



Funded by
the European Union



ERASMUS+
2025-1- TR01-KA220-HED-00000362153

**INCREASING KNOWLEDGE AND AWARENESS WITH APPROPRIATE CHANGES IN THE
UNIVERSITY CURRICULUM TO ENSURE SUSTAINABILITY OF REDUCING THE WATER
FOOTPRINT RESULTING FROM MARITIME ACTIVITIES**

WP2: LECTURE NOTES
IEA - ITALY
Sep-Oct 2026

Lesson 5 - Water Footprints



**KARADENİZ
TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**
KARADENİZ TECHNICAL UNIVERSITY
1955



**University of
Zagreb**



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
UNIVERSITY OF CRETE



**ASS. ISTITUTO
ECOAMBIENTALE**



Funded by
the European Union



ERASMUS+
2025-1- TR01-KA220-HED-00000362153

Accrescere le conoscenze e la consapevolezza attraverso opportune modifiche ai programmi di studio universitari, per garantire la sostenibilità della riduzione dell'impronta idrica derivante dalle attività marittime

WP2: LECTURE NOTES
IEA - ITALY
Sep-Oct 2026

LEZIONE 4: Impronta Idrica



**KARADENİZ
TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**
KARADENİZ TECHNICAL UNIVERSITY
1955



**University of
Zagreb**



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
UNIVERSITY OF CRETE



**ASS. ISTITUTO
ECOAMBIENTALE**



Funded by
the European Union



LEZIONE 4

Impronta Idrica





Funded by
the European Union



L' **impronta idrica** di un prodotto (bene o servizio) si ottiene sommando i volumi di acqua dolce utilizzati nella sua produzione nelle varie fasi della catena produttiva. Il "consumo idrico" viene misurato in termini di volumi di acqua consumata (evaporata) e/o inquinata. L'impronta idrica è un indicatore geograficamente esplicito che mostra non solo i volumi di acqua utilizzata e inquinata, ma anche le specifiche località e i tempi di tale utilizzo. Il concetto di contabilizzazione del consumo idrico lungo le catene di approvvigionamento ha acquisito notevole importanza dopo che Hoekstra ha introdotto il concetto di "impronta idrica" nel 2002 (Hoekstra, 2003). L'impronta idrica è un indicatore del consumo di acqua dolce che considera non solo il consumo diretto di acqua da parte di un consumatore o produttore, ma anche il loro **consumo indiretto** . Può essere considerato un indicatore completo dell'appropriazione delle risorse di acqua dolce, andando oltre le tradizionali e limitate misurazioni del prelievo idrico. L'impronta idrica di un prodotto misura il volume di acqua dolce utilizzato nella sua produzione lungo l'intera catena di approvvigionamento. È un indicatore multidimensionale che mostra i volumi di consumo per fonte e i volumi inquinati per tipo di inquinamento; Tutte le componenti dell'impronta idrica totale sono specificate geograficamente e temporalmente. In base alle sue fonti, l'impronta idrica è suddivisa in tre categorie: **Blu** , **Verde** e **Grigia** .

L'impronta idrica totale di un prodotto è determinata dalla somma di queste tre categorie:





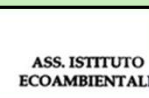
Funded by
the European Union



- **Impronta idrica blu:** il volume di acqua dolce utilizzata/evaporata dalle risorse idriche blu globali (acque superficiali e sotterranee) per produrre i beni e i servizi consumati da un individuo o da una comunità.
- **Impronta idrica verde:** il volume di acqua utilizzata/evaporata dalle risorse idriche verdi globali (acqua piovana immagazzinata nel suolo come umidità del suolo).
- **Impronta idrica grigia:** il volume di acqua inquinata associato alla produzione di tutti i beni e servizi per un individuo o una comunità. Viene calcolata come il volume di acqua necessario per diluire gli inquinanti in misura tale che la qualità dell'acqua rimanga al di sopra degli standard di qualità dell'acqua concordati (Hoekstra, 2008; Falkenmark, 2003) (**Figura 1**).

A seconda della specifica richiesta o esigenza, l'impronta idrica può essere misurata in metri cubi per tonnellata di produzione, per ettaro di terreno agricolo, per unità di valuta o in altre unità funzionali.

L'impronta idrica ci aiuta a comprendere per quali scopi vengono consumate e inquinate le nostre limitate risorse di acqua dolce. Il suo impatto dipende da dove e quando l'acqua viene prelevata. Se l'acqua proviene da un luogo in cui è già scarsa, le conseguenze possono essere significative e richiedere un intervento immediato (WFP, 2026).



The Hidden Cost of Consumption: Mapping Global Water Footprints

A water footprint measures the total volume of freshwater used to produce goods and services, including "virtual water" hidden in supply chains. As global consumption rises, understanding the distinction between blue, green, and grey water is critical for sustainable resource management.

THE THREE PILLARS OF A WATER FOOTPRINT



BLUE WATER FOOTPRINT

Consumption of surface and groundwater for irrigation, industry, and domestic use.



GREEN WATER FOOTPRINT

The volume of rainwater stored in soil that evaporates or is incorporated by plants.



GREY WATER FOOTPRINT

The volume of freshwater required to dilute pollutants to meet water quality standards.

THE MASSIVE "VIRTUAL WATER" COST OF GOODS

FAST FASHION'S THIRST

It takes 700 gallons of water for one shirt and 2,000 for jeans.



70% OF GLOBAL WATER SUPPLY
Agriculture remains the largest consumer of freshwater resources worldwide.

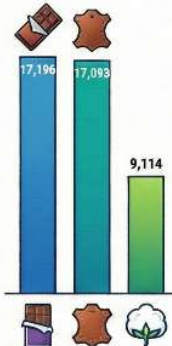


15,415 LITERS PER KILOGRAM

This is the staggering global average water footprint required to produce beef.



Water Footprint (Liters per Kilogram)
WATER FOOTPRINT COMPARISON (L/kg)

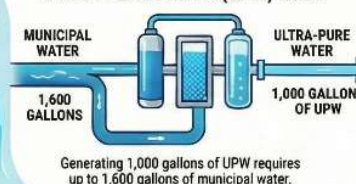


THE RISING TIDE OF TECH AND AI

4.8 MILLION GALLONS DAILY



ULTRA-PURE WATER (UPW) LOSS



THE AI COOLING CRISIS

AI data centers require massive water volumes for both electricity generation and cooling.



NotebookLM

Figura 1: Rappresentazione grafica della mappa globale della distribuzione dell'impronta idrica



Funded by
the European Union



A livello globale, il consumo idrico viene valutato in base a due categorie principali: consumo **diretto** e consumo **indiretto**. L'impronta idrica esamina sia il consumo idrico diretto che quello indiretto di un processo, prodotto, azienda o settore, comprendendo il consumo e l'inquinamento idrico lungo l'intero ciclo produttivo, dalla catena di approvvigionamento all'utente finale (WFP, 2026).

Impronta idrica diretta: si riferisce al consumo di acqua e al relativo impatto ambientale che si verificano durante le attività effettive di un consumatore o di un produttore.

- **Per i singoli (consumatori):** copre la quantità di acqua utilizzata direttamente dal rubinetto di casa per scopi quali bere, cucinare, pulire, lavarsi o irrigare il giardino.
- **Per le imprese (produttori):** il volume di acqua consumata o inquinata durante le operazioni svolte all'interno degli stabilimenti di un'organizzazione (processi produttivi, pulizia, raffreddamento, utilizzo dell'acqua da parte dei dipendenti in loco, ecc.).
- **Esempio:** l'acqua che una persona usa per lavare qualsiasi cibo durante la preparazione di un pasto costituisce l'impronta idrica diretta di quell'individuo.





Funded by
the European Union



Impronta idrica indiretta: corrisponde alla quantità di acqua consumata e inquinata in ogni fase della catena di approvvigionamento, lungo i processi di produzione dei beni consumati o dei prodotti fabbricati.

- Questo concetto è direttamente correlato all "**acqua virtuale**", "**Acqua nascosta**" o "**acqua incorporata**". Sebbene il prodotto in sé possa non contenerne fisicamente molta, essa rappresenta l'acqua utilizzata in ogni fase, dalla produzione delle materie prime al trasporto.
- **Per i singoli (consumatori):** il consumo di acqua "dietro" tutti i beni e servizi acquistati, come cibo, abbigliamento, carta, elettronica ed energia.
- **Per le imprese (produttori):** la quantità totale di acqua utilizzata nella produzione di tutti gli input acquistati esternamente per la produzione (materie prime diverse dall'acqua, elettricità, carburante, materiali per infrastrutture, ecc.).
- **Esempio:** per un consumatore di carne, l'impronta idrica indiretta comprende l'irrigazione delle colture destinate all'alimentazione dell'animale, l'acqua utilizzata per l'allevamento dell'animale e l'acqua consumata in tutte le fasi di lavorazione della carne fino al suo arrivo sugli scaffali.

In generale, sia a livello individuale che aziendale, l' **impronta idrica indiretta** è di gran lunga maggiore di quella diretta e rappresenta la principale pressione "invisibile" sulle risorse idriche.





Funded by
the European Union



2. Impronta idrica e sue sottocategorie

2. Fasi di calcolo dell'impronta idrica

2.1. Coerenza tra diverse tipologie di calcolo dell'impronta idrica

L'impronta idrica di una singola **"fase di processo"** è l'elemento fondamentale di tutti i calcoli dell'impronta idrica. L'impronta idrica di un **"prodotto" intermedio o finale** (bene o servizio) è la somma delle impronte idriche delle diverse fasi del processo coinvolte nella sua produzione.

Consumatore individuale: una funzione dell'impronta idrica dei vari prodotti consumati.

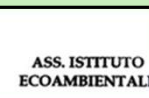
Comunità: la somma delle impronte idriche individuali dei suoi membri (ad esempio, una città o un paese).

Produttore/Azienda: Somma delle impronte idriche dei prodotti forniti dall'entità.

Area geograficamente definita: la somma di tutte le impronte idriche di processo che si verificano all'interno di tale area (ad esempio, una provincia o un bacino fluviale).

Impronta idrica totale dell'umanità: la somma dell'impronta idrica di tutti i consumatori a livello mondiale.

Questo valore corrisponde alla somma dell'impronta idrica di tutti i beni e servizi di consumo finali consumati annualmente, nonché alla somma di tutti i processi che consumano acqua o che inquinano nel mondo.





2.2. Fasi di calcolo dell'impronta idrica di un prodotto

Poiché le risorse idriche blu sono generalmente più scarse e costose di quelle verdi, si potrebbe pensare che calcolare solo l'impronta idrica blu sia sufficiente. Tuttavia, anche le risorse idriche verdi sono limitate; pertanto, un quadro completo può essere ottenuto solo considerando entrambe (Falkenmark, 2003). L'impronta idrica grigia viene inclusa per confrontare i livelli di inquinamento con i volumi di consumo (Hoekstra & Chapagain, 2008). Il calcolo dell'impronta idrica di un prodotto è un processo a più fasi che considera la produzione, il trasporto, l'utilizzo e il fine vita (ISO 14044, 2006; ISO 14046, 2014).



Funded by
the European Union

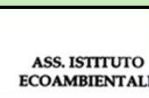


2.2.1. Determinazione delle fasi del ciclo di vita

Nel contesto del calcolo dell'impronta idrica, l'identificazione delle fasi del ciclo di vita è il passaggio fondamentale che garantisce che la valutazione copra non solo l'utilizzo diretto dell'acqua, ma anche tutta l'acqua incorporata derivante da ogni fase precedente dell'esistenza di un prodotto. Secondo alcune fonti, il ciclo di vita rappresenta le fasi consecutive e interconnesse di un sistema prodotto, a partire dall'acquisizione delle materie prime fino allo smaltimento finale (Manglai, 2026). L'identificazione di queste fasi definisce i passaggi chiave del processo di calcolo:

1. Identificare ogni fase del ciclo di vita: tracciare il percorso dalle materie prime allo smaltimento.
2. Misurare il consumo idrico in ogni fase: raccogliere dati per i punti identificati (ad esempio, acqua di processo industriale, irrigazione).
3. Consumo idrico totale aggregato: somma delle componenti blu, verdi e grigie per tutte le fasi.
4. Applicare i fattori di conversione: convertire i dati grezzi in unità standard (ad esempio, litri/chilogrammi).

Questa identificazione avviene durante la fase di "**Definizione degli obiettivi e dell'ambito**" di una valutazione, in cui vengono stabiliti i confini dell'inventario. Il quadro di riferimento è modulare, il che significa che l'impronta idrica delle diverse fasi può essere calcolata indipendentemente e successivamente aggregata per rappresentare l'impronta totale (ISO 14044:2006; ISO 14046:2014).





Fasi fondamentali del ciclo di vita definite: Quando si valuta un prodotto o un'attività, le fonti suddividono il ciclo di vita in quattro fasi fondamentali:

- a) Produzione di materie prime: si concentra sull'acqua utilizzata per coltivare i componenti o estrarre i materiali.
- b) Processo: Misura la quantità di acqua necessaria per trasformare le materie prime in prodotti finali.
- c) Trasporto: include l'acqua utilizzata per movimentare i materiali lungo tutta la catena di approvvigionamento.
- d) Uso e smaltimento: Quantifica l'acqua consumata durante l'utilizzo del prodotto e il suo smaltimento finale.



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
UNIVERSITY OF CRETE



ASS. ISTITUTO
ECOAMBIENTALE



Per gli impianti industriali, l'identificazione delle fasi implica la creazione di diagrammi di flusso dettagliati e diagrammi di consumo idrico e di acque reflue. Ciò richiede una distinzione tra **i processi produttivi principali** e **i processi ausiliari** (come caldaie a vapore e sistemi di raffreddamento), nonché la differenziazione dell'impronta idrica derivante da attività generali come la pulizia, la manutenzione del verde e i servizi per il personale. Schematizzando il sistema produttivo in queste distinte "fasi di processo" o in un "albero di prodotto", le aziende possono allocare con precisione il consumo idrico ai vari prodotti finali senza doppi conteggi (ISO 14044:2006; ISO 14046:2014).

In definitiva, identificare queste fasi è fondamentale perché consente alle organizzazioni di individuare i punti specifici del ciclo di vita in cui la scarsità o l'inquinamento idrico sono più gravi ("**punti critici**"), permettendo loro di sviluppare strategie mirate per la riduzione e la sostenibilità.



Funded by
the European Union



2.2.2. Misurazione dell'utilizzo in ciascuna fase

Nell'ambito più ampio del calcolo dell'impronta idrica, il secondo passo fondamentale, successivo alla determinazione delle fasi del ciclo di vita, consiste nel misurare il consumo idrico in ciascuna fase. Questa fase rappresenta l'applicazione pratica della **contabilità dell'impronta idrica**, in cui i dati empirici vengono raccolti ed elaborati per quantificare il volume totale di acqua dolce consumata o inquinata (ISO 14044:2006; ISO 14046:2014). Secondo la letteratura, questa fase definisce i seguenti aspetti:

- 1. Metodi di raccolta dati:** La misurazione del consumo idrico implica la raccolta di dati sia sul consumo diretto che su quello indiretto. La letteratura evidenzia diversi metodi per ottenere questi dati:
- Misurazione diretta: per aziende e famiglie, i dati primari possono essere ricavati dalle bollette dell'acqua o dalla misurazione diretta dei volumi utilizzati in specifici processi produttivi.
 - Inferenza e bilancio di massa: In ambito industriale, quando l'evaporazione diretta non viene misurata, è possibile dedurla calcolando la differenza tra i volumi di prelievo e di smaltimento finale. Se i dati relativi a processi specifici sono insufficienti, si ricorre al "**bilancio di massa acqua-acque reflue**" per ricavare i dati di consumo.
 - Modellazione: In agricoltura, dove la misurazione diretta dell'evaporazione dei campi è difficile, si utilizzano modelli di bilancio idrico (come **CROPWAT** o **AQUACROP**) per stimare il consumo di acqua verde e blu sulla base di dati climatici e del suolo.





2. Ambito di misurazione:

La misurazione deve tenere conto delle tre componenti fondamentali dell'impronta idrica:

- Acqua blu: acqua dolce proveniente da risorse idriche superficiali o sotterranee utilizzata per l'irrigazione, i processi industriali o il raffreddamento.
- Acqua verde: acqua piovana immagazzinata nel terreno e assorbita dalle piante durante la crescita.
- Acque grigie: il volume d'acqua necessario per diluire gli inquinanti in modo che lo scarico rispetti gli standard di qualità accettati.



3. Mappatura completa dei punti di utilizzo:

per garantire l'accuratezza, le organizzazioni devono mappare e misurare l'acqua in ogni punto di intervento all'interno del ciclo idrico:

- **Processi principali:** Acqua utilizzata direttamente nella produzione o nell'agricoltura, come l'irrigazione per i prodotti agricoli o l'acqua di processo in una fabbrica.
- **Processi ausiliari:** Acqua utilizzata per il supporto di unità quali caldaie a vapore, sistemi di raffreddamento e impianti di addolcimento dell'acqua.
- **Impronta idrica generale:** Consumo generale che supporta l'attività aziendale ma non è legato a un prodotto specifico, inclusa l'acqua per la pulizia, la manutenzione del giardino e i servizi igienici per il personale (bagni e cucine).



Funded by
the European Union



4. Integrazione con il framework di calcolo:

la misurazione dell'utilizzo in ogni fase fornisce i dati grezzi necessari per le fasi successive del processo di calcolo:

- **Consumo idrico totale aggregato:** sommare i volumi blu, verdi e grigi misurati in tutte le fasi.
- **Applicare i fattori di conversione:** convertire i dati grezzi misurati in unità standard, come litri/chilogrammo o litri/unità.

Per garantire l'affidabilità di queste misurazioni, si raccomanda di utilizzare **valori medi calcolati almeno negli ultimi tre anni**, al fine di eliminare le fluttuazioni causate da fattori tecnici, economici o stagionali. Questa misurazione dettagliata consente alle organizzazioni di identificare i "**punti critici**" – ovvero i punti specifici della catena produttiva in cui la scarsità o l'inquinamento idrico sono più gravi – e di stabilire obiettivi quantitativi di riduzione (WFP, 2025; ISO 14044, 2006; ISO 14046, 2014).





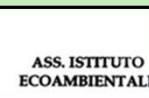
Funded by
the European Union



2.2.3. Aggregazione delle componenti blu, verdi e grigie all'interno del quadro di calcolo più ampio

Nell'ampio quadro del calcolo dell'impronta idrica, l'aggregazione delle componenti blu, verdi e grigie rappresenta il terzo passo fondamentale, successivo alla misurazione del consumo in ciascuna fase del ciclo di vita. Questo passaggio combina i dati raccolti durante la fase di contabilizzazione per fornire un'espressione volumetrica completa del consumo totale di acqua dolce di un'organizzazione o di un prodotto. Secondo la letteratura, questo passaggio implica diversi aspetti chiave:

1. Struttura modulare del calcolo: lo standard **ISO 14046** specifica che la valutazione dell'impronta idrica è modulare (ISO 14044, 2006; ISO 14046, 2014). Ciò significa che l'impronta idrica per ogni singola fase del ciclo di vita, come la produzione di materie prime, la lavorazione e il trasporto, può essere calcolata indipendentemente e successivamente aggregata per rappresentare l'impronta totale dell'intero sistema. Questa modularità consente alle organizzazioni di identificare quali fasi contribuiscono maggiormente al volume totale.





2. Combinazione delle tre componenti:

Per arrivare all'impronta **idrica totale** (WF_{total}), il processo di aggregazione richiede la combinazione di tre tipologie distinte di utilizzo dell'acqua:

- **Acqua blu:** acqua dolce proveniente da fonti superficiali o sotterranee.
- **Acqua verde:** acqua piovana immagazzinata nel terreno e assorbita dalle piante.
- **Acque grigie:** il volume di acqua dolce necessario per diluire gli inquinanti al fine di rispettare gli standard normativi di qualità dell'acqua.

La formula matematica fondamentale per questa integrazione è la seguente:

$$WF_{totale} = WF_{mavi} + WF_{ye\grave{s}i} + WF_{gri}$$



3. Implementazione in ambienti industriali e aziendali:

Nel contesto degli impianti industriali, la fase di aggregazione è facilitata da tabelle di calcolo e diagrammi di flusso. I dati vengono raccolti nelle seguenti aree:

- **Processi produttivi principali:** utilizzo diretto dell'acqua nella produzione.
- **Processi ausiliari:** unità di supporto come caldaie e sistemi di raffreddamento.
- **Spese generali:** Consumi indiretti ma necessari, come ad esempio le spese per il personale e la pulizia generale del sito.

Aggregando questi componenti, le aziende possono creare un **profilo dell'impronta idrica** che può essere presentato come un singolo valore complessivo o come una ripartizione dettagliata dei risultati degli indicatori di impatto.



4. Importanza durante il calcolo:

l'aggregazione dei componenti funge da ponte tra **la contabilità dell'impronta idrica e la valutazione della sostenibilità**.

- **Consolidamento dei dati grezzi:** Trasforma i dati di misurazione grezzi nel volume totale di intervento nel ciclo dell'acqua.
- **Precursore delle unità standardizzate:** questo volume totale è quindi pronto per il passaggio successivo: l'applicazione di fattori di conversione per tradurre i dati in unità standardizzate come litri/chilogrammo o litri/unità di prodotto.
- **Identificazione dei punti critici:** il valore aggregato finale fornisce la cifra "effettiva" del consumo idrico utilizzata per identificare i **"punti critici"**, ovvero le aree geografiche in cui il volume totale assegnato supera i limiti locali di disponibilità o qualità dell'acqua.





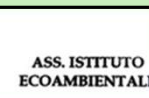
Funded by
the European Union



2.2.4. Applicazione dei fattori di conversione nel contesto più ampio delle fasi di calcolo

Nel processo strutturato di calcolo dell'impronta idrica, l'applicazione dei fattori di conversione rappresenta la fase finale fondamentale, successiva all'identificazione delle fasi del ciclo di vita, alla misurazione del consumo in ciascuna fase e all'aggregazione delle componenti idriche. L'obiettivo primario di questa fase è convertire i dati grezzi in **unità standardizzate e comparabili**, come litri/chilogrammo, litri/unità o metri cubi/tonnellata (ISO 14044:2006; ISO 14046:2014). Secondo alcune fonti, questa fase prevede diverse tipologie specifiche di conversione e calcolo:

1. Normalizzazione a metriche "specifiche": in ambito aziendale e industriale, l'applicazione di fattori di conversione è fondamentale per determinare **il consumo idrico specifico**. Questa metrica si calcola dividendo il volume idrico annuo totale consumato per la quantità annua effettiva di produzione. Ciò consente alle organizzazioni di stabilire parametri di riferimento e valutare in modo coerente le prestazioni ambientali, come ad esempio le quantità specifiche di acque reflue e i carichi inquinanti specifici (ad esempio, grammi di inquinante per chilogrammo), in diversi stabilimenti o linee di prodotto.

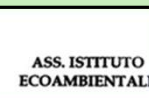




2. Rapporti tecnici ed economici:

Per i prodotti che implicano la lavorazione delle materie prime, le fonti sottolineano l'importanza di utilizzare fattori di conversione tecnici per tenere conto delle variazioni di peso e della distribuzione dei sottoprodotti (WFP, 2026):

- **Frazioni di prodotto:** rappresentano la quantità di prodotto ottenuto per unità di prodotto di partenza (ad esempio, quanto zucchero raffinato si ottiene da una tonnellata di barbabietola da zucchero).
- **Frazioni di valore:** Quando un singolo processo genera più prodotti (sottoprodotti), l'impronta idrica viene distribuita tra di essi non solo in base alla massa, ma anche in base al loro **valore di mercato**.





Funded by
the European Union



3. Conversioni di unità e fisiche:

le fasi di calcolo spesso richiedono conversioni di unità tecniche per allineare diverse fonti di dati:

- **Conversione da profondità a volume:** in agricoltura, si utilizza un fattore di 10 per convertire le misurazioni della profondità dell'acqua (millimetri) in volume per unità di superficie (metri cubi per ettaro).
- **Conversione massa-volume:** per garantire la coerenza nei bilanci di massa, si assume generalmente che **1 litro d'acqua equivalga a 1 chilogrammo**, consentendo l'integrazione diretta dei dati di produzione basati sulla massa nei conti idrici volumetrici.

Importanza dell'accuratezza: le fonti sottolineano che l'utilizzo di fonti affidabili e documentate per i fattori di conversione è fondamentale per garantire l'accuratezza e la riproducibilità della valutazione, poiché questi fattori incidono direttamente sul valore finale dell'impronta idrica. Ciò include l'utilizzo di standard internazionali come ISO 14046 e di database del **Water Footprint Network**.





2.3. Fattori chiave dell'impronta idrica

Nel calcolo dell'impronta idrica è necessario considerare diversi fattori fondamentali:

- **Tipo di coltura o materia prima:** le colture che richiedono molta acqua, come il riso o il cotone, aumentano l'impronta ecologica.
- **Posizione geografica:** le regioni aride o con scarsità d'acqua richiedono più acqua per ottenere la stessa resa.
- **Tecnologia di produzione:** le tecnologie efficienti possono ridurre significativamente l'impatto ambientale.
- **Pratiche di gestione agricola e idrica:** l'irrigazione di precisione può ridurre in modo sostanziale il consumo di acqua in agricoltura.





2.4. Strumenti per il calcolo dell'impronta idrica

- **Database della rete sull'impronta idrica:** offrono parametri di riferimento per numerosi beni e servizi.
- **Calcolatori online:** strumenti come quello web di Manglai stimano l'impronta ecologica di prodotti e attività specifici.
- **Società di consulenza specializzate:** gestiscono analisi di impronta complesse o personalizzate.

Metodi pratici per ridurre l'impronta idrica aziendale: calcolare l'impronta idrica è fondamentale per comprendere la domanda e compiere scelte consapevoli in materia di riduzione. Misurando e gestendo l'impronta idrica, le aziende migliorano la sostenibilità, rispettano le normative e soddisfano i consumatori che apprezzano un uso responsabile dell'acqua.



Funded by
the European Union



Esempi di impronta idrica per settore:

- **Carta A4:** 10 litri d'acqua per foglio. Questo calcolo si basa su una carta standard da 80 grammi (80 g/m²). Si presume inoltre che la carta sia prodotta a partire dal legno (Gerbens-Leenes, Hoekstra & Van der Meer, 2009).
- **Zucchero raffinato:** Per produrre 1 kg di zucchero raffinato derivato dalla canna da zucchero sono necessari circa 1.500 litri d'acqua. La coltivazione della canna da zucchero consuma circa 220 miliardi di metri cubi d'acqua all'anno, pari al 3,4% del consumo idrico globale per la produzione agricola. Lo zucchero ottenuto dalla barbabietola da zucchero, invece, richiede meno acqua per chilogrammo.
- **Cioccolato:** L'impronta idrica del cioccolato puro è di **2.400 litri per una tavoletta da 100 grammi** (come media mondiale!). La composizione del cioccolato fondente è: 40% pasta di cacao (impronta idrica: 33.260 litri/kg); 20% burro di cacao (impronta idrica: 50.730 litri/kg); e 40% zucchero (impronta idrica: 1.526 litri/kg). Pertanto, possiamo calcolarla come segue:

$$33260 \% + 50730 \% + 1526 \% = 24060 \text{ litri/kg}$$





Funded by
the European Union



Ciò equivale a 2.400 litri per una tavoletta di cioccolato da 100 grammi. Poiché l'impronta idrica del latte in polvere è di 4.600 litri/kg, l'impronta idrica del cioccolato al latte (circa 2.500 litri per una tavoletta da 100 grammi) sarà leggermente superiore a quella del cioccolato fondente, a parità di contenuto totale di cacao. Gli elementi più critici per l'impronta idrica del cioccolato sono il contenuto di pasta di cacao e burro di cacao (Hoekstra & Chapagain, 2008).

- **Camicia di cotone:** Una camicia di cotone è realizzata con tessuto di cotone cardato o pettinato, derivato dalla fibra di cotone, che a sua volta proviene dai semi di cotone raccolti da un campo di cotone. Infatti, un prodotto tessile di cotone finito passa attraverso una serie di processi e prodotti intermedi prima di arrivare al consumatore. Innanzitutto, i semi di cotone vengono sgranati in fibra (1.000 kg di semi di cotone producono solo 350 kg di fibra); poi, dopo cardatura, filatura e tessitura, si ottiene il tessuto grezzo (1.000 kg di fibra producono solo 900 kg di tessuto grezzo); seguito da trattamenti a umido (sbiancamento e tintura) per trasformarlo nel tessuto di cotone stampato finale. Lo sbiancamento richiede circa 30 m³ per tonnellata, la tintura 140 m³ per tonnellata e la stampa 190 m³ per tonnellata. L'impronta idrica media del cotone stampato (ad esempio, un paio di jeans del peso di 1 chilogrammo) è **di 11.000 litri per chilogrammo**.





Funded by
the European Union



2.5. Indici di valore tecnico

Nell'approccio cumulativo graduale, i rapporti di valore tecnico vengono utilizzati per distribuire l'impronta idrica tra i diversi prodotti finali quando una singola fase di lavorazione prevede input multipli o genera sottoprodotti multipli. Ciò garantisce che l'acqua totale utilizzata nell'intero sistema produttivo venga allocata con precisione, evitando **doppi conteggi**.

1. Frazione di prodotto (fp): La frazione di prodotto tiene conto della variazione di massa durante il processo. È definita come la quantità di prodotto finale ottenuta per quantità di prodotto iniziale.

- **Calcolo:** $fp[p,i] = \text{quantità frazionaria del prodotto di output } (w[p]) / \text{quantità del prodotto di input } (w[i])$
- **Ruolo:** Agisce come fattore di conversione tecnico che traduce l'impronta idrica dalla massa del materiale in ingresso alla massa del materiale in uscita.





Funded by
the European Union



2. Frazione di valore (fv):

La frazione di valore viene utilizzata per distribuire l'impronta idrica in base all'importanza economica di ciascun sottoprodotto. È il rapporto tra il valore di mercato di un prodotto specifico e il valore di mercato totale di tutti i sottoprodotti derivati dallo stesso input.

- **Calcolo:** $fv[p] = \text{Prezzo del prodotto (p)} / \text{Somma dei valori di mercato di tutti i sottoprodotti}$
- **Ruolo:** Poiché l'attribuzione dell'impronta idrica basata esclusivamente sul peso può essere fuorviante (ad esempio, tra un sottoprodotto di basso valore e un prodotto principale di alto valore), la frazione di valore garantisce che l'"onere" dell'impronta idrica sia ripartito proporzionalmente al valore di mercato dei prodotti.





3. Processo di allocazione:

Per calcolare l'impronta idrica di uno specifico prodotto, i rapporti vengono applicati nel seguente ordine:

1. **Aggregazione degli input:** vengono sommate le impronte idriche di tutti i prodotti utilizzati.
2. **Aggiunta del consumo idrico di processo:** l' **impronta idrica del processo** (acqua utilizzata direttamente in questa specifica fase di produzione) viene aggiunta al totale degli input.
3. **Applicazione delle frazioni:** l'impronta idrica totale combinata viene quindi moltiplicata per la **frazione di valore** del prodotto specifico e divisa per la sua **frazione di prodotto** .

Esempio: Zucchero raffinato: Nella produzione di zucchero raffinato dalla barbabietola da zucchero, il processo genera diversi sottoprodotti: zucchero raffinato, polpa di barbabietola essiccata e melassa.

Per determinare l'impronta idrica dello zucchero raffinato:

- La **frazione di prodotto** indica quante tonnellate di zucchero vengono prodotte da una tonnellata di barbabietole (ad esempio, **0,14 tonnellate/tonnellata**).
- La **frazione di valore** attribuisce la maggior parte dell'impronta idrica allo zucchero raffinato perché detiene il valore di mercato più elevato (ad esempio, **0,89**), mentre porzioni minori sono attribuite alla polpa e alla melassa.





Funded by
the European Union



Quiz sull' Impronta Idrica



1. Che cosa esprime l'indice "AWARE" (*Available Water Remaining*), raccomandato dalla *WULCA working group* per gli studi LCA di impronta idrica?

- A) La quantità di microplastiche residue per litro d'acqua potabile in un bacino idrografico.
- B) La disponibilità relativa di acqua rimanente in un determinato bacino idrografico rispetto alla media mondiale, una volta sottratti i fabbisogni umani ed ecosistemici.
- C) L'efficienza dei sistemi di filtrazione a membrana nell'abbattimento dell'acqua grigia.
- D) La percentuale di acqua piovana accumulata nei grandi invasi artificiali di una nazione.





Funded by
the European Union



2. Nel calcolo dell'Impronta Idrica Grigia (WF_{grey}) per un inquinante specifico, che cosa rappresenta matematicamente il termine C_{nat} (concentrazione naturale) presente al denominatore della formula?

- A) La concentrazione massima di inquinante tollerata per legge prima che scatti il danno ecologico
- B) La concentrazione dell'inquinante già presente nel corpo idrico recettore in condizioni ideiche, prima di qualsiasi impatto antropico
- C) La concentrazione di inquinante misurata all'uscita della vasca di sedimentazione secondaria
- D) La concentrazione media dell'inquinante all'interno delle falde idriche profonde non sfruttabili





3. Quando si calcola l'impronta idrica di un'organizzazione (Corporate Water Footprint), come viene classificata l'acqua consumata per produrre l'energia elettrica acquistata dalla rete e usata dagli uffici?

- A) Impronta idrica blu diretta
- B) Impronta idrica verde operativa
- C) Impronta idrica indiretta della catena di fornitura (Supply-chain Water Footprint)
- D) Impronta idrica grigia da deflusso superficiale





Funded by
the European Union



4. Si consideri il calcolo dell'Impronta Idrica Verde (WFgreen} per una coltura agricola. Quale tra i seguenti flussi idrici viene formalmente escluso dal conteggio volumetrico di questa specifica componente?

- A) L'evapotraspirazione dell'acqua piovana immagazzinata nella zona radicale del suolo
- B) L'acqua piovana trattenuta temporaneamente dalle foglie della pianta e poi evaporata (intercettazione)
- C) La quota di acqua piovana che percola oltre la zona radicale alimentando la falda profonda (*Deep Percolation*)
- D) L'acqua evaporata direttamente dalla superficie del terreno coltivato non coperta da vegetazione





Funded by
the European Union



5. All'interno della metodologia di calcolo dell'impronta idrica di un prodotto, che cosa si intende per "Acqua Virtuale"?

- A) Il volume d'acqua simulato al computer tramite modelli matematici di fluidodinamica computazionale (CFD)
- B) Il volume totale di acqua dolce consumato, evaporato o inquinato nelle varie fasi della filiera per ottenere quel determinato bene
- C) L'acqua contenuta allo stato gassoso nell'atmosfera sopra il sito di produzione industriale
- D) La stima teorica dell'acqua risparmiata grazie all'adozione dell'intelligenza artificiale nei processi aziendali





6. Se per un impianto industriale l'Impronta Idrica Grigia calcolata per il parametro "Fosforo Totale" è pari a $500.000 \text{ m}^3/\text{anno}$ e quella per il parametro "COD" (Domanda Chimica di Ossigeno) è pari a $200.000 \text{ m}^3/\text{anno}$, quale valore deve essere assunto come Impronta Idrica Grigia totale dell'impianto?

- A) $700.000 \text{ m}^3/\text{anno}$ (somma algebrica dei singoli parametri)
- B) $350.000 \text{ m}^3/\text{anno}$ (media aritmetica delle due componenti)
- C) $500.000 \text{ m}^3/\text{anno}$ (il valore dell'inquinante critico più restrittivo)
- D) $300.000 \text{ m}^3/\text{anno}$ (differenza geometrica tra i due valori)





7. Nella contabilità dell'acqua (Water Accounting), in quale specifico caso il riutilizzo interno di acqua di processo (ricircolo a ciclo chiuso) riduce direttamente l'Impronta Idrica Blu complessiva di un'industria?

- A) Sempre, indipendentemente dall'energia consumata dal sistema di ricircolo
- B) Solo se il ricircolo riduce il volume netto di acqua dolce captato alla fonte, a parità di perdite per evaporazione complessive
- C) Solo se l'acqua ricircolata viene miscelata con acqua piovana accumulata sul tetto
- D) Mai, perché l'impronta idrica conteggia solo i volumi totali movimentati all'interno delle tubazioni aziendali





Funded by
the European Union



8. Quale software open-source, sviluppato dalla FAO, è lo standard internazionale per il calcolo dei fabbisogni idrici colturali e dell'evapotraspirazione, ampiamente usato per quantificare l'impronta idrica verde e blu in agricoltura?

- A) SimaPro
- B) CROPWAT
- C) EPANET
- D) MODFLOW





9. Rispetto al classico modello CROPWAT, il software più avanzato AquaCrop della FAO introduce una modellazione più accurata per il calcolo della componente verde (WF_{green}). Su quale approccio si basa?

- A) Sulla simulazione fluidodinamica tridimensionale (CFD) del flusso d'aria nelle serre
- B) Sulla stima della produttività della biomassa basata sull'acqua standardizzata rispetto all'evapotraspirazione (WP^*) e sulla risposta della chioma (*canopy cover*)
- C) Sull'esclusivo monitoraggio satellitare tramite radar ad apertura sintetica (SAR)
- D) Sulla digitalizzazione economica dei contratti di fornitura idrica agraria





10. Qual è la principale differenza filosofica e di output finale tra il calcolo condotto secondo il metodo WFN (Water Footprint Network) e quello secondo la norma ISO 14046?

1.

- A) Il metodo WFN analizza solo le emissioni tossiche, mentre la ISO 14046 si occupa solo dei volumi d'acqua piovana.
- B) L'output del WFN è un indicatore multidimensionale di tossicità chimica, mentre la ISO 14046 fornisce un unico numero espresso in litri d'acqua dolce evaporata.
- C) Il metodo WFN fornisce un profilo puramente volumetrico (somma di m³ fisici di acqua verde, blu e grigia), mentre la ISO 14046 calcola un profilo di impatto pesato sulla scarsità e sul degrado locale (es. in m³ equivalenti).
- D) La ISO 14046 esclude per legge i consumi idrici della catena di fornitura (impronta indiretta), che sono invece il fulcro del metodo WFN.





11. Quale parametro gioca il ruolo più critico e genera la maggiore incertezza nel calcolo dell'Impronta Idrica Verde (WF_{green}) di una foresta gestita per la produzione di legname?

- A) La conducibilità elettrica dell'acqua meteorica durante i temporali estivi.
- B) La stima accurata dell'evapotraspirazione reale (ET_a) attraverso il bilancio idrico della zona radicale del suolo.
- C) Il volume di acqua utilizzato per il lavaggio meccanico dei tronchi dopo l'abbattimento.
- D) La quantità di umidità assorbita direttamente dalla corteccia degli alberi durante le ore notturne.



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
UNIVERSITY OF CRETE



ASS. ISTITUTO
ECOAMBIENTALE



12. Nell'inventario del ciclo di vita (LCI) secondo la norma ISO 14046, come viene classificata l'acqua che viene prelevata da un bacino idrico e restituita intatta nello stesso identico bacino (stessa qualità e posizione geografica)?

- A) Uso di acqua non consumata (Non-consumptive water use)
- B) Impronta idrica grigia da percolazione
- C) Consumo idrico netto di filiera (Water consumption)
- D) Flusso elementare ecotossico verso la biosfera





13. Quale fenomeno descrive il paradosso dell'efficienza idrica (Water Efficiency Paradox) nell'irrigazione agricola, analizzato spesso attraverso la contabilità dell'acqua virtuale?

- A) L'introduzione di sistemi a goccia riduce sempre l'impronta idrica verde aumentando quella grigia.
- B) Il passaggio a sistemi irrigui più efficienti (es. dal flusso alla goccia) può aumentare il consumo totale di acqua a scala di bacino (impronta blu), poiché gli agricoltori espandono le superfici irrigate o passano a colture più idroesigenti.
- C) L'aumento dell'efficienza dei canali di irrigazione azzerava completamente l'impronta idrica di un'intera regione.
- D) L'acqua risparmiata nei campi evapora più rapidamente a causa dell'aumento localizzato della temperatura del suolo.





14. Quando si analizza l'impronta idrica di una centrale idroelettrica con un grande bacino artificiale di accumulo (diga), quale componente quantitativa rappresenta solitamente la quota principale dell'Impronta Idrica Blu?

- A) L'acqua che attraversa fisicamente le turbine per generare energia elettrica.
- B) L'evaporazione netta supplementare dalla superficie dello specchio d'acqua dell'invaso artificiale rispetto alle condizioni pre-esistenti.
- C) L'acqua utilizzata per il raffreddamento dei circuiti elettrici all'interno della sala macchine.
- D) La perdita di volume idrico dovuta alle infiltrazioni di cemento durante la costruzione della diga.





Funded by
the European Union



15. Secondo le linee guida dell'Agenzia Europea dell'Ambiente basate sul WEI+, al di sopra di quale valore soglia percentuale un bacino idrografico o una regione locale viene formalmente dichiarata in condizioni di "severo stress idrico" (Severe Water Scarcity)?

- A) > 5%
- B) > 10%
- C) > 40%
- D) > 95%





Funded by
the European Union



RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

1. Cunningham, GB e Kwon, H., 2003. La teoria del comportamento pianificato e le intenzioni di partecipare a un evento sportivo. Sport Management Review, 6, 127-145. [https://doi.org/10.1016/S1441-3523\(03\)70056-4](https://doi.org/10.1016/S1441-3523(03)70056-4).
2. Chapagain, AK e Hoekstra, AY, 2004. 'Impronta idrica delle nazioni', Serie di rapporti di ricerca sul valore dell'acqua n. 16, UNESCO-IHE, Delft, Paesi Bassi.
3. Falkenmark, M., 2003. L'acqua dolce come risorsa condivisa tra società ed ecosistemi: da approcci divisi a sfide integrate. Philosophical Transactions of the Royal Society of London B: Biological Sciences, 358, 2037-2049. <https://doi.org/10.1098/rstb.2003.1386>.
4. Hoekstra, AY e Hung, PQ, 2002. 'Commercio di acqua virtuale: una quantificazione dei flussi di acqua virtuale tra nazioni in relazione al commercio internazionale di prodotti agricoli', Serie di rapporti di ricerca sul valore dell'acqua n. 11, UNESCO-IHE, Delft, Paesi Bassi.
5. Hoekstra AY, 2008. Water Neutral: Reducing and Offsetting the Impacts of Water Footprints. Value of Water Research Report Series No. 28. 42p. UNESCO-IHE Institute for Water Education, Delft, Paesi Bassi. <https://www.waterfootprint.org/resources/Report28-WaterNeutral.pdf>.
6. Hoekstra AY, Chapagain AK, Aldaya MM e Mekonnen MM, 2011. Manuale di valutazione dell'impronta idrica: definizione dello standard globale. ISBN: 978-1-84971-279-8, copertina rigida, 228 pagine. Londra, Regno Unito.
7. **ISO 14046,2014:** <https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/1ccc9106-9cb2-403c-8406-669824187a9e/iso-14046-2014>.
8. **ISO 14044,2006 :** ISO 14044:2006 Çevre yönetimi — Yaşam döngüsü değerlendirmesi — Gereksinimler ve yönergeler
9. Manglai, 2026. https://www.manglai.io/en/carbon-calculator/survey?utm_source=blog; ISO 14044:2006; ISO 14046:2014
10. WFP, 2025. <https://www.waterfootprint.org/>.
11. **WFP, 2026:** <https://www.waterfootprint.org/water-footprint-2/what-is-a-water-footprint/>.

