

Interreg



Cofinancé par
l'Union Européenne
Cofinanziato
dall'Unione Europea

**goccia
a goccia**

France – Italia ALCOTRA

STUDIO RETROSPETTIVO E PROSPETTIVO DELL'IMPRONTA IDRICA

Goccia a Goccia

N°20112

L 3.1.2 Studio retrospettivo e prospettivo dell'impronta idrica

GAG – ID : 158154

Versione del 09.09.2025



Sintesi: Lo scopo principale di questo WP è quantificare l'impronta idrica nell'area di interesse del progetto e di valutare gli effetti dei cambiamenti climatici sulla catena Agroalimentare. In generale, l'obiettivo della valutazione delle impronte idriche è analizzare come le attività umane o prodotti specifici si relazionano a problemi di scarsità idrica e vedere come possono diventare più sostenibili. L'aspetto della valutazione dell'impronta idrica dipende in larga misura dallo scopo dello studio. Si può essere interessati all'impronta idrica di una specifica fase di processo in un'intera catena di produzione o all'impronta idrica di un prodotto finale o di una regione. Nel presente lavoro ci siamo focalizzati sulla prospettiva geografica, esaminando l'impronta idrica totale all'interno di un'area delimitata dalle cinque province che la compongono. Per rendere l'analisi più efficace, abbiamo suddiviso le attività Agroalimentari in cinque filiere, Pane e Pasticceria, Lavorazione e Conservazione della carne, Latte e sui derivati, Vino e birra, e Olio ed ortofrutta.

Studio Retrospectivo: Lo studio retrospectivo riguarda la contabilizzazione dell'impronta idrica in ogni filiera mediante la raccolta di dati di produzione degli anni passati, modelli di letteratura uso della risorsa idrica a scala provinciale. Questo studio viene condotto per ognuna delle cinque province che compongono l'area di studio e delle cinque filiere considerate. Nello studio retrospectivo è stata condotta un'analisi dello scenario siccitoso dell'area in oggetto con particolare riferimento alla siccità del 2021/2022. Si è cercato di comprendere come la crisi climatica ha impattato l'area in oggetto e quali sono state le misure adottate in Italia ed in Francia per adattarsi a questi scenari.

Studio Prospettico: La siccità colpisce molti aspetti dell'ambiente e della società, e qualsiasi futuro aumento della domanda di acqua sarà più critico nei periodi di grave siccità. I cambiamenti nell'entità e nella frequenza delle siccità avranno impatti estesi sulla gestione delle risorse idriche, sull'agricoltura e sugli ecosistemi acquatici. Nello studio Prospettico si presentano i possibili impatti di alcuni scenari futuri e si cerca di capire come questi scenari possono incidere sull'impronta idrica dei prodotti agroalimentari nell'area di interesse a causa dell'aumento delle temperature, dei cambiamenti della dinamica della precipitazione e degli eventi meteorologici estremi più frequenti.

Autori / collaboratori:

Prof. Davide Poggi, prof.ssa Stefania Tamea

Versione del documento : x

Work Package : 3

Sito web : <https://www.interreg-alcotra.eu/it/goccia-goccia-gag>



Indice dei contenuti

STUDIO RETROSPETTIVO E PROSPETTIVO DELL'IMPRONTA IDRICA	1
INDICE DEI CONTENUTI	3
PREMESSA	4
VALUTAZIONE DELL'IMPRONTA IDRICA	6
STUDIO RETROSPETTIVO	8
Domande principali dello studio Retrospectivo:	8
Ambito della contabilizzazione dell'impronta idrica	9
METODOLOGIE PER LA QUANTIFICAZIONE DELL'IMPRONTA IDRICA	12
MODELLI PER IL CALCOLO DELL'IMPRONTA IDRICA A SCALA REGIONALE	14
Come calcolare l'impronta idrica su scala provinciale	15
Raccogliere dati delle imprese	26
Raccogliere dati dei prodotti animali (carne, latte, uova)	36
Stima dell'impronta idrica unitaria	41
Stima dell'impronta idrica delle Filiere Agroalimentari	42
SICCITÀ ED IMPRONTA IDRICA	43
Come la crisi climatica ha impattato l'area in oggetto?	50
STUDIO PROSPETTIVO	58
CAMBIAMENTI CLIMATICI E DISPONIBILITÀ IDRICA	58
E il futuro?	58
CAMBIAMENTI CLIMATICI ED IMPRONTA IDRICA	61
Aumento della scarsità d'acqua e della domanda di acqua agricola	61
Cambiamenti nell'uso dell'acqua e nelle rese delle colture	61
Fabbisogni idrici NELLA FILIERA AGROALIMENTARE	64
Acqua verde e blu per la produzione delle materie prime agroalimentari	64
Dati meteo-climatici	71
Analisi degli impatti indotti da scenari climatici futuri	76
Scenari futuri di fabbisogni irrigui	76
Scenari futuri: fabbisogni irrigui e risorse idriche disponibili	79
Scenari futuri: acqua dalle falde	81
Conclusioni	81
BIBLIOGRAFIA	83

PREMESSA

Le attività umane consumano molta acqua. Su scala globale, la maggior parte dell'uso dell'acqua avviene nella produzione agricola, ma ci sono anche volumi d'acqua sostanziali consumati nei settori industriale e domestico [1]. Il consumo totale di acqua è generalmente calcolato come la somma di una moltitudine di attività indipendenti che richiedono acqua. Il consumo di acqua può essere associati ad attività specifiche, come irrigazione, bagno, lavaggio, pulizia, raffreddamento e lavorazione. Il consumo totale di acqua è correlato a cosa e quanto consumano le comunità e alla struttura dell'economia globale che fornisce i vari beni e servizi di consumo. Fino a pochi anni fa, non ci si preoccupava, sia nel campo della ricerca che nelle azioni pratiche della gestione dell'acqua, del consumo di acqua lungo l'intera produzione e le filiere dei vari prodotti agricoli e non. Di conseguenza, c'è poca consapevolezza riguardo al fatto che l'organizzazione e le caratteristiche di una produzione e di una catena di fornitura influenzano fortemente i volumi (e la distribuzione temporale e spaziale) d'acqua consumata associati a un prodotto finale. Hoekstra e Chapagain [2] hanno dimostrato che visualizzare l'uso nascosto dell'acqua dietro i prodotti può aiutare a comprendere il carattere globale dell'acqua dolce e a quantificare gli effetti del consumo e del commercio sull'uso delle risorse idriche. La migliore comprensione può costituire una base per una migliore gestione delle risorse idriche del mondo. L'acqua dolce sta diventando sempre più una risorsa globale, spinta dal crescente commercio internazionale di prodotti ad alta intensità idrica.

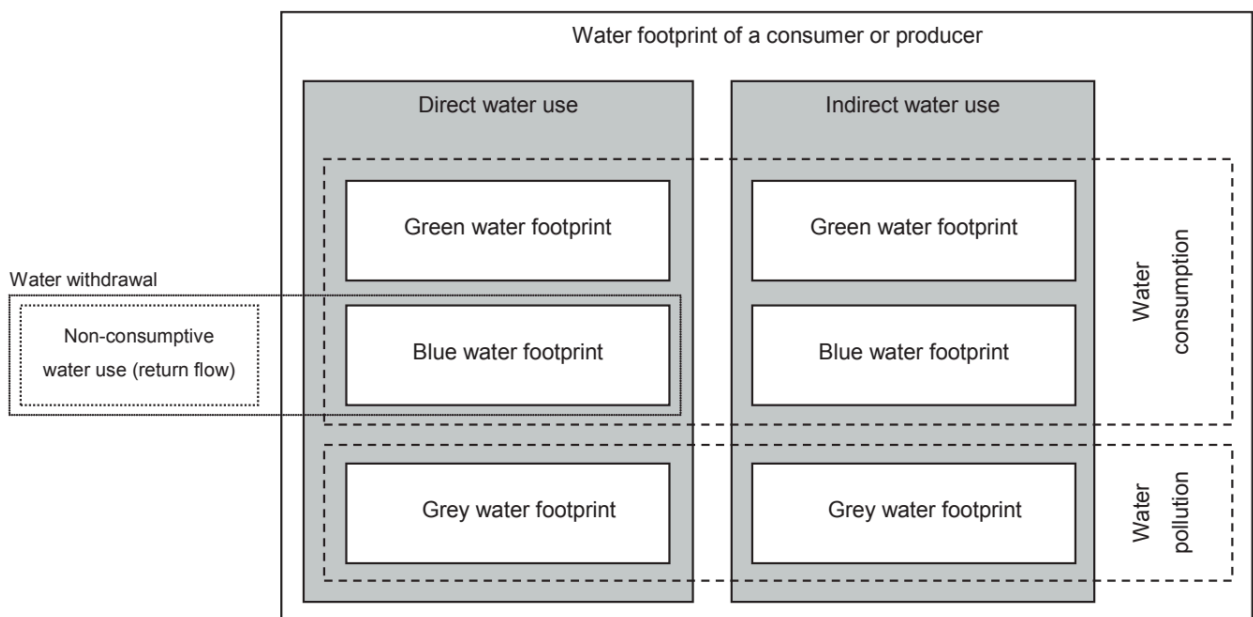


Figura 1 Rappresentazione schematica delle componenti di un'impronta idrica. Contrariamente alla misura del "prelievo idrico", l'"impronta idrica" include acqua verde e grigia e la componente di utilizzo indiretto dell'acqua.

Oltre ai mercati regionali, ci sono anche mercati globali per prodotti ad alta intensità idrica come prodotti agricoli e zootecnici, fibre naturali e bioenergia. Di conseguenza, l'uso delle risorse idriche è diventato spazialmente disconnesso dai consumatori. Scoprire il legame nascosto tra consumo e uso

dell'acqua può costituire la base per la formulazione di nuove strategie di governance dell'acqua, perché è possibile identificare nuovi fattori scatenanti del cambiamento. Laddove i consumatori finali, i rivenditori, le industrie alimentari e i commercianti di prodotti ad alta intensità idrica sono stati tradizionalmente esclusi dall'ambito di coloro che hanno studiato o erano responsabili della buona governance dell'acqua, questi attori entrano ora in gioco come potenziali "agenti del cambiamento". Possono essere affrontati ora non solo nel loro ruolo di utilizzatori diretti dell'acqua, ma anche nel loro ruolo di utilizzatori indiretti dell'acqua. L'idea di considerare l'uso dell'acqua lungo le catene di fornitura ha guadagnato interesse dopo l'introduzione del concetto di "impronta idrica" da parte di Hoekstra nel 2002 [3]. L'impronta idrica è un indicatore dell'uso di acqua dolce che non considera solo l'uso diretto di acqua di un consumatore o produttore, ma anche l'uso indiretto di acqua.

L'impronta idrica può essere considerata un indicatore completo dell'appropriazione di risorse di acqua dolce, accanto alla misura tradizionale e limitata del prelievo di acqua. L'impronta idrica di un prodotto è il volume di acqua dolce utilizzato per produrre il prodotto, misurato sull'intera catena di fornitura. È un indicatore multidimensionale, che mostra i volumi di consumo di acqua per fonte e i volumi inquinati per tipo di inquinamento; tutti i componenti di un'impronta idrica totale sono specificati geograficamente e temporalmente.

L'impronta idrica blu si riferisce al consumo di risorse di acqua blu (acque superficiali e sotterranee) lungo la catena di fornitura di un prodotto. Il "consumo" si riferisce alla perdita di acqua dal corpo idrico superficiale disponibile in un bacino idrografico. Le perdite si verificano quando l'acqua evapora, ritorna in un'altra area di raccolta o nel mare o viene incorporata in un prodotto. L'impronta idrica verde si riferisce al consumo di risorse idriche verdi (acqua piovana nella misura in cui non diventa deflusso).

L'impronta idrica grigia si riferisce all'inquinamento ed è definita come il volume di acqua dolce necessario per assimilare il carico di inquinanti date le concentrazioni di fondo naturali e gli standard di qualità dell'acqua ambientale esistenti

Come indicatore dell'uso dell'acqua, l'impronta idrica differisce dalla misura classica del "prelievo idrico" per tre aspetti (**Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**):

- ✓ Non include l'uso di acqua blu nella misura in cui quest'acqua viene restituita al luogo da cui proviene.
- ✓ Non è limitato all'uso di acqua blu, ma include anche acqua verde e grigia.
- ✓ Non è limitato all'uso diretto di acqua, ma include anche l'uso indiretto di acqua.

L'impronta idrica offre quindi una prospettiva migliore e più ampia su come un consumatore o un produttore si relaziona all'uso di sistemi di acqua dolce. È una misura volumetrica del consumo di acqua. Non è solo una misura della gravità dell'impatto ambientale locale del consumo di acqua, l'impatto ambientale locale di una certa quantità di consumo di acqua e inquinamento dipende dalla vulnerabilità del sistema idrico locale e dal numero di consumatori di acqua e inquinatori che utilizzano lo stesso sistema. I conti dell'impronta idrica forniscono informazioni esplicite spaziotemporali su come l'acqua viene appropriata per vari scopi umani. Possono alimentare la discussione sull'uso e l'allocazione sostenibili ed equi dell'acqua e anche costituire una buona base per una valutazione locale degli impatti ambientali, sociali ed economici.

VALUTAZIONE DELL'IMPRONTA IDRICA

La valutazione dell'impronta idrica si riferisce all'intera gamma di attività volte a:

1. quantificare e localizzare l'impronta idrica di un processo, prodotto, produttore o consumatore o quantificare nello spazio e nel tempo l'impronta idrica in un'area geografica specifica;
2. valutare la sostenibilità ambientale, sociale ed economica di questa impronta idrica;
3. formulare una strategia di risposta.

In generale, l'obiettivo della valutazione delle impronte idriche è analizzare come le attività umane o prodotti specifici si relazionano a problemi di scarsità idrica e inquinamento, e vedere come le attività e i prodotti possono diventare più sostenibili da una prospettiva idrica. L'aspetto della valutazione dell'impronta idrica dipende in larga misura dallo scopo dello studio. Si può essere interessati all'impronta idrica di una specifica fase di processo in un'intera catena di produzione o all'impronta idrica di un prodotto finale. In alternativa, si può essere interessati all'impronta idrica di un consumatore o di un gruppo di consumatori o all'impronta idrica di un produttore o di un intero settore economico. Infine, si può adottare una prospettiva geografica, esaminando l'impronta idrica totale all'interno di un'area delimitata come un comune, una provincia, una nazione, un bacino idrografico o un bacino fluviale. Tale impronta idrica totale è l'aggregazione delle impronte idriche di molti processi separati che si svolgono nell'area. La valutazione dell'impronta idrica è uno strumento analitico, può essere determinante nell'aiutare a comprendere in che modo le attività e i prodotti si relazionano alla scarsità d'acqua e all'inquinamento e agli impatti correlati e cosa si può fare per assicurarsi che le attività e i prodotti non contribuiscano all'uso non sostenibile di acqua dolce. Come strumento, una valutazione dell'impronta idrica fornisce informazioni, non dice alle persone "cosa fare". Piuttosto aiuta le persone a capire cosa si può fare. Per essere trasparenti sulle scelte fatte quando si intraprende uno studio di valutazione dell'impronta idrica, si dovrà iniziare definendo chiaramente gli obiettivi e l'ambito dello studio. Uno studio dell'impronta idrica può essere intrapreso per molte ragioni diverse. Ad esempio, un governo nazionale potrebbe essere interessato a conoscere la sua dipendenza dalle risorse idriche straniere o potrebbe essere interessato a conoscere la sostenibilità dell'uso dell'acqua nelle aree in cui hanno origine prodotti di importazione ad alta intensità idrica. Un'autorità di bacino fluviale potrebbe essere interessata a sapere se l'impronta idrica aggregata delle attività umane all'interno del bacino viola i requisiti di flusso ambientale o gli standard di qualità dell'acqua in qualsiasi momento. L'autorità di bacino fluviale potrebbe anche voler sapere in quale misura le scarse risorse idriche nel bacino sono assegnate a colture di esportazione di basso valore. Un'azienda potrebbe essere interessata a conoscere la sua dipendenza dalle scarse risorse idriche nella sua catena di fornitura o in che modo può contribuire a ridurre gli impatti sui sistemi idrici lungo tutta la sua catena di fornitura e all'interno delle sue stesse operazioni.

Studio Retrospectivo

La prima parte dello studio retrospectivo riguarda la contabilizzazione dell'impronta. In questa parte vengono raccolti i dati di produzione degli anni passati, ricercati i modelli di letteratura che possono permettere di stimare il consumo d'acqua e quantificare l'uso della risorsa idrica a scala provinciale. Questo studio viene condotto per ognuna delle cinque province che compongono l'area di studio a valle della caratterizzazione di ogni provincia dal punto di vista delle caratteristiche dell'industria agroalimentare. Dopo la fase di raccolta dei dati passati e dei modelli di letteratura, si è passati ad

una fase di contabilizzazione, in cui l'impronta idrica viene valutata da una prospettiva quantitativa, nonché da una prospettiva sociale ed economica. La stima dell'impronta idrica si basa su studi di letteratura e modelli che permettono di correlare le produzioni regionali con il relativo consumo d'acqua Verde, Blue e Grigia. Queste fasi compongono la prima parte dello "Studio Retrospettivo". L'ambito e il livello di dettaglio nella contabilizzazione dipendono dai dati disponibili nei database nazionali e regionali e dallo scopo dello studio. Lo scopo ultimo è quello di comprendere quali siano le filiere agroalimentari che utilizzano più risorsa nell'area in esame. La seconda parte dello studio retrospettivo riguarda l'analisi dello scenario siccitoso dell'area in oggetto con particolare riferimento alla siccità del 2021/2022. Si cercherà di comprendere come la crisi climatica ha impattato l'area in oggetto e quali sono state le misure adottate in Italia ed in Francia per adattarsi a questi scenari.

Studio Prospettico

La siccità colpisce molti aspetti dell'ambiente e della società, e qualsiasi futuro aumento della domanda di acqua sarà più critico nei periodi di grave siccità. I cambiamenti nell'entità e nella frequenza delle siccità avranno impatti estesi sulla gestione delle risorse idriche, sull'agricoltura e sugli ecosistemi acquatici. Con l'aumento previsto della temperatura globale, gli scienziati concordano generalmente sul fatto che il ciclo idrologico globale si intensificherà e suggeriscono che gli estremi di siccità diventeranno più comuni. In Europa è probabile che gli effetti principali si facciano sentire attraverso cambiamenti nella frequenza di eventi estremi e precipitazioni, causando più siccità in alcune aree e più inondazioni fluviali altrove.

Nello studio Prospettico si presentano i possibili impatti di alcuni scenari futuri e si cerca di capire come questi scenari possono incidere sull'impronta idrica dei prodotti agroalimentari nell'area di interesse a causa dell'aumento delle temperature, dei cambiamenti della dinamica della precipitazione e degli eventi meteorologici estremi più frequenti. In particolare, il cambiamento climatico aumenterà l'impronta idrica dei prodotti agroalimentari, soprattutto aumentando le esigenze di irrigazione e riducendo l'affidabilità delle precipitazioni. Le strategie di adattamento, come un'irrigazione efficiente, colture resistenti alla siccità e una migliore gestione delle risorse idriche, saranno fondamentali per mantenere la sostenibilità agricola di fronte al cambiamento climatico. I principali fattori che impatteranno l'impronta idrica sono legati a: 1) aumento della domanda di acqua per l'irrigazione, 2) diminuzione della disponibilità di acqua verde, 3) maggiore competizione per le risorse idriche, 4) cambiamenti nell'idoneità delle colture e nelle pratiche agricole, 5) aumento dell'impronta idrica grigia a causa dell'inquinamento, 6) maggiore dipendenza dalle falde acquifere. La scarsità della risorsa idrica comporterà: a) aumento dei costi di produzione dovuto alla necessità di captare acqua da fonti più profonde o trattare le acque reflue, b) riduzione delle rese agricole, con un impatto sulla quantità e qualità delle materie prime disponibili per la trasformazione, c) restrizioni e limitazioni nell'uso dell'acqua, imposte dalle autorità locali durante i periodi di crisi idrica, che possono rallentare la produzione e compromettere la filiera agroalimentare, d) difficoltà nella sicurezza alimentare, poiché la mancanza di acqua può influenzare la salubrità e la qualità dei prodotti trasformati.

STUDIO RETROSPETTIVO

Gli studi sull'impronta idrica possono avere vari scopi ed essere applicati in contesti diversi. Ogni scopo richiede il proprio ambito di analisi e consentirà scelte diverse quando si formulano ipotesi. È possibile valutare l'impronta idrica di diverse entità, quindi è molto importante iniziare a specificare a quale impronta idrica si è interessati. Si può essere interessati, ad esempio, a:

- ✓ impronta idrica di una fase di processo
- ✓ impronta idrica di un prodotto
- ✓ impronta idrica di un consumatore
- ✓ impronta idrica di un gruppo di consumatori
 - o impronta idrica dei consumatori in una nazione
 - o impronta idrica dei consumatori in un comune, provincia o altra unità amministrativa
 - o impronta idrica dei consumatori in un bacino idrografico o in un bacino fluviale
- ✓ impronta idrica all'interno di un'area geograficamente delimitata
 - o impronta idrica all'interno di una nazione
 - o impronta idrica all'interno di un comune, provincia o altra unità amministrativa
 - o impronta idrica all'interno di un bacino idrografico o in un bacino fluviale
- ✓ impronta idrica di un'azienda
- ✓ impronta idrica di un settore aziendale
- ✓ impronta idrica dell'umanità nel suo insieme

Una checklist per definire l'obiettivo della valutazione dell'impronta idrica è fornita nel qui di seguito.

Domande principali dello studio Retrospectivo:

1. Qual è l'obiettivo finale? Sensibilizzazione, identificazione degli hotspot, formulazione delle politiche o definizione di obiettivi quantitativi?
2. C'è un focus su una fase in particolare? Focus sulla contabilità, sulla valutazione della sostenibilità o sulla formulazione della risposta?
3. Qual è l'ambito di interesse? Impronta idrica diretta e/o indiretta? Impronta idrica verde, blu e/o grigia?
4. Quale scala? Includere prodotti da un campo o una fabbrica, una o più aziende o una o più regioni di produzione?
5. Quali sono i confini dell'area? Un bacino idrografico, un bacino fluviale, un comune, una provincia, uno stato o una nazione?

France – Italia ALCOTRA

6. Come gestire il tempo? Si punta alla valutazione per un anno specifico o alla media di alcuni anni o all'analisi delle tendenze?
7. Quale prodotto considerare? Un'unità di stoccaggio di un marchio particolare, un tipo particolare di prodotto o un'intera categoria di prodotti?

Questo elenco di domande non è esaustivo, ma mostra piuttosto una serie di indirizzi da seguire. Probabilmente la domanda più importante è che tipo di dettaglio si cerca. Se lo scopo è la sensibilizzazione, le stime medie nazionali o globali per l'impronta idrica dei prodotti sono probabilmente sufficienti. Quando l'obiettivo è l'identificazione di hotspot, sarà necessario includere maggiori dettagli nell'ambito e successiva contabilizzazione e valutazione, in modo che sia possibile individuare esattamente dove e quando l'impronta idrica ha i maggiori impatti ambientali, sociali o economici locali. Se l'obiettivo è formulare una politica e stabilire obiettivi sulla riduzione quantitativa dell'impronta idrica, è richiesto un grado ancora più elevato di dettaglio spaziale e temporale. Inoltre, si dovrà incorporare la valutazione dell'impronta idrica in una deliberazione più ampia che incorpori fattori diversi dalla sola acqua

L'obiettivo principale dello studio retrospettivo è sensibilizzare la popolazione e le aziende verso la problematica del consumo d'acqua, nelle sue componenti Verde, Blu e Grigia, e fornire, quindi, delle metodologie adatte alla valutazione e contabilizzazione dei consumi. L'ambito di interesse è quello provinciale dei territori interessati dal progetto GAG. Le filiere analizzate sono quelle caratterizzate da un forte consumo d'acqua e che sono presenti su tutti i territori oggetto dello studio. Nello studio retrospettivo ci focalizzeremo sull'impronta idrica di un'area geograficamente limitata: l'area del progetto INTERREG, Provincia di Cuneo, Provincia di Imperia e nei Dipartimenti Francesi 04, 05 e 06.

Ambito della contabilizzazione dell'impronta idrica

Bisognerà qui essere chiari ed espliciti sui "limiti di inventario" quando si imposta un account dell'impronta idrica. I limiti di inventario si riferiscono a "cosa includere" e "cosa escludere" dagli account e dovrebbero essere scelti in funzione dello scopo dell'account. Si può usare almeno la seguente checklist quando si imposta un account dell'impronta idrica:

1. Considerare l'impronta idrica blu, verde e/o grigia?
2. Dove troncare l'analisi quando si torna indietro lungo la catena di fornitura?
3. Quale livello di spiegazione spaziotemporale?
4. Quale periodo di dati?
5. Per consumatori e aziende: considerare l'impronta idrica diretta e/o indiretta?

Impronta idrica blu, verde e/o grigia?

Le risorse idriche blu sono generalmente più scarse e hanno costi opportunità più elevati rispetto all'acqua verde, quindi questo potrebbe essere un motivo per concentrarsi sulla contabilizzazione solo dell'impronta idrica blu. Tuttavia, anche le risorse idriche verdi sono limitate e quindi scarse, il che fornisce un argomento per contabilizzare anche l'impronta idrica verde. Inoltre, l'acqua verde può essere sostituita dall'acqua blu, e in agricoltura anche il contrario, quindi un quadro completo può essere ottenuto solo contabilizzando entrambe. L'argomento per includere l'uso di acqua verde è che l'attenzione storica dell'ingegneria sull'acqua blu ha portato alla sottovalutazione dell'acqua verde come un importante fattore di produzione [4] [5]. L'idea dell'impronta idrica grigia è stata introdotta

per esprimere l'inquinamento idrico in termini di volume inquinato, in modo che possa essere confrontato con il consumo di acqua, che è anche espresso come volume [6] [7]. Se si è interessati all'inquinamento delle acque e al confronto delle relative conseguenze dell'inquinamento delle acque e del consumo di acqua sulle risorse idriche disponibili, è importante tenere conto dell'impronta idrica grigia oltre a quella blu.

Dove troncare l'analisi quando si analizza la filiera?

Il problema del troncamento è una questione fondamentale nella contabilità dell'impronta idrica. Si affrontano questioni simili a quelle della contabilità dell'impronta ecologica e del carbonio, dell'analisi energetica e della valutazione del ciclo di vita. Non sono ancora state sviluppate linee guida generali nel campo della contabilità dell'impronta idrica, ma la regola generale è includere l'impronta idrica di tutti i processi all'interno di un sistema di produzione (albero di produzione) che contribuiscono "significativamente" all'impronta idrica complessiva. La domanda rimane cosa sia "significativo"; si può dire ad esempio "superiore all'1 percento" (o "superiore al 10 percento" se interessati solo ai componenti più grandi). Se si tracciano le origini di un prodotto particolare, si vedrà che le filiere sono infinite e ampiamente divergenti a causa della varietà di input utilizzati in ogni fase del processo. In pratica, tuttavia, ci sono solo alcune fasi del processo che contribuiscono sostanzialmente all'impronta idrica totale del prodotto finale. Come regola generale, ci si può aspettare che, quando un prodotto include ingredienti che provengono dall'agricoltura, quegli ingredienti spesso diano un contributo importante all'impronta idrica complessiva del prodotto. Questo è il caso perché si stima che l'86% dell'impronta idrica dell'umanità rientri nel settore agricolo [2]. È probabile che il contributo della trasformazione contribuisca in particolare quando possono essere associati all'utilizzo dell'acqua blue ed all'inquinamento delle acque (quindi contribuiranno all'impronta idrica grigia). Una domanda specifica che rientra nel problema della troncatura è se si debba tenere conto dell'impronta idrica del lavoro, che è un fattore di input in quasi tutti i processi. Si potrebbe sostenere che i dipendenti sono un fattore di input che richiede cibo, vestiti e acqua potabile, quindi tutti i requisiti idrici diretti e indiretti dei dipendenti dovrebbero essere inclusi nell'impronta idrica indiretta di un prodotto. Tuttavia, ciò crea un problema di contabilità molto serio, ben noto nel campo della valutazione del ciclo di vita. Il problema è che si verificherebbe un doppio conteggio. L'idea di base della contabilità delle risorse naturali dei prodotti è di allocare tutto l'uso delle risorse naturali ai prodotti di consumo finali e, in base ai dati di consumo, ai consumatori. Tutto l'uso delle risorse naturali è quindi in ultima analisi attribuito ai consumatori. I consumatori sono, tuttavia, anche lavoratori. Si creerebbe un ciclo infinito di conteggi doppi, tripli e così via, quando l'uso di risorse naturali attribuito a un consumatore verrebbe conteggiato come uso di risorse naturali sottostante il fattore di input lavoro nella produzione. In breve, è prassi comune escludere il lavoro come fattore che incarna l'uso indiretto di risorse.

Nel valutare l'ampiezza della filiera, un'ulteriore domanda è se l'impronta idrica del trasporto debba essere inclusa. Il trasporto consuma molta energia ma, in molti casi, il trasporto non consuma una quantità significativa di acqua dolce se confrontata con l'acqua dolce totale consumata per produrre e trasportare un prodotto. Ciò, ovviamente, dipende dal tipo di prodotto e dal tipo di energia applicata. In generale, se l'impronta idrica del trasporto debba essere inclusa nell'analisi dipende dalla regola scelta rispetto a come troncare l'analisi. Quando si prevede che il trasporto abbia un contributo minore all'impronta idrica complessiva di un prodotto, la componente può essere esclusa dall'analisi.

Nella presente analisi, l'impronta idrica del trasporto NON viene considerata.

Quale periodo di dati?

La disponibilità idrica fluttua all'interno di un anno e anche tra gli anni. Come conseguenza della diversa disponibilità idrica, anche la domanda di acqua varia nel tempo. Si dovrebbe quindi essere estremamente cauti nel fare affermazioni riguardanti un andamento dell'impronta idrica nel tempo. Qualunque studio sull'impronta idrica venga intrapreso, si dovrebbe essere espliciti riguardo al periodo di dati utilizzato, perché il periodo scelto influenzerà il risultato. Negli anni secchi, l'impronta idrica blu di un prodotto agricolo sarà molto più alta che negli anni umidi, perché sarà richiesta più acqua per l'irrigazione. Si può scegliere di calcolare l'impronta idrica per un anno particolare o per un numero di anni specifici, ma in alternativa si può scegliere di calcolare l'impronta idrica in un anno medio dato il clima esistente (definito come la media su un periodo consecutivo di 30 anni). In quest'ultimo caso, si combineranno diversi periodi in un'analisi: si prendono, ad esempio, i dati di produzione e resa per un periodo recente di cinque anni ma i dati sul clima (temperatura e precipitazioni) come media degli ultimi 30 anni. **Lo studio retrospettivo utilizza una serie di dati della durata di 10 anni.**

Quale livello spaziotemporale?

Le impronte idriche possono essere valutate a diversi livelli di dettaglio spaziotemporale. Al livello di dettaglio più basso, l'impronta idrica viene valutata in base ai dati dell'impronta idrica media globale da un database disponibile. I dati si riferiscono a medie pluriennali. Questo livello di dettaglio è sufficiente e persino il più strumentale ai fini della sensibilizzazione. Questo livello di dettaglio può anche essere adatto quando l'obiettivo è identificare prodotti e ingredienti che contribuiscono in modo più significativo all'impronta idrica complessiva. I dati dell'impronta idrica media globale possono anche essere utili per sviluppare proiezioni approssimative del futuro consumo globale di acqua dati i principali cambiamenti nei modelli di consumo (come uno spostamento verso più carne o bioenergia). **Questo è il livello spaziotemporale che viene adottato nel presente studio retrospettivo e prospettico.**

Al livello medio l'impronta idrica viene valutata in base ai dati dell'impronta idrica media nazionale o regionale o specifica del bacino idrografico da un database geograficamente esplicito disponibile. Le impronte idriche sono preferibilmente specificate per mese, ma saranno comunque dati mensili medi pluriennali. Questo livello di contabilità è adatto a fornire una base per comprendere dove ci si può aspettare la presenza di hotspot nei bacini idrografici locali e per prendere decisioni di allocazione dell'acqua.

Al livello più alto di definizione, i conti dell'impronta idrica sono geograficamente e temporalmente espliciti, basati su dati precisi sugli input utilizzati e sulle fonti precise di tali input. La risoluzione spaziale minima è il livello di piccoli bacini idrografici (~100/1000 km²), ma se lo si desidera e quando i dati lo consentono, si può contabilizzare a livello di campo. In quest'ultimo caso, stiamo parlando di conti che mappano l'impronta idrica per azienda agricola, distretto abitativo o settore. La risoluzione temporale minima è un mese e lo studio delle variazioni interannuali sarà parte dell'analisi. La contabilità si basa sulle migliori stime del consumo effettivo di acqua locale e dell'inquinamento, preferibilmente verificati sul campo. Questo elevato livello di dettaglio spaziotemporale è adatto per formulare strategie di riduzione dell'impronta idrica specifiche per sito. **Questo livello viene utilizzato per fornire una metodologia di analisi del water footprint test a scala aziendale nel presente studio.**

Impronta idrica diretta e/o indiretta?

La raccomandazione generale è di includere sia l'impronta idrica diretta che quella indiretta. Mentre l'impronta idrica diretta è il focus tradizionale di consumatori e aziende, l'impronta idrica indiretta è generalmente molto più grande. Affrontando solo l'impronta idrica diretta, i consumatori trascurerebbero il fatto che la maggior parte della loro impronta idrica è associata ai prodotti che acquistano al supermercato o altrove, non all'acqua che consumano a casa. Per la maggior parte delle aziende, l'impronta idrica nella loro catena di fornitura è molto più grande dell'impronta idrica delle loro stesse attività; ignorare la componente della catena di fornitura può portare a investimenti per apportare miglioramenti nell'uso operativo dell'acqua, mentre gli investimenti per migliorare la catena di fornitura potrebbero essere stati più convenienti. A seconda dello scopo di uno studio particolare, tuttavia, si può ovviamente decidere di includere solo l'impronta idrica diretta o indiretta nell'analisi.

METODOLOGIE PER LA QUANTIFICAZIONE DELL'IMPRONTA IDRICA

Lo scopo di questo paragrafo è fornire delle metodologie per la stima dell'impronta idrica verde, blu e grigia dei prodotti agricoli in modo spazialmente esplicito. Quantificheremo l'impronta idrica verde, blu e grigia della filiera agricola utilizzando un classico modello di bilancio idrico dinamico basato su griglia che tiene conto delle condizioni climatiche e del suolo locali e dei tassi di applicazione dei fertilizzanti azotati e che calcola i requisiti idrici delle colture, l'effettivo utilizzo di acqua delle colture e le rese e infine l'impronta idrica verde, blu e grigia a livello di griglia. Il quadro concettuale del modello è basato sull'approccio CROPWAT. Il concetto di "impronta idrica" introdotto da Hoekstra [8] e successivamente elaborato da Hoekstra e Chapagain (2008) [9] fornisce un quadro per analizzare il collegamento tra il consumo umano e l'utilizzo di acqua dolce a tutte le scale. Come già definito in precedenza, l'impronta idrica di un prodotto espressa in volume d'acqua per unità di prodotto è la somma delle impronte idriche delle fasi di processo adottate per produrre il prodotto. L'impronta idrica all'interno di un'area geograficamente delimitata (ad esempio una provincia, una nazione, un bacino idrografico o un bacino fluviale) è uguale alla somma delle impronte idriche di tutti i processi che si svolgono in quell'area. L'impronta idrica blu si riferisce al volume di acqua superficiale e sotterranea consumata (evaporata) come risultato della produzione di un bene; l'impronta idrica verde si riferisce all'acqua piovana consumata. L'impronta idrica grigia di un prodotto si riferisce al volume di acqua dolce necessario per assimilare il carico di inquinanti in base agli standard di qualità dell'acqua ambiente esistenti. L'impronta idrica è un indicatore dell'appropriazione diretta e indiretta di risorse di acqua dolce. Il termine "appropriazione di acqua dolce" include sia l'uso di acqua per consumo (impronta idrica verde e blu) sia l'acqua necessaria per assimilare l'inquinamento (impronta idrica grigia). Includere l'impronta idrica grigia è relativamente nuovo negli studi sull'uso dell'acqua, ma giustificato se si considera la rilevanza dell'inquinamento come fattore determinante della scarsità idrica. Come sottolineato nel Rapporto sullo sviluppo umano del 2006 dell'UNDP, dedicato all'acqua, il consumo di acqua non è l'unico fattore che causa la scarsità idrica; anche l'inquinamento svolge un ruolo importante (UNDP, 2006). L'inquinamento delle risorse di acqua dolce non solo rappresenta una minaccia per la sostenibilità ambientale e la salute pubblica, ma aumenta anche la competizione per l'acqua dolce. L'inquinamento idrico insieme ad altri fattori rappresentano una minaccia per la sicurezza idrica globale e la biodiversità fluviale. Esistono vari studi precedenti sull'uso globale dell'acqua per diversi settori dell'economia, la maggior parte dei quali si concentra sui prelievi idrici.

Gli studi sul consumo globale di acqua (uso di acqua evaporativa) sono più scarsi. Negli ultimi anni, ci sono stati vari tentativi di valutare il consumo globale di acqua nella filiera agricola ad alta risoluzione spaziale. Le stime precedenti si concentrano sulla stima del prelievo di acqua blu e sui requisiti di acqua per l'irrigazione. Più di recente, alcuni studi hanno separato il consumo globale di acqua per la produzione di prodotti di origine agricola in acqua verde e blu. Rost et al. (2008) [10] hanno effettuato una stima globale del consumo di acqua agricola verde e blu con una risoluzione spaziale di 30 per 30 minuti d'arco senza mostrare l'uso di acqua per coltura, ma applicando 11 categorie di colture nel modello sottostante. Il primo passo è utilizzare dei modelli spaziali che permettano di stimare l'utilizzo di acqua nelle colture agricole, il secondo passo sarà la quantificazione del processo di allevamento dei capi e trasformazione dei prodotti agricoli.

Le impronte idriche verde, blu e grigia della produzione di prodotti agricoli sono state stimate seguendo il framework di calcolo di Hoekstra et al. (2011) [11]. I calcoli dell'evapotraspirazione e della resa delle colture, necessari per la stima dell'impronta idrica verde e blu nella produzione agricola, sono stati eseguiti seguendo il metodo e le ipotesi fornite da Allen et al. (1998) [12] per il caso di crescita delle colture in condizioni non ottimali. Il modello di bilancio idrico dinamico basato su griglia utilizzato calcola un bilancio idrico giornaliero del suolo e calcola i requisiti idrici delle colture, l'effettivo utilizzo di acqua delle colture (sia verde che blu) e le rese effettive. Sono stati stimate le impronte idriche di 146 colture primarie e di oltre duecento prodotti derivati. Il modello di bilancio idrico basato su griglia è stato utilizzato per stimare l'uso di acqua per le colture per 126 colture primarie; per le altre 20 colture, che vengono coltivate solo in pochi paesi, è stato utilizzato il modello CROPWAT8.0. Il primo scenario di bilancio idrico del suolo è condotto sulla base del presupposto che il suolo non riceva alcuna irrigazione, ma utilizzando parametri colturali di colture irrigate (come la profondità di radicazione in condizioni di irrigazione). Il secondo scenario di bilancio idrico del suolo è condotto sulla base del presupposto che la quantità di irrigazione effettiva sia sufficiente a soddisfare il fabbisogno di irrigazione, applicando gli stessi parametri colturali del primo scenario. Si presume che l'uso di acqua delle colture verdi delle colture irrigate sia uguale all'evapotraspirazione effettiva delle colture come calcolato nel primo scenario. L'uso di acqua delle colture blu è quindi uguale all'uso di acqua delle colture durante il periodo di crescita come simulato nel secondo scenario meno l'uso di acqua delle colture verdi come stimato nel primo scenario. La crescita e la resa delle colture sono influenzate dallo stress idrico. Per spiegare l'effetto dello stress idrico, è stata proposta una relazione lineare tra resa ed evapotraspirazione delle colture. Doorenbos and Kassam (1979) [13]. Le impronte idriche delle colture raccolte sono state utilizzate come base per calcolare le impronte idriche dei prodotti derivati dalle colture in base alle frazioni di prodotto e valore e alle impronte idriche delle fasi di lavorazione seguendo il metodo di Hoekstra et al. (2011). Per il calcolo delle impronte idriche dei prodotti derivati dalle colture si utilizza la frazione di prodotto e di valore. La maggior parte di queste frazioni sono state prese da FAO (2003) e Chapagain e Hoekstra (2004). La frazione di prodotto di un prodotto è definita come la quantità di prodotto di output ottenuto per quantità del prodotto di input primario. La frazione di valore di un prodotto è il rapporto tra il valore di mercato del prodotto e il valore di mercato aggregato di tutti i prodotti ottenuti dal prodotto di input (Hoekstra et al., 2011). Prodotti e sottoprodotti hanno sia una frazione di prodotto che una frazione di valore. D'altro canto, i residui (ad esempio la crusca delle colture) hanno solo una frazione di prodotto e abbiamo assunto che la loro frazione di valore fosse vicina allo zero.

MODELLI PER IL CALCOLO DELL'IMPRONTA IDRICA A SCALA REGIONALE

La prima parte di questo studio retrospettivo riguarda l'analisi dei modelli per lo studio dell'impronta idrica delle filiere agroalimentari presenti nel territorio di interesse. Come premesso, l'analisi dell'impronta idrica può essere fatta a varie scale, da quella mondiale a quella della singola azienda. Lo scopo del presente studio è individuare le filiere agroalimentari che maggiormente consumano acqua, nelle sue tre forme classiche, nel territorio oggetto del presente studio: Provincia di Cuneo, Provincia di Imperia, e nei dipartimenti Alpi dell'Alta Provenza, Alte Alpi e Alpi Marittime (04,05 e 06).

Come premesso nei paragrafi precedenti, le impronte idriche possono essere valutate a diversi livelli di dettaglio spaziotemporale. Al livello di dettaglio più basso, che è quello di nostro interesse nel presente WP, l'impronta idrica viene valutata in base ai dati dell'impronta idrica media globale da un database disponibile. I dati si riferiscono a medie pluriennali. Questo livello di dettaglio è sufficiente e persino il più strumentale ai fini della sensibilizzazione. Questo livello di dettaglio può anche essere adatto quando l'obiettivo è identificare prodotti e ingredienti che contribuiscono in modo più significativo all'impronta idrica complessiva. I dati dell'impronta idrica media globale possono anche essere utili per sviluppare proiezioni approssimative del futuro consumo globale di acqua dati i principali cambiamenti nei modelli di consumo (come uno spostamento verso più carne o bioenergia).

Al livello medio l'impronta idrica viene valutata in base ai dati dell'impronta idrica media nazionale o regionale o specifica del bacino idrografico da un database geograficamente esplicito disponibile. Questo livello di contabilità è adatto a fornire una base per comprendere dove ci si può aspettare la presenza di hotspot nei bacini idrografici locali e per prendere decisioni di allocazione dell'acqua.

Come calcolare l'impronta idrica su scala provinciale

Il calcolo dell'impronta idrica su scala regionale fornisce informazioni su come le risorse idriche vengono consumate in un'area geografica. Questa analisi è essenziale per una gestione sostenibile dell'acqua, lo sviluppo di politiche e per affrontare i problemi di scarsità d'acqua.

Passaggi per calcolare l'impronta idrica su scala regionale

Definire l'area e l'ambito dello studio: L'area di interesse è quella della Provincia di Cuneo, Provincia di Imperia, e nei dipartimenti Alpi dell'Alta Provenza, Alte Alpi e Alpi Marittime (04,05 e 06).

Determinare i settori da analizzare: I settori analizzati sono tutti quelli relativi alle filiere agroalimentare con esclusione dei settori che hanno come attività primaria le attività agricole. In particolare le filiere che si sono studiate sono qui di seguito elencate insieme ai relativi Codici Ateco che compongono la filiera stessa.

a) FILIERA CEREALI E PRODOTTI DA FORNO

- a. 106 lavorazione delle granaglie, amidi e prodotti amidacei
- b. 1061 lavorazione delle granaglie
- c. 10611 molitura del frumento
- d. 10612 molitura di altri cereali
- e. 10614 altre lavorazioni di semi e granaglie
- f. 1062 produzione di amidi e prodotti amidacei
- g. 107 produzione di prodotti da forno
- h. 10711 pane e pasticceria fresca
- i. 10712 pasticceria fresca
- j. 1072 produzione di fette biscottate e biscotti
- k. 1073 produzione di paste alimentari, couscous e farinacei simili
- l. 108503 produzioni di piatti pronti
- m. 108504 produzione di pizze confezionate
- n. 108505 produzione di piatti pronti a base di pasta
- o. 108509 produzioni di paste e altri piatti pronti

b) FILIERA COLTIVAZIONE UVA E VINO

- a. 1101 Distillazione, rettifica e miscelatura degli alcolici
- b. 1102 produzione di vini da uve
- c. 11021 produzione di vini da tavola
- d. 11022 produzione di vini da spumante
- e. 1104 produzione di altre bevande fermentate non distillate

c) FILIERA ALLEVAMENTO E TRASFORMAZIONE CARNE

- a. 1199 Coltivazione di piante da foraggio
- b. 14 Allevamento animali
- c. 141 Allevamento di bovini da latte
- d. 142 Allevamento di bovini da latte e di bufalini
- e. 143 Allevamento di cavalli e altri equini
- f. 145 Allevamento di ovini e caprini
- g. 146 Allevamento di suini
- h. 147 Allevamento di pollame
- i. 1491 Allevamento di conigli
- j. 1499 allevamento di altri animali
- k. 101 Lavorazione e conservazione di carne e prodotti a base di carne
- l. 109 produzione di altri prodotti per l'alimentazione degli animali
- m. 1011 Lavorazione e conservazione di carne (escluso i volatili)
- n. 1012 Lavorazione e conservazione di carne di volatili
- o. 1013 Produzione di prodotti a base di carne

d) FILIERA ALLEVAMENTO E INDUSTRIA LATTE

- a. 1091 produzione di mangimi
- b. 141 Allevamento di bovini da latte
- c. 142 Allevamento di bovini da latte e di bufalini
- d. 145 Allevamento di ovini e caprini
- e. 1051 Industria lattiero-casearia
- f. 10511 trattamento igienico del latte
- g. 10512 Produzione dei derivati del latte
- h. 1052 produzione di gelati

e) FILIERA ORTOFRUTTA

- a. 163 Attività successive alla raccolta
- b. 1091 produzione di mangimi
- c. 113 Coltivazione di ortaggi/meloni, radici e tuberi
- d. 1131 Coltivazione di ortaggi (inclusi i meloni) in foglia, a fusto, a frutto, in radici, bulbi e tuberi in piena aria

France – Italia ALCOTRA

- e. 1132 Coltivazione di ortaggi (inclusi i meloni) in foglia, a fusto, a frutto, in radici, bulbi e tuberi in colture protette
- f. 124 Coltivazione di pomacee e frutta a nocciolo
- g. 125 Coltivazione di altri alberi da frutta, frutti di bosco e in guscio
- h. 126 Coltivazione di frutti oleosi
- i. 103 Lavorazione e conservazione della frutta
- j. Lavorazione e conservazione delle patate
- k. 1032 produzione di succhi di frutta e ortaggi
- l. 1039 lavorazione e conservazione di frutta e ortaggi

Scegliere un intervallo di tempo per la valutazione: L'analisi è stata condotta a scala annuale tenendo in considerazione gli ultimi dieci anni di dati disponibili.

Raccogliere dati sull'uso dell'acqua

Modelli idrologici e dati satellitari per la stima del contenuto in acqua dei prodotti agricoli

Molti prodotti contengono ingredienti provenienti dall'agricoltura o dalla silvicoltura. Le colture vengono utilizzate per alimenti, mangimi, fibre, carburante, oli, saponi, cosmetici, ecc. Il legno di alberi e arbusti viene utilizzato per legname, carta e carburante. Poiché i settori agricolo e forestale consumano molta acqua, i prodotti che coinvolgono l'agricoltura o la silvicoltura nel loro sistema di produzione avranno spesso un'impronta idrica significativa. Per tutti questi prodotti, è rilevante esaminare l'impronta idrica della coltivazione della coltura o dell'albero. Questa sezione discute i dettagli della valutazione dell'impronta idrica del processo di coltivazione di colture o alberi. Il metodo si applica alle colture annuali e perenni, dove gli alberi possono essere considerati perenni. Di seguito, il termine "coltura" viene utilizzato in senso lato, includendo quindi anche gli "alberi" coltivati per il legno. Come per tutti gli altri prodotti, l'impronta idrica totale del processo di coltivazione di colture o alberi è la somma delle componenti verde, blu e grigia. Esprimeremo tutte le impronte idriche di processo in questa sezione per unità di prodotto, vale a dire in volume d'acqua per massa. Solitamente esprimiamo le impronte idriche di processo in agricoltura o silvicoltura come m/tonnellata, che equivale a litro/kg.

La componente verde nell'impronta idrica del processo di coltivazione di una coltura è calcolata come la componente verde utilizzata della coltura per unità di superficie divisa per la resa della coltura (Y, ton/ha).

La componente blu è calcolata in modo simile: le rese per le colture annuali possono essere considerate come fornite nelle statistiche di resa. Nel caso delle colture perenni, si dovrebbe considerare la resa media annuale per l'intera durata della coltura. In questo modo, si tiene conto del fatto che la resa nell'anno iniziale di semina è bassa o nulla, che le rese sono più elevate dopo alcuni anni e che le rese spesso diminuiscono alla fine della durata di una coltura perenne. Anche per l'uso di acqua della coltura, si deve prendere l'uso medio annuale di acqua della coltura per l'intera durata di vita della coltura.

La componente grigia nell'impronta idrica della coltivazione di una coltura è calcolata come il tasso di applicazione chimica al campo per ettaro moltiplicato per la frazione di lisciviazione-deflusso (α) diviso per la concentrazione massima meno la concentrazione naturale per l'inquinante considerato e quindi diviso per la resa della coltura (Y, ton/ha). Gli inquinanti sono generalmente costituiti da fertilizzanti (azoto, fosforo e così via), pesticidi e insetticidi. Bisogna considerare solo il "flusso di rifiuti" verso i corpi d'acqua dolce, che è generalmente una frazione dell'applicazione totale di fertilizzanti o pesticidi al campo. Bisogna tenere conto solo dell'inquinante più critico, ovvero quello per cui il calcolo di cui sopra produce il volume d'acqua più elevato.

Le componenti verde e blu nell'uso dell'acqua delle colture sono calcolate dall'accumulo dell'evapotraspirazione giornaliera (ET, mm/giorno) durante l'intero periodo di crescita: Il fattore 10 è pensato per convertire le profondità dell'acqua in millimetri in volumi d'acqua per superficie terrestre in m/ha. La sommatoria viene effettuata nel periodo dal giorno della semina (giorno 1) al giorno del raccolto (l'lgp sta per lunghezza del periodo di crescita in giorni). Poiché diverse varietà di colture

possono presentare differenze sostanziali nella lunghezza del periodo di crescita, questo fattore può influenzare significativamente l'uso di acqua calcolato per la coltura. Per le colture permanenti (perenni) e le foreste di produzione, si dovrebbe tenere conto dell'evapotraspirazione durante tutto l'anno. Evapotranspiration from a field can be either measured or estimated by means of a model based on empirical formulas. Measuring evapotranspiration is costly and unusual. Generally, one estimates evapotranspiration indirectly by means of a model that uses data on climate, soil properties and crop characteristics as input. There are many alternative ways to model ET and crop growth. One of the models frequently used is the EPIC model [5], also available in grid-based form [6]. Another model is the CROPWAT model developed by the Food and Agriculture Organization of the United Nations [7]. Il modello CROPWAT offre due diverse opzioni per calcolare l'evapotraspirazione: l'opzione "richiesta di acqua per le colture" (ipotizzando condizioni ottimali) e l'opzione "programma di irrigazione" (inclusa la possibilità di specificare l'effettiva fornitura di irrigazione nel tempo). Raccomandiamo di applicare la seconda opzione quando possibile, perché è applicabile sia per condizioni di crescita ottimali che non ottimali e perché è più accurata (poiché il modello sottostante include un bilancio idrico dinamico del suolo). Un manuale completo per l'uso pratico del programma CROPWAT è disponibile online.

La stima delle impronte idriche verde, blu e grigia della coltivazione di una coltura richiede un gran numero di fonti di dati. In generale è sempre preferibile trovare dati locali relativi alla posizione del campo di coltura. In molti casi è troppo laborioso raccogliere dati specifici della posizione dato lo scopo della valutazione. Se lo scopo della valutazione consente una stima approssimativa, si può decidere di lavorare con dati da posizioni vicine o con medie regionali o nazionali che potrebbero essere più facilmente disponibili.

Dati climatici: il calcolo dovrebbe essere effettuato utilizzando i dati climatici delle stazioni meteorologiche più vicine e rappresentative situate nei pressi del campo coltivato considerato o all'interno o in prossimità della regione di produzione delle colture considerata. Per le regioni con più di una stazione climatica, è possibile effettuare calcoli per ciascuna stazione e soppesare gli output. Il database climatico CLIMWAT 2.0 fornisce i dati climatici necessari nel formato appropriato richiesto dal modello CROPWAT 8.0. Il database non fornisce dati per anni specifici, ma medie trentennali. Un'altra fonte è LocClim 1, che fornisce stime delle condizioni climatiche medie in località per le quali non sono disponibili osservazioni. È possibile utilizzare anche database climatici basati su griglia: i valori mensili dei principali parametri climatici con una risoluzione spaziale di 30 minuti d'arco possono essere ottenuti da CRU TS-2.1 tramite il GeoPortal CGIAR-CSI. Il National Climate Data Center degli Stati Uniti fornisce dati climatici giornalieri per un gran numero di stazioni a livello globale. Inoltre, la FAO fornisce attraverso il suo sito web GeoNetwork precipitazioni medie a lungo termine ed evapotraspirazione di riferimento con una risoluzione spaziale di 10 minuti d'arco.

Parametri delle colture: i coefficienti delle colture e il modello di coltivazione (date di semina e raccolta) possono essere ricavati al meglio dai dati locali. La varietà delle colture e il periodo di crescita adatto per un particolare tipo di coltura dipendono in larga misura dal clima e da molti altri fattori come usanze locali, tradizioni, struttura sociale, norme e politiche esistenti. Pertanto, i dati sulle colture più affidabili sono quelli ottenuti dalle stazioni di ricerca agricola locali. Il sistema di informazione globale e allerta precoce (GIEWS) online della FAO fornisce calendari delle colture per le principali colture dei paesi in via di sviluppo. È possibile accedere alle immagini compresse del calendario delle colture per ciascun continente direttamente dal web.

Mappe delle colture: le aree di raccolta delle colture e le rese per 175 colture a una risoluzione di celle della griglia di 5 minuti d'arco sono disponibili sul sito web del gruppo di ricerca sull'uso del territorio e sul cambiamento ambientale globale, Dipartimento di geografia, Università McGill. E' sempre consigliabile riferirsi a database (GIS) locali ricavati dai portali regionali o nazionali.

Rese delle colture: i dati sulle rese possono essere ottenuti al meglio a livello locale, al livello di risoluzione spaziale richiesto. Bisogna assicurarsi che sia chiaro come vengono misurate le rese (ad esempio, quale parte del raccolto è in peso secco o umido). Un database globale è disponibile tramite la FAO [8].

Mappe del suolo: ISRIC-WISE fornisce un set di dati globali per le proprietà del suolo derivate sia a una risoluzione di 5 minuti d'arco che di 30 minuti d'arco. Inoltre, il sito web FAO GeoNetwork fornisce i dati massimi disponibili sull'umidità del suolo a una risoluzione di 5 minuti d'arco. Quando si applica l'opzione "programma di irrigazione" nel modello CROPWAT, sono necessari dati sul suolo; se non sono disponibili dati sul suolo, consigliamo di scegliere "suolo medio" come impostazione predefinita.

Mappe di irrigazione: la mappa globale delle aree di irrigazione (GMIA) versione 4.0.1 con una risoluzione spaziale di 5 minuti d'arco definisce le aree attrezzate per l'irrigazione. Le mappe di irrigazione per 26 colture principali, sia a 5 che a 30 minuti d'arco, possono essere ottenute dal sito web dell'Università di Francoforte [9]. Questi dati forniscono anche le aree di coltivazione delle colture irrigate dalla pioggia per le stesse 26 colture. Dati puntuali possono essere stimati dai database regionali relativi ai comprensori irrigui nella zona del progetto.

Nei calcoli di cui sopra, non abbiamo ancora tenuto conto dell'acqua verde e blu incorporata nella coltura raccolta. Si può trovare quella componente dell'impronta idrica semplicemente osservando la frazione di acqua della coltura raccolta. Per la frutta, questa è in genere compresa tra l'80 e il 90 per cento della massa umida, per le verdure spesso tra il 90 e il 95 per cento. Il rapporto verde-blu nell'acqua che è incorporata nella coltura può essere assunto uguale al rapporto tra CWUverde e CWUblu. Tuttavia, l'aggiunta di acqua incorporata all'acqua evaporata aggiungerà poco al numero finale dell'impronta idrica, perché l'acqua incorporata è in genere nell'ordine dello 0,1 per cento dell'acqua evaporata, fino all'1 per cento al massimo. In questa sezione abbiamo esaminato il calcolo dell'impronta idrica della coltivazione di una coltura nel campo. L'impronta idrica blu calcolata qui si riferisce all'evapotraspirazione dell'acqua di irrigazione solo dal campo di coltivazione. Esclude l'evaporazione dell'acqua dai bacini artificiali di acqua superficiale costruiti per immagazzinare l'acqua di irrigazione e l'evaporazione dell'acqua dai canali di trasporto che portano l'acqua di irrigazione dal luogo di estrazione al campo. L'immagazzinamento e il trasporto dell'acqua sono due processi che precedono il processo di coltivazione della coltura nel campo e hanno una propria impronta idrica. Le perdite per evaporazione in queste due fasi di processo precedenti possono essere molto significative e dovrebbero idealmente essere incluse quando si è interessati all'impronta idrica del prodotto della coltura raccolta.

Raccogliere modelli per la stima dell'impronta idrica dei prodotti animali (carne, latte, uova)

L'aumento del consumo di prodotti animali probabilmente metterà ulteriore pressione sulle risorse di acqua dolce del mondo. Questo paragrafo fornisce il modello utilizzato per calcolare l'impronta idrica dei prodotti animali, considerando diversi sistemi di produzione e composizione dei mangimi per tipo di animale e paese. Quasi un terzo dell'impronta idrica totale dell'agricoltura nel mondo è correlato

alla produzione di prodotti animali. L'impronta idrica di qualsiasi prodotto animale è maggiore dell'impronta idrica dei prodotti agricoli con valore nutrizionale equivalente. L'impronta idrica media per caloria per la carne di manzo è 20 volte maggiore di quella per cereali e radici amidacee. L'impronta idrica per grammo di proteine per latte, uova e carne di pollo è 1,5 volte maggiore di quella per i legumi. L'efficienza di conversione alimentare sfavorevole per i prodotti animali è in gran parte responsabile dell'impronta idrica relativamente grande dei prodotti animali rispetto ai prodotti agricoli. I prodotti animali provenienti da sistemi industriali generalmente consumano e inquinano più risorse idriche sotterranee e superficiali rispetto ai prodotti animali provenienti da pascolo o sistemi misti. Il crescente consumo globale di carne e l'intensificazione dei sistemi di produzione animale stanno mettendo ulteriore pressione sulle risorse idriche globali di acqua dolce nei prossimi decenni. Dal punto di vista dell'acqua dolce, i prodotti di origine animale provenienti da sistemi di pascolo hanno un'impronta idrica blu e grigia inferiore rispetto ai prodotti provenienti da sistemi industriali e che è più efficiente dal punto di vista idrico ottenere calorie, proteine e grassi attraverso i prodotti agricoli rispetto ai prodotti di origine animale.

I modelli utilizzati necessitano della quantità di mangime consumato per categoria di animali, per sistema di produzione e per paese sulla base di stime di efficienze di conversione dei mangimi e statistiche sulla produzione annuale di prodotti animali, [30]. Le stime sono differenziate per tipologia di sistemi di produzione (pascolo, misto e industriale) in ciascun paese e le impronte idriche verde, blu e grigia delle colture foraggere sono stimate utilizzando un modello di bilancio idrico dinamico basato su griglia che tiene conto del clima locale, delle condizioni del suolo e dei dati sull'irrigazione ad alta risoluzione spaziale.

L'impronta idrica di un animale è stimata sulla base delle definizioni e la metodologia dell'impronta idrica come stabilito in Hoekstra e altri [31]. L'impronta idrica blu si riferisce al consumo di risorse idriche blu (acque superficiali e sotterranee) lungo la filiera di fornitura di un prodotto. Il "consumo" si riferisce alla perdita di acqua dal corpo idrico superficiale disponibile in un bacino idrografico. Le perdite si verificano quando l'acqua evapora, ritorna in un altro bacino idrografico o nel mare o viene incorporata in un prodotto. L'impronta idrica verde si riferisce al consumo di risorse idriche verdi (acqua piovana nella misura in cui non diventa deflusso). L'impronta idrica grigia si riferisce all'inquinamento ed è definita come il volume di acqua dolce necessario per assimilare il carico di inquinanti date le concentrazioni di fondo naturali e gli standard di qualità dell'acqua ambientale esistenti. Consideriamo otto categorie di animali da fattoria: bovini da carne e da latte, suini, pecore, capre, polli da carne e ovaiole e cavalli. Quando si stimano le quantità totali di mangime e le impronte idriche totali per categoria, includiamo i "bufali" nella categoria dei "bovini da carne" e gli "asini e muli" nella categoria dei "cavalli".

L'impronta idrica di un animale vivo è composta da diverse componenti: l'impronta idrica indiretta del mangime e l'impronta idrica diretta relativa all'acqua potabile e all'acqua di servizio consumata. L'impronta idrica di un animale è espressa come:

$$WF[a, c, s] = WF_{\text{feed}}[a, c, s] + WF_{\text{drink}}[a, c, s]$$

dove $WF_{\text{feed}}[a,c,s]$ e $WF_{\text{drink}}[a,c,s]$ rappresentano l'impronta idrica di un animale per la categoria di animali a , nel paese c , nei sistemi di produzione s e relativi rispettivamente al consumo di mangimi, acqua potabile e acqua di servizio. L'acqua di servizio si riferisce all'acqua utilizzata per pulire il cortile

della fattoria, lavare l'animale e svolgere altri servizi necessari per mantenere l'ambiente. L'impronta idrica di un animale e dei suoi tre componenti può essere espressa in termini di m³/anno/animale o, quando sommata per l'intera vita dell'animale, in termini di m³/animale. Per bovini da carne, suini, pecore, capre e polli da carne, animali che forniscono i loro prodotti dopo essere stati macellati, è molto utile esaminare l'impronta idrica dell'animale alla fine della sua vita, perché è questo totale che verrà assegnato ai vari prodotti (ad esempio, carne, pelle). Per i bovini da latte e le galline ovaiole, è più semplice guardare l'impronta idrica dell'animale all'anno (mediata nel corso della sua vita), perché si può facilmente mettere in relazione questa impronta idrica annuale dell'animale con la sua produzione annuale media (latte, uova). L'impronta idrica di un animale correlata al mangime consumato è composta da due parti: l'impronta idrica dei vari ingredienti del mangime e l'acqua utilizzata per mescolare il mangime:

$$\frac{\sum_{p=1}^n \left(\text{Feed}[a, c, s, p] \times \text{WF}_{\text{prod}}^*[p] \right) + \text{WF}_{\text{mixing}}[a, c, s]}{\text{Pop}^*[a, c, s]}$$

Feed[a,c,s,p] rappresenta la quantità annuale di ingrediente per mangimi p consumata dalla categoria animale a, nel paese c, e nel sistema di produzione s (tonnellate/anno), WF_{prod}[p] l'impronta idrica dell'ingrediente per mangimi p (m³/tonnellata), WF_{mixing}[a,c,s] il volume di acqua consumata per miscelare il mangime per la categoria animale a, nel paese c, e nel sistema di produzione s (m³/anno/animale) e Pop*[a,c,s] il numero di animali macellati all'anno o il numero di animali che producono latte o uova in un anno per la categoria animale a, nel paese c, e nel sistema di produzione s.

L'impronta idrica delle diverse colture, foraggi e sottoprodotti delle colture (WF_{prod}[p], m³/tonnellata) che vengono mangiati dai vari animali da fattoria è stata calcolata seguendo la metodologia sviluppata da Hoekstra e Chapagain [2]. L'impronta idrica delle colture foraggere è stata stimata utilizzando un modello di utilizzo dell'acqua delle colture che stima l'impronta idrica delle colture a una risoluzione spaziale di 5x5 minuti d'arco a livello globale [32]. Poiché i mangimi per animali in un paese provengono dalla produzione nazionale e da prodotti importati, per il calcolo dell'impronta idrica dei mangimi per animali in un paese, si utilizza un'impronta idrica media ponderata in base ai volumi relativi di produzione nazionale e importazione.

Il volume e la composizione del mangime consumato variano a seconda del tipo di animale, del sistema di produzione e del paese. La quantità di mangime consumata è stimata seguendo l'approccio di Hendy e altri [33], in cui il consumo totale annuo di mangime (inclusi sia i concentrati che i foraggi grossolani) è calcolato in base alla produzione annuale di prodotti animali e all'efficienza di conversione dei mangimi. Il mangime totale per sistema di produzione sia per gli animali ruminanti che per quelli non ruminanti viene calcolato come segue:

$$\text{Feed}[a, c, s] = \text{FCE}[a, c, s] \times P[a, c, s]$$

dove Feed[a,c,s] è la quantità totale di mangime consumato dalla categoria animale a (tonnellate/anno) nel paese c, e nel sistema di produzione s, FCE[a,c,s] l'efficienza di conversione del mangime (kg di massa secca del mangime/kg di prodotto) per la categoria animale a nel paese c e nel

sistema di produzione s , e $P[a,c,s]$ la quantità totale di prodotto (carne, latte o uova) prodotto dalla categoria animale a (tonnellate/anno) nel paese c e nel sistema di produzione s *Figura 2 Fasi nel calcolo della quantità di mangimi per animale. Per i ruminanti (bovini da carne, bovini da latte, ovini e caprine), sono derivate le efficienze di conversione dei mangimi come indicato nella parte superiore dello schema. Per i non ruminanti (maiali, polli da carne e polli a strato), le efficienze di conversione dei mangimi sono direttamente prese dalla letteratura..*

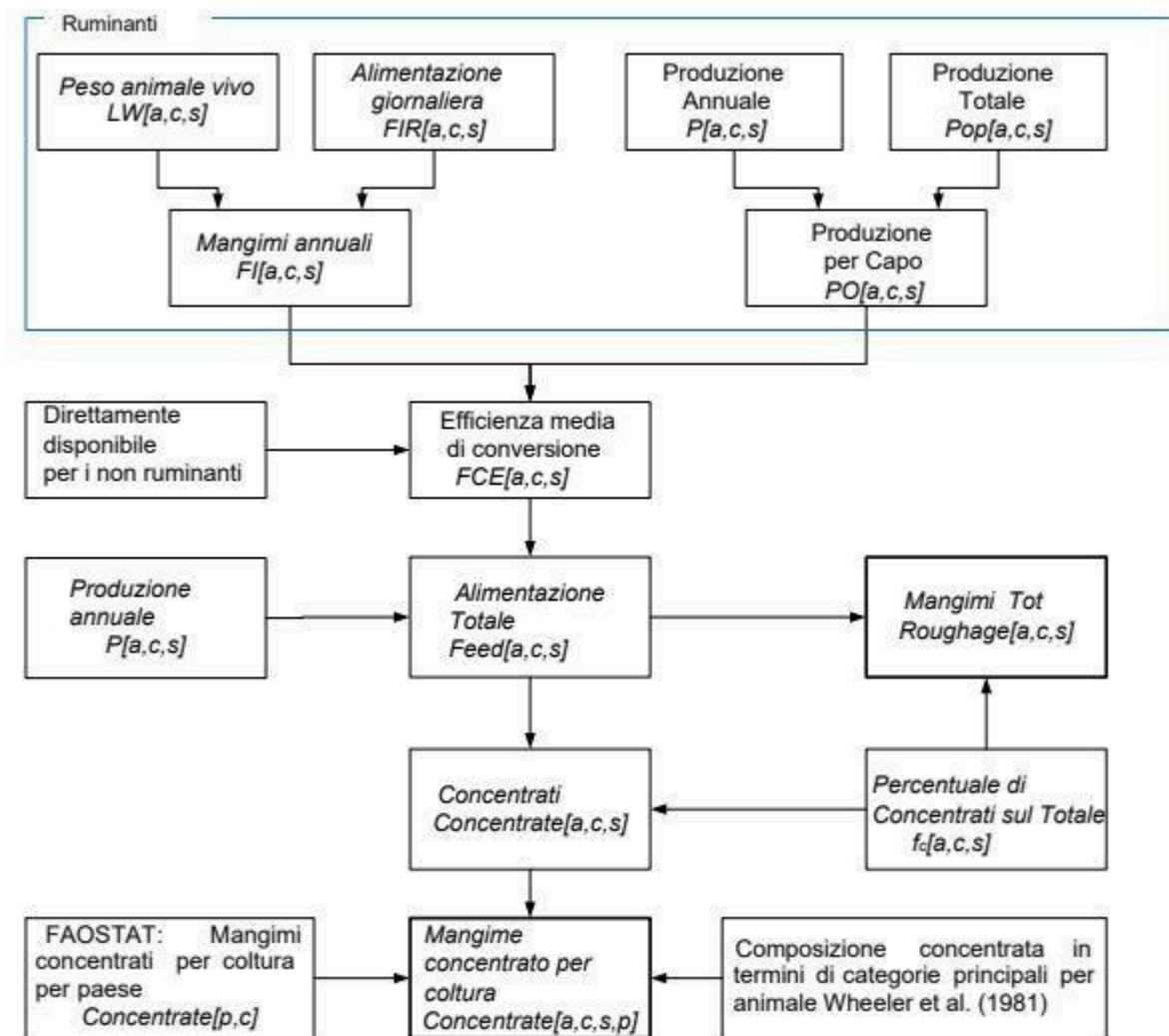


Figura 2 Fasi nel calcolo della quantità di mangimi per animale. Per i ruminanti (bovini da carne, bovini da latte, ovini e caprine), sono derivate le efficienze di conversione dei mangimi come indicato nella parte superiore dello schema. Per i non ruminanti (maiali, polli da carne e polli a strato), le efficienze di conversione dei mangimi sono direttamente prese dalla letteratura.

Stima dell'efficienza di conversione dei mangimi

L'efficienza di conversione del mangime è definita come la quantità di mangime consumata per unità di prodotto animale prodotto (ad esempio carne, latte, uova). Le efficienze di conversione del

mangime possono essere stimate separatamente per ogni categoria di animali (bovini da carne, bovini da latte, pecore, capre, maiali, polli da carne e galline ovaiole), per ogni sistema di produzione animale e per paese. Qui utilizziamo il termine come generalmente utilizzato negli studi sul bestiame. Le efficienze di conversione del mangime (FCE, kg di massa secca/kg di prodotto) per i non ruminanti (maiali e polli) sono state adottate da Hendy et al. (1995). Per i ruminanti (bovini, capre, pecore), le efficienze di conversione del mangime sono state stimate dividendo l'assunzione di mangime pro capite per la produzione annuale (di carne bovina, latte, ovina e caprina) pro capite.

Stima della produzione annuale totale di prodotti animali

La produzione annuale di prodotti animali è stata stimata come mostrato nella Figura 2. La produzione di carne (P_{meat} , ton/a) per categoria di animali a (bovini da carne, suini, ovini e caprini) è stimata moltiplicando la resa delle carcasse per animale macellato per il numero annuale di animali macellati:

$$P_{meat}[a, c, s] = CY[a, c, s] \times SA[a, c, s]$$

La resa delle carcasse (CY , kg/animale) per ogni categoria di animali per sistema di produzione è stata stimata combinando i dati sulla resa media delle carcasse per paese della FAO (2009) con i dati sul peso vivo degli animali per sistema di produzione per regione economica e i dati sul peso delle carcasse come percentuale del peso vivo (FAO 2003). Le rese delle carcasse ottenute sono state ridimensionate in modo che la produzione totale di carne per categoria di animali fosse uguale al valore fornito dalla FAO (2009). Il numero di animali macellati per sistema di produzione (SA , numero di animali/anno) è stato calcolato moltiplicando il numero totale di animali per il tasso di prelievo degli animali per sistema di produzione.

La produzione di latte e uova per sistema di produzione e paese è stata calcolata come:

$$P_{milk}[a, c, s] = MY[a, c, s] \times DC[a, c, s]$$

$$P_{egg}[a, c, s] = f_{egg}[a, c, s] \times P_{egg}[a, c]$$

dove $P_{milk}[a, c, s]$ e $P_{egg}[a, c, s]$ rappresentano rispettivamente la produzione di latte e uova nel paese c e nel sistema di produzione s (tonnellate/anno), $MY[a, c, s]$ la resa del latte per vacca da latte nel paese c e nel sistema di produzione s (tonnellate/vacca da latte), $DC[a, c, s]$ il numero di vacche da latte nel paese c e nel sistema di produzione s , $f_{egg}[a, c, s]$ la frazione di uova prodotte nel paese c e nel sistema di produzione s e $P_{egg}[a, c]$ la quantità totale di uova prodotte nel paese c (tonnellate/anno).

Una grande quantità di dati è reperibile da diverse fonti. Una delle principali fonti di dati per gli stock animali, il numero di animali macellati ogni anno, la produzione annuale di prodotti animali e i mangimi concentrati per paese è FAOSTAT (FAO, 2009).

Sistemi di produzione animale: Seré e Steinfeld (1996) hanno sviluppato una classificazione dei sistemi di produzione animale basata sull'agroecologia, sulla distinzione tra sistemi pastorali, misti e senza terra e sulla presenza o meno di irrigazione. Distinguono undici sistemi di produzione animale

raggruppati in tre categorie: pascolo (estensivo), misto e industriale (intensivo). In questo studio utilizziamo la schematizzazione in questi tre sistemi di produzione.

Efficienze di conversione alimentare: per i non ruminanti (suini, polli da carne e polli da uova), le efficienze di conversione alimentare per categoria di animali, per sistema di produzione e per regione economica possono essere ottenute da Hendy et al. (1995).

Produzione annuale di prodotti animali: i dati sulla produzione annuale di prodotti animali (carne bovina, suina, ovina, caprina, di pollo, latte e uova) per sistema di produzione per diverse regioni economiche possono essere ricavati da Seré e Steinfeld (1996). I dati sulla produzione per prodotto e paese per il periodo 1996-2005 sono stati ottenuti da FAOSTAT (FAO, 2009). Le due fonti di dati possono essere combinate per ricavare i dati sulla produzione per categoria di animali, sistema di produzione e paese per il periodo 1996-2005.

Peso vivo degli animali: Hendy et al. (1995) forniscono il peso vivo degli animali ruminanti (bovini da carne, bovini da latte, pecore e capre) per sistema di produzione e regione economica. La FAO (2003) fornisce il peso vivo degli animali per bovini, suini, pecore, capre e polli. Abbiamo combinato queste due fonti, sfruttando il fatto che Hendy et al. (1995) specificano i dati per sistema di produzione (ma non per paese) e la FAO (2003) fornisce dati per paese.

Peso della carcassa come percentuale del peso vivo: la FAO (2003) fornisce il peso della carcassa come percentuale del peso vivo per le diverse categorie di animali per paese.

Tasso di assunzione giornaliera di mangime per ruminanti: il tasso di assunzione giornaliera di mangime per ruminanti (bovini da carne, bovini da latte, pecore e capre) è stato ottenuto da Hendy et al. (1995).

Quota di mangime concentrato nel mangime totale per animali: il contributo di mangimi concentrati come cereali, farine oleose, radici e altri prodotti vegetali nella composizione totale del mangime è stato ottenuto da Hendy et al. (1995) e Bouwman et al. (2005).

Composizione del mangime grezzo: si può utilizzare Bouwman et al. (2005) per stimare la composizione del mangime grezzo (erba, colture foraggere, residui colturali).

Raccogliere dati delle imprese

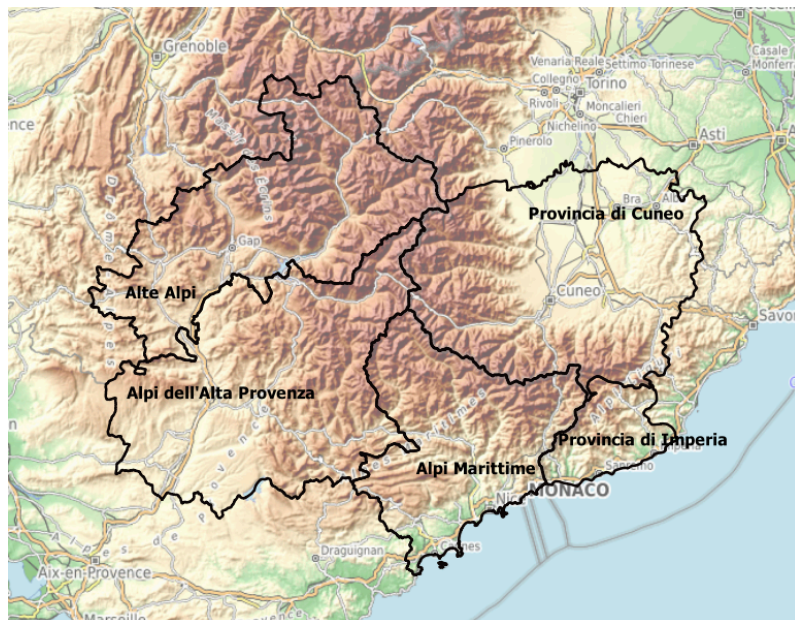
Inquadramento dei territori analizzati

Figura 3 I cinque territori del presente progetto

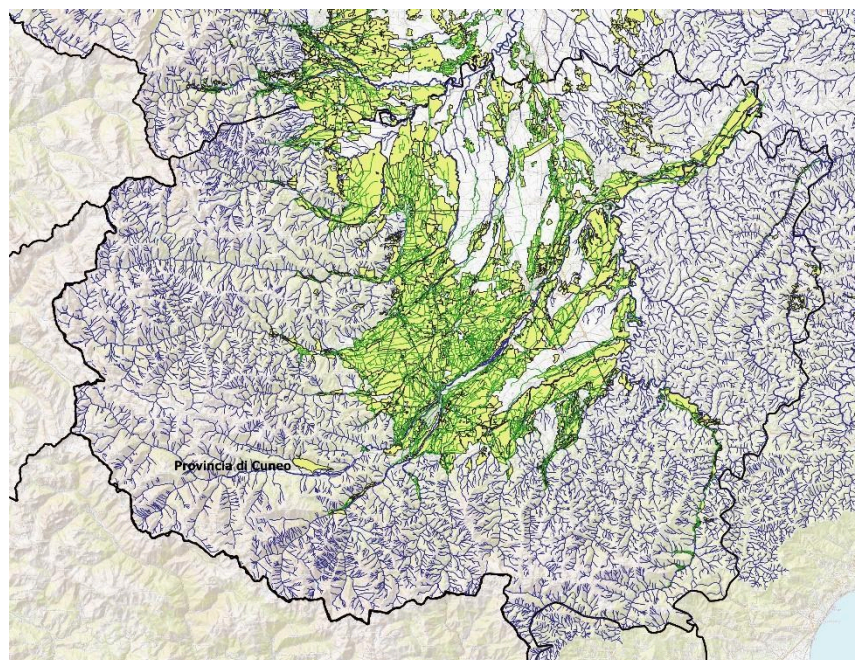
Prima di classificare le imprese per filiera è opportuno inquadrare le 5 province coinvolte dal punto di vista macroeconomico. Sarà così più semplice analizzare i dati relativi alle singole filiere. Come si evince da *Figura 3 I cinque territori del presente progetto* coprono tutta la fascia montuosa delle Alpi Marittime, Alpi Cozie, ed Alpi e Prealpi di Provenza. Nondimeno, la

maggior parte della provincia di Cuneo si distingue dal resto del territorio essendo caratterizzato da un territorio pedemontano solcato da fiumi e canali.

Popolazione, Superficie, Territorio ed attività economiche prevalenti

Provincia di Cuneo: La Provincia di Cuneo, situata nel sud-ovest della regione Piemonte, copre una superficie di 6.898,19 km² e, al 1° gennaio 2024, conta una popolazione residente di 582.194 abitanti, con una densità abitativa di circa 84,32 abitanti per km². Il capoluogo, la città di Cuneo, ha una popolazione di 55.987 abitanti al 31 dicembre 2022, distribuiti su una superficie di 119,87 km², con una densità di circa 467 abitanti per km². La provincia comprende 247 comuni, rendendola una delle province italiane con il maggior numero di comuni.

La Provincia di Cuneo, è caratterizzata da una grande varietà di paesaggi e tipologie di territorio, che influenzano le sue attività economiche, agricole e turistiche: a) la zona Montuosa (Alpi Marittime, Cozie e Liguri) Include numerosi parchi naturali (es. Parco delle Alpi Marittime) ed è importante per



sport invernali, escursionismo e turismo naturalistico; b) la zona Collinare (Langhe e Roero) è famosa per la viticoltura e la produzione di vini pregiati (es. Barolo, Barbaresco, Dolcetto), per i paesaggi collinari patrimonio UNESCO, con coltivazioni di nocciole e tartufi ed è centro di

produzione agroalimentare con formaggi tipici (es. Castelmagno), c) la Zona Pianeggiante favorisce l'agricoltura intensiva (mais, grano, allevamenti bovini) ed è importante per l'industria alimentare e casearia.

Figura 4 Il territorio della provincia di Cuneo è caratterizzato sia dalla parte montuosa che da una fitta rete di canali che portano acqua ai Consorzi Irrigui di pianura.

Provincia di Imperia: La Provincia di Imperia, situata nella regione Liguria, comprende 66 comuni e ha una superficie totale di circa 1.155 km². La popolazione totale è di circa 208.800 abitanti (dato aggiornato al 1° gennaio 2024). La densità abitativa è di circa 181 abitanti per km². Il capoluogo, la città di Imperia, ha una popolazione di 42.490 abitanti.

La provincia di Imperia è caratterizzata da un territorio montuoso e collinare: oltre il 60% della superficie è montuosa, con rilievi come il Monte Saccarello (2.201 m), il più alto della Liguria. È caratterizzata da costa e pianure limitate: la fascia costiera è stretta, con piccole pianure lungo i corsi dei fiumi (es. Valle Argentina, Valle Arroscia). I paesaggi tipici sono caratterizzati da uliveti, vigneti, boschi e macchia mediterranea. Le attività economiche principali sono l'olivicoltura (la provincia è famosa per l'olio extravergine d'oliva Riviera Ligure DOP, ottenuto dalla varietà Taggiasca) e la floricoltura (Sanremo e l'entroterra imperiese sono centri di produzione di fiori recisi e piante ornamentali, destinati all'export). Viticoltura: produzione di vini locali come il Rossese di Dolceacqua DOC.

Dipartimento delle Alpi Marittime: Il dipartimento delle Alpi Marittime si trova nella regione Provenza-Alpi-Costa Azzurra e ha come capoluogo la città di Nizza. Secondo il censimento del 2018, la popolazione del dipartimento era di 1.100.444 abitanti su una superficie di 4.299 km², con una densità abitativa di circa 254,6 abitanti per km². La città di Nizza, con 342.669 abitanti nel 2019, è il quinto comune più popoloso della Francia, dopo Parigi, Marsiglia, Lione e Tolosa.

Il Dipartimento delle Alpi Marittime si distingue per la sua diversità geografica e il contrasto tra le Alpi, le colline prealpine e la Costa Azzurra. La parte settentrionale del dipartimento è dominata dalle Alpi Marittime, una catena montuosa che include vette che superano i 3.000 metri di altitudine, come il Mont Marguareis e il Mont Pelat. La parte meridionale si affaccia sul Mar Mediterraneo, con la celebre Costa Azzurra. Qui si trovano città balneari rinomate come Nizza, Cannes e Antibes. Il dipartimento delle Alpi Marittime è caratterizzato da una forte diversificazione economica, che si sviluppa in vari settori chiave come a) il turismo della Costa Azzurra che rappresenta uno degli aspetti economici più rilevanti, b) l'agricoltura che, nonostante la forte urbanizzazione lungo la costa, ha una tradizione significativa, specialmente nelle zone interne e collinari, basata sulla coltivazione di fiori, ulivi, viti, agrumi e ortaggi. Allevamento di animali, soprattutto per la produzione di carne e latticini, sebbene in misura minore rispetto ad altre zone agricole della Francia.

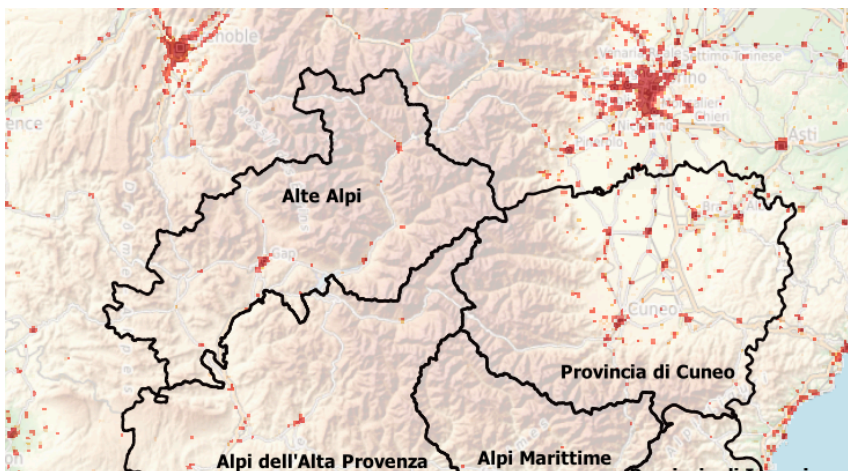


Figura 5 La distribuzione della popolazione nell'area del progetto

Dipartimento delle Alte Alpi: Il dipartimento delle Alte Alpi (Hautes-Alpes) si

paesaggistica, che comprende le montagne come il Massiccio dei Trois-Évêchés e il Parco Naturale Regionale del Verdon a nord e le pianure della parte centrale del dipartimento con valli fertili, come la Valle del Verdon, che ospitano molteplici coltivazioni e attività agricole. Le attività economiche del dipartimento sono diversificate, l'agricoltura è una parte fondamentale dell'economia, con la coltivazione della lavanda, che è simbolo del territorio, e la frutta (mele, pere e pesche). Anche le viti per la produzione di vino e gli uliveti sono diffusi, specialmente nelle zone più meridionali. L'allevamento di bovini e ovini è presente nelle aree montane. Sebbene meno predominante rispetto all'agricoltura, l'industria nel dipartimento si concentra su attività legate alla lavorazione dei prodotti agricoli (ad esempio, l'industria della lavanda), e la produzione di cosmetici e profumi.

Analisi comparativa delle cinque regioni

Da quanto fino a qui presentato si può affermare che, sebbene tutte caratterizzate dalla forte presenza di aree montane, i cinque territori presentano delle differenze in termini di attività economiche ed agricole in particolare. Per analizzare quantitativamente le similitudini e le differenze, possiamo utilizzare il Corine Land Cover (CLC) che si basa su un programma di monitoraggio territoriale a livello europeo e classifica l'uso del suolo in tutta Europa. Il CLC è stato creato dall'Agenzia europea per l'ambiente (EEA) nel 1990 per fornire informazioni coerenti, comparabili e aggiornate sui modelli di uso del suolo. Il CLC classifica la copertura del suolo mediante l'uso di un set specifico di categorie. Le categorie principali includono: a) Superfici artificiali (ad esempio, aree urbane, strade, aeroporti), b) Aree agricole (ad esempio, terreni arabili, pascoli), c) Foreste (ad esempio, foreste decidue, di conifere e miste), d) Zone umide (ad esempio, paludi, torbiere), e) Corpi idrici (ad esempio, laghi, fiumi, bacini idrici), f) Vegetazione naturale (ad esempio, brughiere, macchia, tundra). L'elenco completo delle classi è riportato nella legenda della *Figura 6*.

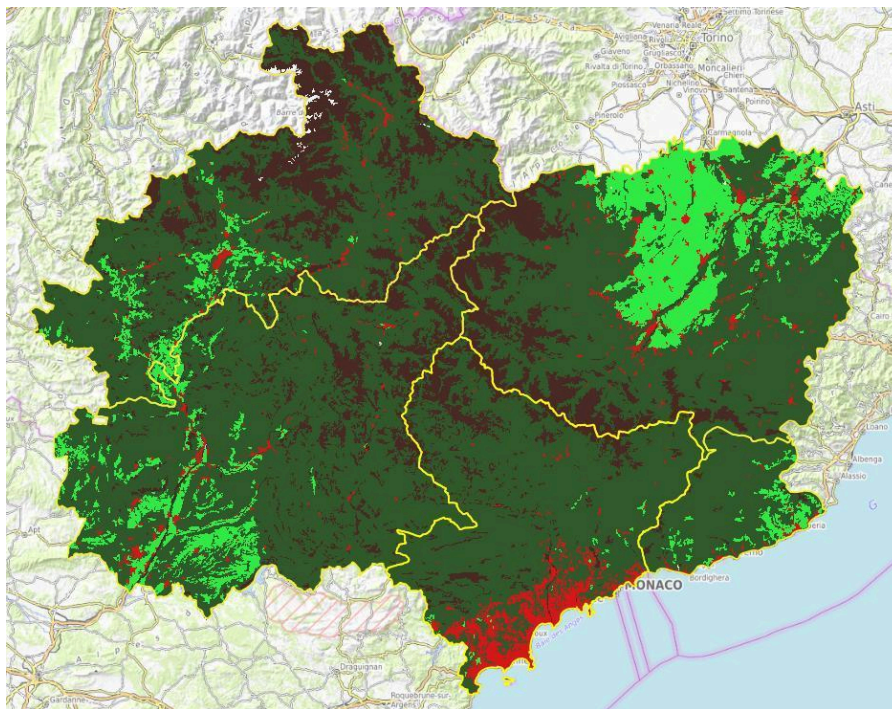


Figura 8 I cinque territori e le macro-aree derivate dal Corine Land Cover. Si possono notare le aree urbane (rosso), le aree montane (marrone), le foreste (verde scuro) e le superfici coltivate (verde chiaro).

Dalla *Figura 6* si possono notare alcune caratteristiche principali. E' evidente come il cuore centrale della macroregione GAG sia costituito dalla regione montuosa ricoperta da foreste e suolo nudo. Nondimeno, ogni area presenta territori molto variabili. A titolo di esempio, la provincia di Cuneo è caratterizzata da un'ampia fascia montuosa ma anche da molti centri abitati sparsi in una vasta regione di pianura. Diversamente, nel Dipartimento delle Alpi Marittime spicca una zona costiera fortemente urbanizzata (area rossa) sormontata a nord dalle Alpi Liguri e le Prealpi di Provenza. Le altre tre aree evidenziano territori prevalentemente montuosi e ridotte aree agricole nelle valli.

Siccome il CLC è molto frastagliato in termini di classi di copertura del suolo, allo scopo di evidenziare le principali differenze tra le cinque aree, le classi sono state accorpate in quattro macro-classi a) aree urbane, aree montane nude, foreste e superfici coltivate. Grazie a questa elaborazione, in *Figura 8* è possibile avere una visione d'insieme veloce e rappresentativa.

Nella provincia di Cuneo le Aree Urbane coprono il 3% della superficie, le aree coltivate il 22% mentre le foreste e le aree montane il 61% ed il 14% rispettivamente. Nella provincia di Imperia, le Aree Urbane coprono il 3% della superficie, le aree coltivate il 10% mentre le foreste e le aree montane il 84% ed il 3% rispettivamente. Nella Dipartimento delle Alpi Marittime, le Aree Urbane coprono ben il 10% della superficie, le aree coltivate solo l'1% mentre le foreste e le aree montane il 77% ed il 12% rispettivamente. Nella Dipartimento delle Alte Alpi, le Aree Urbane coprono solo l'1.5% della superficie, le aree coltivate l'5% mentre le foreste e le aree montane il 65% ed il 28.5% rispettivamente. Similmente, nella Dipartimento delle Alpi dell'Alta Provenza, le Aree Urbane coprono solo l'1.5% della superficie, le aree coltivate il 9% mentre le foreste e le aree montane il 75.5% ed il 14% rispettivamente.

Le Filiere di Trasformazione Agroalimentare

La classificazione delle imprese per Filiere di Trasformazione Agroalimentare è il primo passo per la caratterizzazione dell'impronta idrica a scala provinciale. Grazie al supporto della Camera di Commercio di Cuneo, nel caso della Provincia di Cuneo, sono state estratte dal database delle imprese tutte le attività aventi Codici ricadenti nei Settori A (Agricoltura, silvicoltura pesca) e C (Attività manifatturiere).

Settore	Divisione	Classe	Sottoc.	Classe di Addetti	Classe di Addetti												Tot		
					0	1	2-5	6-9	10-19	20-49	50-99	100-24	250-45	>400					
A	A.01	Coltivazioni agricole e produzione di prodotti animali, c...	1	1	Coltivazioni di colture agricole non permanenti	4	13	10	0	1	0	0	0	0	0	0	28		
			11	11	Coltivazioni di colture agricole non permanenti	69	330	60	1	4	0	0	0	0	0	0	0	464	
			111	1111	Coltivazione cereali	307	477	212	13	6	1	0	0	0	0	0	0	1016	
						1112	1112	Coltivazione semi oleosi	1	8	0	0	0	0	0	0	0	0	9
						1113	1113	Coltivazione di legumi da granella	3	3	1	0	0	0	0	0	0	0	7
						1114	1114	Coltivazione mista di cereali, legumi da granella e semi	359	935	324	11	2	0	0	0	0	0	1631
						112	112	Coltivazione di riso	3	2	1	0	0	0	0	0	0	0	6
						113	113	Coltivazione di ortaggi/meloni, radici e tuberi	26	64	19	2	1	1	0	0	0	0	113
						1131	1131	Coltivazione di ortaggi (inclusi i meloni) in foglia, a fusto, a frutto, in radic	123	345	76	10	3	2	0	0	0	0	559
						1132	1132	Coltivazione di ortaggi (inclusi i meloni) in foglia, a fusto, a frutto, in radic	12	16	7	3	1	0	0	0	0	0	39
						11321	11321		0	3	0	1	0	0	0	0	0	0	4
						11329	11329	Coltivazione di ortaggi (inclusi i meloni) in foglia, a fusto, a frutto, in radic	8	29	17	3	3	2	0	0	0	0	62
						1134	1134	Coltivazione di patate	5	4	1	1	0	0	0	0	0	0	11
						115	115	Coltivazione di tabacco	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
						116	116	Coltivazione di piante tessili	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4
						119	119	Floricoltura	1	3	2	1	0	0	0	0	0	0	7
						1191	1191	Coltivazione di fiori in piena aria	12	20	13	1	4	0	0	0	0	0	50
						1192	1192	Coltivazione di fiori in colture protette	5	3	3	1	1	1	0	0	0	0	14
						11921	11921	Coltivazione di fiori in colture protette	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	2
						11929	11929	Coltivazione di fiori in colture protette	1	2	2	1	0	0	0	0	0	0	6
						1199	1199	Coltivazione di piante da foraggio	129	100	22	2	1	1	0	0	0	0	255
						12	12	Coltivazione di colture permanenti	263	1231	405	69	34	7	2	0	0	0	2011
						121	121	Coltivazione di uva	562	1316	850	95	56	28	1	2	0	0	2910
						123	123	Coltivazione di agrumi	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	2
						124	124	Coltivazione di pomacee e frutta a nocciolo	97	137	122	29	17	9	2	1	0	0	414
						125	125	Coltivazione di altri alberi da frutta, frutti di bosco e in guscio	685	889	279	27	20	4	0	0	0	0	1904
						126	126	Coltivazione di frutti oleosi	7	4	2	0	0	0	0	0	0	0	13
						127	127	Coltivazione di piante per la produzione di bevande	2	2	1	0	0	0	0	0	0	0	5
						128	128	Coltivazione di spezie, piante aromatiche e farmaceutiche	32	22	6	0	0	0	0	0	0	0	60
						129	129	Coltivazione di altre colture permanenti (inclusi alberi di Natale)	9	2	3	0	0	0	0	0	0	0	14
						13	13	Riproduzione delle piante	11	16	19	3	7	1	0	0	0	0	57
						14	14	Allevamento animali	11	21	15	0	1	0	0	0	0	0	48
			141	141	Allevamento di bovini da latte	127	954	633	36	7	1	0	0	0	0	1758			
			142	142	Allevamento di bovini da latte e di bufalini	70	152	121	9	2	3	0	0	0	0	357			
			143	143	Allevamento di cavalli e altri equini	10	28	6	1	0	0	0	0	0	0	45			
			145	145	Allevamento di ovini e caprini	30	107	38	0	0	0	0	0	0	0	175			
			146	146	Allevamento di suini	39	107	118	12	4	1	1	0	0	0	282			
			147	147	Allevamento di pollame	23	52	43	9	3	3	0	1	0	1	135			
			149	1491	Allevamento di conigli	6	45	17	1	0	0	0	0	0	0	69			
			1493	1493	apicoltura	81	133	33	1	1	0	0	0	0	0	249			
			1499	1499	allevamento di altri animali	23	26	3	0	0	0	0	0	0	0	52			
			15	15	Coltivazioni agricole associate all'allevamento di animali	354	1138	667	43	6	0	0	0	0	0	2208			
			16	16	Attività di supporto all'agricoltura	10	10	11	1	3	0	1	2	0	0	38			
			161	161	Attività di supporto alla produzione vegetale	38	91	109	25	27	13	0	4	0	0	307			
			162	162	Attività di supporto alla produzione animale	0	0	0	0	2	1	0	0	0	0	3			
			16201	16201	Attività dei maniscalchi	0	6	2	0	0	0	0	0	0	0	8			
			16209	16209	Altre attività di supporto alla produzione animale	4	5	2	0	0	2	0	1	0	0	14			
			163	163	Attività successive alla raccolta	17	6	20	5	10	5	1	3	0	0	67			
			164	16401	Pulitura e cernita di semi e granaglie	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1			
			17	17	Caccia, cattura di animali e servizi connessi	2	3	1	0	0	0	0	0	0	0	6			
			A 03 Pesc	312	312	Pesca in acque dolci	0	1	1	0	0	0	0	0	0	2			
				321	321	Acquacoltura marina	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1			
				322	322	Acquacoltura in acqua dolce	2	4	3	2	0	0	0	0	0	11			

Figura 9 Esempio di alcuni dei Codici Ateco estratti per la costruzione delle filiere.

In particolare per il settore A si sono ricercate le attività A01 (Coltivazioni agricole e produzione di prodotti animali, etc) e A03 (Pesca e acquacoltura), per il settore C le attività C 10 (Industrie alimentari) e C 11 (Industria delle bevande). Per ogni Classe e Sottoclasse si sono estratte le informazioni relative al numero di imprese ed alla Classe di Addetti. Queste informazioni sono state utili per normalizzare una serie di dati della filiera non ricavabili a scala Provinciale ma presenti solo a scala regionale o nazionale (p.e. Quantità di carne commercializzata).

France – Italia ALCOTRA

Al fine di raggruppare le imprese nelle cinque filiere sopra descritte (Filiera Cereali e Prodotti da Forno, Filiera Coltivazione Uva e Vino, Filiera Allevamento e Trasformazione Carne, Filiera Allevamento e Industria Latte, Filiera Ortofrutta) sono stati scelti i Codici Ateco che caratterizzano la relativa filiera. La suddivisione dei Codici Ateco e le relative consistenze in termini di numero di imprese e di addetti sono riportati nelle

Codice ATECO	FILIERA CEREALI E PRODOTTI DA FORNO	N. Imprese	N. Addetti
1111	Coltivazione cereali	1016	2461
1112	Coltivazione semi oleosi	9	17
1113	Coltivazione di legumi da granella	7	14
1114	Coltivazione mista di cereali, legumi da granella e semi	1631	3814
112	Coltivazione di riso	6	12
106	lavorazione delle granaglie, amidi e prodotti amidacei	1	17
1061	lavorazione delle granaglie	10	67
10611	molitura del frumento	11	127
10612	molitura di altri cereali	5	44
10614	altre lavorazioni di semi e granaglie	7	81
1062	produzione di amidi e prodotti amidacei	4	196
107	produzione di prodotti da forno	2	13
10711	pane e pasticceria fresca	371	2156
10712	pasticceria fresca	50	344
1072	produzione di fette biscottate e biscotti	36	857
1073	produzione di paste alimentari, couscous e farinacei simili	68	514
108503	produzioni di piatti pronti	1	5
108504	produzione di pizze confezionate	1	5
108505	produzione di piatti pronti a base di pasta	2	21
108509	produzioni di paste e altri piatti pronti	14	63
Codice ATECO	Totale Filiera	3252	10823

Figura 10 La Filiera dei Cereali e Prodotti da Forno. A titolo di esempio si riporta il numero di aziende ed il numero di dipendenti totalmente impiegati per la provincia di Cuneo.

Come descritto nei paragrafi precedenti, è di fondamentale importanza individuare chiaramente la catena di produzione delle singole filiere in modo da individuare gli apporti, in termini di impronta idrica, sia del prodotto finale che dei prodotti intermedi utilizzati.

Codice ATECO	FILIERA ALLEVAMENTO E TRASFORMAZIONE CARNE	N. Imprese	N. Addetti
1199	Coltivazione di piante da foraggio	255	498
14	Allevamento animali	48	137
141	Allevamento di bovini da latte	1758	5341
142	Allevamento di bovini da latte e di bufalini	357	1136
143	Allevamento di cavalli e altri equini	45	102
145	Allevamento di ovini e caprini	175	415
146	Allevamento di suini	282	1064
147	Allevamento di pollame	135	731
1491	Allevamento di conigli	69	181

Figura 11 La Filiera della Carne. A titolo di esempio si riporta il numero di aziende ed il numero di dipendenti totalmente impiegati per la provincia di Cuneo.

Figura 12 La Filiera del latte con il numero di aziende ed il numero di dipendenti totalmente impiegati. Provincia di Cuneo.

Codice ATECO	FILIERA COLTIVAZIONE UVA E VINO	N. Imprese	N. Addetti
121	Coltivazione di uva	2910	10187
1101	Distillazione, rettifica e miscelatura degli alcolici	19	473
1102	produzione di vini da uve	14	309
11021	produzione di vini da tavola	66	978
11022	produzione di vini da spumante	1	76
1104	produzione di altre bevande fermentate non distillate	1	2
	Totale Filiera	3011	12023

Figura 13 La Filiera del Vino con il numero di aziende ed il numero di dipendenti totalmente impiegati. Provincia di Cuneo.

Codice ATECO	FILIERA ALLEVAMENTO E INDUSTRIA LATTE	N. Imprese	N. Addetti
1091	produzione di mangimi	26	585
1199	Coltivazione di piante da foraggio	255	498
141	Allevamento di bovini da latte	1758	5341
142	Allevamento di bovini da latte e di bufalini	357	1136
145	Allevamento di ovini e caprini	175	415
1051	Industria lattiero-casearia	2	13
10511	trattamento igienico del latte	2	21
10512	Produzione dei derivati del latte	45	1202
1052	produzione di gelati	3	30
	Totale Filiera	2623	8655

Codice ATECO	FILIERA ORTOFRUTTA	N. Imprese	N. Addetti
163	Attività successive alla raccolta	67	1111
1091	produzione di mangimi	26	585
113	Coltivazione di ortaggi/meloni, radici e tuberi	113	309
1131	ortaggi (inclusi i meloni) in foglia, a fusto, a frutto, in radici, bulbi e tuberi	559	1362
1132	ortaggi (inclusi i meloni) in foglia, a fusto, a frutto, in radici, bulbi e tuberi in	39	118
124	Coltivazione di pomacee e frutta a nocciolo	414	2099
125	Coltivazione di altri alberi da frutta, frutti di bosco e in guscio	1904	4422
126	Coltivazione di frutti oleosi	13	24
103	Lavorazione e conservazione della frutta	6	222
	Lavorazione e conservazione delle patate		
1032	produzione di succhi di frutta e ortaggi	0	0
1039	lavorazione e conservazione di frutta e ortaggi	43	932
	Totale Filiera	3184	11182

Figura 14 La Filiera dell'Ortofrutta. A titolo di esempio si riporta il numero di aziende ed il numero di dipendenti totalmente impiegati per la provincia di Cuneo

Interreg



Cofinancié par
l'Union Européenne
Cofinanziato
dall'Unione Europea

goccia
agoccia

France – Italia ALCOTRA



Raccogliere dati dei prodotti animali (carne, latte, uova)

I dati per l'applicazione del modello, sono stati raccolti da diverse fonti Nazionali e Regionali. Le principali fonti utilizzate sono:

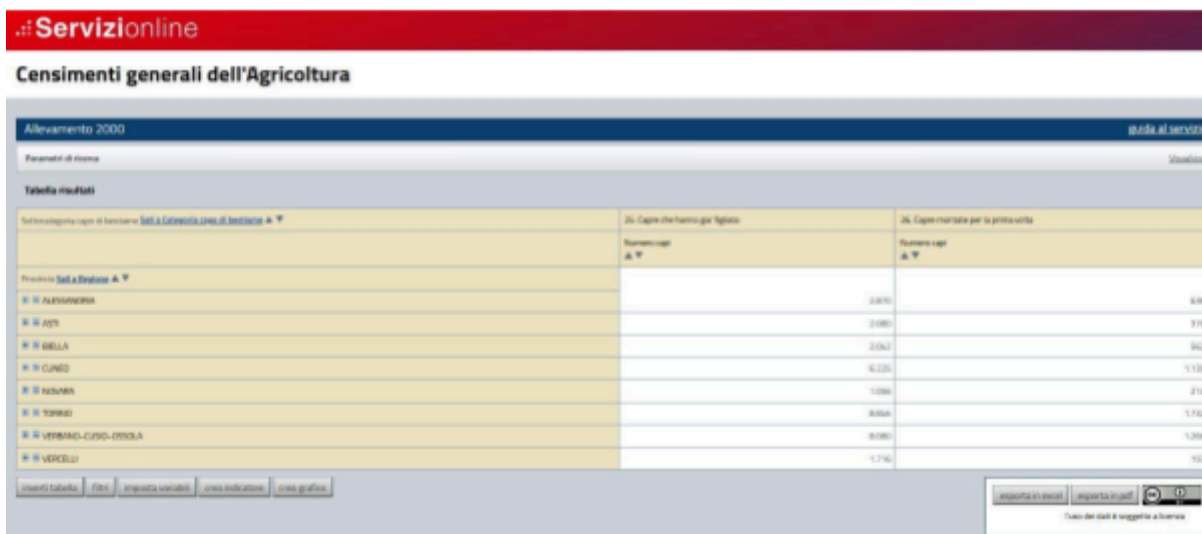
- a) **ISTAT:** L'Istituto nazionale di statistica italiano (ISTAT) fornisce dati completi sulla produzione agricola in Italia, che coprono vari aspetti del settore. I dati chiave includono: a) Andamenti della produzione agricola: l'ISTAT pubblica relazioni annuali che descrivono in dettaglio le variazioni nei volumi di produzione agricola e nel valore aggiunto. Ad esempio, nel 2020, la produzione agricola è diminuita del 3,3% in volume, con un calo del 6,1% del valore aggiunto lordo ai prezzi base.

Istituito	2022					2023					2024				
	numero capi macellati	peso vivo complessivo - quintali	peso vivo medio a capo - chilogrammi	peso morto complessivo - quintali	resa media (incidenza %)	numero capi macellati	peso vivo complessivo - quintali	peso vivo medio a capo - chilogrammi	peso morto complessivo - quintali	resa media (incidenza %)	numero capi macellati	peso vivo complessivo - quintali	peso vivo medio a capo - chilogrammi	peso morto complessivo - quintali	resa media (incidenza %)
allevamento															
totale bovini	2 688 279	12 596 043	468.9	7 282 541	57.82	2 426 859	10 704 992	441.1	6 029 770	56.33	2 291 097	10 127 880	442.1	5 838 440	57.65
vitaloni	592 190	1 287 966	...	761 825	69.71	613 544	1 280 523	...	789 076	61.82	...	...	...	...	...
vitaloni minori di 8 mesi	544 557	1 167 013	214.3	708 740	60.73	539 556	1 100 273	203.9	677 867	61.61	530 562	1 093 349	206.1	673 867	61.63
vitaloni da 8 mesi e più	47 623	120 853	253.6	73 085	60.47	73 988	180 250	243.6	111 209	61.7	67 849	195 396	243.8	103 218	62.41
vitaloni e manci	1 513 193	8 119 443	...	4 824 840	59.42	1 334 311	8 833 731	...	3 960 737	57.96	...	...	...	...	...
buoi e tori	18 388	102 789	...	56 994	0.55	13 782	84 297	...	47 806	56.71	...	...	...	...	...
vitaloni maschi e manci	845 507	4 835 771	571.9	2 918 691	60.36	730 132	4 115 432	563.7	2 424 379	58.91	683 185	3 856 036	564.4	2 340 724	60.7
vitaloni femmine	667 686	3 283 672	491.8	1 906 149	58.05	604 179	2 719 299	449.9	1 536 358	56.52	544 061	2 485 942	456.2	1 421 995	57.2
buoi	4 264	20 654	494.4	11 566	96	2 823	14 572	516.2	8 072	55.39	3 169	16 445	518.9	9 255	56.28
tori	14 124	82 135	581.5	45 428	55.31	10 959	89 725	636.2	39 734	56.99	10 202	67 827	659.7	40 093	59.11
vacche	552 518	3 085 945	548.6	1 618 882	52.46	465 022	2 506 441	539	1 232 151	49.16	451 189	2 442 985	541.5	1 249 288	51.14
totale bufalini	111 709	361 073	323	189 600	52.51	102 909	317 663	308.4	168 733	53.12	83 345	284 484	304.8	156 058	54.98
annuoli (vitali bufalini)	64 292	142 775	222.1	79 295	55.54	62 111	134 162	216	76 428	56.97	58 328	126 768	217.3	73 646	58.1
bufale	40 277	194 808	458.8	93 054	50.35	35 258	159 220	451.6	79 775	50.1	30 550	138 413	453.1	72 434	52.33
totale equini	20 983	93 554	445.9	50 107	53.56	20 177	88 943	449.8	47 831	53.78	21 983	89 189	407.6	47 108	52.82
cavalli	19 731	91 024	461.3	48 778	53.59	18 984	86 570	456	46 585	53.81	20 452	85 922	420.1	45 388	52.84

Figura 15 Esempio di dati sulla produzione di carne che si possono estrarre dal sito dell'ISTAT

B) Aree coltivate e produzione: sono disponibili statistiche dettagliate sulla superficie coltivata e sui volumi di produzione per varie colture. Questi dati sono classificati per provincia e includono informazioni sulla superficie totale (ettari), sulla superficie di produzione, sulla produzione totale (quintali) e sulla produzione raccolta. C) Piantagioni di frutta: le informazioni sulle piantagioni di frutta, inclusi i dati sulla superficie e sulla produzione per diversi tipi di frutta, sono accessibili tramite i database dell'ISTAT. D) Conti economici dell'agricoltura: l'ISTAT fornisce stime preliminari e relazioni dettagliate sulle performance economiche del settore agricolo, inclusi volumi di produzione, valore aggiunto e tendenze occupazionali. Tutti i dati sono disponibili tramite il sito web ufficiale dell'ISTAT e i portali dati, offrendo preziose informazioni per ricercatori, decisori politici e stakeholder interessati al settore agricolo italiano.

- b) **Cruscotto Censimento agricoltura 2020 della Regione Piemonte:** Il servizio Cruscotto Censimento agricoltura 2020 espone in forma grafica informazioni di sintesi derivanti dai dati rilevati con il 7° Censimento agricoltura condotto da Istat nel periodo gennaio-luglio 2021 e riferiti all'annata agraria 2019-2020. Le informazioni raccolte con l'indagine censuaria e presentate nel servizio si riferiscono al comune del centro aziendale. Il cruscotto conoscitivo è organizzato nelle seguenti aree tematiche: a) aziende, b) utilizzo dei terreni, c) agricoltura



biologica, d) allevamenti, e) manodopera aziendale, f) I dati che sottendono ciascun oggetto visuale presente sul cruscotto (grafico, cartogramma, tabella) sono scaricabili in locale.

Figura 16 Esempio di dati che si possono estrarre dal Data Warehouse della Regione Piemonte.

- c) **Data WareHouse:** L'Istat conduce a cadenza decennale i censimenti generali con l'obiettivo di delineare un quadro informativo statistico aggiornato e dettagliato della struttura del sistema agricolo e zootecnico a livello nazionale, regionale e locale. Il servizio **Data Warehouse** Censimenti generali dell'Agricoltura consente di consultare, analizzare con gli strumenti di analisi multidimensionale tipici dei servizi decisionali, scaricare in locale le informazioni di sintesi sulle aziende aventi centro aziendale e/o terreni e/o allevamenti nel territorio della regione Piemonte.

Le statistiche provengono dai dati definitivi dei censimenti generali dell'agricoltura condotti negli anni 2010, 2000, 1990 e 1982. Le informazioni statistiche sono consultabili sotto forma di report ovvero di grafici e cartogrammi; sono previste funzionalità di personalizzazione del risultato e funzionalità specialistiche per analisi e navigazione multidimensionale secondo le modalità tipiche dei sistemi decisionali. Sono disponibili funzionalità per il download di consistenti set di informazioni a livello territoriale di comune, completi di metadati descrittivi e di licenza d'uso. La realizzazione del sistema ha tenuto conto dei principi, pratiche e metodi statistici nazionali ed internazionali al fine di promuovere ed accrescere la qualità delle informazioni statistiche prodotte ed esposte, con particolare riguardo alla ricostruzione di serie storiche confrontabili sotto il profilo degli universi di riferimento ed armonizzate dal punto di vista delle nomenclature e delle classificazioni.

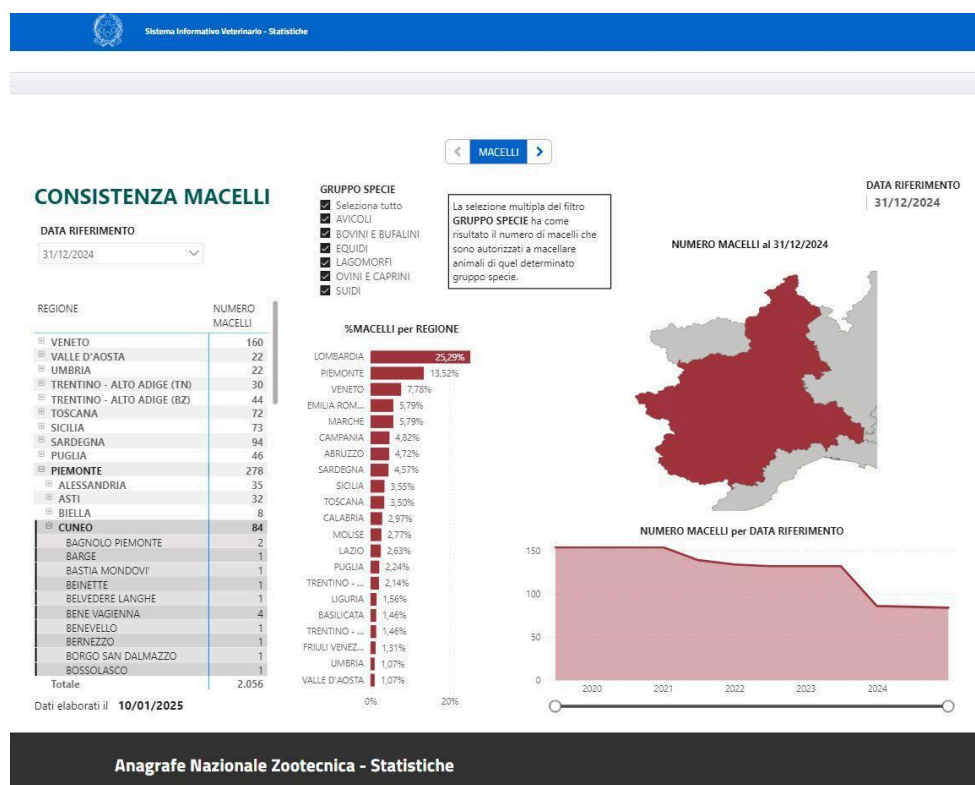


Figura 17
Esempio di dati che si possono estrarre dalla Banca Dati Nazionale dell'Anagrafe Zootecnica (BDN). Patrimonio Zootecnico - Stabilimenti e Macelli

- d) **Banca Dati Nazionale dell'Anagrafe Zootecnica (BDN):** L'Istat conduce a cadenza decennale i censimenti generali con l'obiettivo di delineare un quadro Le elaborazioni statistiche relative al Patrimonio Zootecnico riguardano i dati registrati nella Banca Dati Nazionale dell'Anagrafe Zootecnica (BDN) in riferimento alle diverse specie animali. L'utilizzo per fini scientifici, di studio e di ricerca dei dati presenti nella sezione STATISTICHE della banca dati nazionale è consentito a condizione che la fonte dei dati venga citata nel modo seguente: "Dati forniti dalla BDN dell'Anagrafe Zootecnica istituita dal Ministero della Salute presso il CSN dell'Istituto "G. Caporale" di Teramo".

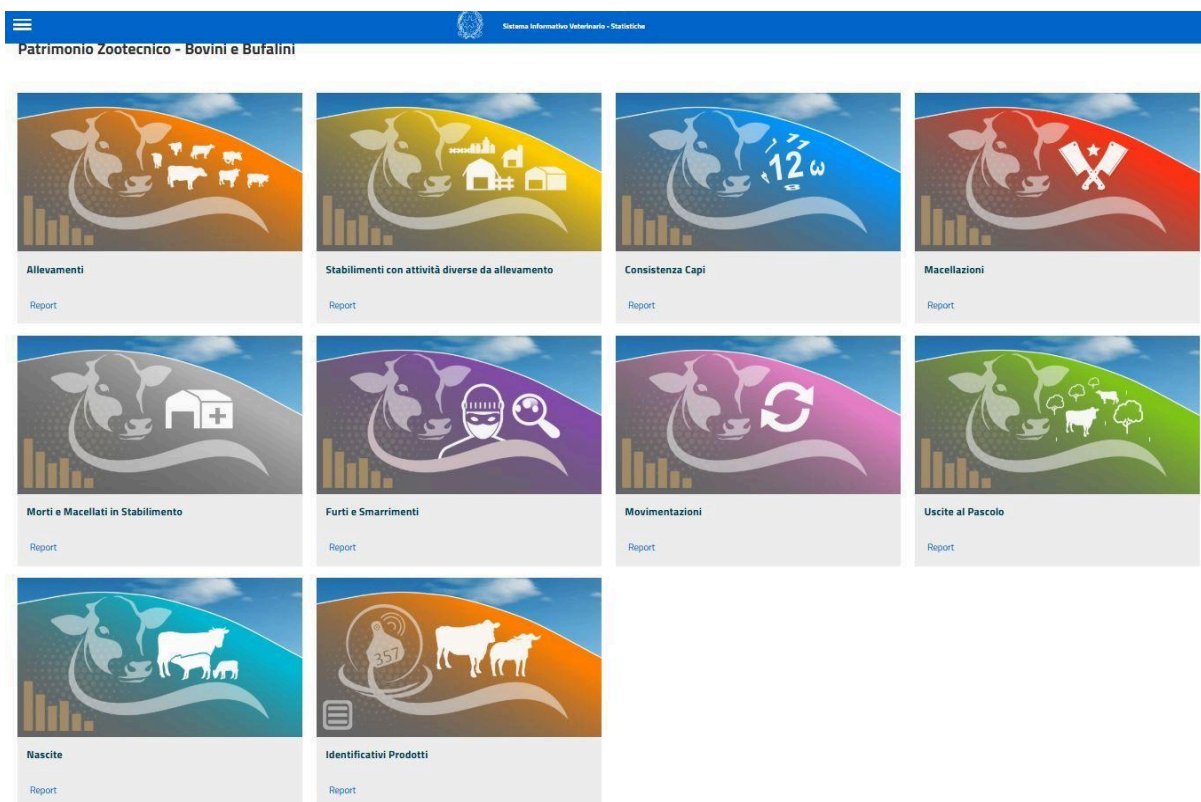


Figura 18 Esempio di dati che si possono estrarre dalla Banca Dati Nazionale dell'Anagrafe Zootecnica (BDN). Patrimonio Zootecnico - Bovini e Bufalini

Il Ministero della Salute dal 1 gennaio 2000 detiene la Banca Dati Nazionale dell'Anagrafe Zootecnica (BDN), la quale garantisce: la tracciabilità e la rintracciabilità degli animali e dei loro prodotti, la tutela della salute pubblica e del patrimonio zootecnico, la programmazione dei controlli in materia di identificazione degli animali, l'erogazione e il controllo dei regimi di aiuto comunitari, le informazioni ai consumatori. I cittadini dunque, attraverso questo sistema, possono rendersi conto del patrimonio zootecnico esistente sul territorio, e conoscere non solo l'anagrafica ma anche la movimentazione della popolazione animale. La banca dati comprende 7 anagrafi diverse: a) anagrafe bovina, b) anagrafe ovina e caprina, c) anagrafe suina, d) anagrafe avicola, e) anagrafe equidi, f) anagrafe apistica, g) registrazione circhi.

- e) **Il portale dei Sistemi Informativi Veterinari:** <https://www.vetinfo.sanita.it>. Il portale nasce con lo scopo di raccogliere e presentare i dati, sanitari e non, utili al governo del sistema nazionale della Sanità Animale e Sicurezza Alimentare, con particolare attenzione alla definizione dei rischi sanitari lungo l'intera catena produttiva, dalla produzione degli alimenti per gli animali sino alla messa in commercio degli alimenti per il consumo umano. Esso fornisce una serie di servizi pubblici quali news, riferimenti alla normativa vigente, informazioni di interesse, dati statistici e collegamenti ad altri siti nazionali ed internazionali coerenti con l'area.
- f) **ClassyFarm:** Le sfide che attendono il settore sanitario e quello agro-alimentare si stanno facendo via via più complesse. Carenze a livello di benessere animale, biosicurezza

dell'allevamento e consumo eccessivo di antibiotici danno origine a rischi sanitari sempre di più connessi tra loro, rendendo necessario un approccio integrato che includa anche il macello, nel ruolo chiave di osservatorio epidemiologico. ClassyFarm è una piattaforma informatica inserita nel portale nazionale della veterinaria (www.vetinfo.it), che elabora una notevole mole di dati provenienti da diverse fonti (raccolti sul campo o da altri sistemi informativi) attraverso appositi processi di business intelligence. Quali: Valutazioni in campo del benessere animale e biosicurezza dell'allevamento, Principali parametri dell'allevamento (stati sanitari, dati produttivi e alimentazione)

- g) **Agreste:** Agreste è il servizio statistico del Ministero dell'Agricoltura e dell'Alimentazione francese, responsabile della raccolta, elaborazione e diffusione di dati statistici relativi all'agricoltura, alla pesca, alle industrie agroalimentari, alla silvicoltura e agli spazi rurali in Francia. Attraverso le sue pubblicazioni e il suo portale online, Agreste offre una vasta gamma di informazioni, tra cui:
- Dati sul censimento agricolo: fornisce informazioni dettagliate sulle aziende agricole, inclusi numero, dimensioni e tipologie di colture.
 - Statistiche economiche agricole: analizza i conti economici dell'agricoltura, monitorando l'evoluzione dei redditi agricoli e delle loro componenti.
 - Informazioni sulle produzioni agricole: offre dati su superfici coltivate, rese e produzioni per diverse colture, sia a livello nazionale che dipartimentale.

Queste informazioni sono accessibili al pubblico e vengono utilizzate per analisi economiche, pianificazione politica e ricerca nel settore agricolo.

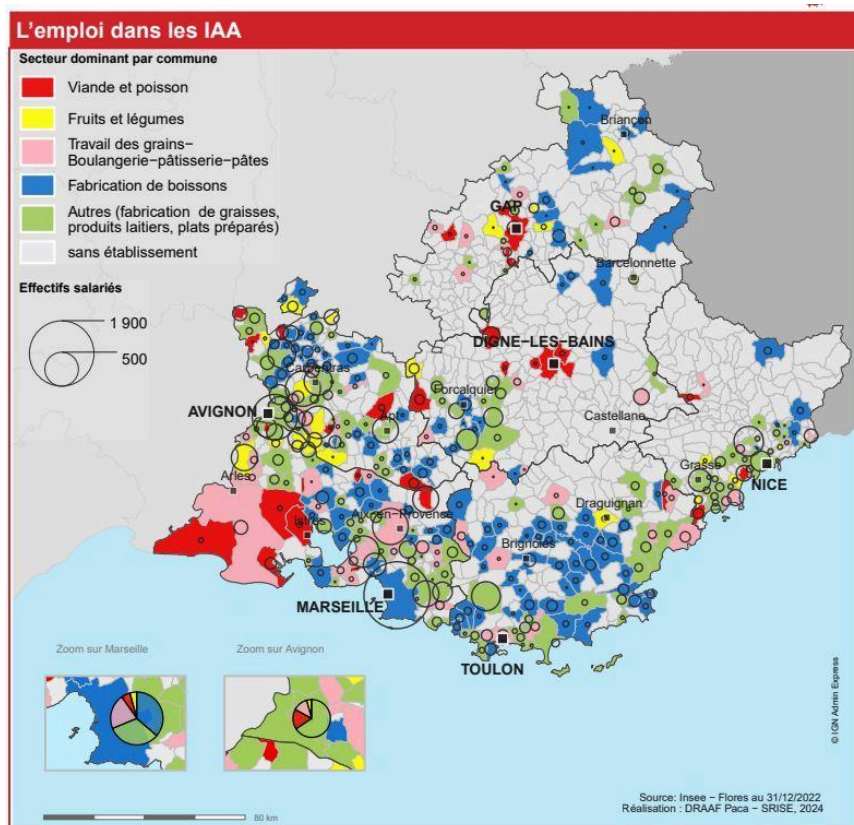


Figura 19 Esempio dei dati ricavabili da Agreste. [19] Le 5 principali categorie del settore alimentare presenti nella regione per numero di dipendenti

Stima dell'impronta idrica unitaria

Stimare l'impronta idrica per unità di prodotto è fondamentale per comprendere e calcolare l'impronta idrica totale. Inoltre permette di identificare le fasi del ciclo produttivo più idrovore e di adottare strategie per ridurre l'uso dell'acqua, migliorando l'efficienza idrica e contribuendo alla sostenibilità ambientale. Inoltre, tale stima, fornisce informazioni utili per confrontare l'impatto idrico tra prodotti simili o tra diverse tecnologie produttive, supportando decisioni politiche e aziendali orientate alla sostenibilità.

La stima per unità di prodotto è stata fatta, utilizzando i modelli sopra descritti e sulla base delle variabili climatiche, per le due macro-regioni di interesse: Piemonte e Liguria e Provenza-Alpi-Costa Azzurra. Scale spaziali di maggior dettaglio sarebbero possibili ma non fornirebbero informazioni aggiuntive vista l'analisi oggetto del presente report. Non siamo qui interessati a quanto consumano le varie aziende in territori differenti ma a comprendere quali siano i consumi globali e quali le filiere più idrovore.

La tabella di *Figura 20* riportano la stima dei modelli per ciò che concerne le quantità, per unità di volume, delle varie componenti delle cinque filiere analizzate. È possibile evidenziare come, per unità di peso, la lavorazione più energivora sia quella della lavorazione e conservazione della carne in Piemonte e della produzione di Olio in Liguria.

Filiera	Territorio	Quantità (m ³ /Ton.)					
		Piemonte/Liguria			Provenza-Alpi-Costa Azzurra		
Numero	Tipologia Prodotto	Green	Blue	Grey	Green	Blue	Grey
1	Pane e Pasticceria	850	3	128	683	4	6
2	Lavorazione e conservazione di carne	7102	419	641	5149	221	341
	Lavorazione e conservazione di volatili	2163	196	285	2183	117	139
	Produzione di prodotti a base di carne	5197	627	745	4375	417	561
3	Latte Bovino	626	77	102	486	38	45
	Latte Ovini/Caprini	1252	154	204	972	76	90
	Formaggi	2997	383	487	2325	199	217
4	Vino da tavola	411	13	84	503	6	16
	Vino frizzante	505	17	104	741	7	19
5	Ortofrutta	171	39	35	203	126	64
	Olio ed Olive	7396	858	13	22909	1144	2444

Figura 20 Le quantità d'acqua necessarie, divise in Green, Blue e Grey per Tonnellata e per i prodotti finali delle varie filiere e per le due macro-Regioni d'interesse

Stima dell'impronta idrica delle Filiere Agroalimentari

*Stima delle produzioni per filiera**Stima dell'impronta idrica totale delle Filiere Agroalimentari*

Avendo raccolto i dati relativi alle produzioni e trasformazioni agricole, al numero di imprese e di addetti e ai consumi unitari nelle varie aree di studio, è ora possibile stimare i consumi totali delle cinque filiere analizzate. Come era possibile prevedere dalle analisi condotte in precedenza, il maggior consumo è da attribuirsi alla filiera della carne ed in particolare alla lavorazione e conservazione. Questo è chiaramente un risultato che va attribuito alla vocazione agricola, ed in particolare all'allevamento di capi da carne, nelle pianure del cuneese. Nonostante, come evidenziato nel precedente paragrafo, la produzione di olio abbia un'elevata impronta idrica specifica, le quantità totali sono molto ridotte essendo la produzione non paragonabile, in termini quantitativi, a quella della carne. In termini globali, la seconda e la terza voce di consumo di risorsa idrica sono da attribuirsi alla produzione di latte e di vino da tavola sempre nella provincia di Cuneo. La maggiore impronta idrica delle province francesi è invece da attribuire alla filiera del Pane e della pasticceria che è spiccatamente la filiera che consuma più acqua nel territorio francese.

Filiera	Territorio	Quantità (Mm ³)					
		Piemonte/Liguria			Provenza-Alpi-Costa Azzurra		
		Green	Blue	Grey	Green	Blue	Grey
1	Pane e Pasticceria	60	0	9	150	1	1
2	Lavorazione e conservazione di carne	1070	63	97	45	4	1
	Lavorazione e conservazione di volatili	26	2	3	0	0	0
	Produzione di prodotti a base di carne	104	13	15	10	1	1
3	Latte Bovino	413	51	67	9	1	1
	Latte Ovini/Caprini	5	1	1	5	0	0
	Formaggi	180	23	29	3	0	0
4	Vino da tavola	370	12	76	2	0	0
	Vino frizzante	1	0	0	0	0	0
5	Ortofrutta	18.29	4.17	3.74	6.96	4.32	2.19
	Olio ed Olive	9.80	1.14	0.02	13.09	0.65	1.40

Figura 21 Le quantità d'acqua necessarie, divise in Green, Blue e Grey per i prodotti finali delle varie filiere e per le due macro-Regioni d'interesse

SICCITÀ ED IMPRONTA IDRICA

Attualmente, la siccità è uno dei pericoli socio-naturali estremi che rappresentano la maggiore gravità o minaccia per la stabilità sociale e la resilienza biofisica dell'ambiente, a causa delle loro ripercussioni sulla produzione agricola e sulla crescita economica di una regione [8]. Inoltre, i processi di siccità si sviluppano progressivamente all'interno di un dato territorio a causa di un periodo continuo e ciclico di stress idrico, derivante dalla diminuzione anomala delle precipitazioni, insieme a temperature fluttuanti e cambiamenti eco-idrologici. Nel contesto del cambiamento climatico e dell'aumento del verificarsi di eventi di siccità, è fondamentale monitorare i fattori scatenanti e la progressione della siccità per pianificare gli sforzi successivi nella prevenzione, nell'adattamento e nella migrazione della siccità.

È essenziale considerare che il ciclo dell'acqua negli ambienti colpiti dalla siccità è caratterizzato da alti tassi di evapotraspirazione e precipitazioni ridotte, con conseguente deflusso superficiale carente e bassa ricarica delle falde acquifere. Quest'ultima porta a una riduzione dell'accumulo di umidità nel suolo, a un'erosione aumentata, a una copertura vegetale deteriorata ed alla scarsità di acqua blue necessaria ai processi di trasformazione.

Le siccità possono essere classificate in tipi meteorologici, agricoli, idrologici e socioeconomici in base alla loro periodicità. Spesso portano a carenze o deficit idrici, particolarmente gravi nelle regioni aride o semi-aride, ma ormai anche ricorrenti nell'area di studio come dimostrato dalle due siccità degli ultimi dieci anni [9]. Queste regioni costituiscono il 41% dell'area globale e stanno sperimentando tendenze nella disponibilità di acqua che scendono al di sotto delle medie storiche. Si prevede che l'estensione delle zone aride aumenterà dal 4% al 10% entro il 2100 rispetto al periodo 1961-1990 nell'ambito dei cambiamenti climatici RCP4.5 e RCP8.5. Inoltre, la combinazione di cambiamenti climatici, variabilità climatica e uso inefficiente dell'acqua, insieme a abitudini di consumo irrazionali, agricoltura intensiva e cambiamenti nell'uso del suolo, hanno avuto un impatto significativo sulla capacità di carico delle risorse idriche e sulla loro sicurezza.

Tuttavia, non si tratta solo della quantità di acqua limitata da variabili climatiche o dallo sfruttamento eccessivo delle fonti idriche, ma anche delle ripercussioni nelle dimensioni geografiche e temporali che influenzano il ciclo idro-sociale. Poiché l'agricoltura è una delle principali attività produttive a livello globale, le siccità estreme hanno avuto un impatto sulla perdita di terreni agricoli che è fino a 16 volte superiore al processo di erosione delle rocce.

Comprendere il consumo di acqua dolce nel processo di produzione e trasformazione dei prodotti agroalimentari è fondamentale per stabilire strategie di resilienza e sicurezza alimentare. Pertanto, diventa necessario ampliare il concetto verso un approccio di flusso idrico ambientale. Questo approccio aiuterà a identificare percorsi di risparmio idrico nella produzione agroalimentare delle regioni coinvolte nel progetto. La valutazione dell'appropriazione delle risorse idriche deve ampliare i criteri per la gestione integrata delle risorse. L'attenzione dovrebbe essere rivolta alla determinazione delle varie fonti o flussi ambientali di acqua per una gestione efficace e sostenibile delle risorse idriche.

È essenziale considerare non solo l'uso di acqua blu (risorse idriche estratte dal deflusso superficiale e dall'infiltrazione delle falde acquifere), ma anche l'uso di acqua verde (precipitazioni temporaneamente immagazzinate nel terreno o intercettate dalla vegetazione ed esportate nell'atmosfera come evapotraspirazione), insieme alle loro interazioni ed alla produzione di acqua

grigia. La distribuzione delle precipitazioni stagionali, combinata con l'evapotraspirazione, influenza direttamente i modelli di disponibilità idrica, influenzando l'idrologia regionale e le rese delle colture. Di conseguenza, le principali funzioni dell'acqua verde sono produttive (ad esempio, mantenimento fino a ~65% della produzione complessiva delle colture) e regolatrici (ad esempio, bilancio energetico e condizioni convettive), dove il flusso di acqua verde è composto da circa il 59% di traspirazione, 21% di intercettazione delle piante, 10% di intercettazione del suolo e 6% di evaporazione dell'umidità del suolo. Allo stesso modo, l'acqua blu svolge una moltitudine di funzioni, tra cui, ma non solo, fornitura, trasporto/carico chimico (nutrienti e inquinanti), regolazione/controllo e produzione [10]; inoltre, l'irrigazione rappresenta circa il 70% dell'uso di acqua blu nel mondo [21]. Una complessa interazione di queste variabili (climatiche e produttive) ha portato le regioni con scarsità d'acqua a produrre colture più intensive in termini di acqua ma di valore più elevato. Nelle regioni in cui le risorse idriche per scopi agricoli sono scarse, una potenziale riduzione del 56% nell'uso di acqua può essere ottenuta coltivando colture più adatte alla disponibilità di acqua verde e blu della zona. [12]

Considerando quanto detto in precedenza, dare priorità alla valutazione dell'impronta idrica è fondamentale per comprendere la relazione tra attività produttive, ciclo dell'acqua e pressione sulle risorse idriche per garantire uno sviluppo sostenibile delle attività di produzione e trasformazione dei prodotti agricoli. Indicatori completi come la stima dell'impronta idrica possono aiutare a raggiungere questo obiettivo [13]. Inoltre, l'impronta idrica agricola è una misura che valuta indirettamente l'impatto della siccità considerando le richieste e le forniture idriche locali [14]. Tuttavia, durante gli eventi di siccità, la scarsità influisce in egual modo sui flussi d'acqua, diventando cruciale per aumentare l'irrigazione per compensare il deficit delle colture o i requisiti di acqua verde. Tuttavia, sono richiesti più dei requisiti di acqua blu, costituendo un'irrigazione deficitaria a scapito dei flussi ambientali e/o delle riserve di acqua sotterranea. Questi usi entrano spesso in conflitto con l'uso di acqua blu da parte dell'industria di trasformazione dei prodotti. Pertanto, per contribuire ai programmi di gestione della risorsa idrica nei bacini con stress idrico, è fondamentale avere informazioni accurate su come le impronte idriche delle filiere agroalimentari sono cambiate nel tempo. Ciò richiede stime raffinate su periodi prolungati, che possono essere utilizzate nel processo decisionale per ridurre la latenza dei dati di input e migliorare le proiezioni future. Incorporando l'influenza della variabilità climatica intra- e inter-annuale nei piani di mitigazione o azione della siccità, possiamo prendere decisioni più informate basate sui risultati dell'impronta idrica.

La nostra ricerca si basa sulla comprensione dell'uso dell'acqua nelle filiere agroalimentari nella regione Piemonte, nella provincia di Imperia e nei Dipartimenti Francesi 04, 05 e 06.

La siccità del 2021/22

Nei primi 7 mesi del 2022, una grave siccità meteorologica si è verificata su gran parte del continente europeo, associata a una persistente circolazione anticiclonica anomala sulla sua porzione nord-occidentale [15]. In particolare, una straordinaria scarsità di precipitazioni ha colpito l'Italia settentrionale e la Francia sud orientale (

Figura 22 e Figura 23), contribuendo a una prolungata siccità idrologica che ha minacciato la sicurezza delle risorse idriche e gli ecosistemi fluviali.

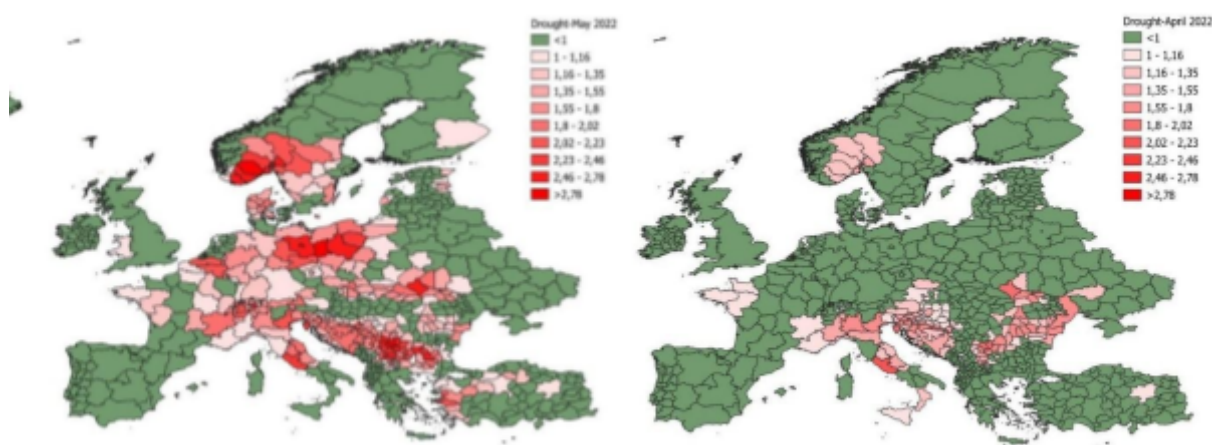


Figura 22 Distribuzione spaziale della siccità basata su E3CI per gennaio-marzo 2022

La maggior parte dell'Europa, più specificatamente l'arco alpino, l'Italia settentrionale (in particolare nella pianura padana), la Francia Sud/Est, la Svezia meridionale, la Grecia e parti dei Balcani. In altre regioni, come la Scandinavia settentrionale, la Turchia, le regioni a nord-ovest del Mar Caspio e la penisola iberica, si sono verificate precipitazioni mensili molto inferiori alla media, in netto contrasto con le condizioni di lunga durata, causando diversi danni economici alla filiera dei prodotti agricoli. Uno degli indicatori che compongono l'E3CI è specificamente studiato per rilevare le condizioni di siccità. Le mappe si riferiscono ai primi mesi del 2022 e mostrano le aree più colpite dal deficit di precipitazioni, con colori rosso scuro per le regioni più colpite e colori rosso chiaro per quelle ancora colpite. Inoltre, le condizioni più gravi non sono concomitanti: la penisola iberica sperimenta le condizioni più grandi e gravi a febbraio, ad esempio, mentre, in Europa, marzo sembra essere il mese in cui vengono raggiunti i valori più elevati su vaste aree. Nel complesso, le aree più colpite non sono concentrate in uno o più paesi, ma sono spazialmente diversificate in tutta l'area dell'UE.

Nell'ultimo secolo, in Europa si sono verificati 45 grandi eventi di siccità che hanno colpito milioni di persone e causato perdite economiche per oltre 27,8 miliardi di dollari. Attualmente, la siccità colpisce in media annualmente il 15% del territorio e il 17% della popolazione dell'UE [26]. Il bollettino MARS del CCR di marzo [27] ha rivelato che le condizioni di siccità hanno avuto un impatto

negativo sulla crescita vegetativa, soprattutto nelle regioni meridionali. I cereali sono stati colpiti negativamente nel sud della Francia e nel nord-ovest dell'Italia.

AREAS OF CONCERN - EXTREME WEATHER EVENTS

Based on weather data from 1 February 2022 until 18 March 2022

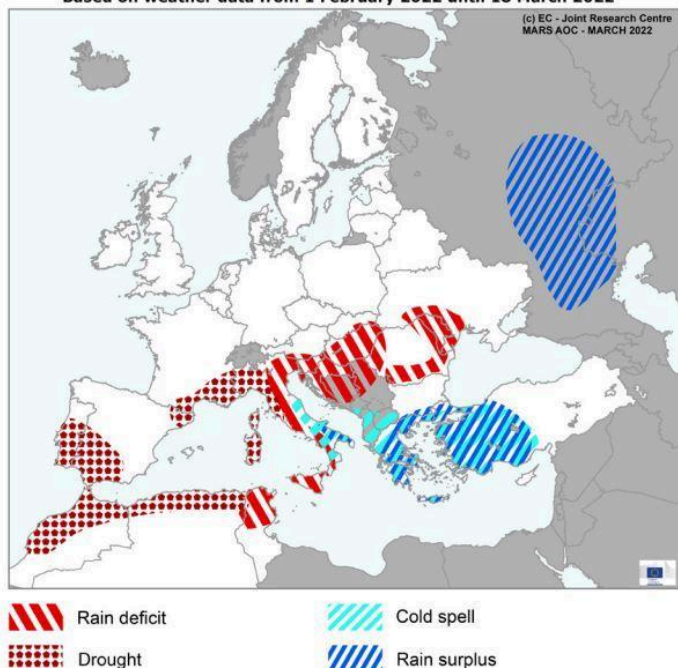


Figura 23 Indicatore combinato di siccità (CDI) – inizio marzo 2022.

L'Osservatorio globale della siccità (GDO) del CCR, nella sua relazione mensile, ha evidenziato come questa grave siccità abbia colpito in particolare il nord Italia e il bacino del fiume Po. In parallelo, la relazione della Commissione europea sulla 'Siccità nell'Italia settentrionale - marzo 2022' offre una valutazione dello sviluppo e dell'impatto della siccità di quattro mesi nella regione. Oltre ai danni previsti per la stagione agricola, è probabile che la concorrenza per altri usi dell'acqua, come l'irrigazione

agricola, inizi prima del solito. A metà marzo il valore dell'energia immagazzinata nei bacini italiani era solo del 28,2% della capacità totale di stoccaggio, rispetto ad un minimo storico osservato (1970-2019) del 30,4% per lo stesso periodo. Pertanto, l'attuale basso livello d'acqua nei bacini idrici italiani potrebbe aggravare la già difficile situazione del mercato italiano dell'elettricità, che sta già vivendo prezzi all'ingrosso record a causa di fattori geopolitici.

Il fiume Po, il corso d'acqua più lungo d'Italia, ha raggiunto livelli criticamente bassi, riducendo la disponibilità di acqua per l'irrigazione e portando a un'intrusione di acqua marina senza precedenti. La gravità della siccità del fiume Po del 2022 e i suoi potenziali impatti duraturi sono stati ampiamente trattati dai media di tutto il mondo, poiché il governo italiano ha dichiarato lo stato di emergenza nelle cinque regioni amministrative della Pianura Padana [16]. Diverse città hanno dovuto razionare l'acqua durante la siccità e sono state adottate misure straordinarie per sostenere gli agricoltori, poiché la Pianura Padana fornisce circa il 40% della domanda alimentare del Paese. La gravità di questo evento riguarda la crescente frequenza delle siccità idrologiche [17] [18], il loro impatto socioeconomico e il futuro stato delle risorse idriche [19].

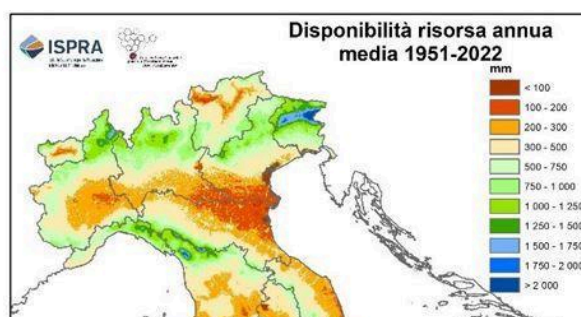
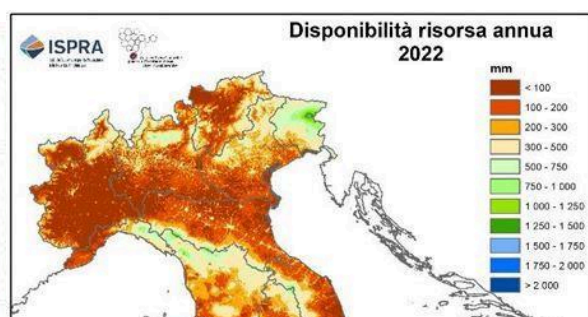


Figura 24 Mappa della disponibilità naturale di risorsa idrica nell'anno 2022 e la media nel periodo 1951-2021

L'Italia settentrionale è una delle regioni agricole più importanti d'Europa ed è anche un punto caldo colpito da eventi climatici estremi nel mondo. Nell'estate del 2022, una siccità estrema ha colpito ancora una volta l'Europa, causando danni significativi alle regioni agricole dell'Italia settentrionale. Tuttavia, nessuno studio fino ad oggi ha rivelato i potenziali impatti e l'entità della siccità estrema su questa cruciale area agricola su scala regionale. Pertanto, una comprensione completa della siccità agricola richiede ancora ulteriori chiarimenti e un'analisi differenziata dei driver.

La stagione invernale 2021/22 nel bacino del Po è stata anomala, date le condizioni più calde del solito e la scarsità di precipitazioni. Una recente analisi di Meteo Svizzera, ARPA Piemonte e ARPA Lombardia ha stimato un'anomalia di temperatura di +2,1 °C e un deficit di precipitazioni medie del 65% rispetto alla media 1991-2020. Il grave deficit di precipitazioni ha influenzato le risorse idriche di tutta l'area in oggetto. La concorrenza idrica da parte di diversi settori è iniziata prima del solito, in particolare all'inizio del periodo di irrigazione, solitamente previsto per aprile. La siccità ha fortemente influenzato il volume di acqua utilizzabile nel comparto delle filiere agroalimentari.

L'indicatore combinato di siccità (CDI) dell'Osservatorio europeo della siccità (EDO) viene utilizzato per identificare le aree che potrebbero essere colpite nel prossimo futuro dalla siccità agricola. Il CDI è derivato dalla combinazione dell'indice di precipitazione standardizzato (SPI), dell'anomalia dell'indice di umidità del suolo (SMA) e dell'anomalia

Le aree sono classificate in base a tre classi di siccità primarie: (1) "Watch", che indica che le precipitazioni sono inferiori alla norma; (2) "Warning", che indica che anche l'umidità del suolo è in deficit; e (3) "Alert", che indica che anche la vegetazione mostra segni di stress. Due classi aggiuntive, "Partial recovery" e "Recovery", identificano le fasi del processo di recupero della vegetazione. All'inizio di marzo 2022, il CDI mostra livelli di "Watch" o "Warning" nell'Italia nord-occidentale. L'area interessata copre la parte occidentale e settentrionale del bacino del fiume Po, evidenziando la rilevanza dell'evento in termini di estensione e gravità (Figura 23). Come già accennato, la quantità di precipitazioni nei prossimi mesi (aprile-giugno) sarà cruciale in termini di impatti.

FAPAR.

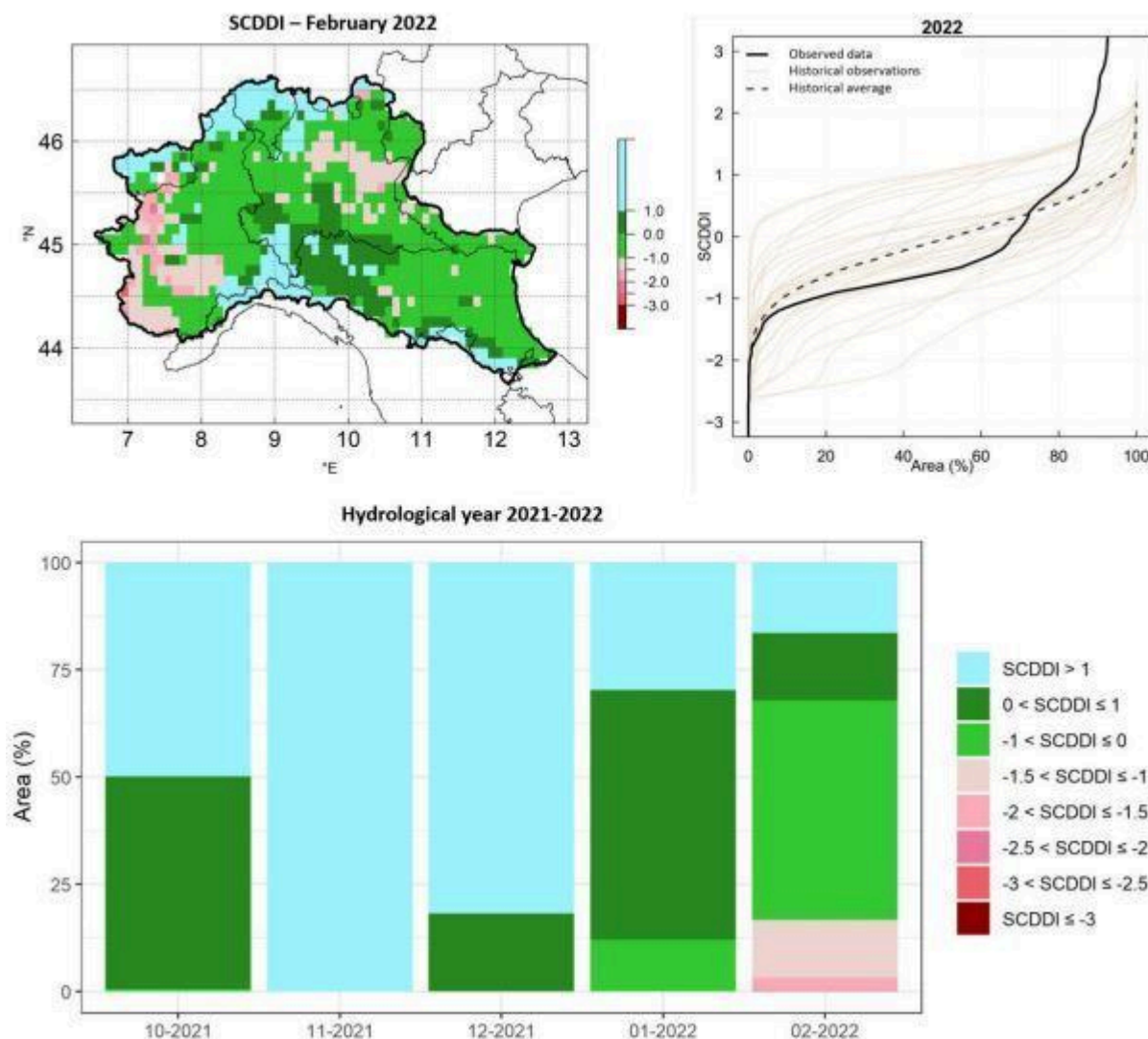


Figura 25 Indice standardizzato dei giorni asciutti continui (SCDDI) da ottobre 2021 a febbraio 2022. Le aree dal rosso chiaro al rosso scuro sono quelle in cui la durata dei giorni asciutti è stata critica. Fonte: Osservatorio permanente sull'uso dell'acqua - Po River District Basin Authority.

L'indicatore Snow Water Equivalent (40% delle condizioni medie 2009-2021) ha evidenziato un accumulo di neve scarso, con valori estremamente bassi nelle Alpi meridionali durante l'inverno. Anche le temperature invernali più calde hanno contribuito alla riduzione dell'accumulo di neve. A causa di una stagione invernale leggermente più calda del solito, un inizio anticipato della stagione di crescita corrisponde a condizioni migliori del normale per la crescita della vegetazione nella regione. Tuttavia, la mancanza di precipitazioni ha causato gravi impatti sul settore agroalimentare. Considerando le anomalie rispetto alle condizioni 1991-2020 (Figura 23), si possono fornire una classificazione qualitativa e quantitativa dell'inverno 2021-2022 rispetto agli anni recenti. L'inverno 2021-2022 è stato il più secco e mite in Lombardia, Piemonte, Svizzera meridionale e Francia sud-orientale negli ultimi 30 anni almeno, secondo i dati disponibili per questo rapporto. L'inverno

2018/19 è stato simile, ma con anomalie leggermente meno marcate. L'inverno 2019/20 ha registrato temperature più elevate, ma le precipitazioni sono state vicine alla media stagionale.

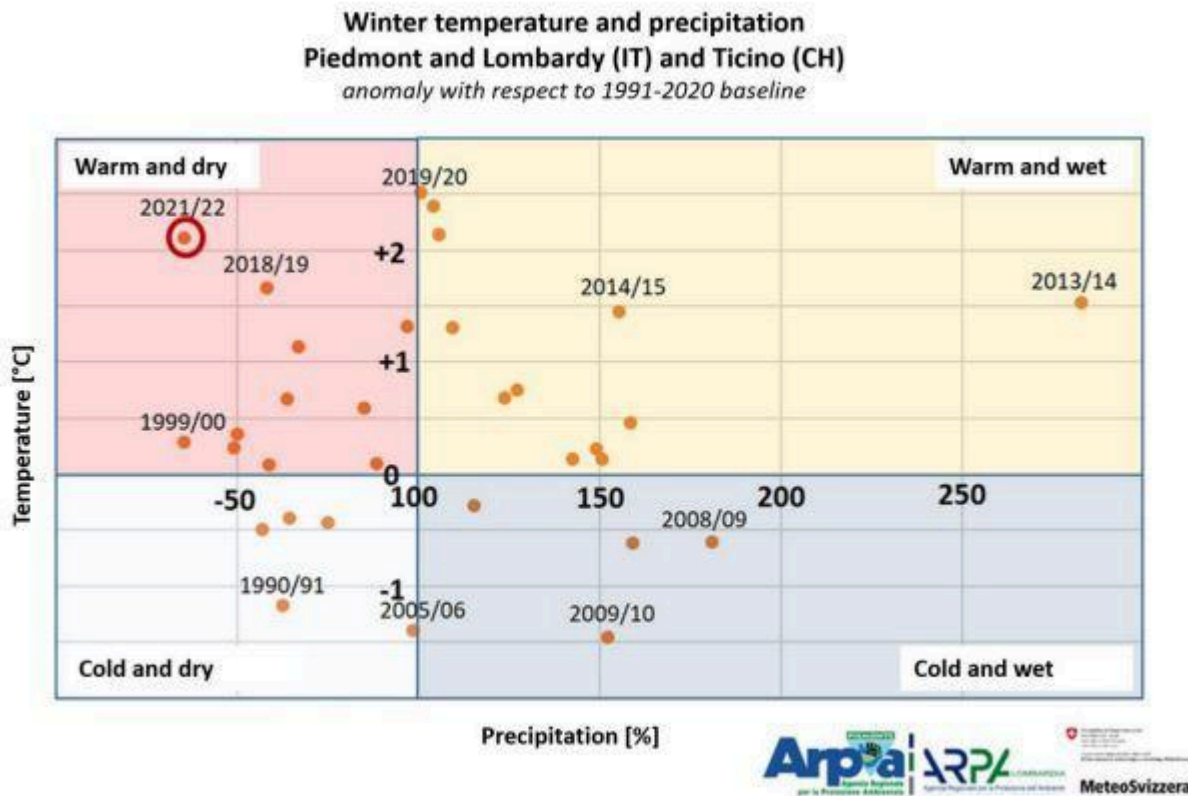


Figura 26 Anomalie rispetto alla media 1991-2020 della temperatura media invernale (asse verticale) e delle precipitazioni totali invernali (asse orizzontale) del 1990/91, calcolate su 31 stazioni di rilevamento. Fonte: MeteoSvizzera, ARPA Piemonte e ARPA Lombardia.

In Piemonte, la scarsità idrica dal punto di vista meteorologico viene ben rappresentata dall'indice SPI (Standard Precipitation Index) che, per il 2021/2022, mostra valori negativi su tutte le scale temporali (sia sul breve che sul lungo periodo). In particolare, questa accoppiata inverno-primavera (ed inizio estate) è la più asciutta degli ultimi 65 anni dopo quella del 2002-2003. La siccità a 6 mesi è estrema sulla quasi totalità della regione, con valori dell'indice che si riscontrano solo una volta in 70 anni circa e quella a 12 mesi è estrema sulle pianure, sui bacini del cuneese, sulle Valli di Lanzo e su Sesia e Cervo, e severa altrove.

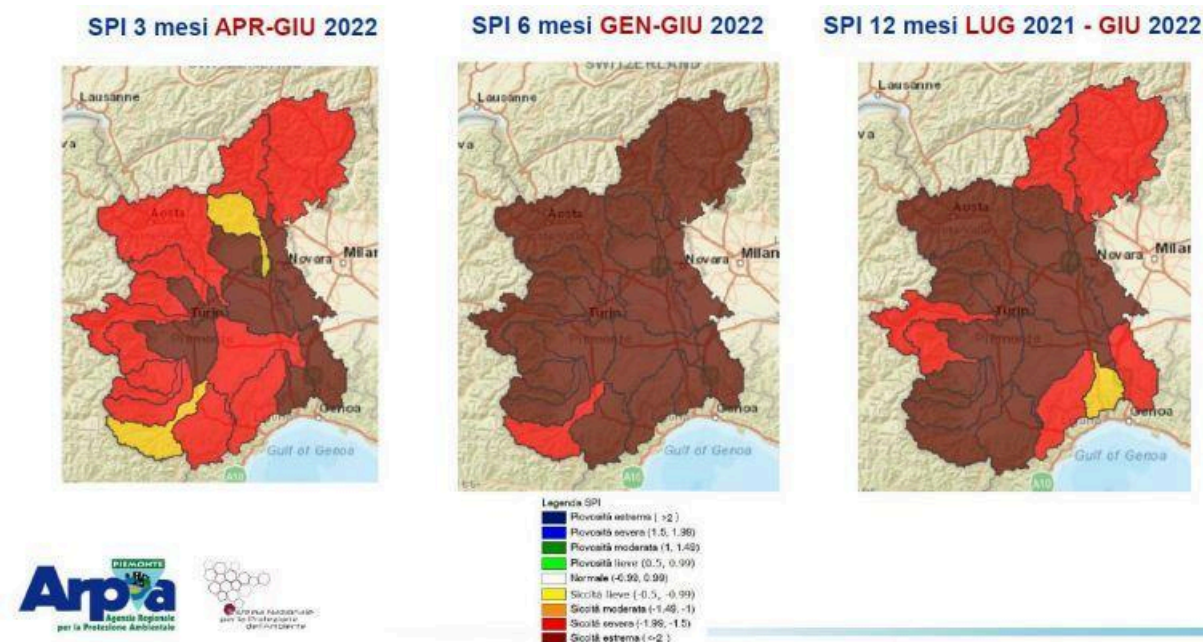


Figura 27 Anomalia di precipitazione SPI nel 2021-2022. Fonte Arpa Piemonte

Il quadro estremamente critico presentò nel 2022 caratteristiche ancora più estreme a livello di portate dei corsi d'acqua che, già ridotte a valori molto vicini ai minimi storici nei primi mesi dell'anno a causa dell'assenza di precipitazioni, non hanno trovato sollievo nelle abituali morbide alimentate dallo scioglimento nivale né negli afflussi che solitamente caratterizzano la stagione primaverile. In un mese notoriamente molto piovoso come maggio, si sono registrate solo alcune precipitazioni nei primi giorni, con conseguente ripresa delle portate fluviali, ma la successiva fase più secca e calda ha determinato un progressivo calo di nuovo su valori molto vicini o addirittura inferiori ai minimi storici. Mediamente le portate sono state più basse dell'80% rispetto a quelle di riferimento storico. Anche lungo l'asta del Po si osservano portate più basse mediamente dell'80% rispetto ai riferimenti storici e, in corrispondenza degli idrometri, i valori mensili calcolati sono i più bassi mai registrati da quando sono in funzione le stazioni.

Come la crisi climatica ha impattato l'area in oggetto?

È ormai evidente che la crisi climatica sta intensificando gli eventi meteorologici estremi come ondate di calore, siccità, inondazioni e tempeste in tutto il mondo. Questi eventi danneggiano le proprietà, sconvolgono vite e mezzi di sostentamento e possono persino essere mortali. L'Italia e la Francia sono paesi in prima linea negli eventi meteorologici estremi e in altri impatti dovuti alla crisi climatica, che stanno avendo un impatto a cascata sulla nazione europea, influenzando tutto, dalla salute pubblica, all'agricoltura e all'industria. Le proiezioni dei modelli climatici per l'Europa indicano che le siccità meteorologiche, dovute alla mancanza di precipitazioni, diventeranno sempre più frequenti e gravi, soprattutto nella seconda parte del XXI secolo (9). Guardando alla Pianura Padana e, più in generale, all'area mediterranea, le proiezioni fino al 2100 dai modelli climatici sviluppati nell'ambito della sesta fase del Coupled Model Intercomparison Project suggeriscono che la frequenza e l'intensità della siccità aumenteranno con elevata confidenza [20]. Tuttavia, non è ancora chiaro se le osservazioni idrometeorologiche mostrano una tendenza nella gravità della siccità; l'identificazione di un segnale di cambiamento climatico è ancora limitata a singoli eventi meteorologici o comportamenti

meteorologici subregionali. Esaminando i dati storici, varie metriche di occorrenza delle precipitazioni in Europa per il periodo 1850-2018 indicano un'assenza generale di tendenze a lungo termine [21]. Il problema di identificare e spiegare le tendenze a lungo termine è ancora più impegnativo quando si esamina il flusso fluviale e quindi le siccità idrologiche, a causa della presenza di influenze umane locali come il cambiamento dell'uso del suolo e i prelievi idrici. Inoltre, la lunghezza delle serie temporali del flusso fluviale è spesso limitata a circa 100 anni al massimo. Tuttavia, le decisioni di gestione delle acque e le misure di adattamento al cambiamento climatico sarebbero meglio informate da una comprensione completa delle tendenze del flusso fluviale per periodi di tempo prolungati. La siccità del 2022 riassume tutti questi aspetti: la precipitazione cumulativa da novembre 2021 a luglio 2022 non è stata eccezionalmente bassa, evidenziando quindi che fattori aggiuntivi diversi dalla scarsità di precipitazioni hanno esacerbato la siccità idrologica del 2022. Le domande di interesse sono quindi le seguenti: la siccità del 2022 fa parte di una tendenza a lungo termine per cui le siccità nella regione in oggetto stanno aumentando in frequenza e gravità? E, in tal caso, quali sono le cause di queste tendenze?

Perdite delle attività produttive

La situazione climatologica asciutta dei mesi invernali 2021 e il livello basso dell'acqua dei canali irrigui ha fatto propendere gli agricoltori piemontesi delle pianure per la semina di grano, orzo, avena in luogo del mais e per la semina in asciutta del riso in luogo della tecnica tradizionale in acqua. La semina in asciutta richiede circa 1/5 di acqua per la coltivazione rispetto alla tecnica tradizionale. Nonostante la scelta di coltivazione sia stata saggia la carenza di piogge dei mesi successivi ha influito sulla riduzione della produzione attesa. I dati termopluviometrici rilevati dalla rete regionale agrometeorologica sul territorio agricolo piemontese dimostrano la situazione di estrema criticità venutasi a nel 2022. Le scarse precipitazioni del mese di maggio ed inizio giugno hanno garantito una certa ripresa dei processi vegetativi e produttivi. Tuttavia il deficit venutosi a creare nei mesi pregressi è ben lontano dall'essere colmato soprattutto nei campi coltivati a risicoltura e granoturco. Alla fine del mese di maggio le precipitazioni cumulate da inizio anno oscillano orientativamente, a seconda delle zone agricole del Piemonte, tra il 20% ed il 50% rispetto ai valori medi del periodo. A tutto ciò si aggiungono anomalie termiche mensili con valori più alti della media che contribuiscono all'incremento dei consumi idrici da parte delle colture. Nel corso dell'ultimo periodo inoltre si sottolinea l'importanza della persistenza di valori termici giornalieri assai elevati (le cosiddette ondate di calore). Questo fatto determina a livello fisiologico colturale un calo potenziale della produttività per riduzione dei processi fotosintetici (o addirittura arresto nel caso di superamento delle temperature cardinali massime delle diverse colture) e consumo delle sostanze energetiche precedentemente accumulate.

Temperature in aumento

Le temperature medie annuali nella zona del progetto sono aumentate di 1 grado Celsius negli ultimi 100 anni, secondo l'Agenzia internazionale per l'energia, con un aumento ancora più rapido negli ultimi decenni. Questo riscaldamento è stato particolarmente diffuso in primavera e in estate, ad altitudini elevate, e ha provocato sempre più ondate di calore e periodi di siccità. L'estate del 2023, un'ondata di calore che la Società Meteorologica Italiana ha chiamato "Cerbero", il mostro a tre teste dell'"Inferno" di Dante, ha scottato l'Italia con temperature che hanno superato i 45 °C in alcune parti del paese. La "cupola di calore" di lunga durata è diventata così intensa che il Ministero della Salute italiano "ha emesso un'allerta rossa (che significa "rischio di morte") in 27 città", riporta la CNN. Tra

queste, importanti centri turistici come Roma, Firenze e Bologna. Più tardi, quella stessa estate (2023), nel nord Italia, Milano ha registrato la sua temperatura media giornaliera più alta degli ultimi 260 anni.

Problemi di disponibilità idrica: acqua di superficie

L'aumento delle temperature e i cambiamenti nel ciclo delle precipitazioni stanno causando siccità più frequenti nell'area in oggetto. Ciò crea gravi problemi per l'agricoltura, le forniture idriche e per l'economia legata alla filiera agroalimentare. La siccità, in particolare, è diventata un problema crescente negli ultimi anni. La siccità che ha colpito l'Italia settentrionale e la Francia del Sud-Est nel 2022 non ha precedenti in più di due secoli e fa parte di una tendenza a lungo termine di siccità più frequenti e gravi nella zona, scrive Nature [15] [35]. L'anno 2022 è stato particolarmente grave, con il fiume Po, il fiume più lungo e di vitale importanza d'Italia, che ha registrato livelli d'acqua bassi da record. Questo prosciugamento, a sua volta, ha messo a repentaglio fino al 40% del settore agricolo italiano. L'agricoltura italiana è un settore cruciale per l'economia e l'identità nazionale e la ridotta disponibilità di acqua a causa della siccità danneggia le colture e porta a perdite di raccolto e difficoltà economiche per gli agricoltori. La siccità del 2022 nel solo nord Italia ha causato danni all'agricoltura per ben 6 miliardi di euro (6,5 miliardi di dollari USA) e ha messo a repentaglio migliaia di aziende agricole. Guardando al futuro, gli esperti prevedono che le siccità diventeranno probabilmente più frequenti e intense in Italia a causa della crisi climatica. Oltre agli impatti agricoli e di produzione di energia di cui sopra, queste condizioni di siccità aumenteranno ulteriormente il rischio di incendi boschivi come quelli che la nazione ha visto negli ultimi anni.

Problemi di disponibilità idrica: livello delle falde

La Rete di Monitoraggio delle Acque Sotterranee gestita da Arpa Piemonte è costituita da 593 punti: 383 sono inerenti al sistema acquifero superficiale, 202 a quello profondo e 8 sorgenti. 114 di questi punti di monitoraggio misurano in continuo la soggiacenza (distanza tra il piano campagna e il livello dell'acqua nella falda) e la temperatura. L'area di monitoraggio, cui afferiscono i succitati punti di monitoraggio, è suddivisa in 18 corpi idrici sotterranei (GWB) relativi al sistema idrico sotterraneo superficiale di pianura e fondovalle e 6 a quello profondo.

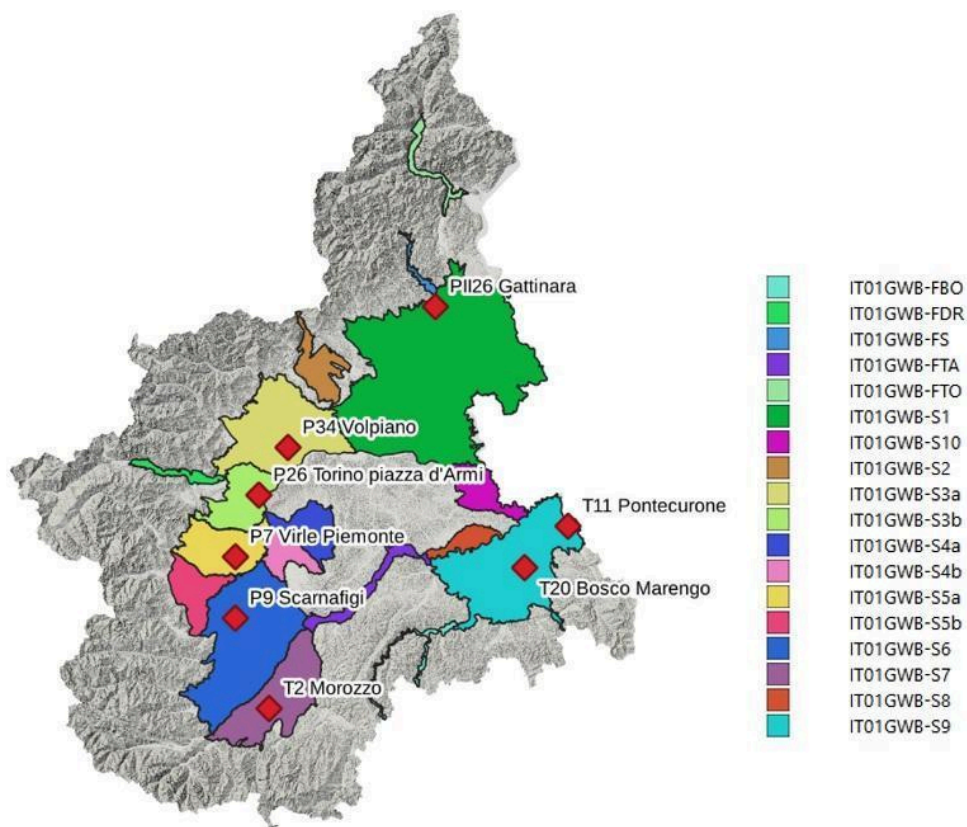
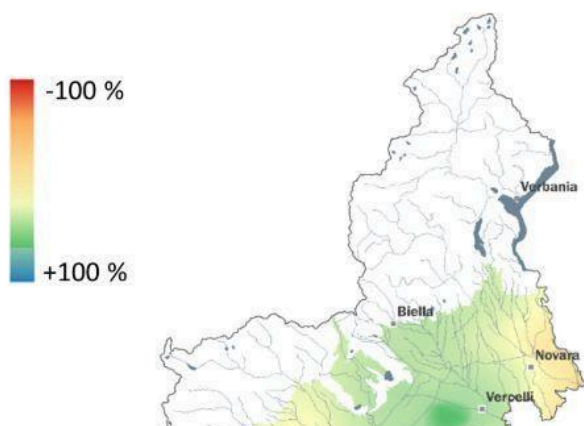


Figura 28 Ubicazione dei punti di misura e dei bacini sotterranei

Un sottoinsieme di piezometri dell’acquifero superficiale è strumentato per trasmettere i dati in tempo reale, mentre gli altri vengono scaricati due volte all’anno. I dati di 8 di questi sono stati analizzati per valutare la situazione di abbassamento delle falde superficiali in relazione alla siccità in corso. I dati evidenziano in qualche caso una tendenza in costante e talvolta rapido abbassamento del livello. Sebbene non sia una novità rilevabile già nelle serie storiche dei dati che partono dagli anni 2000, questo andamento appare molto netto ed è quindi un preoccupante indice di depauperamento quantitativo dell’acquifero superficiale che risente in modo diretto della mancanza di apporti da parte del sistema idrologico superficiale [34]. L’aggregazione di dati di più piezometri, confrontabili per le loro caratteristiche, fornisce un’indicazione sull’andamento della soggiacenza del GWB nel suo insieme. La rappresentazione delle variazioni stagionali del livello della falda superficiale, aggregate per GWB, mostra per il 2022 un generale abbassamento del livello in tutte le aree del Piemonte, con valori di soggiacenza al di sotto della fascia di fluttuazione (> 75° percentile): la gradazione di colore mette in evidenza le GWB con valori di soggiacenza via via più in discesa

Figura 29 Carta della differenza percentuale tra la soggiacenza media del 2022 e quella dell’anno medio storico ricavato dal periodo 2005-2021.



La differenza percentuale tra la soggiacenza media dell'anno 2022 e quella dell'anno medio del periodo 2005-2021 mostra lo scostamento e la distribuzione della distanza della falda dal piano campagna nell'ultimo anno.

In due “macro-aree” emerge un importante abbassamento del livello della falda: la prima, nella parte sud-est del Piemonte, e la seconda nella parte sud-ovest. La porzione all'estremità nord invece presenta valori stazionari rispetto alla media storica.

Problemi normativi e di conflitto sulla risorsa idrica

Le siccità colpiscono anche l'utilizzatore finale di acqua blue a causa della ridotta disponibilità idrica. Qui di seguito analizziamo brevemente, solo a scopo indicativo, le ordinanze contingibili e urgenti assunte a livello comunale. Tali ordinanze sono state sicuramente lo strumento istituzionale più utilizzato nel corso della crisi idrica del 2022 in Italia. Non è ancora chiaro se in futuro si potranno avere delle leggi più organiche ed idonee al contemperamento di interessi, pubblici e privati, contrapposti e insistenti sulla medesima risorsa. Preso atto che la situazione meteo-climatica-ambientale in Europa tenderà ad evolvere verso temperature più alte ed episodi di siccità più frequenti, con effetti significativi sul ciclo idrologico e sulla disponibilità della risorsa idrica, si può affermare che i conflitti per l'utilizzo e la gestione dell'acqua potrebbero a loro volta aumentare e raggiungere anche quei territori che, storicamente, non sono mai stati interessati da questa tipologia di eventi. Ciò è particolarmente vero per le aree geografiche che dipendono fortemente dalla neve per l'approvvigionamento idrico e ciò perché la neve è esposta ad un notevole rischio in occorrenza del surriscaldamento globale, con pregiudizio del processo naturale tale per cui l'acqua viene immagazzinata in inverno e rilasciata in primavera-estate, quando le richieste di utilizzo aumentano e, contestualmente, le precipitazioni diminuiscono.

Il contesto normativo

Atti statali. La crisi idrica del 2022 ha coinvolto progressivamente tutte le Regioni centro-settentrionali, determinando il Consiglio dei Ministri (d'ora in poi anche “CdM”) a dichiarare, in data 4 luglio 2022, lo “stato di emergenza per siccità”, in relazione alla situazione di deficit idrico in atto nei territori delle Regioni e delle Province Autonome ricadenti nei bacini distrettuali del Po e delle Alpi orientali, nonché per le peculiari condizioni ed esigenze rilevate nel territorio delle Regioni Emilia-Romagna, Friuli-Venezia Giulia, Lombardia, Piemonte e Veneto. A causa del protrarsi della situazione di deficit idrico, in data 1° settembre 2022, con ulteriore Delibera del CdM, lo “stato di emergenza” è stato esteso ai territori delle Regioni Liguria e Toscana ricadenti nel bacino distrettuale dell'appennino settentrionale.



Regioni che ricadono nei Decreti del CdM dichiaranti lo “stato di emergenza” (2022)

Figura 30 Regioni italiane che ricadono nel Decreto “stato di emergenza” (2022).

Stante il perdurare del periodo siccitoso, il CdM, con Delibera del 28

dicembre 2022, ha prorogato il detto “stato di emergenza per crisi idrica” di altri dodici mesi, per Piemonte, Lombardia, Emilia-Romagna, Veneto, Friuli-Venezia Giulia, Umbria, Lazio, Toscana, Liguria e Marche. La prima conseguenza della deliberazione dello stato di emergenza è lo stanziamento di fondi per finanziare gli interventi considerati più urgenti, autorizzando la spesa nell’ambito del Fondo per le emergenze nazionali. La durata dello stato di emergenza non può superare i dodici mesi ed è prorogabile per non più di ulteriori dodici mesi. In tale contesto, il Dipartimento della Protezione Civile (nel prosieguo, anche, DPC) ha monitorato costantemente l’evoluzione meteo-climatica in atto e, in qualità di membro dei Tavoli degli Osservatori della siccità [37], le disponibilità idriche nei diversi ambiti territoriali, anche attraverso la stretta collaborazione con Regioni, Province Autonome, Ministeri ed Enti di ricerca nazionali. In particolare, il DPC ha fornito utili indicazioni circa le tendenze previsionali meteo-climatiche a medio-lungo termine, al fine di contribuire alla predisposizione degli scenari di disponibilità idrica congiuntamente o da parte degli Osservatori stessi. Le misure di protezione civile, messe in atto durante la fase emergenziale e necessarie per una gestione proattiva degli eventi di scarsità idrica, hanno consentito di mitigare notevolmente i disagi per la popolazione, soprattutto con riferimento alle necessità idropotabili (autobotti per il trasporto e il rifornimento dell’acqua nei serbatoi, punti di distribuzione della risorsa idrica mediante autobotti, la realizzazione di serbatoi e accumuli di carattere temporaneo, la posa di gruppi di pompaggio, l’attivazione di nuove fonti, la posa di tubazioni provvisorie per il potenziamento della rete di adduzione e distribuzione, realizzazione di nuovi pozzi, etc).

Atti Regionali. I provvedimenti volti a fronteggiare la siccità del 2022 sono stati adottati prevalentemente dalle autorità locali. Nondimeno, accorgimenti significativi sono stati assunti anche da diverse Regioni, a seguito della richiesta e dell’attivazione dello stato di emergenza. Le Regioni ricoprono un ruolo di primaria importanza sul tema oggetto di trattazione, in quanto affidatarie di attribuzioni amministrative di gestione “ordinaria” delle risorse idriche presenti sul territorio di loro competenza ed in virtù dei compiti loro affidati, a livello di protezione civile, in sede di gestione “emergenziale” delle medesime. La Regione Piemonte, all’inizio di giugno 2022, ha richiesto allo Stato di pronunciare lo stato di calamità per l’agricoltura piemontese e, poi, ai Comuni di evitare gli sprechi. Già in precedenza, la Giunta regionale aveva approvato (dicembre 2021), uno specifico documento di “Attuazione del Piano regionale di Tutela delle Acque (PTA)”, che si proponeva come guida di base, estremamente pratica, per l’adattamento alle variazioni della disponibilità di risorsa idrica nel territorio piemontese e che costituisce, peraltro, una componente della Strategia Regionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici.

Atti Comunali. Il potere di ordinanza sindacale

Sin dall’osservazione dei primi effetti della siccità del 2022, soprattutto nel nord Italia, vi è stata una forte “reazione normativa” dei Comuni, spesso sollecitata dagli enti Regionali, atta a prevenire, arginare o gestire la scarsità d’acqua nei propri territori di competenza. Il risultato di tale reazione è che moltissimi Comuni hanno emesso “ordinanze sindacali contingibili e urgenti” per fronteggiare un pericolo qualificato, attuale e concreto per prevenire o eliminare gravi pericoli per l’incolumità dei propri cittadini. I sindaci hanno il potere di emettere ordinanze contingibili e urgenti per tutelare la salute pubblica e la sicurezza dei cittadini in situazioni di emergenza, comprese le crisi idriche. Inoltre, il D.Lgs. 152/2006 (Testo Unico Ambientale) stabilisce che la gestione delle risorse idriche deve garantire il soddisfacimento prioritario dei bisogni umani essenziali, lasciando ai Comuni la possibilità di intervenire con misure restrittive. Le ordinanze comunali possono essere strumenti efficaci per:

France – Italia ALCOTRA

- Limitare gli sprechi: vietando l'uso dell'acqua potabile per usi non essenziali (innaffiamento, lavaggio auto, riempimento piscine).
- Regolare gli orari di prelievo: imponendo fasce orarie per l'irrigazione di giardini e l'utilizzo di fontane pubbliche.
- Rafforzare il controllo e la sensibilizzazione: informando i cittadini sulle misure da adottare per un uso più responsabile dell'acqua.

La situazione in Francia è molto simile. Le restrizioni sull'uso dell'acqua sono implementate durante i periodi di siccità per conservare le risorse idriche. Queste restrizioni sono determinate a livello dipartimentale o comunale e variano in base alla gravità della siccità, classificate in quattro livelli: 1) **Vigilanza** (consapevolezza): nessuna restrizione obbligatoria; i residenti sono incoraggiati a ridurre volontariamente il consumo di acqua 2) **Alerte** (Alert): le restrizioni obbligatorie possono includere divieti su: Irrigazione dei giardini in determinati orari, riempimento di piscine, lavaggio auto, irrigazione delle colture durante i periodi di evaporazione, 3) **Alerte Renforcée** (allarme rinforzato): misure più severe, quali: 1) Ulteriori limitazioni al l'uso del l'acqua per l'agricoltura, 2) divieto di irrigazione degli spazi verdi pubblici, 4) **Crise** (Crisi): restrizioni severe per dare priorità ai bisogni idrici essenziali, tra cui: a) Divieto di uso non essenziale dell'acqua, b) Garantire la disponibilità di acqua per la salute, la sicurezza civile e l'abbeveraggio.

Ad esempio, nel 2023, circa 1.022 comuni francesi sono stati designati come "zone di disastro naturale" a causa della siccità, con conseguenti misure restrittive sull'uso dell'acqua. Durante periodi di siccità, le autorità locali possono imporre restrizioni sull'uso dell'acqua per garantire la conservazione delle risorse idriche. Queste misure variano in base alla gravità della situazione e possono includere:

Divieto di riempire piscine private: In alcune regioni, come i Pirenei Orientali, è stato vietato l'uso dell'acqua della rete idrica pubblica per riempire piscine e irrigare campi da golf e spazi verdi.

Limitazioni all'irrigazione agricola: Durante periodi di siccità estrema, possono essere imposte restrizioni sull'irrigazione dei campi per preservare le risorse idriche.

Restrizioni per usi non essenziali: Possono essere vietate attività come il lavaggio di veicoli o l'irrigazione di giardini privati.

La reazione normativo-regolamentare dei Comuni e il contesto in cui viene posta in essere, evidenzia un conflitto sulla gestione dell'acqua in Italia, che potrebbe inasprirsi nel prossimo futuro. Infatti, è noto come la comunità scientifica ritenga che il cambiamento climatico abbia come effetto primario l'aumento della temperatura media globale, il quale a sua volta mette a rischio, in molte zone e in particolare nella fascia Mediterranea, la quantità di acqua che il genere umano è portato, in molti contesti, a considerare illimitatamente disponibile per tutti gli svariati utilizzi; dalla carenza idrica e, soprattutto, da una non definita regolamentazione dell'uso dell'acqua scarsa, è prevedibile che nascano conflitti tra utilizzatori e tra i diversi utilizzi dell'acqua (fini idropotabili, idroelettrici, turistici, agricoli, etc). Quindi, sebbene le ordinanze comunali siano strumenti legittimi e utili nella gestione delle crisi idriche, a condizione che siano adottate con criteri di proporzionalità, legalità ed efficacia, per essere realmente incisive, dovrebbero essere coordinate con strategie più ampie a livello

regionale e nazionale, promuovendo al contempo misure strutturali per la gestione sostenibile dell'acqua.

STUDIO PROSPETTIVO CAMBIAMENTI CLIMATICI E DISPONIBILITA' IDRICA

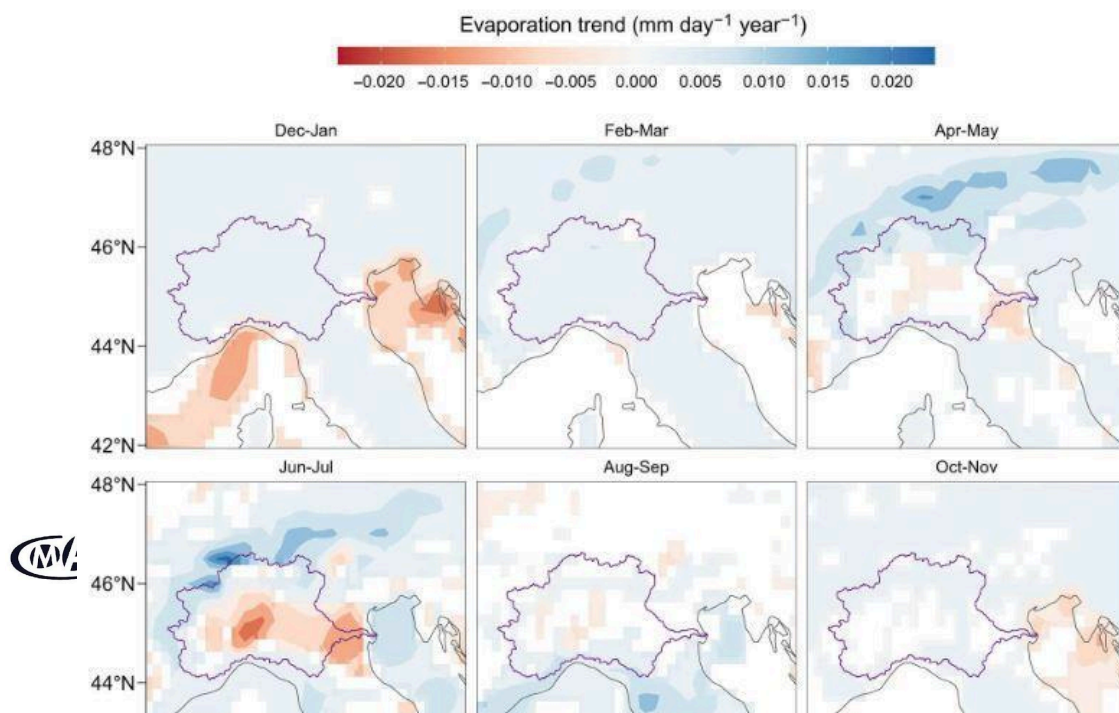
La siccità colpisce molti aspetti dell'ambiente e della società, e qualsiasi futuro aumento della domanda di acqua sarà più critico nei periodi di grave siccità. I cambiamenti nell'entità e nella frequenza delle siccità avranno impatti estesi sulla gestione delle risorse idriche, sull'agricoltura e sugli ecosistemi acquatici. Con l'aumento previsto della temperatura globale, gli scienziati concordano generalmente sul fatto che il ciclo idrologico globale si intensificherà e suggeriscono che gli estremi di siccità diventeranno più comuni. In Europa è probabile che gli effetti principali si facciano sentire attraverso cambiamenti nella frequenza di eventi estremi e precipitazioni, causando più siccità in alcune aree e più inondazioni fluviali altrove [30]. Il rapporto sottolinea che possibili aumenti delle siccità nelle parti meridionali del continente potrebbero influenzare l'approvvigionamento idrico. A conferma di ciò, negli ultimi anni il governo italiano e francese ha dichiarato lo stato di emergenza in diverse regioni a causa della siccità causata dalla mancanza di pioggia e dall'aumento delle temperature. A titolo di esempio, nel 2023, per aiutare le regioni particolarmente colpite, l'Italia sta inviando 35 milioni di euro in fondi di soccorso distribuiti alle regioni Emilia-Romagna, Friuli Venezia Giulia, Lombardia, Piemonte e Veneto. "Per il bacino del Po, la crisi idrica del 2022 è la più grave degli ultimi 70 anni, secondo l'analisi dell'Autorità di bacino del fiume Po". I cambiamenti nell'entità e nella frequenza delle siccità avranno impatti estesi sulla gestione delle risorse idriche e sulla filiera agroalimentare. Con l'aumento previsto della temperatura globale, gli scienziati concordano generalmente sul fatto che il ciclo idrologico globale si intensificherà e suggeriscono che gli estremi diventeranno o sono già diventati più comuni.

E il futuro?

Recenti ricerche [35] dimostrano che l'entità della siccità del 2022 non ha precedenti negli ultimi due secoli e che questo evento fa parte di una tendenza a lungo termine caratterizzata da un aumento della frequenza e della gravità delle siccità, in particolare negli ultimi decenni. Dimostriamo inoltre che i fattori chiave sono i cambiamenti nella stagionalità del flusso fluviale, probabilmente causati da un passaggio da precipitazioni solide a liquide, scioglimento anticipato delle nevi, evaporazione crescente e maggiori prelievi di acqua durante l'estate. Guardando al futuro, gli esperti prevedono che gli eventi meteorologici estremi diventeranno probabilmente ancora più comuni e gravi nell'area oggetto di questo studio. L'impatto sull'economia italiana e francese potrebbe essere significativo. Senza un'azione decisa per ridurre le emissioni, il PIL italiano potrebbe ridursi del 3,7% entro il 2050 a causa di fattori come i danni causati da eventi meteorologici estremi e le interruzioni di settori chiave come l'agricoltura. Tale cifra salirà all'8,5% entro il 2100 senza una rapida azione per il clima.

Cambiamento nella stagionalità del flusso fluviale

Il calo costante del flusso fluviale estivo, abbinato al costante aumento del flusso primaverile, suggerisce che negli ultimi due secoli si è verificato un cambiamento nella stagionalità. Per determinare se la tendenza al ribasso del flusso fluviale sia causata da un corrispondente calo delle precipitazioni, è possibile analizzare l'evoluzione delle precipitazioni cumulative bimestrali nel periodo 1940-2022 utilizzando il dataset ECMWF Reanalysis v5 (ERA5). ERA5 è derivato combinando i dati del modello con le osservazioni per ottenere una rappresentazione distribuita spazialmente delle precipitazioni a una risoluzione di 0,25°, consentendo quindi una stima dettagliata delle precipitazioni areali medie su grandi bacini idrografici. I risultati mostrano che non è possibile rilevare alcuna tendenza negativa significativa ($P < 0,1$) nelle precipitazioni nell'area di interesse in nessuna finestra bimestrale, confermando così le precedenti analisi di lunghi record di osservazione delle precipitazioni nell'Italia settentrionale. Pertanto, le variazioni delle precipitazioni nei singoli mesi non emergono come un fattore determinante della tendenza al ribasso del flusso fluviale. Inoltre, non è possibile rilevare alcuna tendenza significativa nelle precipitazioni cumulative da novembre a luglio per i periodi 1940-2022, 1960-2022, 1980-2022 e 2000-2022 (fig. S5). Pertanto, i cambiamenti nelle precipitazioni non emergono come un fattore determinante della tendenza decrescente nel flusso fluviale. Cambiamento nel regime di scioglimento delle nevi e precipitazioni solide Cambiamento nella stagionalità (Figura 31) suggerisce che la forma delle precipitazioni (pioggia o neve), piuttosto che la loro quantità totale, può spiegare la tendenza osservata del flusso fluviale. Il riscaldamento globale ha portato a cambiamenti nei regimi di neve, che, a loro volta, hanno spostato i tempi delle



inondazioni in Europa e i tempi del flusso fluviale primaverile nei fiumi alpini. Lo scioglimento precoce delle nevi, indotto dal riscaldamento, ha anche portato sia ad aumenti che a diminuzioni dell'entità delle inondazioni. Ipotizziamo quindi che le tendenze osservate e i cambiamenti nella stagionalità del flusso del fiume Po bacino nei mesi di dicembre, gennaio e febbraio supporta l'ipotesi che i cambiamenti nella frazione di neve, sebbene non statisticamente significativi, possano aver contribuito all'aumento dei flussi fluviali all'inizio della primavera.

Figura 31 Variazione dell'evaporazione totale. Stima della tendenza all'evaporazione per il periodo 1940-2022 dai dati bimestrali di rianalisi ERA5. Sono mostrati solo i trend significativi ($P < 0,1$). Il confine del bacino del fiume Po è mostrato in viola.

Variazione dell'evaporazione

Un terzo fattore potrebbe essere l'aumento dell'evaporazione. In linea con le analisi eseguite per gli altri fattori, sono stati utilizzati i dataset ERA5, che fornisce stime dell'evaporazione totale, inclusa la traspirazione dalla vegetazione [35]. Come mostrato nella Figura 31, le tendenze dell'evaporazione bimestrale sul bacino del fiume Po sono prevalentemente positive. Questo aumento dell'evaporazione totale, in particolare lungo la catena alpina, è di fondamentale importanza nell'area di interesse, perché l'evaporazione sulle Alpi può essere superiore alla media nonostante le basse precipitazioni, amplificando così il deficit di deflusso. Si noti la presenza di alcune aree con tendenze decrescenti (per i mesi di giugno e luglio), che, tuttavia, non influenzano in larga misura la tendenza dell'evaporazione annuale totale nel bacino del fiume Po. Nel periodo 1940-2022, si riscontra una tendenza statisticamente significativa. Questa tendenza al rialzo si è aggravata dopo il 1980. Pertanto, l'aumento dell'evaporazione attraverso il bacino emerge come un ulteriore, importante, fattore trainante.

Variazione nei prelievi idrici

Un quarto fattore può essere rappresentato dall'estrazione idrica, in particolare a causa dei prelievi di acqua superficiale per l'irrigazione, che rappresenta la maggior parte (~75%) dei prelievi totali dal tratto del fiume Po [39]. I consorzi di irrigazione hanno riconosciuto un aumento della domanda idrica durante la primavera e l'estate negli ultimi tempi, principalmente a causa dell'anticipazione della stagione irrigua. Per testare la significatività di questo ulteriore fattore, si possono analizzare i dati in griglia per il bacino del fiume Po da un set di dati globale sull'uso settoriale dell'acqua dal 1970 al 2010 [25], che rivela tendenze negative, ma non significative, per i prelievi di acqua per l'irrigazione durante l'estate [26]. Tuttavia, tale dataset potrebbe non considerare in dettaglio le caratteristiche locali e, pertanto, analizziamo il progresso nel bacino del Po dell'area attrezzata per l'irrigazione, che è notevolmente aumentata nel tempo, da 0,86 milioni di ha nel 1900 a 1,38 milioni di ha nel 1960, fino a 1,63 milioni di ha nel 2015. Questo modello riflette lo sviluppo delle infrastrutture idrauliche dagli anni '40 agli anni '60, seguito da un plateau complessivo fino a questi giorni, il che supporta l'ipotesi che l'irrigazione sia aumentata con un trend simile. L'analisi complementare di altri usi idrici settoriali rivela tendenze crescenti statisticamente significative per i prelievi di acqua domestica durante l'estate. Nel complesso, i risultati di cui sopra supportano l'ipotesi che i prelievi idrici siano aumentati significativamente nel tempo durante l'intero periodo di osservazione.

Le analisi di letteratura evidenziano che la tendenza decrescente a lungo termine dei flussi estivi nell'area di interesse, che si è accentuata dopo il 1940, è dovuta alla sovrapposizione di diversi fattori. Tra questi, la riduzione del regime di precipitazioni solide, l'anticipazione dello scioglimento delle nevi

e l'aumento dell'evaporazione totale risalgono all'aumento delle temperature nella regione dopo la Piccola era glaciale e, più di recente, sotto riscaldamento globale. L'aumento della temperatura nel bacino è particolarmente evidente dalla metà del XX secolo rispetto ai valori corrispondenti degli ultimi due secoli, che si riflette in un'evaporazione particolarmente forte negli ultimi 40 anni e nei mesi di giugno e luglio, confermando così il riscaldamento come una delle radici della tendenza a lungo termine osservata nei flussi estivi del fiume Po. Un quarto fattore è l'espansione delle aree irrigate, verificatasi principalmente prima della metà del XX secolo, che ha portato a un aumento dei prelievi di acque superficiali, aggravato da crescenti prelievi di acqua domestica. L'uso dell'acqua ha un effetto notevolmente maggiore sulle tendenze dei flussi bassi rispetto ai flussi alti o medi, spiegando così perché le siccità idrologiche nel fiume Po sono spesso amplificate rispetto alle siccità meteorologiche. I nostri risultati confermano che complesse interazioni tra diversi fattori, tra cui la variabilità e il cambiamento climatico, l'uso del suolo e il cambiamento della copertura del suolo e la gestione delle acque, innescano siccità idrologiche. Tuttavia, una quantificazione rigorosa del contributo relativo di ciascuno dei fattori di cui sopra all'aumento della frequenza e dell'intensità della siccità richiederebbe dati di estrazione idrica ora non disponibili sul bacino idrografico e informazioni climatiche distribuite spazialmente estese temporalmente. Inoltre, i feedback composti nel processo di siccità limitano un'analisi di attribuzione esaustiva. Tuttavia, si può affermare che la combinazione delle cause di cui sopra, insieme a una precipitazione cumulativa moderatamente inferiore al solito, ha causato nel 2022 la peggiore siccità idrologica mai osservata dal 1807, il cui periodo di ritorno è stato stimato in più di quattro secoli per i flussi estivi. Guardando al futuro, ci aspettiamo che il riscaldamento globale in corso esacerberà le tendenze analizzate qui. A sua volta, la loro sovrapposizione rischia di peggiorare la gravità e la frequenza delle siccità idrologiche, superando forse l'entità dell'evento del 2022. Ciò richiede una ricerca urgente di soluzioni per mitigare i rischi ambientali e sociali, garantendo così la sostenibilità degli ecosistemi e delle risorse idriche.

CAMBIAMENTI CLIMATICI ED IMPRONTA IDRICA

Il cambiamento climatico sta influenzando profondamente le risorse idriche globali, con conseguenze dirette sull'impronta idrica dei prodotti agroalimentari. Con l'aumento delle temperature e il cambiamento dei modelli di precipitazione, la sostenibilità dell'uso dell'acqua nella produzione alimentare deve affrontare sfide crescenti.

Aumento della scarsità d'acqua e della domanda di acqua agricola

Il cambiamento climatico sta intensificando la scarsità d'acqua, in particolare nelle regioni in cui l'agricoltura dipende fortemente dall'irrigazione. Le temperature più elevate portano a una maggiore evapotraspirazione, il che significa che le colture richiedono più acqua per mantenere la crescita. Ciò aumenta l'impronta idrica blu della produzione alimentare, poiché gli agricoltori fanno maggiormente affidamento sull'irrigazione per compensare la riduzione delle precipitazioni. Inoltre, eventi meteorologici estremi, come siccità prolungate e ondate di calore, mettono ulteriormente a dura prova le risorse di acqua dolce, rendendo la produzione alimentare meno efficiente.

Cambiamenti nell'uso dell'acqua e nelle rese delle colture

I cambiamenti nelle precipitazioni e nella temperatura influenzano la disponibilità di acqua verde, che è fondamentale per l'agricoltura pluviale. Nelle regioni in cui le precipitazioni sono in calo, le colture che tradizionalmente facevano affidamento sull'acqua piovana potrebbero aver bisogno di irrigazione supplementare, aumentando la loro impronta idrica. Inoltre, le condizioni climatiche mutevoli

possono ridurre le rese delle colture, il che significa che è richiesta più acqua per unità di cibo prodotto. Questa inefficienza contribuisce a impronte idriche più elevate e a una maggiore competizione per le scarse risorse idriche. In particolare, i territori alpini e pedemontani, che dipendono dallo scioglimento delle nevi come fonte primaria di acqua, sono altamente vulnerabili agli effetti del cambiamento climatico. Queste regioni dipendono dal manto nevoso stagionale per l'acqua potabile, l'agricoltura, l'energia idroelettrica e il turismo. Tuttavia, l'aumento delle temperature e il cambiamento delle dinamiche della precipitazione stanno alterando significativamente l'accumulo di neve e i cicli di scioglimento, influenzando direttamente l'impronta idrica di vari settori.

Diminuzione della copertura nevosa e della disponibilità di acqua

Una delle conseguenze più immediate del cambiamento climatico nelle regioni alpine è la riduzione della copertura nevosa. Infatti, le temperature più elevate causano lo scioglimento anticipato delle nevi, con conseguente carenza di acqua in estate, quando la domanda è più elevata. Inoltre, la riduzione dell'accumulo di neve, ha conseguenze dirette sulla riduzione della quantità di acqua immagazzinata disponibile per il rilascio graduale nei fiumi e nelle falde acquifere. Similmente, l'aumento delle precipitazioni invernali, che si sostituiscono alle tradizionali nevicate, alterano i modelli di stoccaggio dell'acqua e i tempi di deflusso. Questo cambiamento interrompe la disponibilità stagionale di acqua, aumentando la dipendenza da fonti alternative come falde acquifere e bacini idrici, aumentando così l'impronta idrica blu delle attività che richiedono molta acqua.

Impatto sull'agricoltura e sulle esigenze di irrigazione

L'agricoltura nelle valli alpine dipende dall'acqua di disgelo della neve per l'irrigazione. Man mano che lo scioglimento della neve diventa meno affidabile, le società operanti nel campo agroalimentare dovranno utilizzare maggiormente le falde acquifere o riserve di acqua, aumentando l'impronta idrica blu delle colture. L'impronta idrica verde (uso di acqua piovana) potrebbe anche diminuire negli anni più secchi, costringendo a un passaggio a un'irrigazione più intensiva, stressando ulteriormente le risorse idriche. Come conseguenza aumenterà la dipendenza dai bacini idrici, che può, a sua volta, aumentare le perdite per evaporazione e l'impronta idrica blu.

Aumento dell'impronta idrica grigia a causa di problemi di qualità dell'acqua

Man mano che i ghiacciai si ritirano e lo scioglimento della neve diminuisce, la qualità dell'acqua potrebbe deteriorarsi a causa dei maggiori carichi di sedimenti dovuti all'erosione dei paesaggi. Inoltre, una maggiore concentrazione di inquinanti potrebbe essere dovuta a minori volumi d'acqua nei fiumi. Inoltre, il cambiamento climatico aggrava anche l'inquinamento idrico, che a sua volta influisce sull'impronta idrica grigia della produzione alimentare. Eventi di pioggia più intensi possono portare a un maggiore deflusso di fertilizzanti e pesticidi nei corpi idrici, aumentando la necessità di acqua pulita per diluire i contaminanti. Inoltre, le condizioni di siccità possono concentrare gli inquinanti nei fiumi e nei laghi, riducendo ulteriormente la disponibilità di acqua pulita per l'agricoltura e la lavorazione alimentare. Questi cambiamenti aumentano l'impronta idrica grigia, poiché è necessaria più acqua per diluire gli inquinanti a livelli sicuri.

Impatto sul bestiame e sugli alimenti trasformati

L'allevamento di bestiame ha un'impronta idrica particolarmente elevata, poiché richiede grandi quantità di acqua per la produzione di mangimi, per bere e per la lavorazione. L'aumento delle temperature e i modelli di precipitazioni alterati possono ridurre la produttività dei pascoli, portando a una maggiore dipendenza dalle colture foraggere irrigate e aumentando l'impronta idrica di carne e latticini. Inoltre, le industrie di trasformazione alimentare, che utilizzano notevoli quantità di acqua

per il lavaggio, il raffreddamento e il confezionamento, potrebbero dover affrontare impronte idriche grigie più elevate a causa della maggiore produzione di acque reflue e dell'inquinamento da deflusso agricolo.

Impatto sulla salute e la fertilità del suolo

Siccità e ondate di calore più frequenti contribuiscono al degrado del suolo, riducendo la materia organica e rendendo i terreni meno produttivi nel tempo. Le forti piogge e le inondazioni possono portare all'erosione del suolo e alla perdita di nutrienti, aumentando la necessità di fertilizzanti, il che aumenta sia i costi di produzione che l'inquinamento ambientale.

Aumento dei rischi di parassiti e malattie

Temperature più calde e livelli di umidità variabili creano condizioni favorevoli per parassiti e patogeni, minacciando colture di base come mais e grano. L'espansione dell'areale di specie invasive costringe gli agricoltori a utilizzare più pesticidi e fungicidi, aumentando i costi di produzione e sollevando preoccupazioni ambientali.

Interruzioni nella produzione di bestiame e latticini

Lo stress da calore negli animali riduce la resa del latte, l'efficienza riproduttiva e l'aumento di peso nel bestiame, portando a una minore produzione di carne e latticini. La diminuzione della qualità del pascolo dovuta a temperature più elevate e siccità prolungate costringe a passare a mangimi più costosi, con un impatto sulla redditività dell'allevamento di bovini, pollame e suini.

Volatilità dei prezzi e instabilità del mercato

Rese ridotte e interruzioni della catena di approvvigionamento contribuiscono a prezzi delle materie prime più alti e a una maggiore volatilità dei prezzi. La dipendenza da colture sensibili al clima mette a rischio economico i piccoli agricoltori, portando a instabilità nelle comunità rurali. Eventi meteorologici estremi (come uragani e siccità) interrompono le rotte commerciali globali, ritardando le spedizioni e aumentando i costi di trasporto dei mangimi (filiera della carne, del latte) e del grano (filiera del pane e della pasta).

Strategie di adattamento per le regioni alpine

Per mitigare questi impatti, il settore agroalimentare deve adottare pratiche di gestione idrica sostenibile. Tecnologie di irrigazione efficienti, come l'irrigazione a goccia e la raccolta dell'acqua piovana, possono ridurre l'impronta idrica blu. Anche il passaggio a colture resistenti al clima che richiedono meno acqua può aiutare a stabilizzare l'uso di acqua agricola. Inoltre, il miglioramento del trattamento delle acque reflue e la riduzione dell'uso di fertilizzanti possono ridurre l'impronta idrica grigia, garantendo fonti di acqua più pulite per la futura produzione alimentare. In particolare, per affrontare queste sfide, i territori alpini devono implementare politiche di efficienza idrica come una migliore gestione dello stoccaggio dell'acqua negli invasi artificiali per compensare i cambiamenti stagionali nello scioglimento delle nevi.

Fabbisogni idrici NELLA FILIERA AGROALIMENTARE

Il cambiamento climatico sta influenzando profondamente la produzione di materie prime agricole, aumentando i rischi della filiera agroalimentare, consumatori ed economie in tutto il mondo. Le misure di adattamento sostenibili sono essenziali per proteggere la sicurezza alimentare e garantire la resilienza agricola a lungo termine. La stima dei fabbisogni agricoli, attuali e futuri, richiede una adeguata conoscenza della distribuzione di aree agricole. Come descritto in precedenza, le stime modellistiche dei fabbisogni sono basate sulla disponibilità giornaliera di pioggia e sui fabbisogni evapotraspirativi delle piante, e vengono calcolati per unità di superficie coltivata per ogni singola coltura: la conoscenza dell'estensione delle aree coltivate ha un ruolo centrale nel calcolo dei volumi di fabbisogno irriguo, moltiplicando i mm/giorno stimati dal modello in m³/giorno o m³/ha/giorno.

Acqua verde e blu per la produzione delle materie prime agroalimentari

Il cambiamento climatico sta sconvolgendo sempre di più la produzione di materie prime della filiera agroalimentare, influenzando le rese delle colture, i prezzi dei prodotti alimentari e la stabilità della filiera. L'aumento delle temperature, i cambiamenti della dinamica di precipitazione ed i sempre più frequenti eventi meteorologici estremi stanno alterando le condizioni in cui vengono coltivate le principali colture alimentari e commerciali, con conseguenze economiche su tutta la filiera.

Le temperature più elevate possono ridurre la produttività delle colture, in particolare per le materie prime sensibili alla temperatura come grano, mais e riso. Lo stress da calore può portare a tassi di fotosintesi inferiori, a un riempimento ridotto dei chicchi e a una maturazione prematura. I modelli di precipitazione alterati influenzano l'agricoltura pluviale, aumentando i rischi di siccità in alcuni periodi e causando piogge eccessive e inondazioni in altri. Questa incoerenza rende la produzione agricola meno prevedibile. Inoltre, gli effetti della fertilizzazione può migliorare la crescita di alcune colture come la soia, ma questi benefici sono spesso compensati dallo stress idrico e dalle limitazioni dei nutrienti. Le regioni che sperimentano una riduzione delle risorse di acqua blu (acque superficiali e sotterranee) potrebbero avere difficoltà a sostenere l'irrigazione, aumentando i costi di produzione.

I tassi di evapotraspirazione più elevati richiedono maggiori input di irrigazione, aumentando l'impronta idrica delle materie prime e portando a una maggiore competizione per l'acqua tra agricoltura, industria e aree urbane.

Inquadramento delle aree agricole

L'area considerata nello studio si trova nella Provincia di Cuneo, ed è parte della Regione Piemonte, (Nord Italia). Storicamente, il Piemonte e la Provincia di Cuneo sono sempre state aree ricche di acqua, con un'agricoltura irrigata molto sviluppata ed articolata. Un censimento effettuato dalla Regione Piemonte descrive circa 10.000 km di canali irrigui sul territorio regionale, ai quali si possono aggiungere oltre 2000 km di condotte di irrigazione in pressione. Uno degli obiettivi di questa strategia è quello di studiare le risorse idriche della zona e l'uso dell'acqua delle diverse attività economiche, anche nel contesto del cambiamento climatico, per favorire una migliore conoscenza e capacità di adattamento nelle comunità montane. Attualmente, il cuneese manifesta problematiche di approvvigionamento irriguo, mediamente più gravi delle altre province della Regione. Ciò è dovuto principalmente al fatto che i fiumi da cui dipende provengono dal sud-ovest delle Alpi, una regione priva degli importanti ghiacciai delle Alpi settentrionali. Inoltre, la gestione del sistema di irrigazione è molto frammentata tra decine di distretti e consorzi (Figura 32), e questo non facilita la delineazione di una strategia comune per affrontare le sempre più frequenti crisi idriche. In questo contesto,

un'analisi comparativa dei fabbisogni irrigui e delle risorse idriche disponibili, oltre che dei possibili futuri scenari derivanti da cambiamenti climatici, è di sicura importanza.

Sul territorio oggetto dello studio sono attualmente presenti numerosi serbatoi artificiali per l'immagazzinamento di risorse idriche (Figura 32). Oggetto dello studio è la valutazione dell'efficacia di questi bacini e una stima di quanto le richieste idriche saranno in futuro soggette a variabilità per effetto del mutamento del clima, sia in termini di disponibilità che di richiesta a scopo irriguo. Siccome un'analisi dettagliata della componente agricola esula dal presente progetto, ai fini di valutare l'impatto dei cambiamenti climatici sull'impronta idrica, viene qui presentata l'analisi delle risorse idriche nel bacino Stura di Demonte, all'interno del quale, in un precedente progetto [38], sono stati installati degli strumenti di misura ad hoc per monitorare in continuo la copertura nevosa nelle zone montane (Comune di Limone Piemonte). Il bacino della Stura di Demonte (chiuso a Fossano) ha una superficie di 1.326,78 km², con quota massima di 3.197 m s.l.m. in corrispondenza del Monte Argentera e una quota minima di 269 m s.l.m. a Fossano. L'asta fluviale principale è lo Stura di Demonte, con uno sviluppo complessivo di circa 110 km, dalla sorgente alla confluenza in Tanaro.

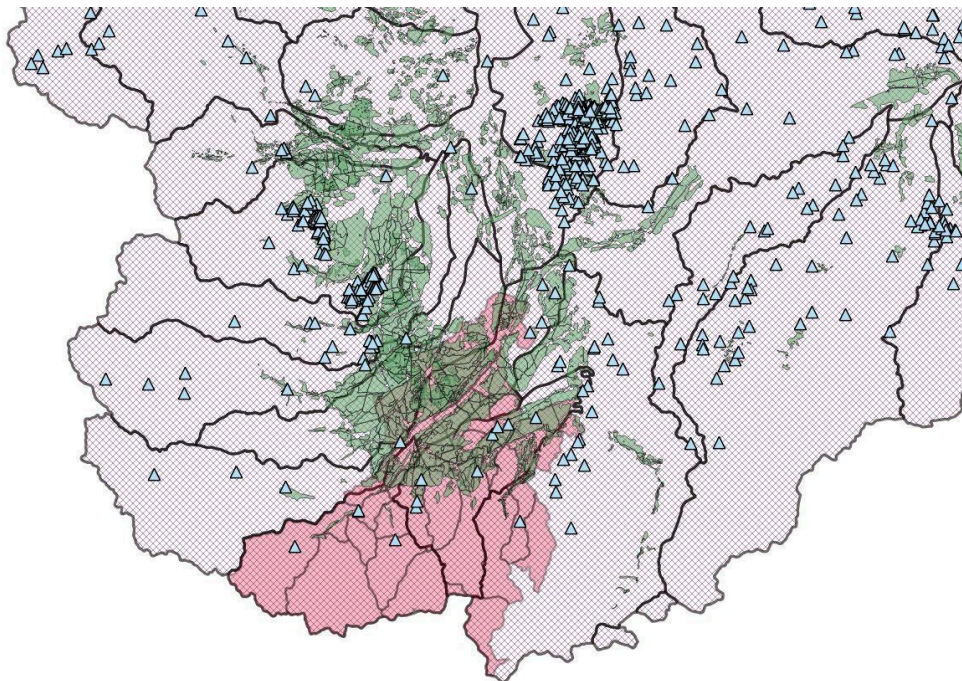


Figura 32. Area in oggetto, aree dei consorzi irrigui (verde), serbatoi artificiali di immagazzinamento dell'acqua (triangoli azzurri).

Prodotti agricoli considerati

La distribuzione delle aree agricole è stata ricostruita a partire dalle informazioni fornite dall'Anagrafe Agricola della Regione Piemonte, considerando i 28 Comuni coinvolti nello studio. L'Anagrafe Agricola raccoglie le informazioni annuali delle pratiche agricole a scala di particella catastale, consentendo di ricostruire l'estensione delle aree coltivate per tipo di coltura in ogni singolo anno, a partire dal 2015.

In Tabella 1 sono riportate le 99 classi di aree agricole descritte in Anagrafe Agricola, numerate secondo la classificazione originale.

Tabella 1. Aree agricole per colture disponibili sul catalogo dell'Anagrafe Agricola di Regione Piemonte. In rosso, le colture che non sono state considerate ai fini del calcolo dei fabbisogni irrigui (51, 82, 96: aree assunte come non irrigate; _N.D.: aree non classificate).

CLASSI COLTURE dell'Anagrafe Agricola piemontese

1. FRUMENTO TENERO E SPELTA	46. GRANTURCO IN ERBA
2. FRUMENTO DURO	47. GRANTURCO A MATURAZIONE CEROSA
3. SEGALE	48. ALTRI ERBAI MONOFITI DI CEREALI
4. ORZO	49. ALTRI ERBAI
5. AVENA	50. SEMENTI
6. GRANTURCO	51. TERRENI A RIPOSO, SENZA AIUTO
7. RISO	54. VITE
8. SORGO	55. OLIVO DA TAVOLA
9. ALTRI CEREALI	56. OLIVO PER OLIO
11. PISELLO SECCO	62. MELO
12. FAGIUOLI SECCHI	63. PERO
13. FAVA	64. PESCO
14. LUPINO DOLCE	65. NETTARINA
15. ALTRI LEGUMI SECCHI	66. ALBICOCCO
16. PATATA	67. ALTRA FRUTTA TEMPERATA
18. PIANTE SARCHIATE DA FORAGGIO	68. ACTINIDIA
20. LUPPOLO	69. ALTRA FRUTTA SUB TROPICALE
22. LINO	70. MANDORLO
23. CANAPA	71. NOCCIOLO
24. COLZA E RAVIZZONE	72. CASTAGNO
25. GIRASOLE	73. FRUTTA A GUSCIO, ALTRA
26. SOIA	74. VIVAI, FRUTTIFERI
27. ALTRE PIANTE DA SEMI OLEOSI	75. VIVAI, PIANTE ORNAMENTALI

France – Italia ALCOTRA

- | | |
|--|--|
| 28. PIANTE AROMATICHE, MEDICINALI E COND. | 76. VIVAI, ALTRI |
| 29. ALTRE PIANTE INDUSTRIALI | 77. COLTIVAZIONI LEGNOSE AGRARIE IN SERRA |
| 30. POMODORO DA MENSA | 78. ALTRE COLTIVAZIONI LEGNOSE AGRARIE |
| 31. POMODORO DA INDUSTRIA | 80. ORTI FAMILIARI |
| 32. ALTRE ORTIVE DI PIENO CAMPO | 81. PRATI PERMANENTI |
| 34. ALTRE ORTIVE IN ORTI STAB. O IND. | 82. PASCOLI |
| 36. ALTRE ORTIVE PROTETTE IN SERRA | 85. PIOPPETI |
| 38. FIORI E PIANTE ORNAMENTALI IN PIENA ARIA | 86. ALTRA ARBORICOLTURA DA LEGNO |
| 39. FIORI PROTETTI IN SERRA | 96. ALTRA SUPERFICIE NON UTILIZZATA |
| 44. ERBA MEDICA | 98. ALTRA SUPERFICIE |
| 45. ALTRI PRATI AVVICENDATI | _N.D. |

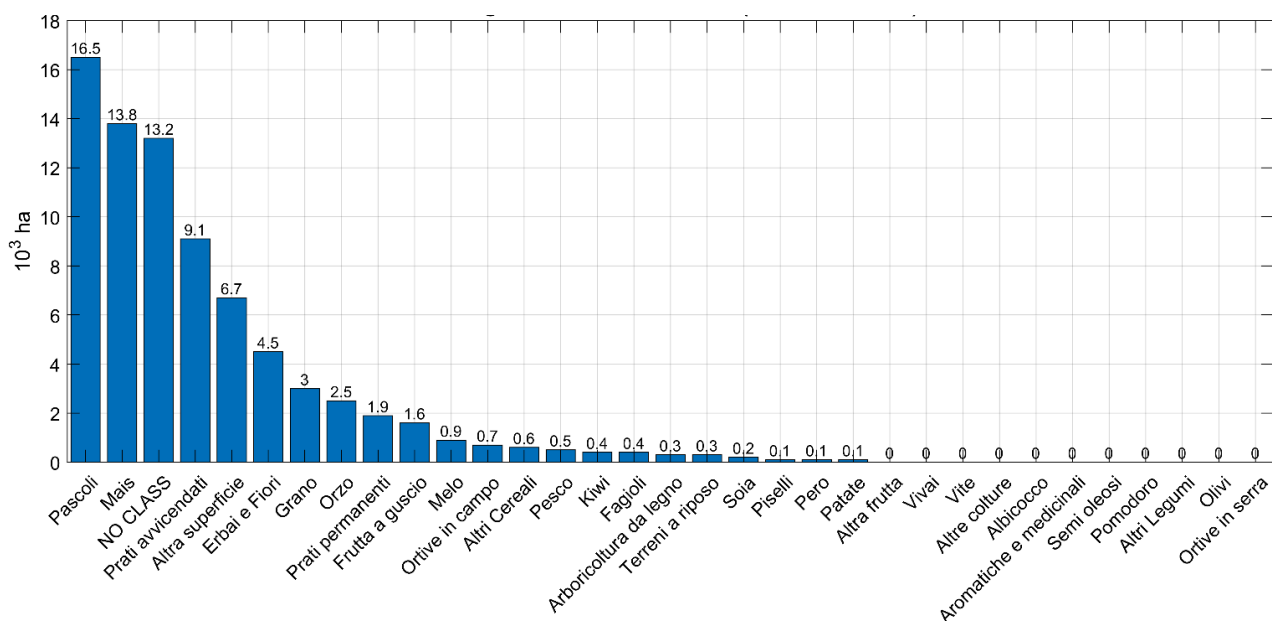


Figura 33. Ettari agricoli per tipo di coltura sull'area di studio. I valori si riferiscono alla media dal 2015 al 2021, secondo quanto dichiarato dall'Anagrafe Agricola della Regione Piemonte.

L'informazione è fornita annualmente a livello di particella catastale: ad ogni particella sono associate una o più classi di uso agricolo con relativi ettari interessati. La classificazione delle aree agricole non è quindi fissa nel tempo, ma varia di anno in anno secondo le pratiche di rotazione delle colture e di alternanza di terreni a riposo e terreni attivi.

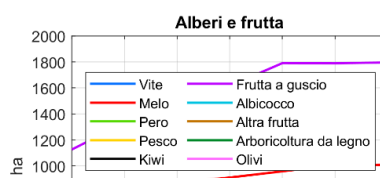
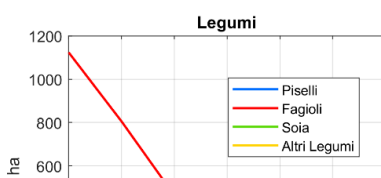
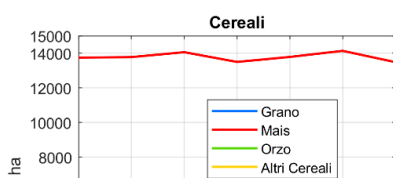


Figura 34. Variabilità annuale delle aree agricole coltivate per classi di prodotto (2015-2021)

In base ai dati dell'Anagrafe Agricola, dal 2015 al 2021 la coltura cerealicola irrigata stagionale maggiormente coltivata sull'area di studio è il mais (circa 13'800 ha/anno), come mostrato in Figura 34.

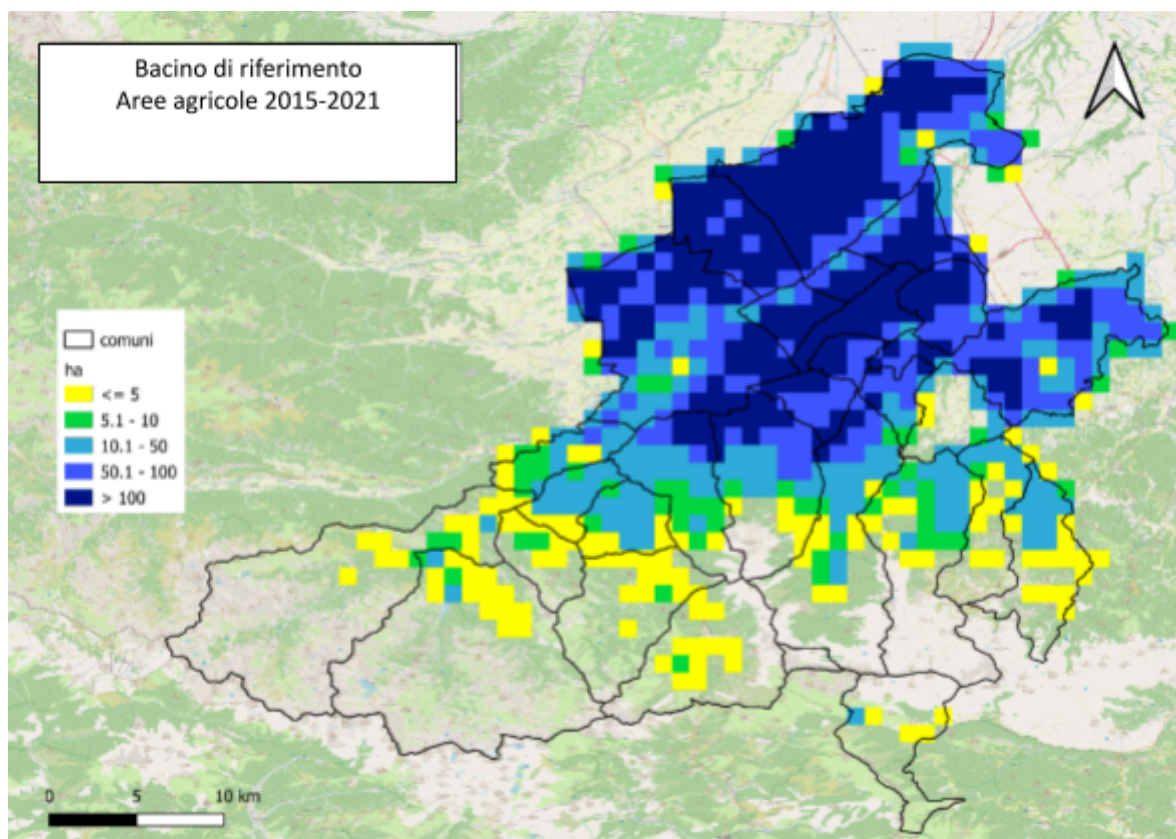


Figura 35. Mappa delle aree agricole totali (risoluzione 0.0125° x 0.0125°, circa 1 km x 1 km). Le mappe sono state prodotte per ognuna delle colture riportate in Anagrafe Agricola, dal 2015 al 2021.

Mappe a griglia delle aree agricole

I dati originali di aree agricole sono georiferiti ed assegnati alle varie particelle catastali associate ai fogli catastali dei vari Comuni, anno per anno. Data l'eterogeneità di dimensione e disposizione geometrica delle particelle catastali, i dati sono stati convertiti in griglie di pixel al fine di essere utilizzati nei modelli numerici di calcolo dei fabbisogni, mediante un processo di "rasterizzazione". Il risultato, per ogni tipologia di coltura, è una griglia di 200 x 240 pixels, alla risoluzione ~ 1 km x 1 km, contenenti valori numerici corrispondenti alla somma delle aree agricole che ricadono in ciascun pixel. Nel caso delle particelle inferiori a 1 ha, l'area agricola è stata interamente assegnata al pixel in cui ricade il baricentro della particella catastale, mentre negli altri casi l'area agricola è stata assegnata proporzionalmente ai pixels in cui ricade l'area della particella catastale. La mappa delle aree agricole è stata calcolata per ogni anno e per ogni tipo di coltivazione. Ad ogni particella

catastale sono stati assegnati gli ettari coltivati ogni anno dal 2015 al 2021, e le aree sono state aggregate in modo da produrre delle mappe grigliate di distribuzione come mostrato in Figura 35.

Modellazione dell'evapotraspirazione e dei fabbisogni irrigui

I fabbisogni idrici delle colture sull'area PITER sono stati calcolati, come descritto nei capitoli precedenti, mediante la modellazione delle necessità evapotraspirative giornaliere delle aree agricole, sulla base della metodologia proposta da FAO [12].

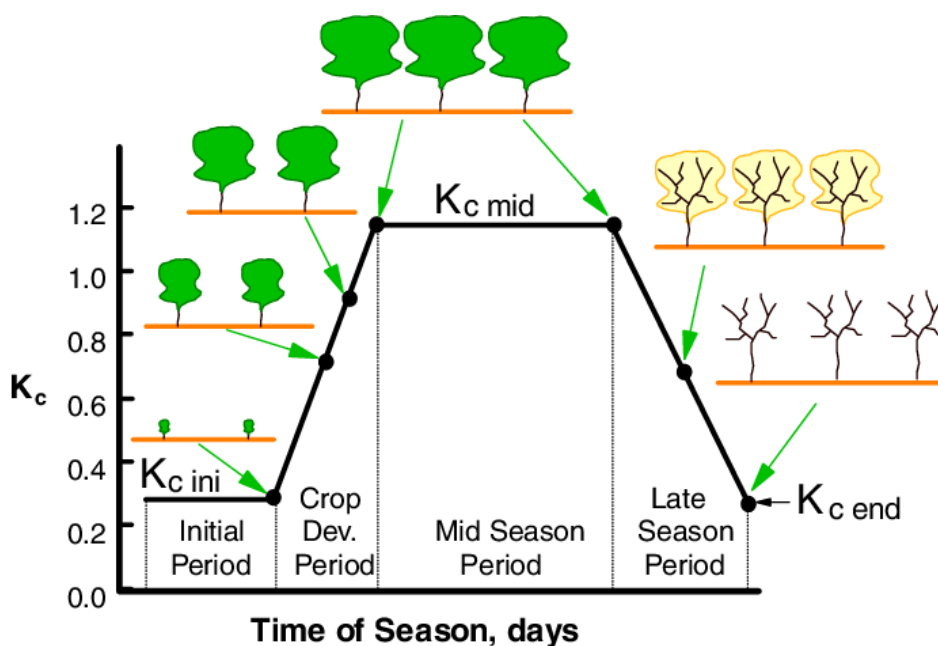


Figura 36.
 Rappresentazione schematica dell'andamento stagionale dei coefficienti colturali k_c . Nel caso delle colture perenni (e.g. alberi da frutta), questo andamento segue l'anno solare, a partire dal periodo di fioritura primaverile.

Un modello di bilancio idrico al suolo è stato utilizzato per calcolare l'evapotraspirazione effettiva delle colture [39], sulla base delle condizioni meteorologiche giornaliere, considerando gli input piovani di acqua, gli output evapotraspirativi e le perdite per infiltrazione profonda dalla zona di radicamento delle piante. L'evapotraspirazione effettiva (ET_a) è stata calcolata per tutti i giorni dal 2015 al 2021, a partire da una evapotraspirazione di riferimento (ET_0), secondo la formula proposta da FAO, i.e.

$$ET_{a,i} = ET_{0,i} \cdot k_{c,i} \cdot k_{s,i} \quad (1)$$

dove ET_0 ed ET_a sono espresse in mm/giorno, i è il generico giorno in cui si sta calcolando l'evapotraspirazione, k_c è un coefficiente adimensionale specifico della coltura e della fase di crescita (detto "coefficiente colturale", il cui andamento stagionale è schematizzato in Figura 36), e k_s è un coefficiente di stress idrico, che può variare tra 1 (condizioni di umidità sufficiente da evitare insorgere di stress nelle piante) e 0 (condizioni limite di appassimento). Il coefficiente di stress idrico k_s è calcolato secondo la seguente formula, come da metodologia FAO:

$$k_{s,i} = \begin{cases} 1 & \text{if } S_i \geq S^* \\ \frac{S_i - S_w}{(1 - \rho_i)(S_{fc} - S_w)} & \text{if } S_w < S_i < S^* \\ 0 & \text{if } S_i \leq S_w \end{cases} \quad (2)$$

dove S_i è l'umidità del suolo nello strato raggiunto dalle radici delle piante [mm] nel giorno i , S_w è l'umidità del suolo in condizioni di forte stress idrico e appassimento delle piante ("wilting point") e S^* è l'umidità del suolo in cui si manifestano i primi sintomi di stress idrico (soglia di stress caratteristica di ogni coltura, secondo le rispettive tolleranze alla carenza idrica).

Il bilancio idrico nello strato di radicamento avviene giornalmente, come somma di input ed output idrici:

$$S_{i+1} - S_i = P_i + I_i - ET_{a,i} - PS_i, \quad (3)$$

dove S_i è l'umidità del suolo nel giorno i [mm], variabile tra il limite superiore di capacità di campo e il limite inferiore di appassimento, S_{i+1} è l'umidità del suolo risultante dal bilancio giornaliero che sarà presa come valore iniziale il giorno seguente [mm]; PS_i è l'acqua piovana persa dalla zona di radicamento per effetto di infiltrazione profonda e ruscellamento; P_i è la precipitazione giornaliera [mm]; $ET_{a,i}$ è l'evapotraspirazione effettiva [mm] ed I è il fabbisogno irriguo [mm].

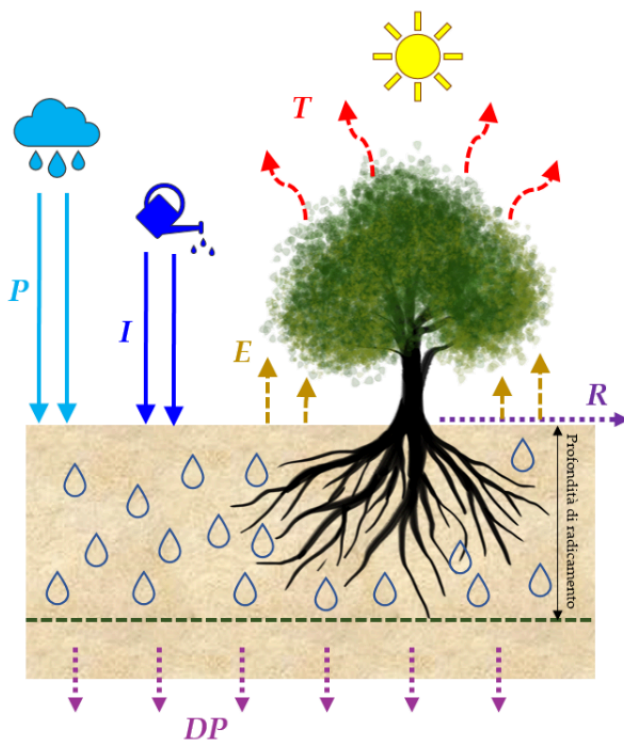


Figura 37. Schema concettuale del modello di bilancio idrico al suolo per il calcolo dei fabbisogni irrigui. I : fabbisogno irriguo; P : precipitazioni; ET : evapotraspirazione effettiva (E : evaporazione, T : traspirazione); R : ruscellamento; DP : infiltrazione profonda. Il fabbisogno I viene quantificato nel momento in cui P non è sufficiente a sopperire ET . Nel momento in cui P fosse superiore alla capacità di immagazzinamento idrico del suolo, parte dell'acqua piovana confluirebbe in ruscellamento superficiale e infiltrazione profonda.

Durante i periodi di carenza idrica, quando le precipitazioni sono scarse per frequenza, intensità o entrambe le cose, l'umidità del suolo può raggiungere livelli tali da provocare l'insorgere di condizioni di stress nelle colture. In tali periodi, il modello quantifica la quantità di acqua idealmente necessaria a sopperire giorno per giorno la carenza di precipitazioni, mantenendo l'umidità del suolo in

condizioni appena sufficienti ad evitare lo stress. Tale bilancio permette di quantificare quanto grande è l'apporto teorico di acqua da somministrare alle piante lungo la stagione agricola, confrontando i diversi periodi di crescita e diverse annate. Il **fabbisogno irriguo** così calcolato è quindi un **indicatore dell'acqua idealmente necessaria a sopperire carenze di precipitazione e consentire un perenne stato di minimo livello ottimale di umidità del suolo** tale da evitare riduzioni di evapotraspirazione e stress nelle piante. La stima di questo fabbisogno, pur non corrispondendo ad un effettivo uso giornaliero di acqua irrigua nella realtà, fornisce indicazioni utili nell'analisi delle differenze annuali e sui periodi stagionali in cui la carenza di precipitazione è maggiormente critica. La stima dei volumi di fabbisogno irriguo è stata effettuata moltiplicando i mm/giorno calcolati dal modello per ogni tipo di coltura e l'estensione delle aree agricole corrispondenti. È stato possibile in questo modo valutare l'effetto di temperature e precipitazioni sui fabbisogni idrici delle piante, al fine di comparare le serie temporali dei singoli anni, valutare l'impatto delle diverse colture sui fabbisogni totali e simulare scenari futuri in cui le precipitazioni e le temperature potrebbero seguire regimi differenti. Il calcolo dei fabbisogni idrici volumetrici ha richiesto anche la conoscenza dettagliata della distribuzione annuale di aree agricole. Il volume di fabbisogno è calcolato come prodotto delle altezze di acqua (al giorno o all'anno) di fabbisogno per le aree agricole di ogni singola coltura in una determinata porzione di territorio.

Dati meteo-climatici

L'analisi dei fabbisogni irrigui e dei regimi di portate nei corsi d'acqua è basata sulle variabili meteo-climatiche giornaliere, in particolare **precipitazioni** e **temperature** (sulle quali si basa la stima dell'evapotraspirazione di riferimento). L'ARPA Piemonte [40] fornisce misure giornaliere di precipitazioni, sia piovose che nevose, e di temperature medie, massime e minime (Figura 38)

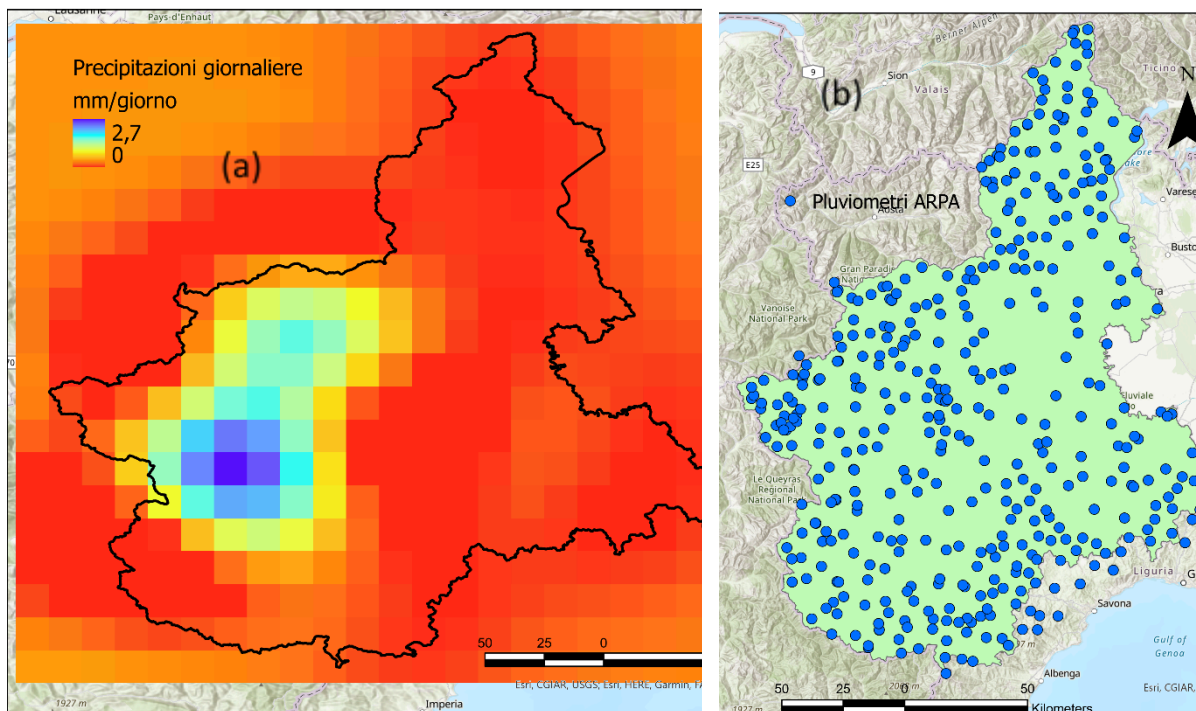


Figura 38. (a) dati grigliati giornalieri di precipitazione [mm/giorno] e temperatura massima e minima [°C] forniti da ARPA Piemonte; (b) stazioni di misura di ARPA Piemonte attive al 31/12/2021: dati giornalieri di pioggia, neve, temperatura media, massima e minima.

I dati di precipitazioni e temperature di ARPA sono stati usati per modellare i fabbisogni irrigui delle aree agricole negli anni passati e come riferimento per correggere gli scenari climatici futuri in base al contesto locale.

Risultati modellistici di fabbisogni irrigui

Le stime modellistiche sul periodo 2015-2021 hanno evidenziato che fabbisogni irrigui sull'area PITER possono variare da meno di 1'500 m³/ha/anno, in annate adeguatamente piovose, fino a oltre 3'500 m³/ha/anno in annate particolarmente siccitose (come il 2017 e il 2021). Nelle figure seguenti sono riportate le serie di fabbisogni irrigui per unità di superficie coltivata per ogni anno dal 2015 al 2021, sia in termini di valori giornalieri (Figura 39). Risulta molto evidente che la maggior parte dei fabbisogni irrigui sono richiesti dalle colture durante il periodo estivo, quando sono coltivate gran parte delle colture stagionali. Nei periodi autunnali e invernali si riscontrano sporadici e limitati periodi di richiesta irrigua, perlopiù da parte di cereali invernali. In Figura 40 e **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.** sono riportati gli analoghi andamenti giornalieri e cumulati dei fabbisogni irrigui del mais, quale esempio di coltura estiva ad elevato fabbisogno idrico.

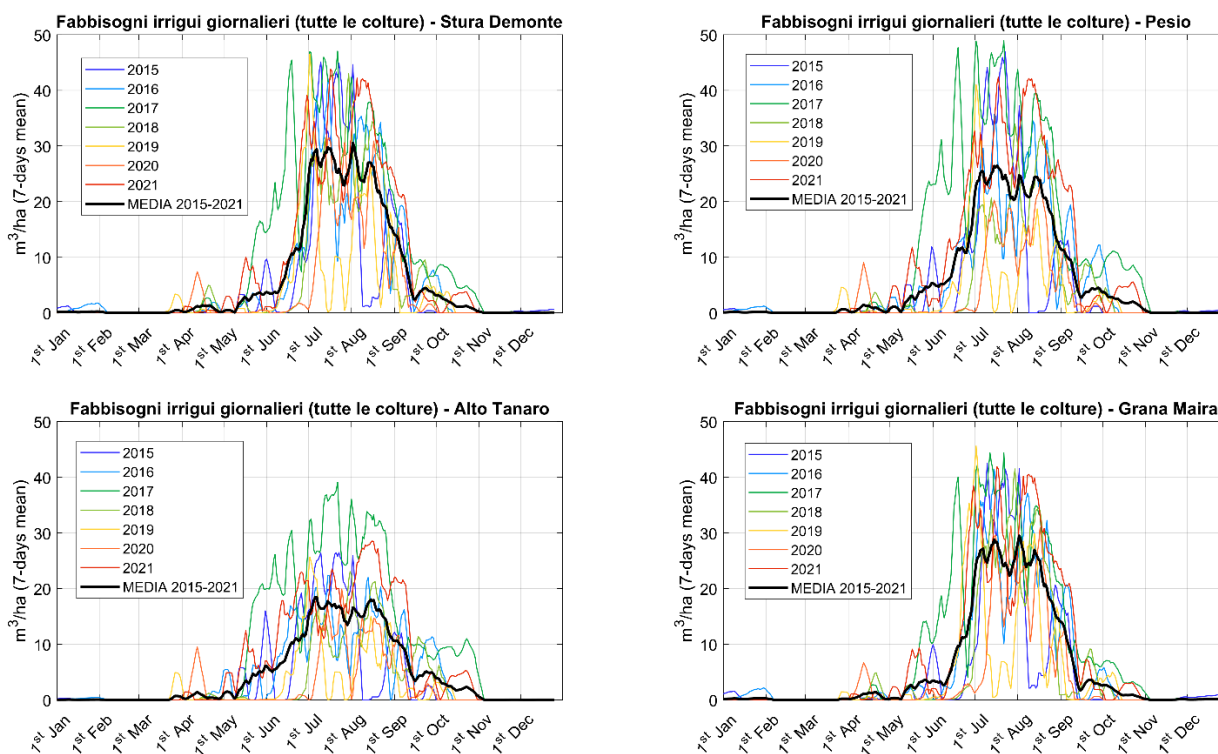


Figura 39. Fabbisogni irrigui giornalieri calcolati sui 4 bacini dell'area PITER, dal 2015 al 2021.

I fabbisogni irrigui raggiungono valori prossimi a 40 m³/ha/giorno nel periodo tra Luglio e Agosto quasi ogni anno. In annate con precipitazioni nella media, i fabbisogni irrigui vengono maggiormente richiesti nel periodo estivo, tra fine Giugno e inizio Settembre. Tuttavia, in anni siccitosi come il 2017 e il 2021 il periodo in cui sono richiesti apporti irrigui può iniziare da fine Maggio e protrarsi fino alla seconda metà di Ottobre.

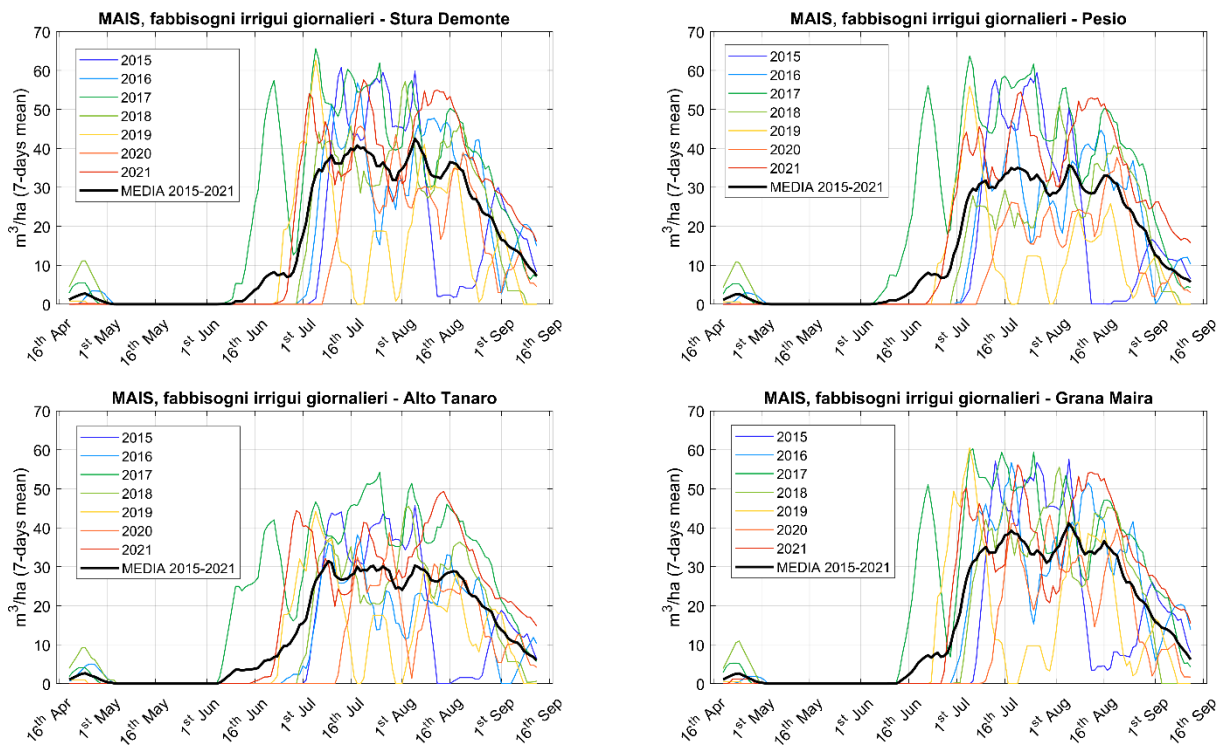


Figura 40. Fabbisogni irrigui giornalieri del MAIS, calcolati sui 4 bacini dell'area PITER, dal 2015 al 2021.

Fabbisogni irrigui per tipo di coltura

Le colture con i più alti fabbisogni irrigui sono senza dubbio i cereali e le erbe da foraggio, come riportato in Figura 41 . Il calcolo dei volumi per tipo di prodotto è poco influenzato dalla rotazione delle colture sull'area in oggetto, in quanto sebbene ogni 3-4 anni vengano localmente alternati cereali estivi, erbe da foraggio e terreni a riposo, gli ettari totali su tutta l'area sono poco variabili da un anno all'altro. I fattori che maggiormente influenzano la variabilità dei volumi di fabbisogni irrigui sono le precipitazioni (intensità e frequenza) e forzanti evapotraspirative. Nel presente studio, tutti i campi classificati come foraggere sono stati considerati potenzialmente irrigabili e quindi inclusi nel computo dei fabbisogni. Spesso, i campi occupati da erbe da foraggio sono quelli coinvolti nella rotazione delle colture oppure si tratta di vasti appezzamenti nelle zone pedemontane interamente dedicati alla produzione di foraggi. L'elevato volume di fabbisogni, in questo caso, non dipende tanto dall'elevata sensibilità delle erbe allo stress idrico ma dalle estese superfici coltivate a foraggi (da cui derivano ingenti volumi di fabbisogni).

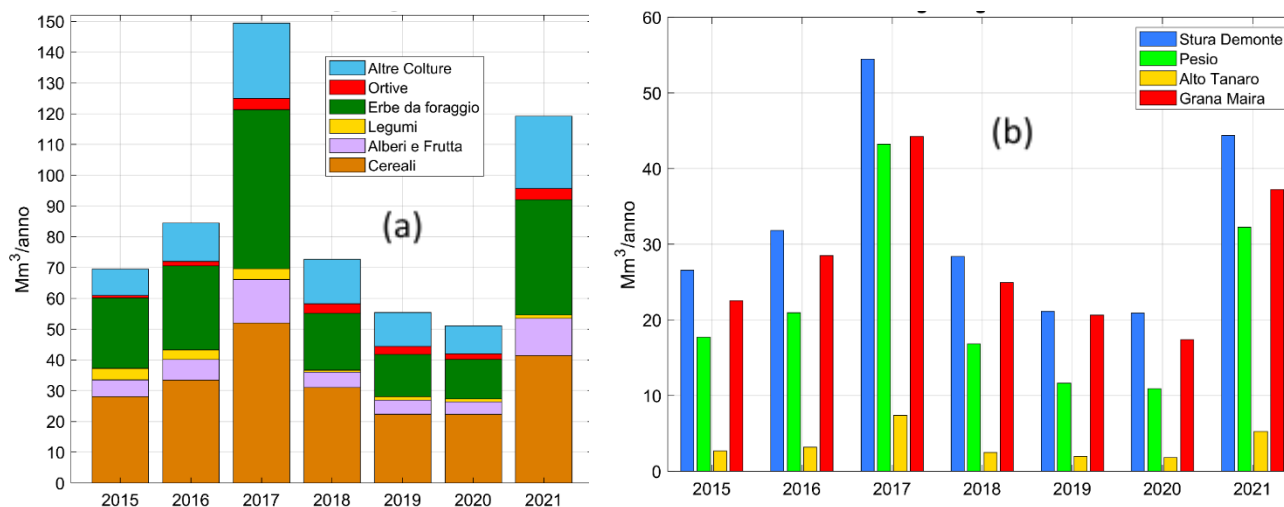


Figura 41. (a) Volumi di fabbisogni irrigui richiesti annualmente dalle varie classi di colture dell'area PITER. (b) Volumi di fabbisogni irrigui richiesti dalle aree agricole sui quattro bacini interessati dai Comuni PITER.

Confronto tra fabbisogni irrigui e risorse idriche disponibili (Demonte 2015-2021)

I fabbisogni irrigui calcolati sul bacino della Stura di Demonte sono stati confrontati con le portate medie del torrente Stura, misurate in prossimità dell'idrometro ARPA posizionato a Fossano (Figura 42a). La serie dei fabbisogni è stata mediata sul periodo 2015-2021, considerando solo i fabbisogni derivanti dalle aree agricole servite da canali irrigui che prelevano acqua dalla Stura a monte dell'idrometro di Fossano. La stazione idrometrica di Fossano sulla Stura di Demonte è attiva dal 2000 ed è tuttora funzionante. La scelta di questa stazione consente di porre la sezione di chiusura del bacino idrografico in corrispondenza di un punto strumentato attivo da oltre vent'anni; inoltre, è disponibile una lunga serie di informazioni utili dal punto di vista idrologico sul bacino della Stura di Demonte, riportate sull'Atlante dei Bacini Imbriferi Piemontesi.

In Figura 42b è riportato il confronto tra la serie dei fabbisogni irrigui medi annuali sul periodo 2015-2021 (moltiplicata per un fattore 4, al fine di considerare le inefficienze dei sistemi irrigui) e le portate giornaliere della Stura di Demonte misurate a Fossano. I fabbisogni irrigui (linea verde) rappresentano in questo caso i volumi d'acqua che sarebbe necessario prelevare dal corso d'acqua per sopperire alle esigenze idriche delle piante in situazioni di carenza di precipitazioni, tenendo conto delle inefficienze dei sistemi irrigui.

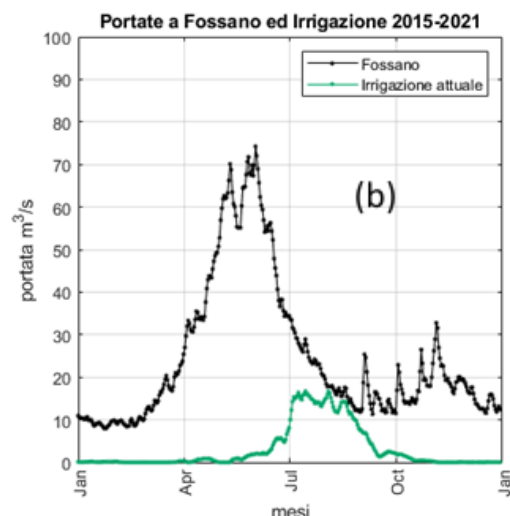
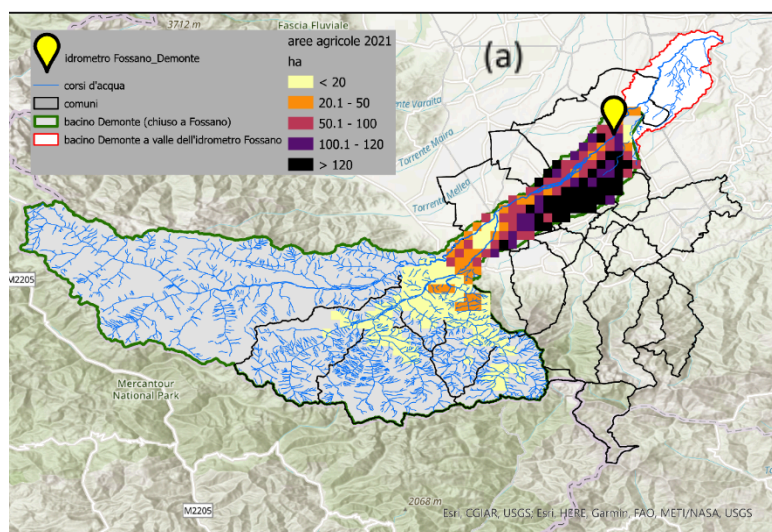


Figura 42. (a) area del Bacino Stura di Demonte su cui sono stati calcolati i fabbisogni irrigui. (b) confronto tra le portate medie della Stura di Demonte sul periodo 2015-2021 (nero) ed i volumi di fabbisogni irrigui (moltiplicati per un fattore 4 in modo da compensare l'effetto delle inefficienze irrigue), in verde.

Nel periodo invernale e primaverile le portate in fiume sono nettamente superiori ai fabbisogni irrigui, che sono prossimi allo zero. Nei mesi di Luglio e Agosto si registra invece un repentino abbassamento nelle portate giornaliere e un innalzamento dei fabbisogni irrigui: sebbene le portate derivabili siano mediamente sempre superiori ai volumi di acqua richiesti dalle colture, durante il mese di Agosto le due serie presentano scarti molto bassi. In questa fase dell'anno, le risorse idriche provenienti dalla Stura di Demonte potrebbero non essere sufficienti a soddisfare i fabbisogni in anni particolarmente siccitosi, anche considerando il volume d'acqua che è necessario mantenere nel fiume per garantire il deflusso minimo vitale.

Analisi degli impatti indotti da scenari climatici futuri

Il focus di questo lavoro riguarda inoltre lo studio degli impatti dei cambiamenti climatici sull'agricoltura nella sotto area come sopra descritto. Per questo motivo, diversi datasets di proiezioni climatiche future sono stati presi in considerazione e lo studio si è concentrato su quelli per cui è emerso un buon livello di performance nell'area del Mediterraneo e che contemporaneamente avessero una risoluzione adeguata per essere utilizzati a scala locale.

Proiezioni climatiche: dati CORDEX-EU

Ai fini del presente studio, sono stati scelti i dati del modello climatico regionale CORDEX-EU [41], scaricati dal Climate Data Store di Copernicus (CDS): tale dataset dispone di una buona risoluzione spaziale (0.11° x 0.11°), una frequenza di dati a scala giornaliera e fornisce tutte le variabili climatiche necessarie alla stima modellistica dei fabbisogni irrigui (precipitazioni e temperatura).

Tabella 2. Schema dei modelli climatici CORDEX-EU utilizzati per simulare i fabbisogni agricoli e le disponibilità idriche nelle prossime decadi, secondo gli scenari di emissione RCP 2.6 e 8.5. Le cinque proiezioni climatiche utilizzate sono ottenute combinando modelli climatici globali (GCM) e modelli regionali (RCM). (i) intervallo temporale utilizzato per comparare le stime dei modelli e i dati ARPA. (ii) intervallo temporale per cui sono state calcolate le proiezioni di fabbisogni e risorse idriche, in seguito alla correzione dei modelli climatici in base ai dati ARPA sul periodo (i).

Scenario	RCM	GCM	Intervallo temporale
RCP 2.6, 8.5	CLMcom-CCLM4-8-17	ICHEC-EC-EARTH	2006-2020 ⁽ⁱ⁾ , 2021-2055 ⁽ⁱⁱ⁾
RCP 2.6, 8.5	KNMI-RA CMO22E	ICHEC-EC-EARTH	2006-2020 ⁽ⁱ⁾ , 2021-2055 ⁽ⁱⁱ⁾
RCP 2.6, 8.5	SMHI- RCA4	ICHEC-EC-EARTH	2006-2020 ⁽ⁱ⁾ , 2021-2055 ⁽ⁱⁱ⁾
RCP 2.6, 8.5	SMHI- RCA4	NCC-NorESM1-M	2006-2020 ⁽ⁱ⁾ , 2021-2055 ⁽ⁱⁱ⁾
RCP 2.6, 8.5	KNMI-RA CMO22E	MPI-M-MPI-ESM-LR	2006-2020 ⁽ⁱ⁾ , 2021-2055 ⁽ⁱⁱ⁾

Nel presente studio, sono stati usati i dati provenienti da 5 modelli CORDEX-EU per la stima modellistica dei fabbisogni irrigui nelle prossime tre decadi, in funzione delle variabili climatiche descritte dagli scenari previsionali RCP (*Representative Concentration Pathways*) 2.6 e 8.5: secondo la nomenclatura IPCC, si tratta degli scenari climatici corrispondenti rispettivamente a condizioni di forte limitazione delle emissioni e condizioni prive di restrizioni alle emissioni. Per simulare gli scenari di fabbisogni e disponibilità idrica sull'area di studio sono stati utilizzati i dati di temperature e precipitazioni giornaliere forniti dai cinque modelli CORDEX-EU che meglio hanno dimostrato di riuscire a simulare le variabili meteo-climatiche nell'area del Mediterraneo. In Tabella 2 sono elencati i modelli climatici utilizzati, frutto di una combinazione di modelli climatici globali e regionali.

Scenari futuri di fabbisogni irrigui

I fabbisogni irrigui sulle aree agricole ricadenti nel bacino Stura di Demonte sono stati calcolati secondo i dati climatici di precipitazioni e temperature forniti da CORDEX-EU (corretti secondo quanto descritto nella sezione precedente) per il periodo 2025-2055. In e sono riportati rispettivamente i valori giornalieri e cumulati delle stime previsionali di fabbisogni irrigui, ottenuti considerando gli scenari RCP 2.6 e 8.5.

In media, le stime previsionali mostrano uno scenario di fabbisogni irrigui superiore nel caso dello scenario RCP 8.5 (i.e. scenario in cui non si adottano politiche di limitazione alle emissioni di carbonio in atmosfera). Al fine di limitare l'incertezza derivante dall'applicazione di un singolo modello, per le stime previsionali discusse nella prossima sezione sono state utilizzati valori di fabbisogni previsionali medi tra i 5 modelli CORDEX utilizzati.

Proiezioni future di stress idrico: il caso del mais

Come descritto nei precedenti capitoli, il fabbisogno irriguo è un indicatore del volume di acqua idealmente necessario a sopperire carenze di approvvigionamenti idrici da precipitazioni. Risulta quindi evidente l'applicabilità di questo indicatore nella quantificazione del livello di potenziale stress idrico di una coltura durante la stagione di crescita (o durante specifici periodi dell'anno, nel caso di colture perenni).

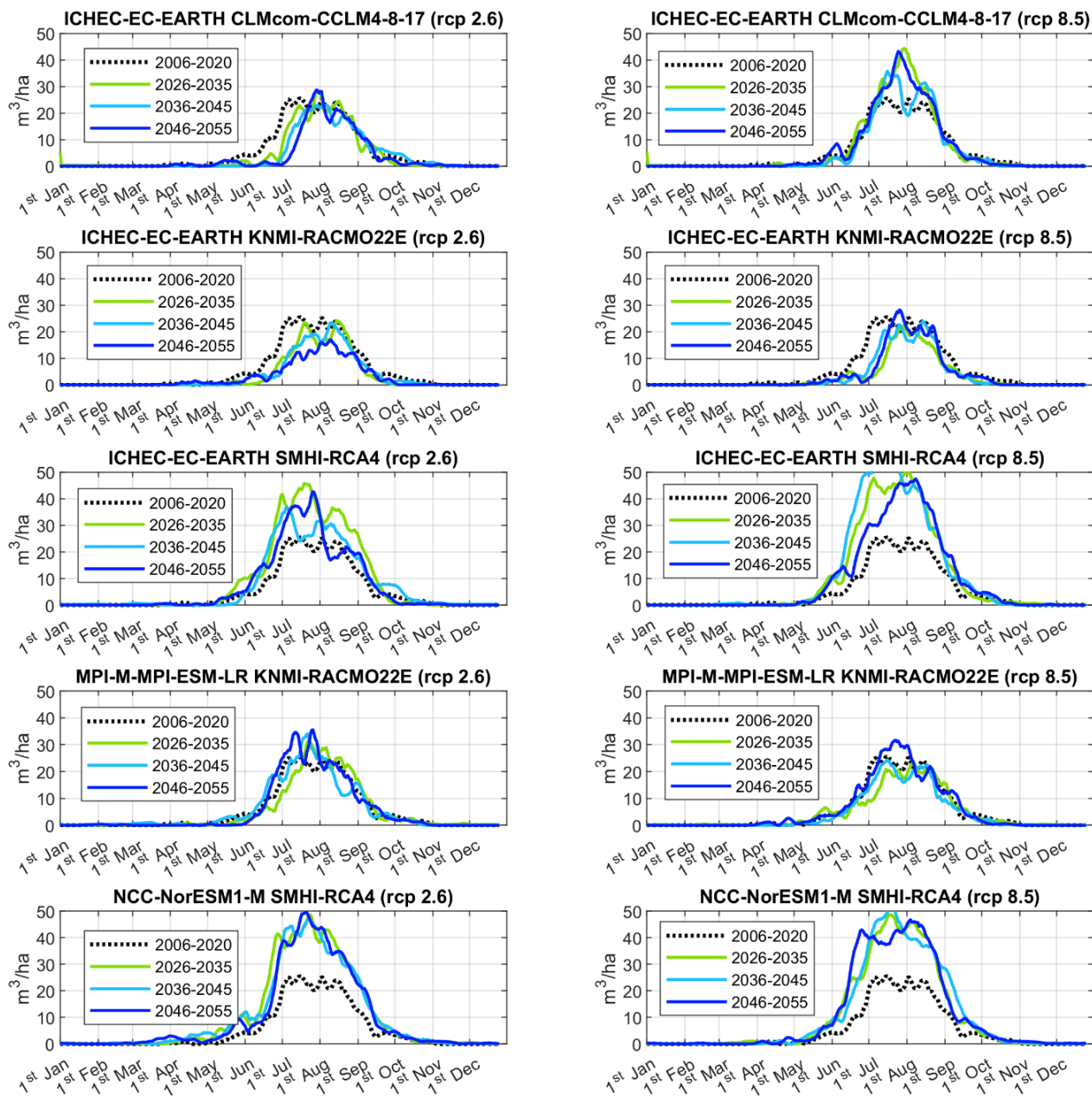


Figura 43. Scenari futuri di fabbisogni irrigui giornalieri per il bacino Stura di Demonte, calcolati usando dati climatici CORDEX-EU per le decadi 2026-2035 (verde), 2036-2045 (azzurro), 2046-2055 (blu). La linea nera tratteggiata indica l'andamento giornaliero dei fabbisogni irrigui medi, calcolati per la medesima area sul periodo 2006-2020.

Le proiezioni future di fabbisogni irrigui sono utili per analizzare le variazioni attese di frequenza ed intensità dello stress idrico associato alle diverse colture. In questa sezione, il caso del mais è preso ad esempio per illustrare le variazioni stimate di stress idrici associate a cereali di largo consumo che richiedono ingenti volumi irrigui.

In Figura 44 sono rappresentati gli scenari futuri di stress idrici associati al mais, espressi mediante il numero di giorni per stagione di crescita in cui il **coefficiente di stress idrico** k_s (introdotto nel capitolo sulla metodologia di modellazione dei fabbisogni) assume valori minori di 1 (tenendo conto dei soli apporti idrici da pioggia). Valori via via minori di 1 indicano condizioni di potenziale stress sempre più intenso (n.b. al valore 0 si assume che la pianta incorra in condizioni limite di appassimento).

Nel caso in cui le condizioni future fossero allineate a quanto previsto nello scenario RCP 8.5, le stime mostrano un progressivo e considerevole incremento dei giorni di stress idrico stagionale nel range 0.4-0.5, ovvero stress severo (con potenziali compromissioni quantitative e qualitative del prodotto coltivato).

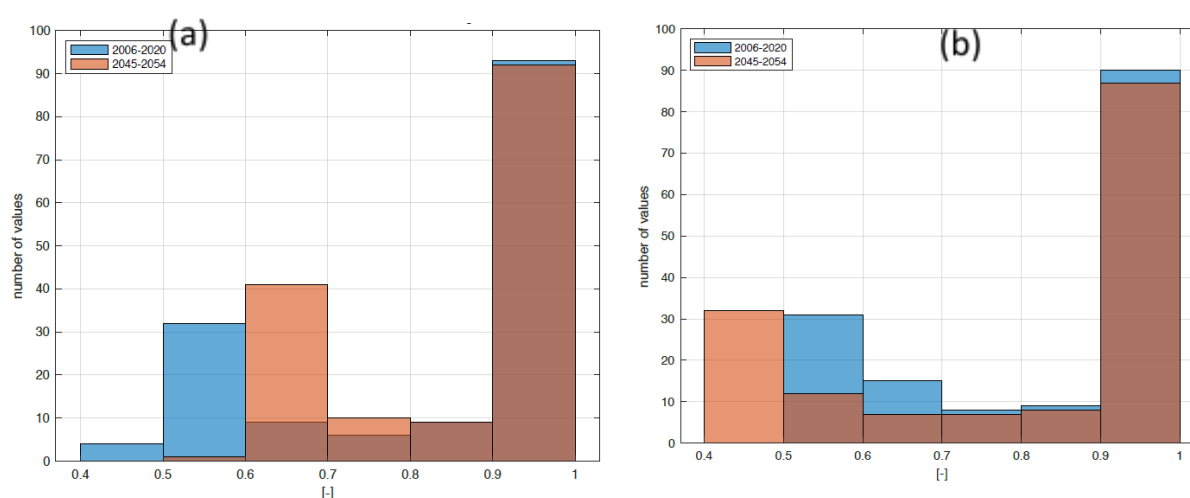


Figura 44. Situazione attuale (2006-2020, blu) e scenari futuri (2045-2054, arancio) di stress idrico stagionale associato al mais: distribuzione di frequenza dei valori giornalieri del coefficiente di stress idrico, lungo la stagione di crescita del mais. (a) scenari previsionali RCP 2.6; (b) scenari previsionali RCP 8.5.

Scenari futuri: fabbisogni irrigui e risorse idriche disponibili

I dati previsionali di temperature e precipitazioni sono stati usati per simulare i fabbisogni irrigui e le portate dell'area in oggetto, in modo da confrontate lo stato attuale descritto in Figura 42 con gli scenari futuri, frutto delle proiezioni climatiche per le prossime decadi.

Dal confronto in Figura 45a, è ragionevole ipotizzare che i fabbisogni irrigui siano destinati a crescere progressivamente nei mesi estivi delle prossime decadi, fino ad eguagliare (o superare) i livelli di acqua disponibili nella Stura di Demonte. Le medie sul periodo 2030-2050 sono state ottenute sfruttando le proiezioni climatiche dei cinque modelli CORDEX selezionati, e quindi simulando portate e fabbisogni irrigui: la linea nera è la media delle simulazioni di portata ottenute dai cinque modelli CORDEX per lo scenario RCP 8.5, mentre la linea verde è l'analoga media dei fabbisogni irrigui. In Figura 45a sono riportati i confronti di portate e fabbisogni attesi per la decade 2030-2050, mostrando oltre alle serie medie i diversi output ottenuti utilizzando i cinque modelli CORDEX: secondo alcune stime modellistiche, in parte del mese di Agosto i fabbisogni potrebbero essere superiori alle portate della Stura di Demonte di oltre il 40%. Da questo confronto risulta evidente

come, in assenza di forti limitazioni alle emissioni di gas serra che possano deviare lo scenario futuro da quello descritto come RCP 8.5, i fabbisogni irrigui saranno sempre più frequentemente comparabili o superiori alle massime portate d'acqua disponibili nei corpi idrici superficiali nell'area in oggetto.

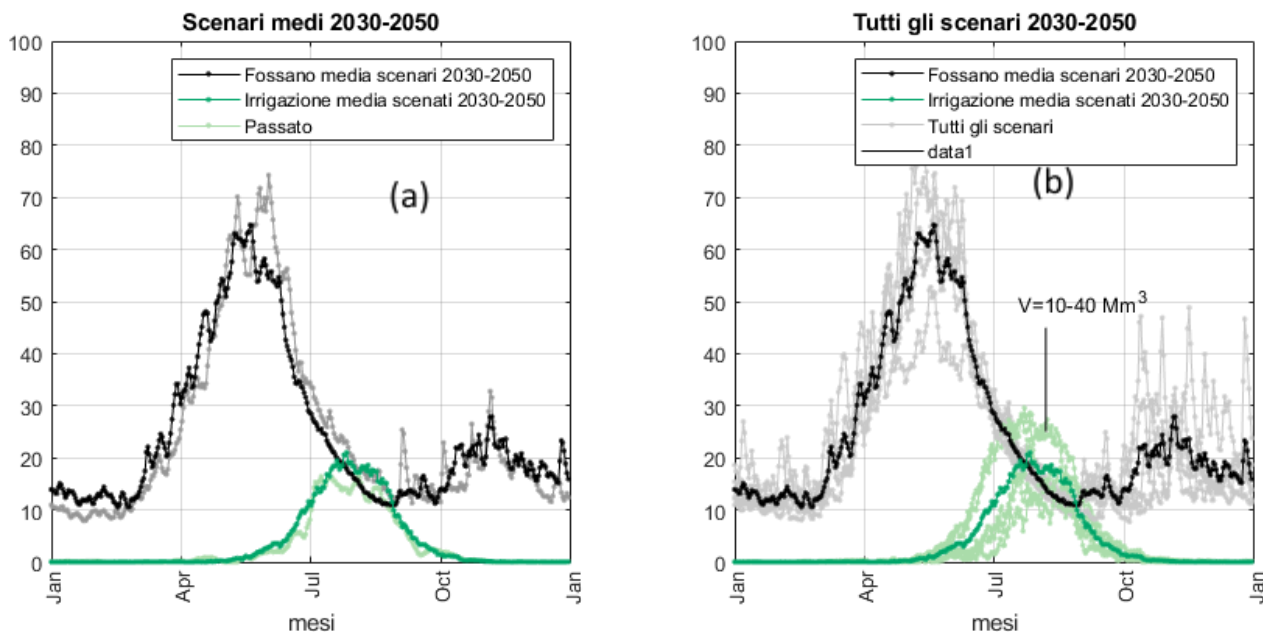


Figura 45. Scenari futuri di fabbisogni irrigui e di portate nel torrente Stura di Demonte (scenario RCP 8.5). (a) confronto tra ma le serie medie sul periodo 2015-2021 e le medie ottenute dai modelli previsionali per il periodo 2030-2050. (b) media degli scenari futuri (fabbisogni e portate) e confronto con i risultati ottenuti dai ognuno dei 5 modelli previsionali CORDEX.

In termini di giorni/anno di fabbisogno irriguo, Figura 46 mostra i trend degli scenari futuri di giorni di pioggia e giorni di fabbisogno irriguo durante la stagione del mais (da Aprile a Ottobre). Il confronto tra gli scenari mostra che nel caso RCP 2.6 ci si aspetta che i giorni di pioggia aumenteranno e che il trend di giorni di fabbisogno sia negativo. Viceversa, nello scenario 8.5 le proiezioni indicano una progressiva diminuzione della frequenza di precipitazioni e un aumento in quella dei fabbisogni irrigui nella stagione del mais.

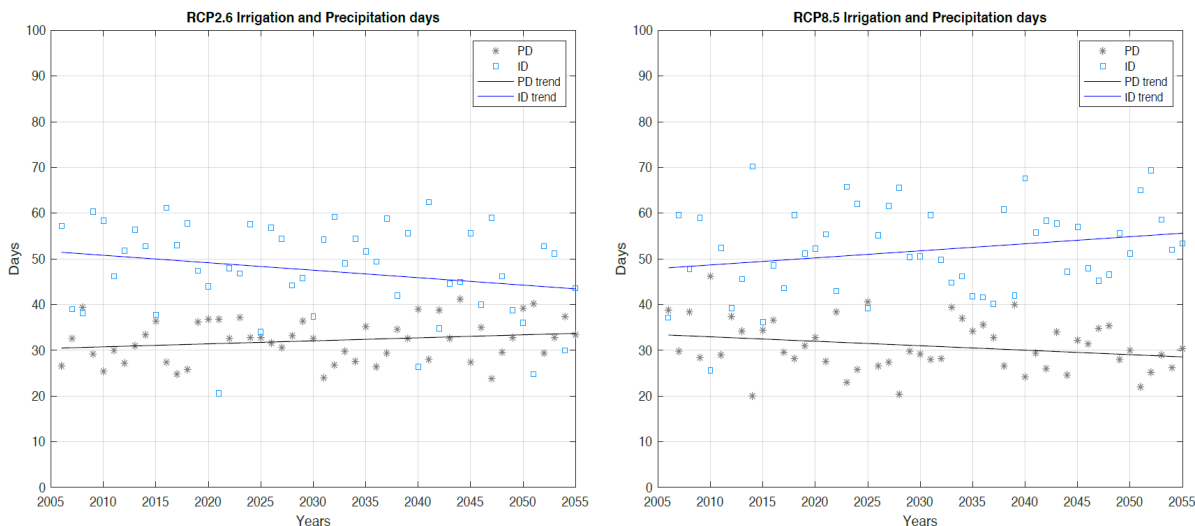


Figura 46. Trend di giorni di pioggia e giorni di fabbisogno irriguo, secondo le proiezioni CORDEX fino al 2055. Confronto degli scenari RCP 2.6 e 8.5.

Scenari futuri: acqua dalle falde

Nel 2022, la prolungata mancanza di precipitazioni ha portato a una ridotta ricarica delle falde acquifere nella zona alpina piemontese e francese del sud est. L'analisi dei dati storici dal 1959 al 2022 indica che tali deficit possono ridurre significativamente la quantità di acqua di falda disponibile per l'approvvigionamento potabile, colpendo fortemente tutta la filiera Agroalimentare. Infatti, buona parte degli acquiferi dell'area montana di interesse sono molto vulnerabili alle crisi climatiche, sia che si tratti di sorgenti minori lungo i versanti, sia di importati emergenze carsiche. Gli acquiferi posti nei principali fondovalle, anch'essi vulnerabili, risentono a loro volta dei tipi di attività economica che insistono in superficie o nei bacini idrogeologici o idrologici di ricarica. Il cambiamento climatico sta influenzando significativamente le risorse idriche sotterranee nell'area in oggetto, causando un abbassamento delle falde acquifere. Questo fenomeno è attribuibile a diversi fattori quali, a) la diminuzione delle precipitazioni nevose: La riduzione delle nevicate comporta una minore ricarica delle falde, poiché la neve che si scioglie lentamente contribuisce in modo significativo all'infiltrazione dell'acqua nel sottosuolo. Con meno neve, l'apporto alle falde diminuisce, riducendo la disponibilità di acqua sotterranea, b) Aumento delle temperature e dell'evapotraspirazione: L'incremento delle temperature globali provoca un aumento dell'evapotraspirazione, ovvero la combinazione dell'evaporazione dell'acqua dal suolo e la traspirazione delle piante. Questo processo riduce l'umidità del suolo e la quantità di acqua disponibile per l'infiltrazione nelle falde acquifere, c) Variazioni nelle precipitazioni: I cambiamenti climatici alterano i modelli di precipitazione, causando periodi di siccità più frequenti e intensi. In Piemonte, dal 2017 si sono verificate situazioni di deficit idrico quasi ogni anno, con una diminuzione delle precipitazioni del 20% nel periodo 1991-2022 rispetto al 1921-1950. Questa riduzione delle piogge limita la ricarica naturale delle falde acquifere, d) Aumento dei prelievi idrici: Durante i periodi di siccità, l'agricoltura e altri settori aumentano l'estrazione di acqua dalle falde per compensare la carenza superficiale. Questo sovrasfruttamento contribuisce all'abbassamento dei livelli delle falde acquifere, aggravando la situazione. La diminuzione dei livelli delle falde può portare all'essiccamento di pozzi e sorgenti, riducendo la disponibilità di acqua nella filiera agroalimentare che fortemente dipende dall'acqua sotterranea. Per contrastare questi effetti, è fondamentale implementare pratiche di gestione sostenibile delle risorse idriche, come l'uso efficiente dell'acqua in agricoltura, la protezione delle zone di ricarica delle falde e l'adozione di tecnologie per il risparmio idrico. Inoltre, i consorzi irrigui svolgono un ruolo cruciale nell'adattamento e nella mitigazione degli effetti del cambiamento climatico, investendo in infrastrutture e strategie sostenibili per il futuro. Il cambiamento climatico sta esercitando una pressione significativa sulle falde acquifere nell'area di interesse del progetto. È essenziale adottare misure integrate e sostenibili per preservare queste risorse vitali e garantire la resilienza del territorio di fronte alle sfide climatiche future.

Conclusioni

Da quanto presentato in questo report, si prevede che il cambiamento climatico inciderà in modo significativo sull'impronta idrica dei prodotti agroalimentari nell'area di interesse a causa dell'aumento delle temperature, dei cambiamenti della dinamica della precipitazione e degli eventi meteorologici estremi più frequenti. In particolare, il cambiamento climatico aumenterà l'impronta

idrica dei prodotti agroalimentari, soprattutto aumentando le esigenze di irrigazione e riducendo l'affidabilità delle precipitazioni. Le strategie di adattamento, come un'irrigazione efficiente, colture resistenti alla siccità e una migliore gestione delle risorse idriche, saranno fondamentali per mantenere la sostenibilità agricola di fronte al cambiamento climatico.

I principali fattori che impatteranno l'impronta idrica sono:

1. Aumento della domanda di acqua per l'irrigazione: L'aumento delle temperature e le siccità prolungate porteranno a tassi di evapotraspirazione più elevati, il che significa che le colture richiederanno più irrigazione. Ciò aumenterà l'impronta idrica blu anche dove l'agricoltura dipende già dalle falde acquifere. Le colture ad alto consumo di acqua come riso, mais e frutteti saranno particolarmente colpite.
2. Diminuzione della disponibilità di acqua verde: Le precipitazioni ridotte e irregolari diminuiranno la disponibilità di acqua verde per l'agricoltura pluviale, costringendo gli agricoltori a passare a pratiche agricole più dipendenti dall'irrigazione. Questo cambiamento potrebbe rendere alcune colture insostenibili in alcune aree, alterando i paesaggi agricoli tradizionali.
3. Maggiore competizione per le risorse idriche: La scarsità d'acqua porterà a conflitti tra gli utilizzatori agricoli, industriali e domestici. In particolare, vigneti e cereali potrebbero soffrire di una limitata disponibilità di irrigazione, con conseguenti rese ridotte e qualità inferiore.
4. Cambiamenti nell'idoneità delle colture e nelle pratiche agricole: gli agricoltori potrebbero dover adattare le scelte delle colture per adattarsi alle mutevoli condizioni climatiche. Le colture tradizionali come grano, mais, e uva potrebbero avere difficoltà nelle loro regioni attuali, mentre altre colture resistenti alla siccità (ad esempio, sorgo, ceci) potrebbero diventare più praticabili.
5. Aumento dell'impronta idrica grigia a causa dell'inquinamento: il cambiamento climatico può portare a forti piogge e inondazioni più frequenti, che trasportano pesticidi e fertilizzanti nei fiumi e nei laghi, aumentando l'impronta idrica grigia. L'inquinamento delle acque limiterà ulteriormente le risorse di acqua pulita disponibili.
6. Maggiore dipendenza dalle falde acquifere: Con precipitazioni meno affidabili, gli agricoltori potrebbero estrarre più acqua dalle falde acquifere, abbassando le falde acquifere. Ciò aumenterà l'impronta idrica blu e impoverirà le risorse idriche non rinnovabili. L'industria agroalimentare è fortemente dipendente dalla disponibilità di risorse idriche, sia per la produzione agricola che per i processi di trasformazione. Il cambiamento climatico aggraveranno il problema dell'abbassamento delle falde acquifere, mettendo a rischio la sostenibilità del settore.
7. La scarsità della risorsa idrica comporterà: a) aumento dei costi di produzione dovuto alla necessità di captare acqua da fonti più profonde o trattare le acque reflue, b) riduzione delle rese agricole, con un impatto sulla quantità e qualità delle materie prime disponibili per la trasformazione, c) restrizioni e limitazioni nell'uso dell'acqua, imposte dalle autorità locali durante i periodi di crisi idrica, che possono rallentare la produzione e compromettere la filiera agroalimentare, d) difficoltà nella sicurezza alimentare, poiché la mancanza di acqua può influenzare la salubrità e la qualità dei prodotti trasformati.

Interreg



Cofinancié par
l'Union Européenne
Cofinanziato
dall'Unione Europea

goccia
agoccia

France – Italia ALCOTRA



CAMERA DI COMMERCIO
CUNEO



CAMERA DI COMMERCIO
RIVIERE DI LIGURIA
IMPERIA LA SPEZIA SAVONA



Politecnico
di Torino



Bibliografia

(s.d.). (International Foundation Big Data and Artificial Intelligence for Human Development)

Récupéré sur <https://www.ifabfoundation.org/2022/06/10/2022-european-drought/>

(s.d.). Récupéré sur

<https://www.arpa.piemonte.it/rischinaturali/tematismi/clima/confronti-storici/dati/dati.html>

(s.d.). Récupéré sur

<https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/projections-Cordex-domains-singlelevels?tab=form>

A. AghaKouchak, A. M. (2021). Anthropogenic drought: Definition, challenges, and opportunities. . *Rev. Geophys.*

Allen, R. G. (1998). *Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements, FAODrainage and Irrigation*. Rome: Food and Agriculture Organization.

B. I. Cook, J. E.-H. (2022). , Megadroughts in the Common Era and the Anthropocene. *Nat. Rev. Earth Environ.* .

Bulletin, J. M. (2022). *Crop monitoring in Europe. Vol. 30 No 3, 21 March 2022*. EU.

Cao, X. B. (2023). Unravelling the effects of crop blue, green and grey virtual water flows on regional agricultural water footprint and scarcity. *Agric. Water Manag.*

Chapagain, A. K. (2004). *Value of Water Research Report Series No.16, UNESCO-IHE*.

Récupéré sur [www. waterfootprint.org/Reports/Report16Vol1.pdf](http://www.waterfootprint.org/Reports/Report16Vol1.pdf)

Chapagain, A. K. (2006). The water footprint of cotton consumption: An assessment of the impact of worldwide consumption of cotton products on the water resources in the cotton producing countries. *Ecological Economics*.

Chelli, G. (2023). Po river drought in 2022 was the worst of the last two centuries. *Nature Italy*.

Clifford, C. (2022). “Italy has declared a state of emergency because of drought: ‘There is no doubt that climate change is having an effect,’ the prime minister said” .

D. Faranda, S. P. (2023). Persistent anticyclonic conditions and climate change exacerbated the exceptional 2022 European-Mediterranean drought. *Environ. Res. Lett.*

D. Peña-Angulo, S. M.-S.-C. (2020). Long-term precipitation in South western Europe reveals no clear trend attributable to anthropogenic forcing. *Environ. Res. Lett.*

dell'Alimentazione, M. d. (s.d.). <https://agreste.agriculture.gouv.fr/>.

Doorenbos, J. a. (1979). *Yield response to water, FAO Drainage and Irrigation*. Rome: FAO.

Drought: Piedmont water reserves exhausted says official. (2022). *ANSA English*.

Falkenmark, M. (2023). Freshwater as shared between society and ecosystems: from divided approaches to integrated challenges. *Philosophical Transaction of the Royal Society of London*.

Falkenmark, M. a. (2004). *Balancing Water for Humans and Nature: The New Approach in Ecohydrology*. London: Earthscan.

FAO. (2010). (FAOSTAT database)

FAO. (2010). www.fao.org/nr/water/infores_databases_cropwat.html. (CROPWAT 8.0 model)

FORÊT, M. D. (2024). *L'essentiel de l'agriculture régionale*.

- H. Hisdal, K. S. (2001). Have streamflow droughts in Europe become more severe or frequent? *Int. J. Climatol.*
- Hendy CRC, K. U. (1995). *Livestock and the environment finding a balance: Interactions between livestock production systems and the environment, Impact domain: concentrate feed demand.*
- Hoekstra AY, C. A. (2011). *The water footprint assessment manual: Setting the global standard.* London: Earthscan.
- Hoekstra, A. Y. (2002). *Virtual water trade: Proceedings of the International Expert Meeting on Virtual Water Trad.* Delft, Netherlands: UNESCO-IHE.
- Hoekstra, A. Y. (2003). *Virtual water trade: Proceedings of the International Expert Meeting on Virtual Water Trade.* Delft, The Netherlands: Water Research Report Series No. 12, UNESCO-IHE.
- Hoekstra, A. Y. (2008). *Globalization of water: Sharing the planet's freshwater resources.* Oxford, UK: Blackwell Publishing.
- Hoekstra, A. Y. (2008). *Globalization of Water: Sharing the Planet's Freshwater Resources.* Oxford: Blackwell Publishing.
- Hoekstra, A. Y. (2008). *Globalization of Water: Sharing the Planet's Freshwater Resources.* Oxford: Blackwell Publishing.
- Hoekstra, A. Y. (2011). *The water footprint assessment manual: Setting the global standard.* London, UK: Earthscan.
- Hoekstra, A. Y. (2019). Green-blue water accounting in a soil water balance. *Adv. water Resour.*

Hoekstra, M. M. (2012). A Global Assessment of the Water Footprint of Farm Animal Products. *Ecosystems*.

ISPRA. (s.d.). *Lo stato di severità idrica a scala nazionale*. Récupéré sur https://www.isprambiente.gov.it/pre_meteo/idro/SeverIdrica.html

J. Spinoni, J. V. (2018). Will drought events become more frequent and severe in Europe? *Int. J. Climatol*.

Liu, J. G. (2007). GEPIC: Modelling wheat yield and crop water productivity with high resolution on a global scale. *Agricultural Systems*.

Liu, J. G. (2007). GEPIC: Modelling wheat yield and crop water productivity with high resolution on a global scale. *Agricultural Systems*.

Marston, L. &. (2017). Drought impacts to water footprints and virtual water transfers of the Central Valley of California. *Water Resour. Res*.

Marta Tuninetti, S. T. (2015). Marta Tuninetti, Stefania Tamea, Paolo D'Odorico, Francesco Laio, Luca Ridolfi. *Water resources research*.

Mastrotheodoros, T., Pappas, C., Molnar, P., Burlando, P., Manoli, G., Parajka, J., . . . Fatichi, S. (2020). More green and less blue water in the Alps during warmer summers. *Nat. Clim. Chang*.

Mekonnen MM, H. A. (2010). A global and high-resolution assessment of the green, blue and grey water footprint of wheat. *Hydrol Earth Syst Sci*.

Montanari, A. (2023). Why the 2022 Po River drought is the worst in the past two centuries. *Science Advances*.

- Organization), F. (. (2003). *Technical conversion factors for agricultural commodities*.
Récupéré sur [www.fao.org/fileadmin/templates/ess/
documents/methodology/tcf.pdf](http://www.fao.org/fileadmin/templates/ess/documents/methodology/tcf.pdf)
- P. Mehta, S. S. (2022). Global Area Equipped for Irrigation Dataset 1900-2015. *Zenodo*.
- Poggi D., S. T. (2021). *PROGRAMMA INTERREG VA ALCOTRA 2014-2020 – PITER ALPIMED – Progetto n. 4945 ALPIMED CLIMA*.
- Ponce-Oliva, R. D.-L. (2021). Water use and climate stressors in a multiuser river basin setting: Who benefits from adaptation? *Water Resour. Manag.*
- Portmann, F. T. (2010). MIRCA2000 – Global monthly irrigated and rainfed crop areas around the year 2000: A new high-resolution data set for agricultural and hydrological modeling. *Global Biogeochemical Cycles*.
- Rockström, J. (2001). Green water security for the food makers of tomorrow: Windows of opportunity in drought-prone savannahs'. *Water Science and Technology*.
- Rost, S. G. (2008). Agricultural green and blue water consumption and its influence on the global water system. *Water Resour. Res.*
- Siccità in Piemonte: la situazione delle falde*. (s.d.). Récupéré sur <https://www.arpa.piemonte.it/notizia/siccita-piemonte-situazione-delle-falde>
- Siebert, S. a. (2010). Quantifying blue and green virtual water contents in global crop production as well as potential production losses without irrigation. *Journal of Hydrology*.
- Vanessa Novoa, C. R.-R.-S. (2024). A temporal analysis of the consequences of the drought regime on the water footprint of agriculture in the Guadalupe Valley, Mexico. *Scientific Reports*.

Watson RT, Z. M. (1998). *The Regional Impacts of Climate Change: An Assessment of Vulnerability*. Cambridge: Cambridge University Press.

Williams, J. R. (1995). The EPIC model', in V. P. Singh (ed) *Computer Models of Watershed Hydrology*. Water Resources Publisher.

WWAP (World Water Assessment Programme). (2009). *The United Nations World Water Development Report 3: Water in a Changing World*. London: UNESCO Publishing.

Z. Huang, M. H. (2018). Global gridded monthly sectoral water use dataset for 1971-2020. *Zenodo*.

Zisopoulou, K. &. (2021). An in-depth analysis of physical blue and green water scarcity in agriculture in terms of causes and events and perceived amenability to economic interpretation. *Water* .

Interreg



Cofinancé par
l'Union Européenne
Cofinanziato
dall'Unione Europea

goccia a goccia

France – Italia ALCOTRA



CAMERA DI COMMERCIO
CUNEO



CAMERA DI COMMERCIO
RIVIERE DI LIGURIA
IMPERIA LA SPEZIA SAVONA

