteplici fattori, come la mancanza di vegetazione e di aree verdi, l'uso di materiali da costruzione poco isolanti come cemento, acciaio ed asfalto e dalla densità edificatoria che limita o impedisce la circolazione dell'aria e la dispersione del calore.

Tutto ciò porta al lento rilascio di notte del calore assorbito dalle superfici urbane durante il giorno, portando disagio termico nelle persone, un aumento del consumo energetico e un maggior inquinamento atmosferico.

A causa del cambiamento climatico si prevede un cambiamento nella variazione stagionale delle temperature, un inverno più mite può portare ad una minor copertura nivale delle catene montuose, un'estate più calda porta ad una maggior siccità ed a fenomeni meteorologici più intensi, tutto ciò non fa altro che aggravare le previsioni future di siccità e fenomeni intensi.

3.3 Interazioni tra fenomeni climatici globali e locali

Ci sono poi alcuni fattori naturali che possono influenzare il clima di una regione, ad esempio i fenomeni oceanici atmosferici, la variazione delle correnti oceaniche o il surriscaldamento dei mari. Sono molti e tutti interagiscono fra loro ma verranno analizzati i fenomeni che incidono principalmente sull'Europa ed il mar Mediterraneo.

El niño: anche conosciuto come ENSO (*El Niño Southern Oscillation*), è un fenomeno oceanico che porta importanti conseguenze atmosferiche, riassumendo in breve esso porta ad un riscaldamento della temperatura superficiale dell'oceano pacifico al largo delle coste dell'Equador e del Perù causando successivamente effetti a scala globale. Porta ad un aumento della temperatura globale di 0,2° celsius e sembra che influenzi anche il clima in Europa, portando a degli inverni più secchi e freddi nella parte nord e più miti ed umidi nella parte sud.

Oscillazione nord atlantica: conosciuta come NAO, è un fenomeno che ha origine nell'oceano atlantico settentrionale ed è caratterizzato da una fluttuazione ciclica est-ovest della differenza di pressione al livello del mare tra Azzorre ed Islanda. I venti occidentali scorrendo attraverso l'atlantico portano aria umida in Europa, se questi venti sono forti provocano estati piovose e più fresche ed inverni miti, se questi venti si indeboliscono si verificano estati più caldi ed inverni più freddi con estremizzazione dei fenomeni meteorologici. La NAO va ad influire proprio su questi venti determinando cambiamenti nel clima europeo, se i venti occidentali si indeboliscono la traiettoria delle perturbazioni cambia e si sposta verso il mar Mediterraneo aumentando le precipitazioni.

Corrente del Golfo: è una calda corrente oceanica che trasporta acqua calda dal golfo del Messico verso il nord dell'oceano Atlantico per poi raffreddarsi in prossimità del circolo polare artico, inabissarsi e ricominciare il ciclo da capo. È importantissima per la mitigazione del clima europeo, soprattutto per i paesi che si affacciano sull'oceano Atlantico, non ci fosse questa corrente nel nord Europa gli inverni sarebbero molto più rigidi. Negli ultimi decenni la corrente del Golfo si sta affievolendo, a causa dello scioglimento dei ghiacci della Groenlandia dovuti all'innalzamento delle temperature, in futuro se questa corrente diventasse troppo debole potrebbe portare un notevole abbassamento delle temperature sul suolo europeo.

Influenza del mar Mediterraneo: Questo mare funziona da regolatore climatico per le zone costiere circostanti attenuando le variazioni termiche che altrimenti caratterizzerebbero queste zone. Le temperature superficiali dell'acqua possono influenzare i modelli atmosferici e le condizioni meteorologiche, a causa del riscaldamento climatico il mar Mediterraneo è sempre più caldo, ciò comporta un'elevata evaporazione superficiale, le ondate di calore a livello atmosferico tendono ad intensificarsi e con esse anche i fenomeni intensi a causa di una maggiore disponibilità di vapore acqueo. È dagli anni 70 che le temperature tendono ad aumentare alla media di 0,2 – 0,5° ogni 10 anni, tutto ciò oltre ai problemi climatici porta con se tutte le conseguenze sull'ecosistema marino e di conseguenza sull'economia delle zone costiere.

Tropicalizzazione del clima in Italia: le temperature più calde, la concentrazione delle precipitazioni e le siccità sempre più prolungate sono un sintomo della tropicalizzazione del clima in Italia. Con tropicalizzazione si intendono dei fenomeni imputabili al riscaldamento globale che creano un'alterazione del clima che lo rendono sempre più simile a quello delle regioni tropicali, con temperature elevate e costanti per lunghi periodi dell'anno e fenomeni di precipitazione intensi e ricorrenti

4 - Impatti della siccità e dei nubifragi sugli ecosistemi e sul tessuto socio-economico

A livello ambientale i primi a risentire di una siccità prolungata sono le zone umide e paludose, successivamente gli ecosistemi acquatici ed infine gli ecosistemi terrestri.

Zone umide: la siccità può portare alla riduzione dell'estensione delle zone umide, se c'è un grosso abbassamento delle falde sotterranee queste non sono più in grado di portare abbastanza acqua per alimentare queste zone, come risultato si avrà un prosciugamento progressivo con una perdita di habitat, seguita da una mortalità delle specie acquatiche ed anfibe portando ad un'alterazione degli equilibri ecologici ed un progressivo declino delle funzioni ecologiche delle zone umide come l'alimentazione e la riproduzione di uccelli.

Ecosistemi acquatici: una drastica riduzione dell'afflusso d'acqua, dovuto alle scarse precipitazioni, nei fiumi e nei laghi porta ad un progressivo abbassamento del loro livello. Un abbassamento eccessivo porta con se molte problematiche come una concentrazione maggiore degli inquinanti ed un aumento continuo della temperatura dell'acqua, una scarsità di cibo e di risorse per le specie acquatiche andando così ad inficiare il loro sostentamento e la loro riproduzione. Ha un impatto anche sulla migrazione delle specie come gli uccelli migratori ed è una minaccia per la biodiversità di questi ecosistemi, se la siccità persiste può portare al declino della popolazione dei pesci e di altre specie acquatiche

Ecosistemi terrestri: con la siccità si ha una progressiva degradazione del suolo, questa aumenta l'erosione e la compattazione formando una crosta superficiale che riduce la porosità e la capacità di assorbimento d'acqua nel suolo, si ha poi una perdita di materia organica e di biodiversità all'interno del suolo comportando una minor mineralizzazione della materia organica e riducendo il nutrimento disponibile per le piante. Sempre le piante oltre a ricevere minor nutrimento vanno in stress idrico a causa della mancanza d'acqua, ciò comporta una minor produzione vegetale e se questa situazione continua provoca una riduzione nella copertura fogliare indebolendole ulteriormente e portandole alla morte, questo provoca una perdita di biodiversità specialmente nelle piante meno resistenti, inoltre, un ecosistema arido aumenta molto il rischio di incendi, con tutto ciò che ne consegue. Le piante secche e la scarsità di vegetazione influenzano la presenza di prede, frutti ed erbe di cui si nutrono gli animali causando problemi di salute e di riproduzione ed aumenta il rischio di predazione dovuto alla continua ricerca di cibo. Ciò implica una diminuzione della popolazione sia della flora che della fauna mettendo sotto grande stress l'intero ecosistema.

4.1 Impatti siccità su settore economico

Tutti i settori economici risentono delle problematiche della siccità, ma ce ne sono alcuni che senza acqua non possono produrre creando quindi, in caso di gravi siccità estese, un rischio economico per l'intera filiera produttiva e per il paese intero.

A livello economico il primo settore a subire gli effetti negativi della siccità è l'agricoltura, la bassa umidità del suolo causa stress idrico nelle coltivazioni creando gravi danni nella produzione e nella qualità dei raccolti, si alzano notevolmente anche i costi di produzione, secondo Coldiretti durante la siccità 2022 più di un terzo degli agricoltori avrebbe lavorato in perdita ed il 13% circa sarebbe a rischio chiusura. Il troppo caldo influisce anche nelle rese dei raccolti. Mais, grano e cereali hanno visto un calo di resa intorno al 30%, cali che aumentano nell'orticoltura e nella frutticoltura fino a superare il 70% in alcune zone. Anche negli allevamenti si hanno cali di produzione, dovuti ai razionamenti idrici o al troppo caldo, un esempio sono i bovini da latte che con temperature troppo elevate diminuiscono quantità e qualità della produzione e necessitano di un quantitativo idrico maggiore.

Un altro settore fortemente danneggiato dalla siccità è il settore energetico. Questo settore ha una grossa dipendenza dalle risorse idriche che in caso di siccità mette a rischio gli impianti idroelettrici, questi in periodi di scarsità d'acqua possono funzionare a regime ridotto o in caso di siccità grave devono essere completamente fermati. A subire le problematiche sono anche gli impianti a gas e nucleari, per i quali servono ingenti quantità d'acqua per il raffreddamento. Nel corso del 2022 a causa della magra del Po e la conseguente scarsità d'acqua, sono state fermate alcune grandi centrali termoelettriche, come quelle di Sermide e Moncalieri. Il nucleare francese ha registrato un -38% di produzione nei mesi di agosto e settembre rispetto l'anno precedente. Per ovviare a questi problemi bisognerebbe integrare dei sistemi di raffreddamento più efficienti, come quelli a circuito chiuso o ad aria, e pulire i bacini degli impianti idroelettrici dai vari strati di sedimento portati nel tempo per aumentare la loro capacità d'invaso.

Anche il settore industriale può avere notevoli rallentamenti nella produzione, in Italia le industrie che richiedono più acqua sono il settore minerario e chimico, le industrie alimentari, tessili e per la produzione di cellulosa e carta, secondo i dati Istat in Italia per il settore manifatturiero vengono consumati 3,79 miliardi di metri cubi d'acqua l'anno. I tre principali settori che consumano da soli quasi il 40%, risultano essere: Coke, prodotti petroliferi raffinati e prodotti chimici, prodotti in metallo esclusi macchinari e gomma e prodotti plastici.

Le problematiche per il settore industriale sono molteplici e diverse fra loro in base alle esigenze di ogni industria, ad esempio nel settore alimentare con la riduzione delle rese agricole possono andare incontro ad una diminuzione delle scorte di materie prime ed un aumento nel loro costo d'acquisto. Una carenza d'acqua può portare ad un abbassamento della produzione nei settori dove viene utilizzata l'acqua come sistema di raffreddamento degli impianti o come parte stessa della produzione con costi operativi maggiori arrivando fino al completo blocco della produzione in caso di siccità estrema.

Il riscaldamento globale è causa delle siccità, ma allo stesso tempo, anche dei nubifragi. La mancanza di precipitazione per lunghi periodi altera il ciclo dell'acqua, temperature più calde ed assenza di precipitazioni portano ad un'evaporazione maggiore dell'acqua contenuta nel suolo, nei fiumi, nei laghi e nei mari. Questo vapore acqueo si accumula ed all'arrivo di una perturbazione, avendo più energia disponibile del normale, questa assume dei caratteri estremi e scarica a terra

in un breve lasso di tempo tutta l'energia che si era accumulata in precedenza andando a creare dei veri e propri nubifragi localizzati, con accumuli che possono superare le centinaia di millimetri in poche ore. Questa intensificazione del ciclo idrologico, come detto in precedenza, è causata dal cambiamento climatico e il connubio tra periodi di secco estremo e periodi di umido estremo è detto colpo di frusta delle precipitazioni.

I dati pubblicati sulla rivista *Nature* dimostrano come l'intensità globale di questi fenomeni sia strettamente collegata all'innalzamento delle temperature medie globali e che la frequenza di questi colpi di frusta tenderà ad aumentare entro il 21° secolo di 2,56 volte. Inoltre, queste transizioni saranno sempre più rapide ed intense tra i due estremi ed entro il 2079 si prevede che i gas serra emessi dall'uomo aumenteranno del 55 % il rischio di avvenimento di questi fenomeni.

Sebbene questo colpo di frusta sia di essenziale importanza per il recupero delle risorse idriche, il suolo essiccato, prosciugato dal periodo di siccità, può formare una crosta superficiale dura e quasi impermeabile che favorisce la generazione di deflusso superficiale che in casi estremi può provocare inondazioni, frane ed erosione. L'aumentare di questi colpi di frusta può far crescere il livello di azoto nelle acque fluviali e nei terreni agricoli abbassando la qualità dell'acqua.

Questi cambi repentini e sempre più veloci rendono sempre più difficoltoso prepararsi alle circostanze che ne conseguono inasprando gli effetti negativi che siccità e nubifragi comportano aumentando la vulnerabilità degli ecosistemi e portando una grande sfida alla resistenza della società umana e delle sue infrastrutture.

Ne sono un esempio i temporali occorsi su Lombardia, Friuli-Venezia-Giulia e Veneto durante il luglio di quest'anno, dove dopo un periodo di siccità ed ondate di calore anomale con temperature vicine o superiori ai 40° centigradi (quasi 10° oltre la norma del periodo), è susseguito un periodo umido con precipitazioni di estrema violenza con accumuli significativi e grandine di grosse dimensioni (oltre i 10cm ed occasionalmente oltre i 15cm). In una settimana è stato battuto il record europeo tre volte, iniziando da Carmignano di Brenta in provincia di Padova il 19 luglio (chicchi di grandine di 16 cm di diametro) per arrivare al record definitivo ad Azzano Decimo in provincia di Pordenone dove è stato rinvenuto un "chicco" di grandine di 19 cm di diametro il 24 luglio avvicinandosi molto al record mondiale di 20,3 cm caduto in Sud Dakota.

Sempre secondo una ricerca dell'*European Severe Storm Laboratory* (ESSL), proprio il Nord Italia sta mostrando nel tempo una propensione sempre più crescente per questi fenomeni estremi con un aumento della frequenza delle grosse grandinate maggiore rispetto alle altre regioni europee, con un aumento rispetto agli anni '50 del 100% per la grandine superiore di 2cm ed addirittura del 200% per la grandine superiore ai 5cm.

4.2 Effetti dei nubifragi sulle risorse idriche

Le alte temperature atmosferiche comportano un surriscaldamento del suolo maggiore del normale, questo comporta uno squilibrio sempre maggiore tra la temperatura della superficie

della terra e la temperatura degli strati più alti della troposfera (la parte di atmosfera dove avvengono i fenomeni atmosferici) comportando un'estremizzazione dei fenomeni di precipitazione.

Questa estremizzazione all'inizio sembra portare dei benefici perché porta ad una ricarica delle acque superficiali ma in realtà porta ad un impatto negativo sulla disponibilità delle risorse idriche. Una delle proprietà intrinseche del suolo è la sua permeabilità, che dipende principalmente dalla sua composizione (granulometrie più grosse hanno capacità superiori rispetto a granulometrie inferiori, le quali possono risultare quasi impermeabili) e dal suo compattamento.

Se le precipitazioni risultano di breve durata e con intensità molto alta il suolo non riesce ad assorbire tutta l'acqua che riceve, causando quindi un deflusso superficiale che non permette la ricarica delle falde sotterranee innescando quindi una reazione a catena che causa un ruscellamento sul terreno sempre maggiore. Questo ruscellamento aumenta notevolmente il dissesto accelerando erosione, causando smottamenti e frane. Inoltre, l'incapacità del suolo di assorbire acqua aumenta l'afflusso nei torrenti e nei fiumi causando portate maggiori fino a farli straripare causando alluvioni.

Da questo fenomeno non sono esenti nemmeno i grandi bacini artificiali creati con le dighe, sebbene questi siano in grado di trattenere questo surplus d'acqua che arriva nella rete fluviale. L'erosione ed il maggior trasporto di sedimenti che comporta questo deflusso superiore causa delle problematiche serie, questi sedimenti si depositano a monte provocando un rapido interrimento dei bacini artificiali, cioè un progressivo accumulo di strati di terra, sabbia e sedimenti più grossolani sul fondo del bacino andando a ridurre progressivamente la capacità d'invaso e limitandone le sue funzionalità, inoltre tutti questi sedimenti trasportati rendono l'acqua torbida che non può quindi essere utilizzata per essere immessa nelle reti di approvvigionamento idrico fino a quando i sedimenti in sospensione non si depositano.

Abbiamo quindi un fenomeno del tutto paradossale, l'eccessiva disponibilità d'acqua causa una carenza nell'acqua disponibile.

Il ruscellamento sui terreni provoca anche un inquinamento maggiore dell'acqua, questo è causato da più fattori ma principalmente è dovuto al trascinamento in acqua di materiali di produzione industriale ed alla dissoluzione in acqua di pesticidi, fertilizzanti ed infine liquami. Questi sono idrosolubili ed in caso di piogge intense vengono dilavati dal terreno e trasportati dai corsi d'acqua nei corpi idrici superficiali causando un'eutrofizzazione delle acque.

L'eutrofizzazione è un processo degenerativo dei corpi idrici che si caricano di sostanze come azoto e fosforo, si altera così il colore e la trasparenza dell'acqua dovuto ad una concentrazione delle microalghe in sospensione eccessiva. In estate ed autunno con le acque calde e calme questo porta ad una stratificazione che impedisce l'ossigenazione delle acque di fondo e mette in sofferenza le comunità bentoniche.

La bassa ricarica delle falde sotterranee provoca anche diversi disagi lungo le coste dovute alla risalita del cuneo salino nelle falde acquifere. L'acqua dolce essendo meno densa dell'acqua salata

tende a restare più in superficie ed in condizioni normali la spinta dell'acqua dolce contrasta la risalita dell'acqua salata creando un equilibrio. In caso di scarsità d'acqua nelle falde sotterranee l'acqua salata riesce a penetrare più in profondità nella terra rendendo queste risorse idriche inutilizzabili per l'agricoltura ed accelerando il processo di inaridimento delle zone costiere. Nel peggiore dei casi anche gli acquedotti risentono di questa risalita del cuneo salino creando gravi problemi di approvvigionamento.

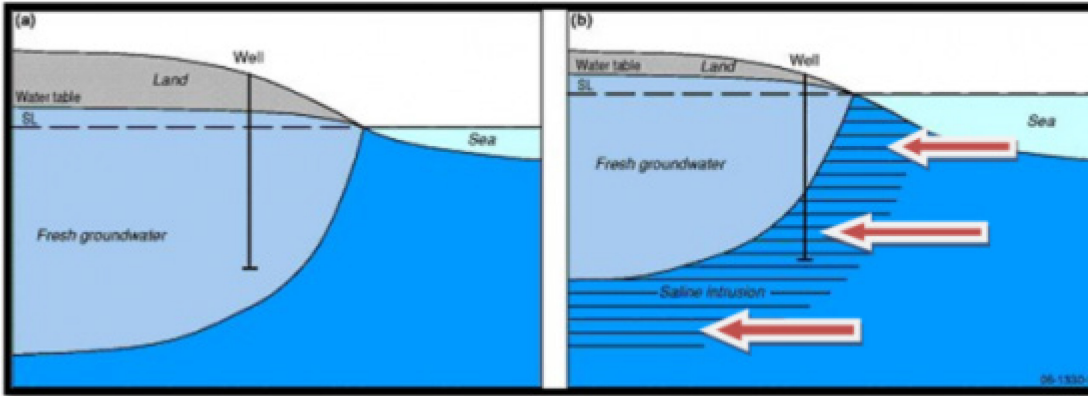


Figura 4: esempio di risalita del cuneo salino

4.3 Effetti dei nubifragi sull'ambiente

Il primo effetto delle piogge intense è un'erosione del suolo più accentuata dovuta alla maggior energia in gioco durante questi fenomeni.

L'erosione ha effetto sia dove avviene il fenomeno sia dove successivamente questo materiale si deposita (*On site* ed *off site*).

Gli effetti *on site* comprendono la perdita di suolo, sostanze nutritive e materia organica, si ha un'esposizione del sottosuolo e l'esposizione di radici comportando una riduzione della crescita delle piante. Il suolo è soggetto a compattazione e deformazione rendendolo difficoltoso da lavorare e riducendo l'intera funzionalità dell'ecosistema.

Gli effetti *off site* invece non sono facilmente intuibili, il materiale eroso viene trasportato lontano e si deposita in torrenti fiumi e laghi o si deposita in altri terreni, può comportare la sepoltura di vegetazione e l'eutrofizzazione dei corpi idrici, può aumentare l'inquinamento di terra ed acqua e ridurre la qualità ed infine può arrivare a causare inondazioni.

Questo fenomeno di erosione è più marcato nei terreni in pendenza diventando critico dove la pendenza supera i 20° e si accentua nei terreni agricoli.

L'erosione del suolo è una delle prime cause del ruscellamento delle acque, ciò è dovuto alle gocce di pioggia che cadendo rompono gli aggregati del suolo staccando piccole particelle di terreno che vanno ad occludere i macropori riducendo la capacità di infiltrazione e creando un fine strato d'acqua che non penetrando sposta questi sedimenti e più una pioggia è intensa più questo

fenomeno aumenta, questa erosione viene definita *splash erosion* ed è l'inizio di altri tipi di erosione più marcati soprattutto nei pendii.

Per l'intensità elevata della pioggia si può formare un deflusso superficiale lungo tutto il pendio, l'energia cinetica in gioco è ancora bassa quindi verranno trasportati a valle solo i sedimenti più fini, questa erosione si chiama *sheet erosion* ed è graduale e quasi impercettibile, la si può notare su una superficie boschiva dove nel tempo le radici delle piante vengono gradualmente esposte all'aria. Se i pendii non sono uniformi quest'acqua si accumula in piccoli canali grandi pochi centimetri rendendo la superficie discontinua ed intersecata da continui canaletti. Vengono anche rimossi i residui organici sul terreno rendendo il suolo meno fertile.

L'acqua scendendo lungo il pendio si concentra via via su canali di dimensioni fino a 30cm, questi canali non hanno funzione di erosione ma di trasporto dei sedimenti, questo tipo di erosione viene chiamata *rill erosion* ed è tipica di pendii più ripidi e formati da sedimenti impermeabili e fini, se il materiale è più grossolano ha maggiore permeabilità e questi canali hanno sezioni ridotte.

Infine troviamo l'ultimo tipo di erosione chiamato *gully erosion* dove le grandi quantità d'acqua scavano grandi canali superiori ai 30cm e fino ai 3m dove l'acqua scorre veloce ed erode sia il fondale del canale che le pareti laterali, più il canale diventa grande più prende una forma ad U dove l'erosione laterale è maggiore e la pendenza della sponda è quasi verticale.

Oltre all'erosione del suolo i nubifragi possono provocare esondazioni, inondazioni ed alluvioni. Questi tre effetti nonostante riguardino sempre uno straripamento delle acque hanno tre significati leggermente diversi tra loro.

Inondazione: per inondazione si intende un allagamento in un lasso di tempo breve (ore, al massimo giorni) di una porzione di territorio che normalmente non viene interessata dal deflusso delle acque superficiali. Può essere causato dallo straripamento dei corsi d'acqua, dall'alta marea, da tsunami o perfino dallo scioglimento repentino di neve o ghiacci.

Alluvione: per alluvione si intende una inondazione dovuta allo straripamento di un corso d'acqua dal suo percorso normale causato da piogge torrenziali, a cui normalmente sono connessi fenomeni di erosione e di deposito dei sedimenti.

Esondazione: per esondazione si intende un traboccamento delle acque dagli argini o dalle rive di un torrente o un fiume che va ad inondare delle parti di territorio poste a quote altimetriche inferiori. Può avvenire sia per tracimazione che per rottura dell'argine o nel caso di torrenti non regimati quando le acque escono dal proprio alveo.

I danni agli ecosistemi acquatici e terrestri variano molto in base all'entità del fenomeno e alla zona che viene colpita. I primi a subirne le conseguenze sono le zone umide che vengono completamente distrutte, un rapido aumento del livello dell'acqua oltre il normale in queste zone causa problematiche e danni alle piante acquatiche che vengono trasportate via dall'impeto delle acque o si trovano in grande difficoltà una volta sommerse d'acqua e sedimenti, anche gli alberi e altre forme di vita vegetale ed animale ne risentono, l'erosione o il deposito di sedimenti inoltre

altera la composizione e la struttura di queste zone. Un rapido aumento della quantità d'acqua fa variare anche la temperatura della stessa creando shock termici, la qualità dell'acqua ne risente e la concentrazione di ossigeno disponibile diminuisce (anossia) influenzando negativamente pesci ed insetti acquatici e le specie che non possono o non sono in grado di spostarsi rapidamente o che non riescono ad adattarsi, vengono duramente colpite.

Anche gli habitat acquatici soffrono un danneggiamento, i sedimenti trasportati possono ostruire le vie d'acqua precludendo zone di riproduzione o diminuendo l'accesso al cibo e riparo. Negli ambienti acquatici sono presenti numerosi nascondigli che offrono rifugio a molte specie come piante acquatiche, tronchi sommersi e rocce, un'alluvione con un forte deflusso può spazzare via questi nascondigli rendendo le specie acquatiche più vulnerabili a predazione. Pure i cambiamenti nelle condizioni dell'acqua influiscono molto, in un'alluvione le acque vengono inquinate dai liquami e dalle sostanze chimiche agricole ed industriali prodotte dall'uomo, ciò comporta variazioni nell'ossigenazione e nell'acidità dell'acqua che portano stress e deperimento nelle specie acquatiche, ciò aumenta la competizione per le risorse fra le varie specie causando uno squilibrio negativo in quelle più fragili ed alcune specie vanno incontro ad una migrazione forzata. La combinazione di tutti questi fattori porta ad un'inesorabile perdita di biodiversità che può avere un impatto su tutta la catena alimentare.

Non vanno poi sottovalutati gli effetti a lungo termine, se gli ecosistemi acquatici vengono danneggiati ripetutamente dalle alluvioni, essi vengono mutati influenzando la loro struttura e la loro funzione comportando cambiamenti permanenti nella composizione delle specie e nella dinamica dell'ecosistema.

Anche gli ecosistemi terrestri soffrono molto gli effetti delle alluvioni, l'erosione del suolo porta alla perdita del terreno fertile e alla distruzione delle radici delle piante. Nei terreni alluvionati le piante che non sopportano l'immersione possono morire per asfissia radicale (assenza di ossigeno nel terreno occupato dall'acqua impedendo alle radici di "respirare") causando una perdita significativa della copertura vegetale modificando la stabilità dell'ecosistema, il deposito di sedimenti dovuto al ritiro delle acque copre i terreni (aggiungere foto) soffocando i prati e i piccoli arbusti. Anche la fauna selvatica ne risente molto, gli habitat possono essere momentaneamente distrutti o compromessi dall'acqua in eccesso costringendo gli animali a cercare rifugio e cibo altrove aumentandone la competizione. Infine anche negli habitat terrestri si osserva la propagazione degli inquinanti portati dall'acqua contaminando il suolo e influenzando la salute di piante ed animali.

Oltre a tutti questi effetti negativi sull'ambiente, a causa dei nubifragi viene accentuato il pericolo delle frane. Per frana si intende un distacco di terreni dai versanti montuosi con masse spesso ingenti e conseguente discesa verso il basso. Esistono diverse tipologie di frana ma in questo caso ci occuperemo solo delle tipologie che vengono causate dalle piogge intense e dalla saturazione d'acqua del terreno.

Frane di scivolamento o scorrimento: sono favorite dalla presenza di strati di materiali con caratteristiche diverse, sono favorite dall'infiltrazione d'acqua e dall'azione erosiva dei corsi d'acqua alla base del versante, sono frane che avvengono specialmente su terreni argillosi.

Colate: riguardano sempre i terreni argillosi, in caso di piogge intense e con terreni saturi d'acqua questi si possono spostare verso valle lentamente, con la parte centrale che si muove più velocemente andando a formare una specie di lobo. Nelle zone alpine si hanno un differente tipo di colate chiamate *debris flow* e *mud flow*, le prime sono delle colate di detriti più grossolani ed avvengono di norma nei depositi alluvionali mentre le seconde sono delle colate di fango composte da materiali più fini. Questi due particolari tipi di colate si muovono verso valle all'interno di canali molto velocemente, raccogliendo altro materiale durante la loro discesa e travolgendo tutto ciò che incontrano, aprendosi infine a ventaglio al termine della loro corsa e seppellendo ciò che trovano di fango e detriti.

Più le piogge sono intense ed abbondanti maggiore sarà il rischio di mobilitazione di terreni, molto spesso la colpa è dell'uomo dovuta al disboscamento ed all'urbanizzazione incontrollata in territori a rischio dissesto che in Italia supera il 16% della superficie territoriale totale.

Oltre alla chiara perdita di habitat, di suolo ed una spiccata erosione le frane provocano anche degli altri effetti negativi sull'ambiente. Le frane possono ostruire il normale flusso dei corpi idrici creando nuovi percorsi o stagnazione modificando gli ecosistemi acquatici, oltre a questo ci può essere una contaminazione dell'acqua ed un forte danneggiamento della vegetazione dovuto all'abbattimento di alberi ed arbusti causando grossi impatti sulla copertura vegetale della zona interessata dall'evento franoso.

4.4 Effetti dei nubifragi sulle infrastrutture

A risentire dei nubifragi sono anche le infrastrutture costruite dall'uomo e i danni vanno in base alla capacità di queste infrastrutture di gestire l'accumulo d'acqua, il primo effetto sono l'allagamento della rete stradale e dei sottopassi che successivamente si protraggono agli immobili o porzioni di immobili inferiori al livello stradale. Questo è dovuto alla concentrazione di superfici impermeabili ed un sottodimensionamento delle reti di drenaggio, può incidere anche la mancanza di manutenzione e pulizia dei margini stradali e delle pertinenze annesse, il deflusso superficiale quindi può presentarsi anche in casi in cui la rete di drenaggio non è alla sua capacità massima. Le portate in eccesso possono creare allagamenti in zone di depressione oppure defluire superficialmente attraverso strade, marciapiedi o piccoli canali creando così una rete di drenaggio superficiale che può causare problemi in zone lontane da dove è accaduto l'evento meteorico.

Questo drenaggio superficiale può portare ad erosione ai piedi di strade, ponti ed infrastrutture in generale, una non curanza di questo particolare può portare a gravi problemi strutturali nel tempo fino ad arrivare a cedimenti, impraticabilità degli stessi ed infine crolli.

Proprio il sistema di fognature è il secondo, in linea temporale, a subire le conseguenze di un nubifragio, in caso di eventi estremi si può arrivare al sovraccarico del sistema fognario che non riesce più a smaltire la quantità d'acqua in entrata con rischio di allagamenti e deflusso superficiale delle acque e danni alle infrastrutture, a prevenzione di ciò i sistemi di fognatura sono progettati con degli scaricatori di piena che si attivano in caso di raggiungimento delle soglie di allerta ma ciò implica un deflusso diretto di acque non trattate nei corpi idrici riceventi con danni ambientali ed ad impatti sulla salute pubblica con la propagazione di patogeni presenti nelle acque reflue. Le acque reflue contengono una grande varietà di sostanze inquinanti; batteri, virus, nutrienti (azoto e fosforo), oli, sostanze chimiche, metalli pesanti ed altro ancora che vanno ad alterare la qualità dell'acqua e compromettendo così gli ecosistemi acquatici e si innesca tutta la serie di eventi che sono stati ampiamente spiegati in precedenza.

A gravare sulla rete di smaltimento è anche l'infiltrazione dell'acqua in questa rete attraverso crepe o tubazioni danneggiate aumentando ulteriormente il carico su queste strutture. L'ingresso di queste acque piovane provoca una diluizione delle acque nere che se a primo impatto sembra positivo in realtà porta problematiche successive agli impianti di depurazione che dovranno smaltire un quantitativo di acque molto maggiore del normale, questa diluizione inoltre riduce anche l'efficienza di trattamento delle acque andando ad inficiare la qualità delle acque che verranno successivamente rilasciate nei corpi idrici. Infine, l'erosione del suolo può portare successivamente ad una sua sedimentazione proprio nel sistema fognario riducendo la capacità di deflusso od occludendo le condotte fognarie.

Anche gli edifici possono essere danneggiati dalle piogge intense, con infiltrazione d'acqua che col passare del tempo arrecano danni, si possono poi avere interruzioni di energia elettrica dovuto ad un danneggiamento delle linee, con danni economici se questi risultano prolungati nel tempo.

In seguito alle frane si possono avere degli enormi danni alle infrastrutture se queste ne sono coinvolte, una frana può portar via interi edifici e strade causando danni elevati. Negli eventi di piena e nelle colate sono sottoposti a forte stress i ponti e gli argini che possono subire danni strutturali o addirittura crollare. La rottura di un argine è l'evento peggiore perché porta con se gravi conseguenze, una grande inondazione dei terreni circostanti che provoca danni enormi alle strutture ed alla popolazione con sfollamenti e perdita di vite umane, ma per spiegare al meglio i danni che ne conseguono bisogna spiegare cos'è, a cosa serve e per quali motivi crolla un argine.

Gli argini sono delle opere artificiali di difesa del territorio che servono a contenere le acque di piena di un corso d'acqua; normalmente sono di forma trapezoidale costituiti normalmente di terra e di un materiale impermeabile. Il meccanismo di rottura di un argine è conseguenti agli eventi di piena e può avvenire per:

- **Sormonto:** quando le acque oltrepassano l'argine, l'acqua che cade dalla sommità erode la base dal lato campagna fino a provocare il collasso.
- **Erosione:** quando il fiume erode il piede della sponda interna facendolo franare.

- **Sfiancamento:** quando un argine rammollisce e cede dal lato verso la campagna, normalmente dovuto ad una piena di lunga durata che satura il terreno che cede e frana, oppure alla errata consistenza dell'argine.
- **Sifonamento:** quando l'acqua penetra nell'argine e spunta dall'altro lato con asportazione di materiale interno, dovuto principalmente a tane di animali o radici putrefatte, questi fori con il ritiro delle acque possono successivamente crollare determinando abbassamenti e cedimenti nell'argine.

Il cedimento di un argine può causare un'immediata inondazione dei terreni a valle con conseguenze catastrofiche, l'acqua sale velocemente di livello causando danni estesi, sono un grosso rischio per le vite umane dato che se impreparate le persone possono rimanere intrappolate o venire travolte dall'acqua. Gli edifici, le automobili, le colture e molto altro vengono danneggiati con impatti economici significativi, l'interruzione delle infrastrutture come rete idrica, elettrica e viaria rendono difficoltoso il soccorso in queste zone e ciò costringe la popolazione a dover evacuare. Una volta finito l'evento di piena le acque trovandosi ad una altitudine più bassa non si ritireranno e ciò comporta un ritardo nella ripresa che richiederà tempo e risorse.

4.5 Cementificazione e il problema del Veneto

Con il termine cementificazione viene inteso uno sviluppo edilizio incontrollato a discapito delle aree naturali, agricole e rurali; descrive un continuo consumo di suolo determinato da un'urbanizzazione eccessiva che modifica irreparabilmente i paesaggi naturali, portando alla perdita di biodiversità ed all'indebolimento del terreno che viene reso più fragile ai rischi idrologici connessi ai nubifragi.

Questo continuo aumento di superfici impermeabili non fa altro che impedire il naturale drenaggio delle acque piovane che in caso di fenomeni estremi aumenta ulteriormente il rischio di alluvioni; inoltre nelle zone ad alto rischio (montagne, colline e zone costiere) questa incapacità di smaltimento delle acque superficiali porta ad un marcato aumento del dissesto e del rischio di frane. Tutti gli effetti sulle infrastrutture e sulle zone urbane esposti precedentemente vengono esacerbati da questo fenomeno che sta diventando sempre più un pericolo per la salute e la sicurezza pubblica.

Il rapporto ISPRA 2022 denota come il Veneto sia la seconda regione italiana per consumo di suolo, nel solo 2022 sono stati impermeabilizzati 683 ettari in più. Dopo la Lombardia è la regione con la percentuale di suolo consumato più alta, l'11,90% in più dell'anno precedente. Dalla cementificazione derivano grandi problematiche di carattere ambientale e della sicurezza idraulica del territorio già discusse in precedenza, risulta quindi necessario un deciso cambio di rotta, è pur vero che la regione Veneto con la legge regionale 14 del 2017 ha previsto l'azzeramento del consumo del suolo entro il 2050 e che i primi risultati incoraggianti iniziano a vedersi passando dai 1138 ettari consumati nel 2017 ai 683 del 2022, questa legge prevede inoltre il recupero e la riqualificazione degli ambiti urbani utilizzati impropriamente o degradati.

4.6 Monitoraggio, gestione e mitigazione degli eventi estremi

Il monitoraggio meteorologico è il primo sistema di difesa che abbiamo per combattere la siccità, i fenomeni intensi e la loro evoluzione nel brevissimo termine; questo monitoraggio viene fatto con strumenti convenzionali come le stazioni di misura a terra e con strumenti non convenzionali come i radar e i satelliti, svolgono un ruolo importante anche le stazioni portatili che vengono utilizzate per delle misurazioni più specifiche. Con i dati accumulati, integrati ai modelli meteorologici, vengono prodotte delle previsioni in forma qualitativa, cioè diverse previsioni con la loro percentuale di affidabilità. Proprio questa affidabilità però risulta avere dei limiti in quanto l'atmosfera è molto complessa da prevedere con le difficoltà che aumentano all'aumentare della scala temporale ed è per questo che il monitoraggio a breve termine risulta fondamentale per la previsione e la localizzazione dei fenomeni estremi.

Il monitoraggio dei corpi idrici e del suolo ai fini della prevenzione e della gestione delle criticità risulta molto importante, l'attività di monitoraggio quanti-qualitativa delle risorse idriche fa riferimento al D.lgs. 152/99 e alla direttiva 2000/60/CE, le quali impongono un sistema integrato di monitoraggio e controllo. Queste attività permettono l'acquisizione di dati ed informazioni su stato, trend ed impatti per fornire un quadro conoscitivo il più ampio possibile.

Per il monitoraggio dei corpi idrici devono essere raccolti i dati sul campo che devono comprendere quantità, qualità, temperatura ed altri parametri. Per fare ciò vengono utilizzati sensori e strumenti che raccolgono dati in tempo reale, possono essere delle sonde sommerse, dispositivi di campionamento automatico e strumentazione varia per l'analisi chimica e fisica. Vengono quindi istituite delle stazioni di monitoraggio nei punti strategici e critici del sistema idrico, una volta raccolti, i dati vengono analizzati da software e modelli analitici per individuare tendenze, problematiche ed anomalie. Tecnologie avanzate come i satelliti sono state implementate solo negli ultimi 20 anni ma forniscono una grande mole di dati su larga scala permettendo con l'interazione di tutti i dati raccolti una vista più in grande e completa di tutto il sistema idrico.

Il monitoraggio dell'umidità e delle acque nel suolo è molto importante nella gestione delle siccità e per comprendere al meglio le condizioni dell'ambiente agricolo, idrologico ed ambientale. Vengono installati a diverse profondità dei sensori di umidità che forniscono letture in tempo reale della quantità di acqua presente, ci sono poi altri strumenti come i tensiometri e le sonde a neutroni ma vengono installati di rado. Come per il monitoraggio dei corpi idrici questi sensori vengono installati in punti strategici, infine vengono utilizzati i satelliti, questi misurano la riflessione della luce o delle microonde dalla superficie terrestre calcolando così l'umidità al suolo. Tutti questi dati vengono raccolti e immessi nei modelli di simulazione idrica stimando l'umidità del suolo in base ai dati meteorologici e topografici fornendo una stima temporale delle condizioni idriche.

Il monitoraggio dell'evapotraspirazione è molto importante, grazie ad esso infatti si riesce a stimare quanta acqua viene rilasciata in atmosfera dal suolo e dalle piante, l'evaporazione dipende dalle condizioni fisiche ambientali (radiazione solare, temperatura e umidità) e dalla disponibilità

d'acqua (a pelo libero o trattenuta nel terreno) mentre la traspirazione dipende dalle condizioni atmosferiche e dalla morfologia/biologia delle piante presenti su un determinato territorio. La stima dell'evapotraspirazione è complessa e servono apparecchiature sensibili e sofisticate come:

- **Evaporimetri:** Si tratta di un apparecchio composto da un tubo a forma di U con il braccio più esteso sigillato all'estremità e dotato di una scala di misurazione. Il braccio più lungo fornisce liquido a quello più breve, la cui estremità è bloccata da un disco di materiale assorbente dal quale l'acqua evapora gradualmente.
- **Lisimetri:** Si tratta di un cilindro metallico con altezze comprese tra 1 e 2 metri, all'interno del cilindro si trova un campione di terreno il quale è inserito nel suolo in una struttura sotterranea e permette di raccogliere l'acqua che filtra attraverso il terreno o che scorre come ruscellamento.

Viene inoltre misurata da sensori satellitari, successivamente, con l'integrazione di tutti i dati viene stimata l'evapotraspirazione totale su un determinato territorio.

Il monitoraggio del consumo delle risorse idriche per attività antropiche è da seguire attentamente, il primo passo è una raccolta continua in tempo reale di dati accurati sull'uso dell'acqua che possono arrivare dai banali contatori dai satelliti e dalle stazioni meteorologiche. Successivamente questi dati vengono analizzati per identificare i consumi e prevedere le tendenze di consumo idrico per capire dove sono situati i picchi o individuare perdite nel sistema oltre che a monitorare l'utilizzo non autorizzato o illegale, utilizzando dati storici e i modelli previsionali possiamo quindi prevedere la domanda futura di acqua adottando così misure preventive per un approvvigionamento adeguato anche in caso di prolungate siccità.

In un contesto generale la mancanza di dati non può essere sopperita con il solo utilizzo dei modelli, ciò porterebbe a delle stime più grossolane del previsto con margini di errore molto elevati, a tal proposito nel 2016 sono stati istituiti per ciascuno dei sette distretti idrografici italiani gli **Osservatori Permanenti per gli Utilizzi Idrici**. Questi osservatori costituiscono una struttura operativa permanente che raccoglie, aggiorna e diffonde i dati relativi ai consumi idrici ed alla disponibilità d'acqua nel relativo distretto idrografico ed il loro scopo è quello di fornire indirizzi per regolamentare i prelievi e gli usi soprattutto nei periodi di siccità e scarsità idrica.

Oltre all'individuazione dei dati necessari un'altra attività di questi osservatori è quella di individuare gli indicatori utili al monitoraggio della siccità, questi indicatori esprimono una valutazione sui diversi aspetti della siccità che integrata ai dati raccolti dovrà prevedere delle misure di mitigazione che i diversi enti dovranno seguire.

Questi indicatori rappresentano in generale le condizioni meteo ed idrologiche e permettono di valutare gli impatti di una siccità, in totale vengono utilizzati 7 indicatori che sono:

- **Standardized Precipitation Index (SPI):** è uno degli indici più diffusi a livello internazionale, esprime la rarità di un evento siccitoso con una determinata scala temporale quantificando quindi gli impatti che può avere sulle risorse idriche e creando delle soglie di criticità.

- **Water Exploitation Index plus (WEI+)**: è un indicatore che quantifica il livello di stress idrico che le attività umane provocano sulla risorsa idrica naturale in un determinato intervallo temporale su un territorio.
- **Fraction of Absorbed Photosynthetically Active Solar Radiation (FAPAR)**: è un indicatore che valuta gli impatti della siccità sulla vegetazione utilizzando dati ed immagini satellitari.
- **Standardized Run-off Index (SRI)**: è un indicatore che si integra con lo SPI ma ha bisogno di serie di dati di portata molto lunghe.
- **Standardized Snowpack Index (SSI)**: è un indicatore analogo allo SPI ma si utilizzano i valori nivali anziché idrici, viene utilizzato nelle aree dove la copertura nevosa invernale offre un importante apporto idrico.
- **Standardized Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI)**: questo indicatore è più specifico dello SPI perché considera il potenziale di evapotraspirazione e dispone di molti modelli in base al territorio in cui viene adottato.
- **Spring Anomaly Index (SAI)**: indicatore che viene utilizzato dove le acque di sorgente costituiscono una risorsa idrica molto sfruttata.

Il territorio del Consorzio di Bonifica Brenta ricade all'interno del distretto idrografico delle Alpi Orientali, al cui interno troviamo il Trentino Alto Adige, il Veneto ed il Friuli Venezia Giulia, per i quali i fenomeni siccitosi sono legati al soddisfacimento della richiesta irrigua estiva. L'alta domanda in periodi secchi in combinazione con le alte temperature genera un progressivo esaurimento delle risorse idriche dei principali corsi d'acqua, è quindi ora in discussione l'implementazione dell'indice SPI e l'applicazione del WEI+.

5 – Il cambiamento climatico in Veneto

Osservando i dati storici esaminati in precedenza possiamo affermare che anche nel territorio Veneto sta avvenendo questo cambiamento climatico; si stanno estremizzando sia i periodi di siccità che le ondate di calore, inoltre troviamo una sempre maggior frequenza di eventi di maggiore intensità, con precipitazioni copiose e grandine anche di notevole dimensioni.

Una delle principali cause di questa estremizzazione è il riscaldamento del mar Mediterraneo, un mare più caldo provoca proprio un aumento della frequenza e dell'intensità dei fenomeni estremi, le ondate di calore passano più lentamente e l'energia in gioco durante gli eventi di pioggia intensa è molto maggiore, soprattutto in autunno ed inverno quando il mare rilascerà questo calore.

Negli ultimi anni si sono susseguiti molti fenomeni intensi come ad esempio la catena di piogge intense con grandine di grosse dimensioni del Luglio 2023, che ha portato alla distruzione dei raccolti e al danneggiamento di automobili ed edifici. Quest'ondata di fenomeni intensi ha avuto luogo in Veneto ed in Friuli Venezia Giulia ed è stata causata da un'ondata di calore precedente dovuta all'anticiclone africano con temperature prossime ai 40 gradi centigradi ed all'inserimento molto rapido di un fronte freddo atlantico.

Un altro esempio è la grave siccità del 2022 che nel nordest ha fatto registrare un -28% di precipitazioni ma che all'interno del territorio del Consorzio di Bonifica Brenta hanno raggiunto, e in certe località superato il -40%, ad aggravare questa siccità estrema sono state le temperature, il 2022 è stato l'anno più caldo di sempre superando il 2003, basti pensare alle temperature medie del mese di giugno, ben 2,88 gradi superiori alla media del periodo.

Sempre parlando di siccità si sono verificate negli ultimi 20 anni ulteriori siccità in Veneto anche se meno intense di quella del 2022, ad esempio nel 2015 un inverno avaro di precipitazioni portò al depauperamento della riserva nivale nelle alpi causando problematiche per tutto il periodo primaverile ed estivo, nel 2011 fu la primavera ad essere siccitosa, con piogge praticamente assenti dalla primavera fino a luglio.

Infine la grave siccità del 2003, anch'essa accompagnata da temperature prossime i 40 gradi come nel 2022, quell'anno dal mese di luglio mancò quasi del tutto l'acqua per l'irrigazione delle campagne, ciò portò i raccolti ad una situazione di estrema sofferenza con cali di produzione marcati in tutto il territorio.

Parlando di precipitazioni intense la più eloquente degli ultimi anni è la tempesta Vaia nell'ottobre del 2018 che colpì il triveneto e le montagne bellunesi con la parte nord del territorio consorziale colpita da precipitazioni superiori ai 200mm ma con punte nelle montagne bellunesi di oltre 700mm, valori record mai registrati prima. L'ondata di maltempo creò gravi danni anche a causa delle decine di frane verificatesi e del vento, paragonabili a quelli di un uragano, che raggiunsero e in certe località superarono i 200 km orari distruggendo intere foreste e danneggiando seriamente le infrastrutture.

Un altro fenomeno di precipitazioni intense fu l'alluvione del 2010 dove tra le zone più colpite ci furono proprio molti territori ricadenti all'interno del Consorzio di Bonifica Brenta.

Nel periodo tra il 31 ottobre ed il 2 novembre sul Veneto si formò una perturbazione di origine atlantica che portò precipitazioni intense sull'arco prealpino e pedemontano con accumuli superiori i 300mm e con picchi locali di 500mm. Oltre a ciò un vento caldo di scirocco portò il limite della neve sopra i 2000 metri comportando lo scioglimento nivale a quote inferiori soprattutto nella zona delle Prealpi occidentali, tutte queste condizioni accomunate portarono a gravi problemi idraulici e diffusi dissesti.

A fine perturbazione gli accumuli risultavano così suddivisi:

- Nelle dolomiti settentrionali accumuli nell'ordine dei 75-200mm
- Nelle Dolomiti meridionali accumuli nell'ordine dei 200mm.
- Nelle zone prealpine e pedemontane accumuli nell'ordine dei 300-400mm con locali punte di 500mm.
- Nelle zone di pianura troviamo un andamento crescente da sud-est a nord-ovest, passando dai 10mm del rodigino ai 200 sulle zone a ridosso della zona pedemontana.

Due eventi equiparabili furono i fenomeni del novembre 1966 e dell'ottobre 1992, ma questi risultano decisamente più localizzati rispetto l'alluvione del 2010 che colpì un'area di territorio molto più vasta.

Non sono invece accurati i dati delle altezze idrometriche dei vari corsi d'acqua, a seguito dell'eccezionalità dell'evento molte stazioni di monitoraggio erano fuori servizio e più in generale, visto le rotture degli argini e le tracimazioni, questi dati risultano non attendibili. L'esempio più eclatante è il fiume Bacchiglione dove tutte le stazioni di monitoraggio superarono i record storici e nel quale si verificarono la rottura degli argini in più punti. Oltre il Bacchiglione esondarono molti fiumi e torrenti, interessando le province di Verona, Vicenza e Padova.

All'interno del territorio del Consorzio di Bonifica Brenta i corsi d'acqua Tesina e Tesinella ruppero anch'essi gli argini allagando il comune di Veggiano; sul Ceresone si aprirono numerosi fontanazzi, creando allagamenti minori in vari comuni. Dai colli Euganei si poteva osservare la vastità dell'evento durante l'alluvione, con un lago grande decine di chilometri quadrati.

L'impatto sul territorio fu davvero pesante; due morti, un disperso, centinaia di persone ferite e migliaia di sfollati. La provincia di Vicenza subì il peggior colpo dato che si allagò anche il centro storico, ma migliaia erano gli edifici danneggiati nelle province di Padova e Verona e qualche centinaio nelle altre province.

Decine di migliaia di capi di bestiame andarono persi ed a destare una forte preoccupazione era anche l'inquinamento del territorio dovuto alla dispersione nell'ambiente di idrocarburi e sostanze chimiche tossiche. Per fortuna le analisi effettuate nel marzo del 2011 dall'ARPAV evidenziarono un inquinamento del suolo all'interno degli standard massimi previsti in quasi tutto il territorio.

È proprio in conseguenza a questa alluvione che la Regione Veneto diede il via ai piani per la costruzione massiccia di opere di difesa idraulica per evitare che si ripetessero queste situazioni.

All'interno del Bollettino Ufficiale Regionale (BUR) n. 83 dell' 8 novembre 2011 la Regione prendeva atto dell'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri, l' OPCM n. 3906/2010 riguardante il piano delle azioni e degli interventi di mitigazione del rischio idraulico e geologico.

Questo piano prevedeva due tipologie di operazioni; strutturali e non strutturali.

Operazioni strutturali: queste erano atte a mitigare il rischio idraulico nei vari bacini, comprendevano diversi interventi classificati in ordine di esecuzione cronologico in base alla gravità ed all'urgenza. Queste operazioni erano:

- La manutenzione straordinaria degli argini con rifacimenti, rinforzi ed innalzamenti.
- L'adeguamento degli alvei dei corsi d'acqua alle portate massime definite nei progetti delle varie opere.
- La moderazione delle onde di piena in modo da renderle compatibili con gli alvei dei corsi d'acqua.
- Interventi che comprendevano sia l'adeguamento degli alvei che la moderazione delle onde di piena.

Operazioni non strutturali: queste operazioni riguardavano il campo tecnico per l'aggiornamento, la manutenzione e la difesa delle opere strutturali e comprendevano:

- L'aggiornamento dei rilievi all'interno degli alvei dei corsi d'acqua con particolare attenzione al Bacchiglione.
- La predisposizione di sistemi e strumentazioni meteorologiche, idrauliche ed idrologiche per la previsione delle piene e l'adeguamento dei sistemi già presenti.
- La manutenzione programmata delle opere di difesa e degli alvei dei corsi d'acqua.
- Indagini geotecniche degli argini e dei terreni di fondazione.
- L'adozione di nuove norme riguardanti i territori alluvionati.
- Nelle aree in cui il piano preveda la realizzazione delle opere di mitigazione, l'impossibilità di nuovi interventi edificatori da parte dei privati.

Il piano, data la vastità delle opere da costruire e le risorse finanziarie necessarie è stato implementato gradualmente. Ad oggi tutte le opere più urgenti sono state realizzate, ma sono ancora in fase di progetto o costruzione altre opere di minor urgenza ma comunque essenziali per una miglior gestione di questi eventi.

5.1 Azioni a livello globale

A livello globale devono essere prese delle decisioni per ridurre effettivamente le emissioni di gas serra che non fanno altro che aumentare di anno in anno. Sono decisioni molto dispendiose che non tutti gli stati vogliono intraprendere, soprattutto i paesi in via di sviluppo.

Devono quindi essere i paesi già sviluppati a spingere queste decisioni riducendo le emissioni, promuovendo le fonti rinnovabili e implementando sistemi innovativi per catturare questi gas effetto serra dall'atmosfera.

Essenzialmente i metodi per la cattura dell'anidride carbonica sono due; l'assorbimento fisico che prevede l'intrappolamento fisico delle molecole di anidride carbonica in strutture porose come ad esempio i carboni attivi e l'assorbimento chimico facendo reagire l'anidride carbonica, che ha un Ph acido, con una sostanza a Ph basico.

Il problema di questi metodi è il costo ed i volumi di aria che devono essere filtrati dato che solo lo 0,042% dell'atmosfera è composta da anidride carbonica, i progetti di riforestazione ad esempio sono molto più economici, difendere le foreste e ripopolare quelle andate perdute risulta ancora il miglior metodo per estrarre la CO₂ dall'atmosfera. Un punto fondamentale per la riduzione di produzione dei gas ad effetto serra è lo sviluppo e l'incremento della produzione di energia da fonti rinnovabili, le più comuni sono il solare e l'eolico, ma negli ultimi anni si stanno sviluppando nuove tecnologie per la produzione di energia elettrica pulita come ad esempio la fotosintesi artificiale, il solare a concentrazione e l'energia marina.

Anche il nucleare è un'ottima fonte di energia pulita, produce scorie molto pericolose ma queste possono essere stoccate e l'emissione di anidride carbonica o altri gas ad effetto serra è quasi nulla, inoltre i futuri reattori di quarta generazione permetteranno il riutilizzo di queste scorie limitando questo problema. La fusione nucleare è ancora in fase del tutto sperimentale e siamo ben lontani dal produrre energia elettrica con essa, ma in futuro sarà probabilmente la fonte definitiva di energia pulita.

Per affrontare questo cambiamento climatico, oltre alla riduzione delle emissioni ed alla produzione di energia pulita, devono essere adottati dei piani specifici per la gestione e la prevenzione degli effetti negativi degli eventi estremi.

In Italia, il Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica (MASE) ha previsto il Piano Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici, i primi passi sono stati compiuti nel 2015 quando è stata adottata la strategia nazionale di adattamento ai cambiamenti climatici che ha esaminato la situazione attuale delle conoscenze scientifiche riguardanti gli effetti e la fragilità nei confronti dei mutamenti climatici nei principali ambiti ecologici ed economico-sociali, formulando una serie di suggerimenti e linee guida per affrontare le implicazioni di queste variazioni e mitigarne le conseguenze.

Gli obiettivi generali di questo piano sono:

- L'attivazione di infrastrutture per la condivisione e lo scambio di dati sull'adattamento, volta ad aumentare la consapevolezza e la partecipazione.
- La valutazione dei costi e dei benefici di queste misure d'adattamento.
- Attuazione e sviluppo di piani e strategie ai diversi livelli.
- Adattare i piani e programmi settoriali al cambiamento climatico.
- Monitorare e valutare i progressi compiuti a livello nazionale.

In definitiva il principale scopo del Piano Nazionale per l'Adattamento ai Cambiamenti Climatici consiste nel delineare una direzione nazionale per l'attuazione di iniziative volte a minimizzare le potenziali minacce associate ai cambiamenti climatici. Questo piano mira altresì a potenziare la resilienza dei contesti naturali, sociali ed economici e a sfruttare i benefici che potrebbero emergere in conseguenza delle nuove configurazioni climatiche.

5.2 Azioni a livello locale: cosa può fare il Consorzio di Bonifica Brenta?

I temi affrontati nel paragrafo precedente non possono di certo essere affrontati dal Consorzio di Bonifica Brenta, non è il suo compito contrastare il cambiamento climatico tantomeno provare ad invertirlo, non ne sarebbe assolutamente in grado. Il consorzio può altresì lavorare in cooperazione con la Regione Veneto e lo Stato per mitigare le conseguenze degli effetti degli eventi climatici estremi all'interno del proprio territorio adottando piani di gestione interni, progettando e promuovendo opere idrauliche di difesa, atte alla gestione di questi fenomeni.

Anche per quanto riguarda la cementificazione eccessiva del territorio, di cui abbiamo parlato in precedenza, non è compito del Consorzio contrastarla, anche se attualmente è suo compito dare parere idraulico favorevole o negativo per ogni nuovo intervento edilizio che incrementi il consumo del suolo. Così facendo esplica una attività di controllo idraulico del territorio.

Spetta al consorzio la progettazione e realizzazione di nuove opere che consentano un più veloce smaltimento delle acque per evitare situazioni di pericolo.

Per fare un esempio di piano di gestione della rete irrigua, dopo la siccità del 2003 dove il sistema di irrigazione non fu in grado di soddisfare la richiesta idrica lasciando vasti territori a secco nei mesi più caldi, il Consorzio di Bonifica Brenta adottò un piano di razionamento delle acque in caso di siccità molto più articolato, di cui se ne è potuta constatare l'efficacia durante la siccità del 2022, che, nonostante abbia avuto precipitazioni minori rispetto il 2003, tramite la corretta gestione e razionamenti mirati come la riduzione di portata delle acque nei canali irrigui o la dilatazione dei tempi di attesa per il turno irriguo, l'irrigazione è potuta continuare durante tutta l'estate salvando i raccolti su gran parte del territorio.

Altri esempi di opere atte alla prevenzione degli effetti degli eventi estremi verranno analizzate in seguito.

6 - Attività e strategie di gestione degli eventi estremi da parte del Consorzio di Bonifica Brenta

6.1 Attività e funzioni

Il Consorzio di Bonifica Brenta è stato costituito il 19 maggio 2009 con delibera della Giunta Regionale del Veneto n° 1408, provvede alla manutenzione ed all'esercizio delle opere di bonifica esistenti, inoltre può provvedere a nuove opere di bonifica in concessione. Gli oneri per il funzionamento del consorzio, per la manutenzione e l'esercizio sono a carico dei proprietari degli immobili situati all'interno del comprensorio che traggono i benefici delle opere di bonifica.

Le tipologie di attività svolte riguardano principalmente la bonifica idraulica e l'irrigazione dei terreni agricoli. Queste attività includono pulizia e manutenzione dei canali, gestione delle condotte e dei manufatti idraulici, il funzionamento degli impianti di irrigazione e di drenaggio, la ristrutturazione e l'ampliamento degli impianti esistenti e la promozione dell'uso efficiente dell'acqua attraverso la trasformazione dell'irrigazione da pratica tradizionale a scorrimento a pratica per aspersione.

Di recente, in conformità con le nuove leggi regionali e nazionali, il consorzio ha acquisito competenze nel campo della tutela dell'ambiente e della difesa del suolo come il monitoraggio della qualità dell'acqua, la realizzazione di piantumazioni lungo i canali e, nello specifico per il Consorzio di Bonifica Brenta caratterizzato dalla presenza di risorgive, l'attenzione alla falda acquifera e ai punti critici delle acque sotterranee.

A livello di pianificazione territoriale il consorzio contribuisce al Piano Generale di Bonifica e Tutela del Territorio (PGBTT) e partecipa alla pianificazione urbanistica per fornire valutazioni sui possibili impatti idraulici. Infine il Consorzio di Bonifica Brenta gestisce quattro centrali idroelettriche situate a Bassano del Grappa con una produzione prossima agli 1,8 MW che contribuiscono a coprire i costi energetici delle attività consortili, con progetti per ulteriori future centraline.

6.2 Caratteristiche del sistema idraulico

La rete idraulica del Consorzio si estende per un totale di oltre 3000 km che servono 30.000 utenti, su questa rete sono dislocati 14.788 manufatti idraulici come ad esempio chiaviche di derivazione, emissarie e di sostegno, opere di difesa, ponti, tombinature, sgrigliatori, paratoie ecc ... Vengono gestiti anche degli impianti più importanti come idrovore, stazioni di pompaggio pluvirrigue, pozzi, sollevamenti e paratoie motorizzate con una potenza complessiva degli impianti che raggiunge i 10 MW.

I canali sono la struttura fondamentale per le azioni del consorzio, si dividono in canali irrigui che hanno lo scopo di portare acqua e canali di bonifica che hanno lo scopo di allontanare, soprattutto durante i fenomeni di piogge intense, le acque provenienti da strade, terreni e fabbricati in modo

ordinato fino ai recapiti. Alcuni canali possono espletare entrambe le funzioni e vengono definiti a carattere misto, questo reticolo di canali è di importanza fondamentale per gestire gli eventi di piena con manovre nei manufatti di smistamento e di pompaggio, ma per farlo necessita di periodica manutenzione. Per provvedere a ciò ed al passaggio dei conseguenti mezzi d'opera è necessario che vengano rispettate e mantenute libere le fasce di rispetto adiacenti ai canali.

I canali sono suddivisi in base alla loro importanza e funzionalità:

- **Principali:** di rilevante funzione idraulica, portano acqua a più di un canale irriguo o ricevono acqua da più collettori, sono di competenza del consorzio, circa 600 km di rete complessiva.
- **Secondari:** hanno funzione sia scolante che irrigua e svolgono la loro funzione tutto l'anno e sono di competenza del consorzio, circa 1300 km di rete.
- **Terziari:** sono dei tratti di canalette importanti, derivati da canali secondari o principali e sono di competenza degli utenti, circa 400 km di rete.
- **Minori:** sono le canalette terminali di irrigazione o scoline di importanza limitata e sono di competenza degli utenti, di questi non si ha una stima precisa, ma si superano abbondantemente i 1600 km.

Sia i canali principali che secondari normalmente hanno sede su terreno demaniale, mentre gli altri hanno sede su terreni privati.

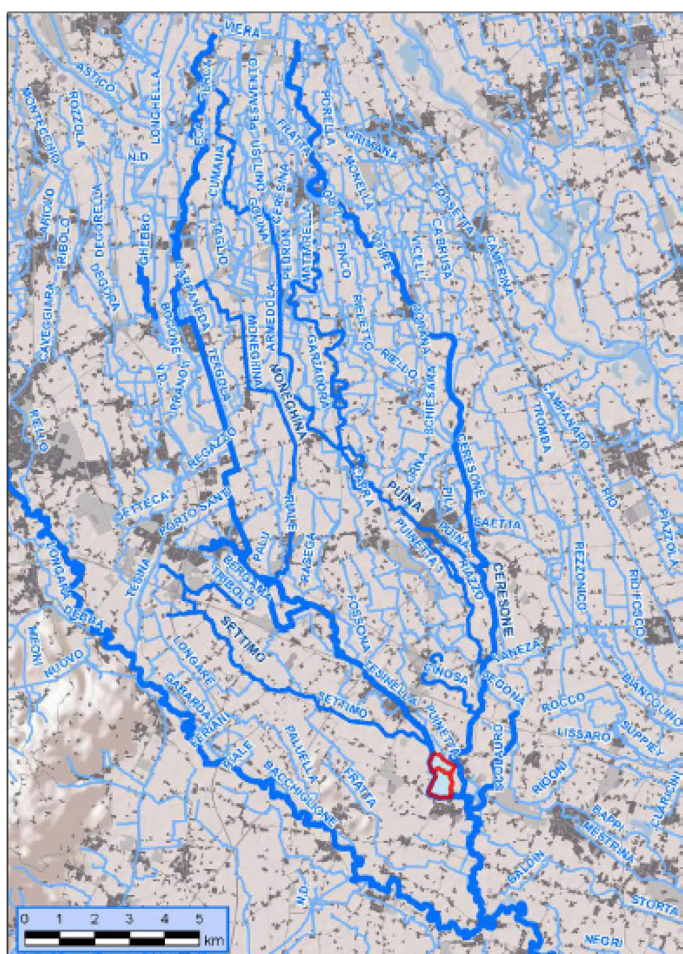


Figura 5: una parte della complessa idrografia del territorio del consorzio, foto presa dagli elaborati tecnici forniti.

La bonifica idraulica della maggior parte del territorio del comprensorio avviene per deflusso naturale e solo una piccola porzione a sud è caratterizzata da sollevamento meccanico. La rete idraulica odierna è il risultato dei continui interventi umani sui corsi d'acqua naturali, questa rete è adatta alla topografia del terreno ed ha una disposizione che risulta irregolare. A causa dell'espansione urbana le acque piovane che non si infiltrano più nei terreni decorrono superficialmente e si immettono nella rete idrica, ciò è evidente nella zona pedemontana dove c'è stata una massiccia urbanizzazione. I corpi d'acqua che ricevono le acque di piena dai canali di bonifica includono corsi d'acqua importanti come il fiume Brenta, il fiume Astico-Tesina, il fiume Bacchiglione e altri torrenti, inoltre è di rilevante importanza come una significativa porzione di territorio consortile, circa 4.000 ettari, contribuisce alle acque che confluiscono nella laguna di Venezia.

Con la recente evoluzione del territorio il rischio idraulico si è aggravato per diversi motivi; molti piccoli fossi privati sono stati eliminati, spesso sostituiti da terreni impermeabili, alterando il naturale deflusso delle acque e l'urbanizzazione ha reso sempre più porzioni di territorio incapaci di far infiltrare l'acqua nel terreno, aumentando notevolmente il deflusso superficiale da queste zone e aumentando i danni potenziali in caso di esondazioni. È necessaria quindi una pianificazione territoriale attenta e un potenziamento delle infrastrutture idrauliche già presenti sul territorio.

Con le ultime leggi promulgate il consorzio ha acquisito nuove competenze nella gestione di corsi d'acqua che prima erano sotto il controllo di enti statali o regionali, un altro compito riguarda la compatibilità idraulica dei piani urbanistici e delle lottizzazioni che mira ad evitare che le nuove costruzioni aggravino la situazione esistente. Il consorzio collabora attivamente con le autorità locali su tutte queste questioni ottenendo quasi sempre risultati positivi, propone anche la realizzazione di nuove opere idrauliche che vengono incluse nel PGBTT e vengono finanziate dalla regione o dallo stato.

6.3 Realtà e problematiche attuali

L'urbanizzazione all'interno del territorio del consorzio ha avuto una crescita rapida negli ultimi decenni creando non pochi problemi idraulici; il deflusso superficiale dovuto all'impermeabilizzazione del territorio è cresciuto molto creando una maggiore vulnerabilità agli allagamenti con conseguenti danni e problematiche, l'urbanizzazione poi ha contribuito all'avvicinamento dei fabbricati ai canali limitando così le zone di sicurezza attorno ad essi, il deposito di rifiuti solidi urbani all'interno dei canali può ostruire il sistema idraulico e la tombinatura inadeguata di alcuni canali può portare anch'essa ad allagamenti, il cambiamento climatico in atto ha ulteriormente aggravato la situazione della rete idraulica peggiorando tutte le problematiche precedenti.

Un altro problema si sta presentando negli ultimi anni ed è la presenza delle nutrie, una volta confinate nel basso Veneto si stanno espandendo su tutti i corsi d'acqua del Consorzio di Bonifica

Brenta danneggiando le strutture arginali, in futuro dovranno essere presi in considerazione interventi significativi per riparare i danni causati da questi animali.

La parte nord del territorio, caratterizzata da maggior piovosità, ha una maggiore pendenza e di conseguenza la velocità della corrente aumenta e i tempi di corrivazione diminuiscono di molto, portando a difficoltà nello smaltimento delle portate anche in caso di piogge intense ma di breve durata, questa velocità della corrente porta con se problematiche relative al trasporto solido che può provocare erosione o sedimentazione all'interno dei canali.

Nella parte meridionale le pendenze diventano modeste e i tempi di corrivazione si allungano, si hanno zone depresse o contornate da argini che risultano alluvionabili, gli scarichi funzionanti a gravità possono avere problematiche quando i canali riceventi risultano prossimi alla piena rendendo difficile lo smaltimento con conseguente rigurgito delle acque o nei casi più gravi di inversione di flusso.

La tessitura dei terreni della zona meridionale impedisce un'elevata infiltrazione nel terreno, situazione che è stata notevolmente aggravata dall'elevata urbanizzazione dell'area.

La maggior parte delle rete idraulica centro-settentrionale del comprensorio è anche a scopo irriguo con portate controllate da manufatti di sostegno ed intercettazione, queste portate possono essere modificate prontamente nell'arco del tempo di corrivazione del bacino ma non nei tempi di scolo dei bacini urbani.

Il consorzio ha effettuato degli studi con tempi di ritorno di 10 anni per quantificare le portate e gli stati idrometrici di numerosi corsi d'acqua per capire le eventuali sofferenze dei canali, queste sofferenze idrauliche si dividono in: sofferenza strutturale con franco annullato, sofferenza strutturale con franco violato, sofferenza dovuta alla corrente troppo veloce ed al relativo trasporto solido, sofferenza dovuta a situazioni di deflusso non idonee, sofferenza dovuta a carenze strutturali locali e sofferenza prevista dovuta a future immissioni. Queste sofferenze sono dettagliatamente elencate nei piani del consorzio per una pronta manutenzione in caso di eventi atmosferici intensi.

6.4 Esperimenti del Consorzio di Bonifica Brenta contro la siccità

Negli ultimi decenni le risorse idriche delle pianure alluvionali hanno mostrato un calo preoccupante, portando con se effetti negativi quali la depressurizzazione delle falde artesiane con il rischio di un minor approvvigionamento idrico a fini potabili e la compromissione delle risorgive e delle zone adiacenti ad esse essenziali per numerose specie animali e vegetali, le Aree Forestali di Infiltrazione (AFI) sono la principale risorsa per il consorzio per affrontare questo problema. Queste aree sono porzioni di territorio che vengono trasformate o riqualificate in superfici boscate nelle quali vengono creati appositi canali per favorire l'infiltrazione delle acque nel sottosuolo e ricaricare così le falde acquifere

Nel caso in esame il territorio interessato si trova a Tezze sul Brenta in provincia di Vicenza ed ha un'estensione di circa 17 ettari all'interno dei quali vengono convogliati 150 l/sec, gli obiettivi principali dell'intervento sono:

- La creazione di una cassa di espansione in occasione di eventi di piena
- L'incremento della disponibilità idrica sotterranea
- La fitodepurazione dell'acqua all'interno dell'area boschiva
- Il miglioramento dell'area degradata
- L'aumento della biodiversità presente in zona

All'interno di questa zona boschiva è stato fatto un diradamento selettivo in vicinanza delle abitazioni per non arrecare danno ai confinanti con sostituzione delle piante ad alto fusto con specie arbustive intorno i canali di infiltrazione per permettere il corretto deflusso delle acque, nonché per migliorare la corretta rinaturalizzazione dell'area forestale di origine antropica con l'obiettivo della sostenibilità nel lungo periodo. Sono stati inoltre realizzati degli stagni all'interno dell'area boschiva per un incremento della diversità biologica e degli habitat disponibili per le varie specie presenti.

Le finalità dell'area oltre a quelle di riqualificazione ambientale sono l'infiltrazione d'acqua nel sottosuolo sino ad arrivare ai 500 l/sec, per fare ciò i canali sono stati scavati in maniera trapezoidale per garantire una superficie disperdente di 0,5 metri quadrati ogni metro lineare di canale ed in totale ne sono stati realizzati 10 km.

A valle dell'opera è stata prevista una zona di sedimentazione dimensionata in maniera da far depositare anche il materiale più fine per non immettere acque torbide nel sistema idrico superficiale.

Questa zona forestale di infiltrazione è la più grande presente all'interno del consorzio, ma ne sono presenti altre 5 sparse nel territorio sopra la linea delle risorgive e ne sono in progetto molte altre.

Un altro obiettivo del Consorzio di Bonifica Brenta per aumentare le acque disponibili superficiali e sotterranee è la realizzazione di un invaso sul torrente Vanoi, questo intervento incrementerà le risorse idriche nel bacino del fiume Brenta soprattutto nei periodi siccitosi, in concomitanza con questo progetto dovrà essere riprogettata la distribuzione irrigua nella zona delle risorgive dato che viene prevista una maggiorazione totale delle portate di 2 m³/s delle rogge Uselin-Armedola e Girardina-Ceresone.

Questa iniziativa ancora in fase di progetto ed in attesa di approvazione vuole sfruttare la rete idrica esistente che andrà adeguata per aumentare la disponibilità d'acqua nelle risorgive che negli ultimi decenni, a causa dell'abbassamento delle falde sotterranee, si stanno esaurendo.

6.5 Mitigazione degli eventi di piena da parte del Consorzio di Bonifica Brenta

Per mitigare gli eventi di piena e ridurre il rischio idraulico il Consorzio di Bonifica Brenta utilizza varie opere strutturali sparse nel territorio quali gli scolmatori di piena e le casse di espansione.

Lo scolmatore di piena è un'opera idraulica in grado di ridurre la portata di piena dei canali deviandone una parte, funziona quindi come una deviazione dal normale corso dell'acqua per evitare allagamenti in zone dove l'alveo presenta una marcata insufficienza come un restringimento della sezione o dove l'afflusso di acqua risulta troppo alto per la portata massima del canale, l'efficacia di questi interventi è elevata in quanto permette un corretto deflusso delle acque e previene allagamenti in zone urbanizzate.

Ne è un esempio lo scolmatore di piena a monte dei centri abitati di Rubano e Selvazzano. Dentro di recente costruzione, queste zone sono state soggette a numerosi allagamenti negli ultimi decenni, gli ultimi sono avvenuti negli autunni del 2010 e del 2014, dovuti principalmente ad un'intensa espansione urbanistica della zona che ha sovraccaricato la capacità di drenaggio della rete idrica esistente causando un'insufficienza dei canali nello smaltimento delle piene. Questo scolmatore è stato costruito per prevenire l'esondazione dei canali Mestrina e Storta ed ha una portata massima di 4000 l/sec che viene poi immessa nel fiume Bacchiglione riducendo così il deflusso a valle e gli effetti di rigurgito. Il consorzio negli ultimi anni si è dotato ed ha in progetto altri scolmatori di piena anche in collaborazione con i consorzi confinanti per prevenire allagamenti nelle zone ad alto rischio.

I bacini di espansione sono delle opere idrauliche che hanno l'obiettivo di ridurre le portate dei canali durante gli eventi di piena tramite uno stoccaggio temporaneo del volume d'acqua in apposite zone arginate e controllate. L'opera è suddivisa in tre parti: l'opera di presa, il bacino artificiale e l'opera di scarico. Il bacino di espansione è progettato in modo da ricevere acqua una volta superata la soglia di guardia di progetto del canale, l'acqua in più viene fatta defluire all'interno del bacino artificiale che si carica d'acqua mantenendo quindi controllato il regime idrico a valle dell'opera di presa. Questo bacino viene costruito normalmente in zone naturalmente depresse in modo da ridurre al minimo le spese per la costruzione di argini, l'opera di scarico viene costruita nella parte più bassa del bacino in modo da consentire il totale deflusso dell'acqua e normalmente è costituita da paratoie che ne regolano il deflusso.

Ci sono due tipologie di casse di espansione: i serbatoi di laminazione che vengono costruiti nelle zone montane e generalmente hanno invasi più profondi e le casse di espansione che vengono costruiti in pianura, hanno profondità inferiori ma sono molto più estesi. All'interno del Consorzio di Bonifica Brenta troviamo diverse casse di espansione ma nessun serbatoio di laminazione, ciò è dovuto alla morfologia del territorio quasi interamente pianeggiante.

Un esempio è la cassa di espansione su Tesinella e Ceresone tra i comuni di Veggiano e Mestrino, è un'opera di mitigazione delle portate di piena generate da questi corsi d'acqua e che influiscono sul regime idraulico del bacino afferente al fiume Bacchiglione. Questo bacino è storicamente soggetto a condizioni di crisi durante gli eventi meteorici intensi ed è dovuto alla crescente

urbanizzazione della parte sud est del territorio consortile. In particolare quest'opera è stata progettata in seguito agli allagamenti avvenuti nell'inverno del 2014, uno scolmatore in questo caso non poteva essere costruito per il crescente aggravio della situazione di valle del fiume Bacchiglione ed è stata quindi obbligatoria la realizzazione di una cassa di espansione. Questo bacino, ancora in fase di costruzione, è stato progettato per eventi con tempo di ritorno pari a 100 anni ed è situato in una zona appositamente scelta per consentire il funzionamento a gravità sia per l'invaso che per lo scarico, avrà una superficie di 60 ettari e permetterà l'invaso di 1,5 milioni di metri cubi d'acqua consentendo quindi una portata equivalente per un tempo di quasi 26 ore.

7 - Conclusioni

Al termine di questo studio ho potuto approfondire le problematiche relative al cambiamento climatico e le conseguenze che ricadono sul territorio.

In primis ho approfondito qual è il principale fattore scatenante del cambiamento climatico ovvero la produzione di natura antropica dei gas ad effetto serra (anidride carbonica, metano, protossido d'azoto e altri gas fluorati) dovuti all'utilizzo dei combustibili fossili ed agli allevamenti intensivi. In altre parole le attività dell'uomo.

In seconda battuta come conseguenza del cambiamento climatico ho potuto osservare che le temperature medie del pianeta stanno aumentando lentamente ma progressivamente. Per effetto di questo aumento delle temperature gli eventi meteorologici si stanno estremizzando, con periodi di siccità prolungata nel tempo alternati ad eventi meteorologici di breve durata ma di forte intensità, alcuni studi prevedono che questo processo vada peggiorando progressivamente nel tempo.

La continua cementificazione del territorio aggiunge ulteriori problematiche, infatti, nei periodi siccitosi nei centri urbani si può verificare il fenomeno dell'isola di calore (temperature più elevate rispetto alle zone rurali, soprattutto di notte). Inoltre durante gli eventi di pioggia intensa la cementificazione impedisce l'assorbimento da parte del terreno dell'acqua che se non gestita correttamente provoca allagamenti in zone ad alto rischio.

Sia la siccità che gli eventi estremi hanno un grande impatto sia sul territorio dal punto di vista naturalistico che economico e sociale.

La siccità comporta la degradazione del suolo, la riduzione delle zone umide la degradazione degli ecosistemi vegetali ed animali con impoverimento della biodiversità. A livello socio-economico la siccità porta ad una riduzione della disponibilità d'acqua per utilizzo industriale, agricolo e domestico, questa riduzione implica costi aggiuntivi che gravano sull'economia, scarsità di approvvigionamento di materie prime agricole e di energia elettrica.

I nubifragi sono una diretta conseguenza delle siccità prolungate nel tempo, ed al pari della siccità creano danni sia di tipo naturalistico che socio-economico.

Questi eventi estremi comportano una maggior erosione del suolo, danni agli ecosistemi con impatti su flora e fauna e nei casi peggiori si possono verificare alluvioni e frane, con danni ingenti alle infrastrutture e nei casi più sfortunati la perdita di vite umane.

Durante il periodo di tirocinio svolto presso il Consorzio di Bonifica Brenta ho potuto prendere visione delle opere già realizzate e di quelle in progetto che dovrebbero contribuire alla corretta gestione delle risorse idriche ed a mitigare gli effetti devastanti degli eventi di piena dovuti ai fenomeni intensi. Tra quelli già eseguiti ci sono gli scolmatori di piena e le casse di espansione per mitigare gli effetti dei nubifragi, mentre gli ambiti forestali d'infiltrazione (AFI) ed i bacini di

raccolta contribuiscono ad incrementare le risorse idriche disponibili ed a gestirle al meglio in caso di siccità.

Durante lo svolgimento di questa ricerca ho rilevato due grandi problematiche relative al territorio del Consorzio di Bonifica Brenta; la prima di carattere generale che riguarda tutto il pianeta e che è l'aumento delle temperature e quindi il cambiamento climatico, la seconda, più specifica del territorio, è l'eccessiva urbanizzazione che non è stata seguita da un programma di adeguamento della rete idrica esistente.

Purtroppo a livello di azioni veramente efficaci per contrastare il cambiamento climatico, personalmente ritengo che fino a quando i paesi emergenti (Cina, India, Brasile, etc ...) continueranno la loro corsa all'industrializzazione per raggiungere i paesi già sviluppati, considerato che utilizzeranno principalmente energia di derivazione fossile, la lotta al cambiamento climatico sarà ardua. Giustamente i paesi sviluppati, pur tra mille distinguo, stanno dando l'esempio anche se siamo ancora lontani. A mio parere parallelamente alla riduzione della produzione dei gas ad effetto serra occorre studiare e realizzare soluzioni per la cattura e la neutralizzazione di questi gas.

Per quanto riguarda la cementificazione è mio parere personale che si debba velocizzare il processo di riduzione di consumo del suolo mediante il recupero delle aree dismesse e la riqualificazione delle aree degradate. La regione Veneto infatti ha recentemente disposto che si arrivi al consumo di suolo pari a 0 entro il 2050, a mio modo di vedere sarebbe necessario anticipare le tempistiche.

Dal punto di vista della gestione delle risorse idriche apprezzo i progetti che il consorzio ha realizzato e sta portando avanti; osservo però che la transizione dall'irrigazione a scorrimento all'irrigazione per aspersione che consentirebbe una riduzione consistente del consumo d'acqua fatica a proseguire mentre andrebbe incentivata specialmente nelle porzioni di territorio dove le riserve idriche sono più scarse. Secondo me dal risparmio delle risorse idriche dovuto al cambio di tipologia di irrigazione, sarebbe proficuo realizzare più AFI sul territorio così da incrementare le riserve idriche sotterranee che vanno ad alimentare le risorgive.

Per rispondere alla domanda che mi sono posto all'inizio di questa ricerca, ovvero *“il Consorzio di Bonifica Brenta è realmente pronto ad affrontare situazioni simili?”* Mi sento di rispondere in modo parzialmente positivo. Negli ultimi 15 anni, infatti, molto è stato fatto; purtroppo rimangono ancora parecchie criticità che sono state studiate e per le quali esistono già diversi progetti per colmare queste lacune. Rimane il problema dei fondi da stanziare e dei tempi di realizzazione.

8 - Fonti Bibliografiche e sitografia:

Treccani, agg. 10/09/2023, "Veneto"

<https://www.treccani.it/enciclopedia/veneto/#:~:text=presenta%20una%20grande%20variet%C3%A0%20di,nella%20parte%20occidentale%20della%20pianura.>

Arpa Veneto, agg. 16/09/2022, "Depressioni Fredde"

<https://www.arpa.veneto.it/temi-ambientali/climatologia/progetti/depressioni-fredde1>

Arpa Veneto, agg. 09/01/2023, "Il meteo nel 2022 in Veneto"

<https://www.arpa.veneto.it/notizie/in-primo-piano/il-meteo-nel-2022-in-veneto-un-anno-da-record-per-caldo-e-deficit-di-precipitazioni>

Consorzio di Bonifica Brenta, agg. 10/09/2023, "Comprensorio"

<https://www.consorziobrenta.it/comprensorio.asp>

Arpa Veneto, agg. 04/09/2023, "Indice SPI"

<https://www.arpa.veneto.it/temi-ambientali/agrometeo/dati/cartografia/indice-spi>

Arpa Veneto, agg. 11/09/2022, "Precipitazione annua 2015"

<https://www.arpa.veneto.it/arpavinforma/indicatori-ambientali/indicatori-ambientali-del-veneto/clima-e-rischi-naturali/clima/precipitazione-annua-agg.-2015/2015>

Blogspot, agg. 10/09/2023, "Immagine effetto serra"

<https://3.bp.blogspot.com/-h-Va4ui5vFI/W7UvoHulycl/AAAAAAAAVZs/7Y-uibkooWk4y37CgH1oo6HllaoSTEW3ACLcBGAs/s1600/effetto%2Bserra.png>

Treccani, agg. 10/09/2023, "Cambiamenti Climatici"

https://www.treccani.it/enciclopedia/cambiamenti-climatici_res-645b170b-dd67-11e6-add6-00271042e8d9_%28Enciclopedia-Italiana%29/

Franco Desiato et al, Isprambiente, agg. 01/07/2015, "Il clima futuro in Italia: analisi delle proiezioni dei modelli regionali"

https://www.isprambiente.gov.it/files/pubblicazioni/statoambiente/SA_58_15.pdf

Isprambiente, agg. 18/11/2019, "Bollettino Siccità"

https://www.isprambiente.gov.it/pre_meteo/siccitas/

Wikipedia, agg. 07/07/2023, "El Niño"

https://it.wikipedia.org/wiki/El_Ni%C3%B1o

Wikipedia, agg. 18/07/2023, "Oscillazione Nord Atlantica"

https://it.wikipedia.org/wiki/Oscillazione_Nord_Atlantica

Treccani, agg. 10/09/2023, "Corrente del Golfo"

<https://www.treccani.it/enciclopedia/corrente-del-golfo/>

European Environment Agency, agg. 29/06/2023, "European Sea Surface Temperature"

<https://www.eea.europa.eu/ims/european-sea-surface-temperature>

Treccani, agg. 10/09/2023, "Tropicalizzazione"

https://www.treccani.it/enciclopedia/tropicalizzazione_%28Lessico-del-XXI-Secolo%29/

Niccolò Zuffetti, Cribis, agg. 10/09/2023, *“Settore agricolo in difficoltà: caldo, siccità e rincari pesano sulla produzione ortofrutticola”*

[https://www.cribis.com/it/approfondimenti/settore-agricolo-crisi-siccita/#:~:text=Secondo%20Coldiretti%20\(sulla%20base%20di,di%20dover%20cessare%20l'attivit%C3%A0.](https://www.cribis.com/it/approfondimenti/settore-agricolo-crisi-siccita/#:~:text=Secondo%20Coldiretti%20(sulla%20base%20di,di%20dover%20cessare%20l'attivit%C3%A0.)

Qualenergia, agg. 13/6/2023, *“Siccità e clima hanno impatti sempre più forti sulla produzione di energia”*

<https://www.qualenergia.it/articoli/siccita-clima-impatti-sempre-piu-forti-produzione-energia/#:~:text=Difatti%2C%20il%20settore%20energetico%20ha,per%20i%20processi%20di%20raffreddamento>

Istat, agg. 2019, *“Utilizzo e qualità della risorsa idrica in Italia”*

<https://www.istat.it/it/files/2019/10/Utilizzo-e-qualit%C3%A0-della-risorsa-idrica-in-Italia.pdf>

Xhuez Tan et al, Nature Communications, agg. 18/05/2023, *“Increasing global precipitation whiplash due to anthropogenic greenhouse gas emissions”*

<https://www.nature.com/articles/s41467-023-38510-9>

Stephan Eisenbach, European Severe Storm Laboratory, agg. 25/07/2023, *“Hail record broken again – 19cm hailstone confirmed in Italy”*

<https://www.essl.org/cms/hail-record-broken-again-19cm-hailstone-confirmed-in-italy/>

Paolo Madonia, INGV ambiente, agg. 22/03/2022, *“Cambiamenti climatici e risorse idriche”*

<https://ingvambiente.com/2022/03/22/cambiamenti-climatici-e-risorse-idriche/>

Protezione civile, agg. 10/09/2023, *“Inquinamento delle acque”*

<https://www.protezionecivile.gov.it/it/approfondimento/inquinamento-delle-acque/>

Arpa Emilia-Romagna, agg. 21/11/2021, *“Eutrofizzazione”*

<https://www.arpae.it/temi-ambientali/mare/scopri-di-piu/eutrofizzazione>

Stefano Gandelli, Geopop, agg. 01/07/2022, *“Cos'è il cuneo salino e cosa centra con la siccità del Po”*

<https://www.geopop.it/cose-il-cuneo-salino-e-cosa-centra-con-la-siccita-del-po/>

Le scienze - Repubblica, agg. 11/04/2013, *“Aumento del livello marino e invasione delle falde”*

<http://pasini-lescienze.blogautore.espresso.repubblica.it/2013/04/11/aumento-del-livello-marino-e-invasione-delle-falde/>

Università di Firenze, agg. 10/09/2023, *“L'erosione idrica”*

https://e-l.unifi.it/pluginfile.php/815198/mod_resource/content/1/Lezione%20III.pdf

Wikipedia, agg. 28/05/2023, *“Inondazione”*

<https://it.wikipedia.org/wiki/Inondazione>

Wikipedia, agg. 25/08/2023, *“Straripamento”*

<https://it.wikipedia.org/wiki/Straripamento>

Frareg, agg. 10/09/2023, *“Le inondazioni in Europa, bilancio delle vittime e danni fisici”*

<https://www.frareg.com/it/ambiente/le-inondazioni-in-europa-bilancio-delle-vittime-e-danni-fisici/#:~:text=Ma%20le%20inondazioni%20arrecano%20danni,che%20utilizzano%20agenti%20chimici%20tossici.>

Ilaria Polastro, Geopop, agg. 10/09/2023, *“Frane in Italia, ecco come avvengono e quali sono le principali tipologie”*

<https://www.geopop.it/frane-in-italia-ecco-come-avvengono-e-quali-sono-le-principali-tipologie/>

Vulcani e Ambiente, agg. 10/09/2023, *“Dissesto idrogeologico: le frane”*

https://www.vulcanieambiente.it/wp-content/uploads/2019/02/Dispensa_dal_tema_le_frane.pdf

Protezione Civile, agg. 10/09/2023, *“Scenari di Rischio: Allagamento sottopassi”*

<http://protezionecivile.unionerenolaviniosamoggia.bo.it/index.php/sezione-2-scenari-di-rischio/scenari-di-rischio-general/criticita-idrogeologica/srg1-2-allagamenti-strade-e-sottopassi>

Michele Buscè, CNSBII, agg. 01/06/2023, *“Gestione delle piogge intense: strategie per evitare allagamenti e inquinamento delle acque”*

<https://www.cnsbii.it/2023/06/01/l-impatto-delle-piogge-intense-sui-sistemi-fognari-urbani-criticita-e-soluzioni/#:~:text=Erosione%20e%20sedimentazione%3A%20Le%20piogge,potenzialmente%20ostruendo%20i%20condotti%20fognari>

Giuseppe Bolzoni, Croce rossa italiana, agg. 2020, *“Natura e funzione degli argini”*

https://www.ccv-mb.org/_formazione/2020/2020_09_serate/0112_001_06a_Argini.pdf

Denis Venturi, Innaturale, agg. 25/5/2023, *“Cementificazione del suolo: che cos'è e cosa comporta”*

<https://www.innaturale.com/cementificazione-del-suolo-che-cosa-e-e-quali-rischi-comporta>

ARGAV, agg. 8/0/2022, *“Rapporto ISPRA 2022: Veneto seconda regione in Italia per aumento di superficie cementificata”*

<https://argav.wordpress.com/2022/08/08/rapporto-ispra-2022-veneto-seconda-regione-in-italia-per-aumento-di-superficie-cementificata/>

ISPRA, SNP ambiente, agg. 10/09/2023, *“Consumo di suolo, dinamiche territoriali e servizi ecosistemici”*

https://www.snpambiente.it/wp-content/uploads/2022/07/IT_Sintesi_Rapporto_consumo_di_suolo_2022.pdf

Regione Veneto, agg. 09/06/2017, *“Legge Regionale n. 14 Norme per il governo del territorio e in materia di paesaggio”*

<https://bur.regione.veneto.it/BurVServices/pubblica/DettaglioLegge.aspx?id=346720>

ARPA Piemonte, agg. 23/03/2012, *“Meteorologia”*

<http://www.arpa.piemonte.it/approfondimenti/temi-ambientali/meteorologia-e-clima/meteo#:~:text=Il%20monitoraggio%20%3A%20indispensabile%20anche,di%20ogni%20servizio%20meteorologico%20operativo>

ISPRA ambiente, agg. 10/09/2023, *“Monitoraggio e controllo”*

<https://www.isprambiente.gov.it/it/attivita/acqua/tutela-delle-risorse-idriche/monitoraggio-e-controllo>

Tiziano Codiferro, Codiferro, agg. 10/09/2023, *“Cosa sono le sonde di umidità e come si usano”*

<https://www.codiferro.it/sonde-umidita-come-usano/>

Giovanni Calcagno, Università della Calabria, agg. 11/2007, *“Analisi dei flussi energetici per la stima dell'evapotraspirazione attraverso tecniche di telerilevamento satellitare”*

<http://dspace.unical.it:8080/jspui/bitstream/10955/622/1/TesiCalcagnoGiovanni.pdf>

Coldiretti, agg. 06/07/2022, *“Siccità: il 2022 l'anno più caldo di sempre, -45% di pioggia”*

<https://www.coldiretti.it/economia/siccita-il-2022-lanno-piu-caldo-di-sempre-45-pioggia>

Arpa Veneto, agg. 06/12/2022, *“27 – 30 ottobre 2018. Maltempo in Veneto: pioggia e vento eccezionali”*

<https://www.arpa.veneto.it/temi-ambientali/neve/approfondimenti/27-30-ottobre-2018.-maltempo-in-veneto-pioggia-e-vento-eccezionali>

Regione Veneto, agg. novembre 2011, *“31 ottobre – 2 novembre: l’alluvione dei santi”*

<https://statistica.regione.veneto.it/Pubblicazioni/RapportoStatistico2011/Capitolo17.html>

Regione Veneto, BUR, agg. 08/11/2011, *“Bur n. 83 del 08 novembre 2011”*

<https://bur.regione.veneto.it/BurVServices/pubblica/DettaglioDgr.aspx?id=235593>

Ministero dell’Ambiente e della Sicurezza Energetica, agg. Dicembre 2022, *“Piano Nazionale per l’Adattamento ai Cambiamenti Climatici”*

https://www.mase.gov.it/sites/default/files/archivio/allegati/clima/PNACC_versione_dicembre2022.pdf

Stefano Mariani et al, ISPRA ambiente, agg. 06/2018, *“Linee guida sugli indicatori di siccità e di scarsità idrica da utilizzare nelle attività degli osservatori permanenti per gli utilizzi idrici”*

https://www.isprambiente.gov.it/pre_meteo/idro/Osservatori/Linee%20Guida%20Pubblicazione%20Finale%20L6WP1_con%20copertina_ec.pdf

Wikipedia, agg. 15/2/2022, *“Scolmatore”*

<https://it.wikipedia.org/wiki/Scolmatore>

Wikipedia, agg. 23/05/2023, *“Bacino di espansione”*

https://it.wikipedia.org/wiki/Bacino_di_espansione

Dott. Ing. Umberto Niceforo e P.I. Leonildo Vicentini, agg. 21/01/2015, *“Piano per l’organizzazione dei servizi di emergenza nel settore della bonifica”*

Dott. Loris Agostinetto et al, Consorzio di Bonifica Brenta, 28/03/2017, *“Relazione finale progetto – Nuova area forestale di Infiltrazione presso il bosco delle Prese”*

Vincenzo Bixio, Anna Chiara Bixio, Consorzio di Bonifica Brenta, Dicembre 2022, *“Relazione generale e tecnica – Scolmatore di piena a monte dei centri abitati di Rubano e Selvazzano Dentro con sollevamento nel fiume Bacchiglione in presenza della esistente chiavica Molina”*

Vincenzo Bixio, Consorzio di Bonifica Brenta, Marzo 2020, *“Relazione generale e tecnica – Cassa di espansione su Tesinella e Ceresone tra Veggiano e Mestrino (PD)”*

Enrico Pozza, Consorzio di Bonifica Brenta, Ottobre 2021, *“Relazione tecnica generale – Realizzazione di una cassa di espansione sul torrente Riale a monte della nuova Superstrada Pedemontana Veneta nei comuni di Breganze e Colceresa”*

Vincenzo Bixio, Marco Baldin, Consorzio di Bonifica Brenta, Dicembre 2020, *“Studio di fattibilità tecnica ed economica - Realizzazione di un invaso sul torrente Vanoi e tutela dell’irrigazione nel comprensorio del Consorzio di Bonifica Brenta”*

Voglio infine ringraziare i membri del Consorzio di Bonifica Brenta con cui ho lavorato e che mi hanno supportato e fornito molto del materiale necessario alla stesura di questa tesi.