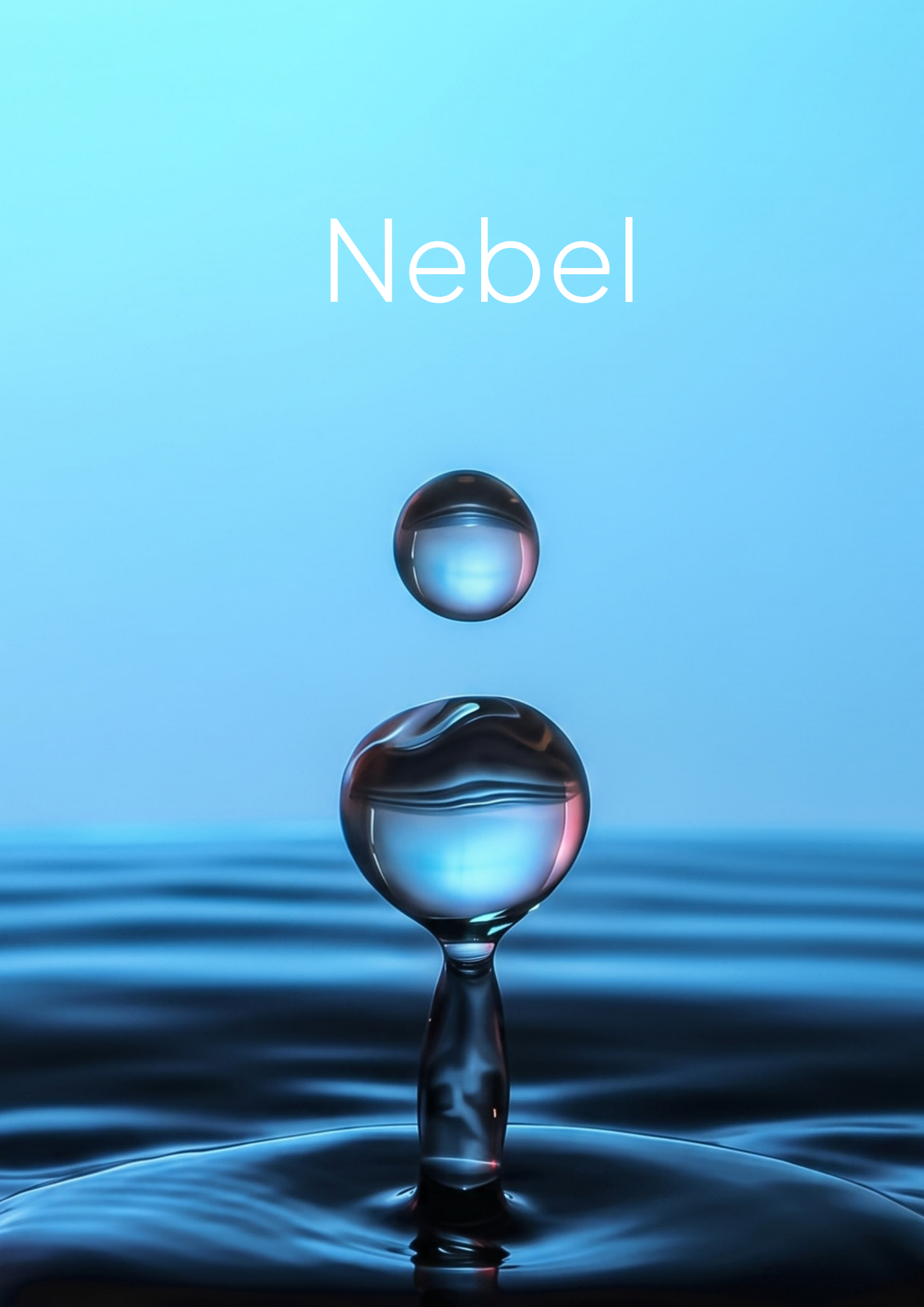
Nebel



Politecnico di Torino

DAD – Dipartimento di Architettura e Design
Corso di Laurea Triennale in Design e Comunicazione
A.a. 2025/2026
Sessione di Laurea Settembre 2026

Nebel

Oltre la scarsità idrica

Relatori:
Fabrizio Valpreda

Candidati:
Andrea Sanvito
Alessandro Trabucco
Matteo Zanghi

Indice

1. L'emergenza idrica **10**

1.1 - Le ragioni della scelta di intervenire sul problema dell'emergenza idrica 12

1.2 - Analisi generale sul tema dell'emergenza idrica 14

1.3 - Normative e qualità dell'acqua potabile 17

1.4 - Analisi dello stato attuale con focus sullo sfruttamento dei metodi di raccolta e purificazione delle acque 20

2. Dove l'emergenza idrica è un problema **24**

2.1 - L'acqua a livello globale 26

2.2 - I contesti vulnerabili 29

2.2.1 - Contesti aridi

2.2.1.1 - Il caso studio della Namibia e la situazione attuale

2.2.2 - Foreste amazzoniche

2.2.3 - Contesti urbani

3. Metodi e tecnologie di raccolta dell'acqua **40**

3.1 - Metodi convenzionali 43

3.1.1 - Estrazione sotterranea

3.1.2 - Raccolta da acque superficiali

3.2 - Metodi non convenzionali 50

3.2.1 - Raccolta da precipitazioni

3.2.2 - Raccolta dall'atmosfera

3.2.3 - I fog harvester

3.2.3.1 - Bio-inspired

3.2.3.2 - Funzionamento

3.2.3.3 - Fog collector

3.2.3.4 - Casi studio

3.2.3.5 - Casi studio: forme innovative

3.2.4 - Raccolta della rugiada

3.3 - Desalinizzazione 73

3.4 - Riuso e trattamento acque grigie 79

4. Il progetto Nebel 82

4.1 - Riflessioni alla base del progetto 84

4.2 - La struttura del progetto 88

4.2.1 - Le due facce di Nebel

4.2.2 - La scelta degli scenari

4.2.2.1 - Scenario Everydrop

4.2.2.2 - Scenario Zerodrop

- Analisi di mercato

- Criteri di valutazione e prodotti analizzati

4.3 - Obiettivi di Nebel 115

4.4 - Gestione economica 117

5. Everydrop 120

5.1 - Concept 122

5.2 - Linee guida 124

5.3 - Target 126

5.4 - Sketch e idee 128

5.5 - Il dispositivo 130

5.6 - Scelte progettuali 136

5.6.1 - Componentistica

5.7 - Funzionamento e installazione 144

5.8 - L'acqua prodotta 146

5.9 - Come si arriva in Namibia 153

6. Zerodrop **158**

6.1 - Concept 160

6.2 - Tabella esigenziale 162

6.3 - Linee guida 164

6.4 - Target 166

6.5 - Interviste 168

6.6 - Sketch e idee 182

6.7 - Il dispositivo 184

6.8 - Scelte progettuali 192

6.8.1 - Scelta dei giunti

6.8.1.1 - Giunto al rubinetto

6.8.1.2 - Ghiera di selezione del flusso

6.8.1.3 - Scelta del giunto a baionetta per il collegamento al filtro a carbone attivo

- Funzionamento del giunto a baionetta
- Effetti della riduzione del diametro

6.8.1.4 - Accessibilità e posizionamento del filtro a carbone attivo

6.8.1.5 - Alloggiamento delle fibre cave

6.8.2 - Interfaccia con l'utente
6.8.3 - Analisi fluidodinamica del sistema
6.9 - Fotografie modello 216
6.10 - Le due versioni di Zerodrop 218
6.11 - Funzionamento 220
6.11.1 - Funzionamento del nebulizzatore
6.11.2 - Funzionamento del filtro a carbone attivo
6.11.3 - Funzionamento dell'indicatore luminoso
6.12 - Materiali tradizionali e requisiti di leggerezza 230
6.13 - Produzione e scelta del materiale 232
7. Dalla nebbia alla nebbia **236**
7.1 - La definizione del messaggio 240
7.2 - Analisi casi studio 243
7.3 - Il primo livello: il dispositivo 250
7.4 - Il secondo livello: la piattaforma 254
8. Conclusioni **260**
Bibliografia **264**

.



Abstract

Il progetto Nebel nasce dal voler fornire un aiuto concreto rispetto a uno dei problemi che affliggono una fetta consistente della popolazione globale: il limitato accesso alle risorse idriche.

A partire dall'analisi dei territori in cui questo problema incide maggiormente sull'evoluzione delle culture e della società, il progetto si è focalizzato sulla Namibia, paese che si affaccia sull'Oceano Atlantico nel sud-ovest del continente africano. Il fine ultimo è la realizzazione di dispositivi passivi in grado di diventare una vera e propria fonte d'acqua là dove essa è scarsa o talmente inquinata da risultare inutilizzabile.

L'integrità del progetto si fonda su un filo ideologico che collega luoghi e persone fisicamente e culturalmente distanti. Il legame si instaura attraverso la vendita di un primo dispositivo, sviluppato per una clientela urbana dotata di potere d'acquisto, la cui parte del ricavato contribuisce alla raccolta fondi destinata alla realizzazione di dispositivi di raccolta dell'acqua dalla nebbia. Questo legame supera il concetto di semplice aiuto economico e approda a un livello di sensibilizzazione e di presa di coscienza delle dinamiche interne al problema. Non si esaurisce nel singolo gesto d'acquisto, ma si mantiene attraverso l'interazione quotidiana e un'informazione continua, articolata in fasi e modalità differenti, fino a chiudersi in un circuito con il raggiungimento dell'obiettivo finale.

Perché ciò avvenga, il mezzo di trasmissione deve essere presente nella vita quotidiana della maggior parte delle persone appartenenti a società urbanizzate, così da raggiungere il numero più ampio possibile di utenti. La ricerca di questo mezzo è partita dalla volontà di mantenere un legame chiaro con l'elemento chiave del progetto: l'acqua. Da obiettivo finale, l'acqua è così diventata il punto di partenza su cui costruire, pezzo per pezzo, il progetto Nebel.

Capitolo 1

L’emergenza idrica



1.1 – Le ragioni della scelta di intervenire sul problema dell'emergenza idrica

Figura 1
Logo Nazioni Unite



Nota. Tratto da United Nations Emblem and Flag.

Nazioni Unite
Le Nazioni Unite sono state fondate il 24 Ottobre 1945 da 51 nazioni impegnate a preservare la pace e la sicurezza collettiva grazie alla cooperazione internazionale.
Oggi fanno parte dell'ONU in totale 193 Paesi (UNRIC Italia, 2023).

La scelta di affrontare il tema dell'emergenza idrica si fonda sul presupposto che il design, e in particolare il design del prodotto, non debba limitarsi a rispondere a esigenze commerciali e specifiche di un determinato target, ma possa assumere un ruolo attivo e propositivo di fronte alle grandi sfide del nostro tempo.

Oggi l'emergenza idrica e l'accesso all'acqua sicura rappresentano due delle più grandi sfide a livello mondiale: un problema universale che, allo stesso tempo, colpisce in modi profondamente diversi ogni luogo del pianeta. Non esistono soluzioni universali, bensì tecnologie e idee funzionali soltanto all'interno del proprio contesto di appartenenza.

L'acqua è un bene imprescindibile e non negoziabile.

Tuttavia, una parte non trascurabile della popolazione mondiale non ne dispone in modo sicuro e diretto, vivendo situazioni critiche di estrema emergenza, segnate da malattie e disidratazione. Non è un caso che le Nazioni Unite (Figura 1), abbiano incluso l'accesso all'acqua e ai servizi igienico-sanitari tra gli obiettivi dell'Agenda 2030 (Figura 2 - Obiettivo 6), riconoscendo il ruolo centrale dell'acqua e dell'igiene per lo sviluppo umano e sociale.

Un ulteriore elemento che ha portato alla scelta dell'emergenza idrica come scenario progettuale è il paradosso legato alla percezione del problema: la profonda differenza di considerazione che l'acqua corrente assume a seconda del contesto in cui si colloca. Nei centri urbani viene spesso data per scontata e dovuta, al punto che la gravità della crisi resta invisibile e non contemplata dai consumatori più fortunati, a differenza di chi ne vive direttamente

gli effetti.

È da questa distanza, non solo geografica, ma anche culturale e percettiva da cui parte il progetto Nebel.

Gli obiettivi del progetto sono di sensibilizzare su queste tematiche e, al tempo stesso, di agire concretamente in luoghi remoti e meno fortunati, nel rispetto dell'ambiente, della cultura e dei diritti delle persone che abitano da secoli questi territori, sempre più esposti al rischio di divenire inabitabili.

Figura 2
Obiettivi per lo sviluppo sostenibile



Nota. Tratta da L'Italia e gli Obiettivi di Sviluppo Sostenibile: Rapporto ASviS 2022, di Alleanza Italiana per lo Sviluppo Sostenibile, 2022.
Copyright 2022 di ASviS.

1.2 – Analisi generale sul tema dell'emergenza idrica

Figura 3
Logo Concern Worldwide



Nota. Tratto da Concern Worldwide.

Concern Worldwide
Concern Worldwide è una delle principali organizzazioni umanitarie internazionali con sede in Irlanda. Si pone l'obiettivo di aiutare le persone che vivono in condizioni di estrema povertà (Concern Worldwide, 2025).

In riferimento all'emergenza idrica, appare paradossale che, in un pianeta la cui superficie è coperta per oltre il 70% d'acqua, tale problema costituisca uno dei temi principali per il futuro delle generazioni. Di tutta l'acqua presente, solo il 2,5% è dolce e la maggior parte si trova in ghiacciai e calotte polari, lasciando all'utilizzo umano circa lo 0,3% dell'acqua dolce (Concern Worldwide, 2025) (Figura 3).

Oltre alla scarsità in senso generale, occorre considerare che la disponibilità di acqua dolce rappresenta uno dei nove processi del sistema Terra associati a una soglia planetaria: esiste cioè un quantitativo annuale che il pianeta è in grado di rigenerare. Il superamento di tale limite, ovvero l'esaurimento delle acque dolci, produce cambiamenti ambientali inaccettabili e irreversibili, che minacciano la stabilità e la resilienza dell'intero sistema terrestre (Mekonnen & Hoekstra, 2016; Madani, 2026a).

A questa fragilità ambientale si aggiunge una profonda transizione strutturale: un rapporto dell'Istituto per l'acqua, l'ambiente e la salute dell'Università delle Nazioni Unite ha definito lo scenario odierno non più come una crisi transitoria e di passaggio, bensì come una vera e propria «bancarotta idrica» (water bankruptcy) a livello globale (Madani, 2026a).

Per bancarotta idrica globale si intende un meccanismo sistemico e prolungato in cui vengono prelevate costantemente e in modo intensivo più risorse idriche di quelle che il pianeta riesce a garantire; il risultato è una perdita parzialmente irreversibile del capitale naturale idrico, tale che i livelli storici di approvvigionamento

e di funzionalità ecosistemica non possono essere ripristinati se non a costi sproporzionati (Madani, 2026b).

A guidare questo progressivo esaurimento di risorse vi sono molteplici fattori, interconnessi tra loro.

Tra le cause principali figurano i cambiamenti climatici, la forte crescita demografica e un modello di consumo insostenibile da parte di industrie e settori produttivi: si stima infatti che, a livello globale, oltre il 70% dell'acqua dolce sia prelevato e utilizzato dal sistema agricolo, a cui si aggiunge la crescente domanda del settore industriale, in costante aumento sin dalle rivoluzioni industriali. Se la richiesta di acqua sicura aumenta in modo incontrollato e supera le disponibilità del pianeta, si genera uno stato di grave "stress idrico" che compromette il naturale ciclo di rinnovamento della risorsa.

La crisi idrica ha inoltre conseguenze gravissime per quanto riguarda l'accesso ai servizi essenziali, i cui dati più recenti risultano allarmanti. Sebbene in molte parti del mondo l'acqua corrente sia considerata un bene dovuto e scontato, le analisi demografiche restituiscono un quadro di profonda disuguaglianza e disparità, in cui circa un individuo su quattro non ha attualmente accesso ad acqua potabile gestita in modo sicuro. A ciò si aggiunge che miliardi di persone sono sprovviste di servizi igienico-sanitari, con gravissime conseguenze sulla salute pubblica e un esponenziale aumento del rischio legato alle malattie trasmesse dall'acqua (World Health Organization [WHO] & United Nations Children's Fund [UNICEF], 2025a) (Figura 4 e 5).

Figura 4
Logo World Health Organization

Nota. Tratto da The WHO logo and emblem.

World Health Organization (WHO)
La World Health Organization è l'agenzia speciale delle Nazioni Unite per la salute. Fondata nel 1948 con sede in Svizzera ha lo scopo di guidare e coordinare le politiche di salute pubblica nel mondo (Openpolis, 2021).

Figura 5
Logo UNICEF

Nota. Tratto da UNICEF: History of a logo.

UNICEF
United Nations Children's Fund è un'agenzia specializzata dell'ONU fondata l'11 dicembre 1946. Si occupa di proteggere e promuovere i diritti dei bambini in tutto il mondo, garantendo salute, istruzione, protezione e assistenza umanitaria (Comitato Italiano per l'UNICEF, 2024).

Figura 6
Logo UN DESA



Nota. Tratto da Logo United Nations Department of Economic and Social Affairs

UN DESA
Dipartimento del Segretariato dell'ONU che aiuta i governi a promuovere lo sviluppo sostenibile (UNDESA, 2025).

L'analisi dell'emergenza idrica attuale non si basa più soltanto sulla reale presenza delle risorse idriche, ma si sta rapidamente evolvendo in una sfida legata alle infrastrutture e all'urbanizzazione. La crescita demografica e l'aumento esponenziale delle persone che vivono in metropoli e città ad alta densità mettono costantemente sotto sforzo i sistemi di approvvigionamento che, senza un'adeguata manutenzione, diventano parte integrante del problema dell'emergenza idrica, con perdite anche molto elevate. Questi fattori, insieme all'inquinamento delle falde acquifere, trasformano lo stress ambientale in un problema che minaccia non solo gli ecosistemi, ma anche la stabilità e la sicurezza socio-economica globale (United Nations Department of Economic and Social Affairs [UNDESA], 2025) (Figura 6).

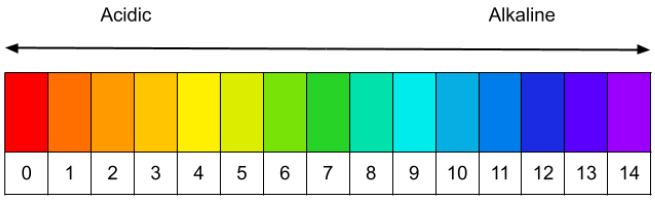
1.3 – Normative e qualità dell'acqua potabile

La qualità e la purezza dell'acqua sono garantite da diversi enti in base al paese di provenienza, mediante l'analisi costante di specifici parametri chimici, fisici e microbiologici, appositamente formulati al fine di tutelare la sicurezza e la salute dei consumatori.

Il quadro legislativo in materia di acque destinate al consumo umano ha subito recenti e profonde trasformazioni, con l'obiettivo di introdurre standard di sicurezza sempre più elevati e di carattere preventivo. In Italia la materia è disciplinata dal Decreto Legislativo 23 febbraio 2023, n. 18, di attuazione della direttiva (UE) 2020/2184, come modificato dalle disposizioni integrative e correttive introdotte dal Decreto Legislativo 19 giugno 2025, n. 102.

Uno dei primi parametri analizzati è la concentrazione di ioni idrogeno, ovvero il pH, che deve tendere alla neutralità, con un valore compreso tra 6,5 e 9,5 (Figura 7).

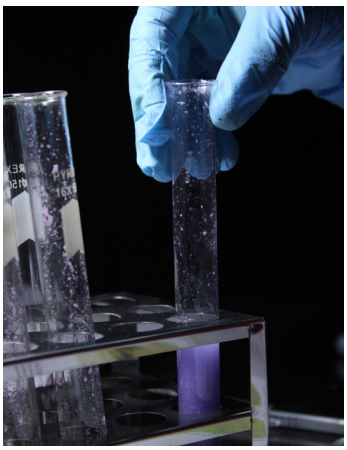
Figura 7
Scala del pH



Nota. Tratto da pH, di StudySmarter, 2022.

Un ulteriore parametro fondamentale è la conducibilità, che consente di valutare la quantità di sali disciolti all'interno dell'acqua; per tale parametro la normativa prevede un limite massimo di 2500 µS/cm (D.lgs. 18/2023, Allegato I).

Figura 8
Il pH



Nota. Fotografia di J. T. Reza, 2026, Pexels.

Il pH

Il pH è un valore che indica quanto una sostanza sia acida (ricca in ioni H+) o basica/alcalina (povera in H+). Il suo valore si sviluppa su una scala logaritmica che va da 0 a 14, dove 0 indica la massima acidità e 14 la massima basicità (Bonardo, 2022).

La conducibilità

La conducibilità elettrica è la grandezza che misura la propensione di un materiale a farsi attraversare dalla corrente (Catania, s.d.-a).

Dal punto di vista microbiologico, invece, non è ammessa alcuna tolleranza: l'acqua deve essere completamente priva di batteri e agenti patogeni, quali gli enterococchi intestinali (D.lgs. 102/2025, Allegato I, Parte B).

Gli enti di certificazione sono costantemente impegnati nell'individuazione di nuove sostanze contaminanti, potenzialmente dannose per l'essere umano. Negli ultimi anni si è sviluppata una crescente attenzione nei confronti dei cosiddetti "contaminanti emergenti", tra i quali i più noti sono le microplastiche e i PFAS (sostanze perfluoroalchiliche), comunemente definiti anche "inquinanti eterni" data la loro persistenza nell'ambiente e all'interno del corpo umano.

Tali sostanze sono soggette a limiti normativi stringenti, fissati a 0,50 µg/L per la loro totalità e a 0,10 µg/L per la somma di specifici composti (D.lgs. 102/2025, Allegato I, Parte B). Un ulteriore fattore da tenere in considerazione durante le analisi dell'acqua è la presenza di metalli pesanti, quali l'arsenico, il cui limite è stabilito a 10 µg/L, e il piombo, per il quale il limite attuale è di 10 µg/L, con l'intenzione di ridurlo fino a 5 µg/L entro il 2036 (D.lgs. 102/2025, Allegato I, Parte B).

L'acqua è una risorsa essenziale per la sopravvivenza dell'uomo e per il funzionamento fisiologico del corpo umano: circa il 60% del peso corporeo di un individuo adulto è costituito da acqua, con variazioni fra il 50 e il 75% a seconda dell'età (Rossi, 2020). Per il benessere generale è fondamentale un corretto apporto giornaliero d'acqua, al fine di favorire le funzioni vitali, mantenere ade-

guati livelli di energia e facilitare la termoregolazione corporea. La quantità giornaliera necessaria non è universale: come spiega l'EFSA, essa dipende da numerosi fattori, tra cui l'età, il sesso, il peso, l'altezza, le temperature esterne e l'intensità dell'attività fisica svolta (EFSA Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies [NDA], 2010).

Figura 9
Logo EFSA



Nota. Tratto da EFSA logo, di Autorità Europa per la Sicurezza Alimentare, s.d.

EFSA
L'EFSA (Autorità Europea per la Sicurezza Alimentare) è l'agenzia dell'Unione Europea nata nel 2002 per proteggere i consumatori dai rischi legati al cibo (EFSA, 2010).

1.4 - Analisi dello stato attuale con focus sullo sfruttamento dei metodi di raccolta e purificazione delle acque

Davanti a uno scenario di crisi come quello che si sta creando sul nostro pianeta è fondamentale avere non una, bensì un ventaglio di possibilità e di possibili soluzioni per provare a mitigare e alleviare l'emergenza.

Sono fondamentali metodi e tecnologie sia per la raccolta sia per la purificazione delle acque, ciascuno con i propri vantaggi, svantaggi e ambiti di applicazione che lo renderanno più o meno adatto ai diversi contesti. Essere a conoscenza dello stato attuale dello sfruttamento di tali metodi è fondamentale per valutare quali strategie risultino realmente efficaci nei diversi contesti geografici e socio-economici.

Un primo criterio di classificazione che permette di suddividere le fonti d'acqua consiste nel distinguere quelle "convenzionali" da quelle "non convenzionali". Le prime, come l'estrazione da acque superficiali o da falde acquifere, sono quelle tradizionalmente e storicamente più sfruttate, su cui si è basata l'economia per anni e che tutt'ora restano predominanti nel panorama mondiale. Le seconde, invece, nate e sviluppatesi in questi ultimi anni, emergono come risposta all'emergenza in avanzamento: ne sono un esempio la raccolta delle acque piovane e la cattura dell'umidità atmosferica. Questa divisione non è puramente teorica ma indicativa, e mostra come, in situazioni in cui le metodologie tradizionali risultano inquinate, esaurite o non più accessibili, l'attenzione e lo sviluppo si spostino necessariamente verso tecnologie non convenzionali in grado di sopperire alle mancanze generate dall'emergenza.

Un secondo criterio che può essere analizzato riguarda l'intensità energetica necessaria al funzionamento di un impianto. Da un lato si collocano i sistemi con un consumo di energia basso o nullo, definiti passivi, come lo sfruttamento di sorgenti naturali o la raccolta dell'acqua piovana; dall'altro si trovano invece processi e metodi definiti attivi, altamente energivori, come i generatori di acqua atmosferica o la desalinizzazione. Per parlare di una soluzione sostenibile non bisogna quindi concentrarsi solo sui volumi d'acqua prodotti, ma sul rapporto tra i volumi prodotti e le risorse energetiche ed economiche necessarie al funzionamento: un dettaglio di enorme rilievo, in particolare nei paesi in via di sviluppo. Bisogna sottolineare che, salvo rare eccezioni, i sistemi di raccolta e di purificazione sono strettamente legati, dato che l'acqua prodotta richiede quasi sempre un trattamento per renderla potabile e sicura per l'essere umano. Nei grandi impianti di potabilizzazione vengono combinate le fasi di coagulazione, sedimentazione e filtrazione per la rimozione delle particelle sospese, seguite da una disinfezione finale necessaria a garantire l'abbattimento di batteri, protozoi e virus (World Health Organization, 2022).

Nei contesti meno fortunati, invece, si cercano soluzioni alla portata economica dei bassi redditi: qui si sviluppano soluzioni domestiche a basso costo, come i filtri a sabbia e la disinfezione solare, tecnologie che permettono di offrire acqua sicura anche in mancanza di infrastrutture complesse.

Lo stato attuale dell'approvvigionamento idrico mostra come i

Figura 10
Logo Nature Communications



Nota. Tratto da Nature Communications, di Springer Nature, s.d.

nuovi metodi di raccolta non siano soluzioni di nicchia, bensì tecnologie con potenziale globale. Secondo uno studio pubblicato su Nature Communications nel 2025 (Yuan et al., 2025) l'ottimizzazione dei sistemi di raccolta dell'acqua piovana, integrata in strategie di gestione più ampie, potrebbe garantire acqua potabile sicura a un numero di persone compreso tra 0,45 e 2,08 miliardi, alzando la copertura globale dei servizi idrici sicuri dal 72,25% a un intervallo compreso fra il 77,85% e il 98,25%, a seconda dello scenario di implementazione e assumendo un fabbisogno di 20 litri al giorno per persona. Analogamente, sul fronte della cattura atmosferica, si stima che l'atmosfera terrestre contenga circa 13.000 km^3 di vapore acqueo, una risorsa idrica globale ancora in larghissima parte non sfruttata (Mohammed et al., 2026).

Capitolo 2

Dove l’emergenza idrica è un problema


PEPE
19

2.1 – L’acqua a livello globale

Molto spesso l’acqua corrente viene considerata un bene scontato e garantito; tuttavia, osservando il panorama mondiale, la situazione risulta allarmante. Negli ultimi anni sono stati compiuti notevoli passi avanti, ma tuttora una persona su quattro, ovvero 2,1 miliardi di persone nel mondo (Figura 11), non dispone di accesso ad acqua sicura e potabile, e oltre 106 milioni di persone utilizzano e bevono acqua proveniente da fonti superficiali non trattate (World Health Organization [WHO] & United Nations Children’s Fund [UNICEF], 2025a).

Figura 11
Grafico accesso alle risorse idriche



Analizzando invece la carenza di risorse idriche in senso più ampio, quasi 4 miliardi di persone affrontano una grave penuria d’acqua per almeno un mese all’anno, e quasi tre quarti della popolazione mondiale vive in paesi classificati come idricamente insicuri o a rischio (Madani, 2026; Mekonnen & Hoekstra, 2016).

Per comprendere la distribuzione della crisi idrica si adotta il concetto di water gap, definito da Leijnse et al. (2024) come la differenza cumulativa annuale tra la domanda idrica e la reale disponibilità.

Tale parametro, a differenza degli indici tradizionali, consente di determinare i volumi d’acqua mancanti area per area, rendendo

confronti e paragoni notevolmente più semplici e diretti. Lo studio analizza inoltre quali siano i principali hotspot di scarsità idrica: con particolare riferimento all'emisfero nord, i risultati evidenziano 21 luoghi che, nel decennio 2010-2019, hanno registrato problemi con le risorse idriche, in particolare nel Mediterraneo, in Medio Oriente e nel Sud ed Est asiatico.

Spostando l'analisi sull'emisfero sud, il quadro generale peggiora ulteriormente: in tale contesto l'Africa rappresenta l'insieme di tutte le problematiche connesse, molto spesso, all'emergenza idrica. Nonostante il continente detenga il 9% delle risorse idriche globali (Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2003; United Nations Environment Programme, 2010), circa il 60% della sua superficie è costituito da terre aride (African Development Bank et al., 2000).

La distribuzione è particolarmente disomogenea: sei paesi concentrano il 54% delle risorse del continente, mentre 27 paesi in condizione di grave scarsità idrica ne dispongono complessivamente di appena il 7% (Centre for Science and Environment, 2024).

L'Africa subsahariana costituisce una delle zone più gravemente colpite dalla carenza idrica, ove più della metà della popolazione non ha accesso all'acqua potabile sicura. L'ONU ha classificato e rilevato che tutte le nazioni africane risultano "idricamente insicure" e rappresentano quasi la metà dei 114 paesi così etichettati nel mondo (MacAlister et al., 2023).

Le aree maggiormente colpite si collocano nell'Africa meridionale:

Water Gap

Il water gap è la differenza tra la domanda di acqua e la quantità di acqua rinnovabile disponibile, cioè quella che il ciclo idrologico è in grado di rigenerare in un dato territorio (Byerly & Gallery, 2025).

paesi come il Sud Africa e la Namibia fronteggiano costantemente lunghi periodi di siccità e precipitazioni estremamente scarse, che non risultano sufficienti a colmare il Water Gap.

Spostando l'analisi sulle città e sui centri abitati, la situazione non migliora: secondo l'ONU, entro il 2050 tra 1,7 e 2,4 miliardi di persone vivranno in nuclei urbani caratterizzati da problemi di approvvigionamento idrico e gestione delle acque, un dato significativo e allarmante che dimostra come l'emergenza idrica sia ormai al centro dei dibattiti di governi e organizzazioni (We Build Value, 2025).

Attualmente il 45% della popolazione mondiale, che conta 8,2 miliardi di persone, risiede in città, e si stima che entro il 2050 due terzi della crescita demografica globale si concentrerà nei contesti urbani. La quantità d'acqua richiesta è quindi in netta crescita e le infrastrutture idriche non risultano in grado di garantire un approvvigionamento sicuro e continuo (UNDESA, 2025).

2.2 – I contesti vulnerabili

L'emergenza idrica è particolare perché non si manifesta in modouniforme sul territorio: natura e intensità dipendono da fattori come condizioni climatiche e geografiche unite a fattori non naturali come infrastrutture e potenzialità economica di ogni singolo contesto.

A tal proposito è utile distinguere le varie modalità con cui la scarsità e l'emergenza possono presentarsi. Si parla di scarsità fisica quando la risorsa è realmente insufficiente rispetto a quelli che sono i fabbisogni; tipicamente si verifica nelle zone aride e semi-aride; di scarsità economica quando l'acqua è presente in quantità sufficiente per rispondere al fabbisogno ma mancano infrastrutture e investimenti per far sì che l'acqua sia accessibile e sicura.

Infine, si aggiunge una nuova distinzione introdotta dall'International Water Management Institute e ripresa dalle Nazioni Unite, definita scarsità qualitativa e di accesso, dove l'acqua è presente in quantità corrette per il fabbisogno ma risulta inquinata, mal distribuita o accessibile solo per una parte della popolazione (Seckler et al., 1998).

Questa classificazione consente di capire perché l'emergenza idrica sia in grado di colpire contesti completamente diversi tra loro e, allo stesso tempo, capire quali siano i principali nodi e possibili ambienti di sviluppo.

Le tre situazioni analizzate nei prossimi paragrafi corrispondono esattamente a una tipologia di scarsità differente: i contesti aridi dove la scarsità fisica fa da padrona, le foreste amazzoniche dove

Figura 12
Logo International Water Management Institute



Nota. Tratto da About us, di International Water Management Institute, s.d.

International Water Management Institute

L'IWMI è un'organizzazione internazionale di ricerca per lo sviluppo, con sedi in 17 paesi e una rete globale di scienziati operanti in oltre 55 paesi. Da oltre trent'anni, le ricerche hanno portato a cambiamenti nella gestione delle risorse idriche nel mondo (IWMI, s.d.).

di fronte all'abbondanza d'acqua si contrappongono infrastrutture quasi nulle, infine i contesti urbani dove si manifestano di più problemi di accesso, qualità e distribuzione.

Nonostante la loro diversità questi tre ambienti condividono problematiche e vulnerabilità legate all'acqua, il che li rende contesti ideali per testare e sperimentare nuove soluzioni con lo scopo di mitigare l'emergenza idrica.

2.2.1 – Contesti aridi

Come osservato in precedenza, il panorama mondiale dell'emergenza idrica sta mutando in modo rapido e continuo, non lasciando altra scelta ai governi se non quella di intervenire immediatamente per provare a ripristinare degli equilibri che negli ultimi anni si sono completamente sgretolati. Si è passati quindi da uno stato di "stress idrico" a uno stato di "bancarotta" quasi irreversibile, fenomeno che porta con sé una serie di conseguenze devastanti come lo sprofondamento del suolo, detto anche subsidenza, oltre che la completa scomparsa di intere aree e zone umide (Madani, 2026b).

Figura 13
Contesto arido



Nota. Fotografia di A. M. Isop, 2024, Pexels.

Nei contesti aridi e iper-aridi, l'emergenza idrica, e quindi la mancanza di risorse idriche, non è più un evento saltuario o occasionale, bensì una situazione strutturale e presente nella vita di tutti i giorni per gli abitanti del posto. I principali motivi che portano la crisi a questo livello sono:

- **Cambiamento idroclimatico:** diminuzione drastica dei livelli di precipitazione combinata ad altissimi tassi di evaporazione.
- **Pressione antropica:** urbanizzazione e sviluppo incontrollato di aree urbane che drenano sorgenti e falde acquifere in tempi rapidi e sconsiderati.
- **Degrado qualitativo:** l'ipersfruttamento di falde e sorgenti, in particolare nelle zone costiere, porta alla salinizzazione e alla concentrazione di inquinanti e altre sostanze all'interno dell'acqua.

Questi fattori portano a una crisi su scala globale se consideriamo che le terre aride ospitano la maggior parte delle persone che,

Agroforestazione
L'agroforestazione è una pratica di gestione del territorio che integra coltivazioni agricole, piante legnose perenni e, in alcuni casi, l'allevamento di bestiame sullo stesso appezzamento di terreno. Questa combinazione mira a creare sistemi produttivi più sostenibili e resilienti, sfruttando le interazioni positive tra le diverse componenti dell'ecosistema (Bruni, 2025).

Riforestazione
La riforestazione è l'azione da parte dell'uomo di rigenerare le foreste che vengono distrutte per lo sfruttamento del legname, incendi o la conversione in pascoli e terreni agricoli (WWF Italia, 2021).

secondo le stime, convivono con condizioni di scarsità idrica, fra uno e due miliardi. Si tratta dei medesimi contesti in cui il riscaldamento climatico avanza più rapidamente rispetto alla media mondiale.

Secondo le stime, il numero di persone soggette a stress idrico è destinato ad aumentare esponenzialmente, aggravando ulteriormente la crisi (Stringer et al., 2021)

In questa condizione di estrema emergenza molte comunità hanno iniziato ad adottare nuove metodologie di raccolta dell'acqua basate sulla natura.

Nel continente africano si stanno infatti diffondendo tecniche come la raccolta dell'acqua piovana, la conservazione dell'umidità nel suolo, l'agroforestazione e la riforestazione.

L'efficacia di questi approcci, però, è strettamente legata al coinvolgimento e alle interazioni con le comunità locali e alla valorizzazione delle loro conoscenze, fattori imprescindibili per rendere le soluzioni durature e realmente integrate all'interno di cultura e territorio (Okello et al., 2024).

2.2.1.1 – Il caso studio della Namibia e la situazione attuale

La grande sfida nelle zone aride, come oltre il 90% della Namibia, è che le fonti d'acqua disponibili sono molto spesso lontane dai luoghi di utilizzo e di necessità, oltre che tecnicamente difficili da sfruttare. Questa zona dell'Africa è conosciuta come la terra degli estremi; l'economia è fortemente instabile, dato che si basa prevalentemente su miniere e agricoltura, settori che dipendono fortemente dall'approvvigionamento idrico.

La quasi totale mancanza di punti di accesso ad acqua libera e sicura è considerata uno dei fattori critici di povertà e vulnerabilità di un paese. Per provare a garantire l'approvvigionamento ai propri abitanti, paesi come la Namibia stanno cercando di sviluppare nuovi sistemi e nuove metodologie innovative per la raccolta e la purificazione dell'acqua. La desalinizzazione ne è un esempio: una soluzione tecnologicamente molto avanzata ma purtroppo anche altamente energivora, che richiede quindi un grande quantitativo di risorse per il funzionamento, oltre a produrre grandi volumi salini da smaltire. In Namibia, in particolare, si stanno sviluppando tecnologie mai viste prima d'ora, come l'estrazione dall'atmosfera, ossia tecnologie in grado di condensare l'umidità dell'aria. Il loro principale difetto è la costante necessità di energia, che le rende molto costose se non alimentate a energia solare, come i nuovi prototipi sviluppati dall'MIT. La tecnologia che sta dando maggiori risultati è probabilmente il fog harvesting, ossia la raccolta della nebbia attraverso impianti in grado di catturarla e convogliarla, rendendola acqua accessibile. È un sistema passivo, senza consumo di energia elettrica; il principale difetto è la stretta

Figura 14
Mappa della Namibia



Nota. Tratto da Namibia relief location map, di U. Dedering, [2013], Wikimedia Commons CC BY-SA 3.0.

Figura 15
Logo di Gobabeb Training and Research Centre

Nota. Tratto da Gobabeb Namib Research Institute, di Gobabeb Namib Research Institute, s.d.

Figura 16
Gobabeb Training and Research Centre



Nota. Fotografia tratta da Gobabeb research and training centre, di Travel Namibia, s.d.

dipendenza dalla presenza della nebbia, non sempre presente e, in particolare, non presente in tutti i luoghi. I fog harvester funzionano molto bene nei deserti costieri, dove grandi banchi di nebbia si formano a causa della differenza di temperatura tra deserto e oceano; questo fenomeno si verifica fino a 200 giorni all'anno, rimanendo quindi presente la maggior parte dei giorni e garantendo l'affidabilità del sistema di harvesting (Shanyengana et al., 2002). Oltre alla dipendenza dalla nebbia i fog harvester hanno il problema della manutenzione, le reti devono essere pulite regolarmente dalle comunità locali in modo da mantenerle efficienti e produttive. Se il sistema funziona ed è operativo può arrivare fino a 3,3 litri per m^2 per giorno di nebbia nel sito più produttivo, con l'acqua ottenuta che possiede già ottime caratteristiche a livello di pulizia e igiene (Shanyengana et al., 2002). Un ottimo esempio di impianto di fog harvester il Gobabeb Training and Research Centre (Figura 15), situato nel cuore del deserto del Namib ed è uno dei principali centri di test e sviluppo delle reti per il fog harvesting (Figura 16). Gobabeb centre è anche la perfetta dimostrazione di come le relazioni con gli abitanti del posto siano fondamentali per lo sviluppo di progetti che si devono relazionare e intersecare con il tessuto urbano, il centro sviluppa tecnologie e idee a stretto contatto con le comunità indigene locali, i Topnaar, sperimentando i collettori di nebbia direttamente presso i villaggi Topnaar e il Gobabeb Training and Research Centre, dove le misurazioni sono attive dall'ottobre 1996 in collaborazione con le comunità locali (Shanyengana et al., 2001).

2.2.2 – Foreste amazzoniche

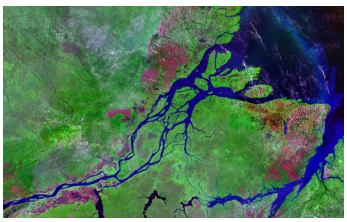
Un secondo contesto che può essere particolarmente significativo è quello delle foreste amazzoniche, dove l'emergenza si sviluppa in modo totalmente diverso e richiede approcci altrettanto diversi. É paradossale come in una delle zone con più acqua dolce al mondo, milioni di persone non ne abbiano un accesso sicuro e potabile.

Questa mancanza non deriva da una reale mancanza fisica della risorsa bensì dall'assenza di infrastrutture adeguate e da una mancanza storica di attenzione da parte dei governi nei confronti delle popolazioni più isolate. Un caso studio rilevante è l'arcipelago di Marajò (Figura 17), il più grande agglomerato di isole fluvio-marine del mondo che si trova nel delta del Rio delle Amazzoni; nonostante l'arcipelago sia bagnato da precipitazioni tra i 2.000 e i 2.500 millimetri annui e da un allagamento che, nella stagione delle piogge, arriva a coprire circa il 70% del suo territorio, migliaia di persone vivono senza garanzie di acqua sicura e servizi igienico-sanitari di base.

Si stima che, solo nel nord del Brasile, circa 6,5 milioni di persone non abbiano accesso ad acqua trattata: un dato che mostra come in questi paesi la disuguaglianza non sia dovuta a cause naturali ma a processi politici e di amministrazione attraverso i quali viene gestita la distribuzione dell'acqua (Instituto Trata Brasil, 2026; Medeiros, 2025; Medeiros & Souza, 2025).

Nel nord del Brasile un nucleo famigliare su quattro non è collegato alla rete idrica, le popolazioni rurali dipendono quasi interamente da acqua piovana o prelevata dai fiumi senza trattamenti

Figura 17
Arcipelago di Marajò



Nota. Tratto da Mouths of Amazon, GeoCover 1990, di NASA, s.d., Wikimedia Commons.

I coliformi

Sono un gruppo di batteri presenti naturalmente nell'ambiente, in particolare nel suolo, nell'acqua e nelle feci di animali e umani. Sono considerati indicatori di contaminazione fecale e, sebbene la maggior parte non sia patogena, la loro presenza può indicare la presenza di altri microrganismi pericolosi. Esistono diversi tipi di coliformi, tra cui il più noto è Escherichia coli, che può causare gravi infezioni se ingerito (Alitec, s.d.).

o particolari attenzioni. L'acqua dei fiumi presenta notevoli rischi microbiologici con concentrazioni di coliformi totali ed Escherichia coli prossime a 3,5 log CFU/100 mL.

I metodi di trattamento e depurazioni domestici più diffusi sono sedimentazione, filtrazione con teli di stoffa e clorazione con ipoclorito di sodio, utilizzato dal 18% delle famiglie, con cloro residuo rilevato soltanto nell'8% dei campioni (Gomes et al., 2024).

Alla fragilità strutturale del sistema si stanno aggiungendo, negli ultimi anni, le criticità legate ai cambiamenti climatici.

Nel 2023 l'Amazzonia è stata colpita da una grave siccità che ha determinato la perdita di circa 3,3 milioni di ettari di acque superficiali rispetto all'anno precedente. Fiumi come il Solimões, il Negro, il Purus, l'Acre e il Branco hanno raggiunto livelli minimi storici, costringendo intere comunità a rifornirsi da fonti ancora più compromesse dal punto di vista qualitativo (Souza et al., 2024).

Il caso amazzonico dimostra dunque come l'emergenza idrica non coincida necessariamente con l'assenza fisica della risorsa ma la mancanza di qualità, di infrastrutture e di accesso può rendere la popolazione altrettanto vulnerabile di quella che vive nei contesti aridi.

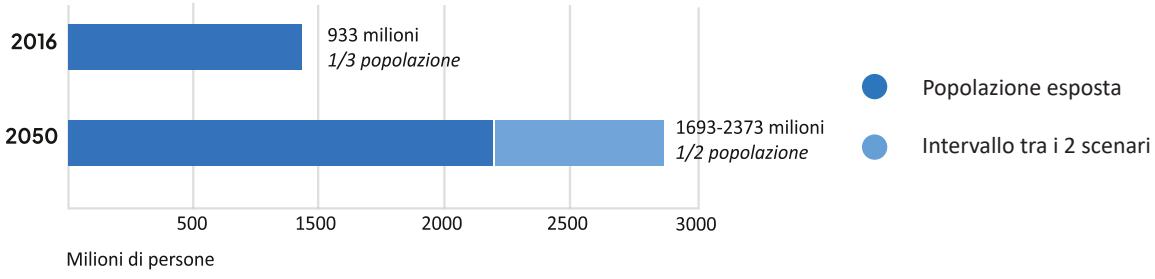
2.2.3 – Contesti urbani

Nei contesti urbani l'emergenza idrica nasce dalla combinazione della crescita demografica direttamente collegata all'inadeguatezza delle infrastrutture e dei sistemi di approvvigionamento.

Le città stanno aumentando e si stanno sviluppando sempre di più, la maggior parte della popolazione mondiale vive in centri urbani anche molto grandi, di conseguenza reti e infrastrutture pensate per un numero minore di persone faticano a reggere il carico e soddisfare il fabbisogno in modo continuo e sicuro.

Le proiezioni future mostrano come questo fenomeno sia destinato ad aumentare, la popolazione urbana esposta alla scarsità idrica era circa 933 milioni di persone nel 2016 e passerà a un valore compreso tra 1,7 e 2,4 miliardi entro il 2050, arrivando a interessare quasi la metà della popolazione urbana mondiale, con l'India tra i paesi più colpiti (Figura 18).

Figura 18
Previsione aumento persone esposte alla scarsità idrica



Nello stesso periodo il numero di grandi città soggette a stress idrico potrebbe crescere fino a 284, includendo tra le dieci e le venti megalopoli (He et al., 2021).

Un esempio di come le infrastrutture e le reti obsolete siano parte

integrante della crisi si è visto nella capitale della Colombia, Bogotà, dove nel 2024 la riduzione dei livelli dei bacini che alimentano la città, aggravata da una prolungata siccità, ha reso necessario il razionamento dell'acqua per milioni di abitanti, evidenziando quanto anche le grandi metropoli possano risultare esposte a crisi improvvise (Ortega-Ramírez et al., 2026).

Ai problemi infrastrutturali si affiancano problematiche di natura culturale e soprattutto comportamentale, nei contesti urbani sviluppati l'acqua corrente viene percepita come una risorsa infinita a basso costo e l'utilizzo giornaliero delle persone supera, anche di molto, il reale fabbisogno dei singoli individui.

Il fabbisogno individuato per una singola persona è di circa 50 litri al giorno, considerato come la soglia necessaria a soddisfare i bisogni di consumo e igiene per un livello di servizio intermedio ma il consumo medio di un cittadino europeo si aggira intorno ai 150 litri quotidiani, un dato esponenzialmente grande se confrontato con il consumo nelle aree più povere del pianeta dove la disponibilità può scendere sotto i 20 litri giornalieri, e i valori nettamente più elevati registrati nelle grandi città del Nord America (Worldometer, s.d.).

Il contesto urbano restituisce così un'immagine paradossale: è il luogo in cui l'acqua è più disponibile e accessibile, ma anche quello in cui viene maggiormente sottovalutata e dispersa, tra reti che ne perdono quasi la metà e comportamenti quotidiani che ne consumano ben oltre il necessario. È proprio in questo scarto tra abbondanza percepita e valore reale della risorsa che si colloca

la possibilità di un intervento sul consumo domestico, capace di agire direttamente nel punto in cui le persone entrano più spesso in contatto con l'acqua.

Capitolo 3

Metodi e tecnologie di raccolta dell’acqua



3 – Metodi e tecnologie di raccolta dell'acqua

Esiste un ampio spettro di metodologie differenti di raccolta dell'acqua che variano dall'estrazione tramite pozzi fino a trattamenti complessi delle acque reflue. In questa sezione verranno analizzati i principali metodi tramite cui è possibile avere accesso all'acqua, distinguendoli in metodi convenzionali (Figura 19), tradizionalmente e storicamente più utilizzati e metodi non convenzionali (Figura 20), ovvero soluzioni nate come risposta alla crescente crisi idrica globale (Qadir et al., 2022).

Figura 19
Esempio di metodo convenzionale di raccolta delle acque



Nota. Fotografia di ciboulette, 2026, Pexels.

Figura 20
Esempio di metodo non convenzionale di raccolta delle acque



Nota. Fotografia di H. Gejwal, 2026, Pexels.

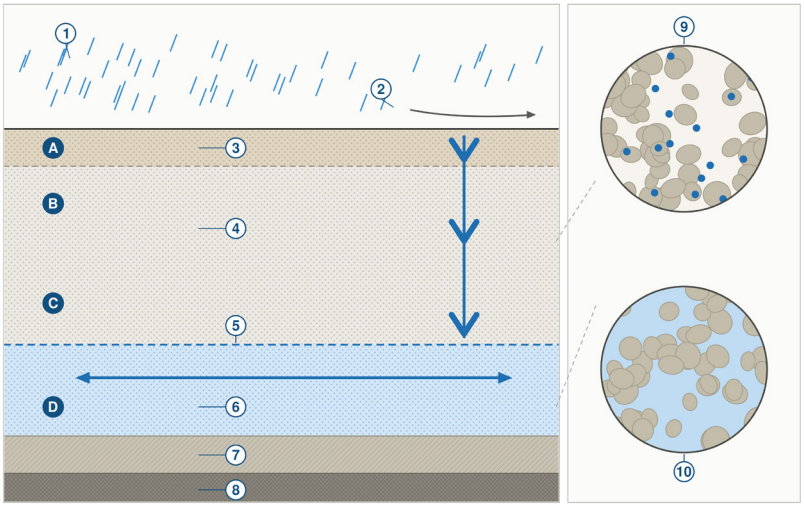
3.1 – Metodi convenzionali

3.1.1 – Estrazione sotterranea

Le acque sotterranee rappresentano la fonte idrica più antica e diffusa a livello globale e costituiscono circa un terzo dell'acqua dolce totale disponibile a livello mondiale.

La fonte da cui attingere è presente all'interno del terreno e viene raggiunta tramite la realizzazione di scavi o pozzi, oppure vi è una fuoriuscita naturale tramite una sorgente. La formazione di queste riserve d'acqua, chiamate falde acquifere, è il risultato di una precisa sequenza di fenomeni idrogeologici (Figura 21).

Figura 21
Processo di formazione di una falda acquifera



LEGENDA Figura 21

FASI DI FORMAZIONE FALDA

- A Imbibizione
- B Infiltrazione efficace
- C Percolazione
- D Formazione della falda

ELEMENTI

1. Precipitazioni atmosferiche
2. Ruscellamento superficiale
3. Suolo superficiale
4. Zona insatura (di aerazione)
5. Superficie freatica
6. Zona satura (falda)
7. Acquicludo
8. Substrato impermeabile

DETTAGLI INGRANDITI

9. Zona insatura
10. Zona satura

CHIAVE DEI SEGNI

- pioggia
- ruscellamento superficiale
- percolazione verso il basso
- deflusso della falda
- superficie freatica
- suolo superficiale
- materiale insaturo
- materiale saturo
- livello impermeabile (acquicludo)
- substrato impermeabile

Le falde acquifere, infatti, si creano tramite un naturale processo di infiltrazione, dovuto alla capacità dello strato superficiale del terreno di assorbire parte delle precipitazioni atmosferiche (imbibizione), saturando la capacità di ritenzione idrica del terreno. L'acqua che eccede il potenziale di ritenzione, spinta dalla forza di gravità, permea verticalmente verso il basso, avviando una fase

LEGENDA Figura 22

1. Zona insatura (di aerazione)
2. Superficie freatica (livello di falda)
3. Falda freatica – acquifero libero
4. Strato impermeabile – acquicludo
5. Falda artesiana – acquifero confinato
6. Substrato impermeabile
7. Superficie piezometrica
8. Pozzo freatico
9. Cono di depressione
10. Pozzo artesiano zampillante
11. Infiltrazione delle acque meteoriche
12. Alimentazione da monte

CHIAVE DEI SEGNI

- Materiale saturo (permeabile)
- Materiale insaturo (permeabile)
- Livello impermeabile
- Substrato impermeabile
- Superficie dell'acqua
- Direzione del flusso idrico

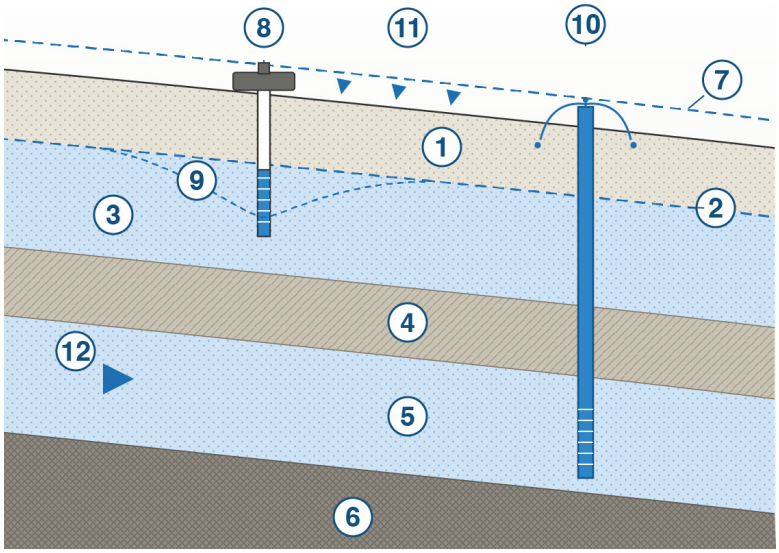
di infiltrazione efficace e riuscendo a passare nelle fratture e nei pori lasciati vuoti tra le formazioni rocciose permeabili e i vari sedimenti presenti.

L'acqua, tramite percolazione, prosegue la sua discesa attraverso lo strato insaturo, dove gli spazi vuoti come pori e fratture sono coabitati da aria e acqua. La percolazione continuerà fino a quando l'acqua non si imbatterà in una formazione geologica impermeabile, chiamata acquicludo, che impedirà il passaggio e diventerà il letto su cui nascerà la falda. La velocità di percolazione è dovuta al grado di permeabilità delle rocce.

Poiché non può più proseguire verticalmente, l'acqua inizia a occupare orizzontalmente tutta quella sezione insatura condivisa con l'aria, fino a quando non occuperà tutto lo spazio presente, saturando ogni singolo poro e formando la falda acquifera.

In base al posizionamento e alla disposizione degli strati geologici si creano due tipi differenti di falde (Figura 22):

Figura 22
Sezione schematica di falda freatica e falda artesiana



- **Falda freatica (o libera):** poggia su uno strato impermeabile al fondo, ma superiormente è delimitata da una zona dove l'acqua ha pressione atmosferica; è libera di salire e scendere in base alla ricarica idrica, essendo confinata superiormente da uno strato di roccia permeabile.

- **Falda artesiana (o confinata):** l'acqua in questo caso è in pressione costante, avendo saturato tutto lo spazio permeabile disponibile ed essendo confinata tra due strati impermeabili (Civita, 2005).

Per riuscire ad attingere alle risorse idriche presenti all'interno di queste falde vengono realizzati dei pozzi (Figura 22):

- **I pozzi freatici** sono realizzati per raggiungere la falda freatica, ovvero quella più superficiale, subito sotto lo strato permeabile del terreno, e misurano non più di venti metri di profondità. L'acqua presente in questi pozzi è caratterizzata da staticità, ovvero su di essa non agiscono direttamente fenomeni come la pressione. Questo fattore comporta un necessario sviluppo di sistemi idraulici per riuscire a raggiungere l'acqua all'interno della falda. Sono economici e vengono utilizzati principalmente per l'irrigazione dei campi.

- **I pozzi artesiani**, invece, sfruttano la pressione naturale presente all'interno della falda artesiana; in alcuni casi, per incrementarne l'efficienza, viene accoppiata una pompa.

LEGENDA Figura 23

TIPOLOGIE DI SORGENTI

- A Sorgente di contatto
- B Sorgente di trabocco
- C Sorgente di sbarramento
- D Sorgente di emergenza

ELEMENTI

1. Superficie topografica
2. Materiale permeabile insaturo
3. Falda (acquifero)
4. Superficie freatica
5. Strato impermeabile
6. Direzione del deflusso
7. Punto di emergenza della sorgente
8. Soglia di trabocco
9. Invaso impermeabile
10. Sbarramento impermeabile
11. Risalita in pressione
12. Specchio d'acqua nella depressione

CHIAVE DEI SEGNI

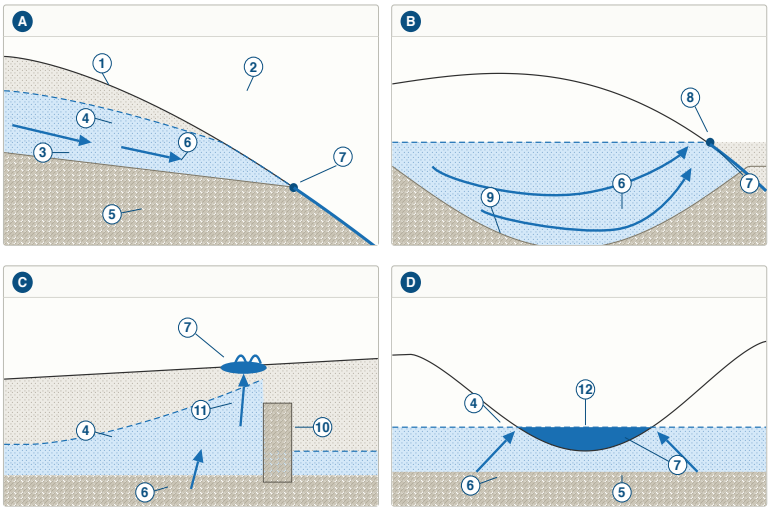
- Emergenza e deflusso superficiale
- Materiale permeabile insaturo
- Materiale saturo (falda)
- Materiale impermeabile

Nei pozzi artesiani eruttivi l'acqua risale spontaneamente in superficie per effetto del carico piezometrico, senza necessità di pompaggio, in quantitativi che possono essere elevati e che vengono usati per diversi scopi nel settore pubblico e privato (Amadu, 2023).

Vi sono casi in cui non è necessario scavare un pozzo per riuscire a raggiungere le acque sotterranee. In questi casi si parla di sorgenti, ovvero aree dove fuoriesce, senza necessità di alcun supporto, l'acqua sotterranea. Essendo un fenomeno del tutto naturale, l'approvvigionamento tramite queste sorgenti, nei limiti e seguendo le normative esistenti, non va a impattare sul labile equilibrio idrologico delle falde.

Esistono quattro tipi principali di sorgenti (Figura 23 e 24):

Figura 23
Tipologie di sorgente



Nota. Elaborazione propria basata sulla classificazione di Civita (2005).

- **Le sorgenti di contatto:** la falda trova uno strato impermeabile che la devia, fino a quando non affiora in superficie.
- **Le sorgenti di trabocco:** si creano quando la falda, oltre ad aver riempito tutto lo spazio a disposizione, è costretta a far uscire verso la superficie, tramite uno sbocco, l'acqua in eccesso.
- **Le sorgenti di sbarramento:** date dalla pressione naturale che si crea e che a volte sfocia nella fuoriuscita di un getto d'acqua.
- **Le sorgenti di emergenza:** nascono quando la falda freatica taglia la superficie del suolo (Civita, 2005).

Figura 24
Sorgenti



Nota. Fotografia di Maksym Parovenko, 2026, Pexels.
Fotografia di Michał Robak, 2024, Pexels.

3.1.2 – Raccolta da acque superficiali

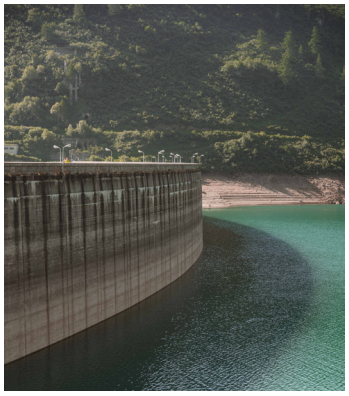
Il complesso delle acque superficiali è formato da tutti quei bacini di acqua direttamente a contatto con l'atmosfera, ovvero fiumi, laghi e tutti i corsi d'acqua presenti in superficie. Essendo a contatto stretto con l'ambiente esterno, sono fortemente esposte a fenomeni atmosferici e stagionali. Esse, infatti, richiedono accorgimenti fisici e chimici (trattamenti di potabilizzazione) per l'eliminazione di elementi nocivi, batteri o solidi sospesi che influiscono sulla sicurezza dell'acqua stessa.

Il principio alla base della raccolta delle acque superficiali risiede nella costruzione di barriere, canali e dighe in grado di deviare il flusso continuo di acqua che naturalmente proseguirebbe, in modo tale da contenerlo e creare delle riserve sfruttabili anche in un secondo momento (Moretti & Proposito, 2023).

Le tecniche principali di deviazione e contenimento dei corsi d'acqua superficiali sono (Da Deppo et al., 2004):

- **Dighe di ritenuta e grandi invasi idrici** (Figura 25): opere ingegneristiche che agiscono trasversalmente, bloccando il flusso dei corsi d'acqua. La creazione di queste imponenti opere genera un accumulo di acqua a monte della diga, che ne impedisce il passaggio. Questo accumulo viene chiamato invaso, e il suo scopo varia dalla creazione di una vera e propria riserva idrica per uso idropotabile nei periodi di secca (in cui si andrebbe a perdere il flusso stagionale) al settore industriale, irriguo e alla produzione di energia idroelettrica (Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale [ISPRA], 2025; Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente del-

Figura 25
Diga di ritenuta



Nota. Fotografia di G. Mason, 2025, Pexels.

la Basilicata [ARPAB], s.d.; Da Deppo et al., 2004; Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, 2014).

- **Traverse fluviali** (Figura 26): esse sono degli sbarramenti (più bassi delle dighe) che agiscono innalzando il flusso d'acqua di qualche metro, in modo tale che esso riesca a raggiungere gli sbocchi trasversali che conducono l'acqua in varie direzioni. Vengono maggiormente utilizzate in ottica irrigua, ma anche come riserva idrica per uso idropotabile e per la produzione di energia idroelettrica (Montanari, 2021).
- **Opere di presa** (Figura 27): con questo termine si fa riferimento a un insieme di manufatti destinati alla captazione delle acque. Sebbene il concetto si applichi anche alle acque sotterranee (falde), nel caso delle acque superficiali essa avviene tipicamente tramite impianti di sollevamento (che sfruttano pompe a secco o sommerse) o sifoni a cavaliere d'argine (che sfruttano il principio fisico del sifone, con il solo ausilio iniziale di una pompa idraulica per l'adescamento). Nel caso dei laghi, la presa può avvenire anche a grande profondità, per attingere ad acqua più pulita e fresca. In entrambi i casi l'obiettivo è quello di prelevare l'acqua dalla fonte superficiale per destinarla a canali o condotte secondarie che la condurranno altrove.

Il complesso creato dalle opere di presa, insieme ai sistemi di trattamento (potabilizzazione), convogliamento e distribuzione dell'acqua, è chiamato acquedotto (Milano, 2012; Comitato dei Ministri per la tutela delle acque dall'inquinamento, 1977).

Figura 26
Traversa fluviale



Nota. Fotografia di Jean Marc Bonnel, 2023, Pexels.

Figura 27
Elemento opera di presa



Nota. Fotografia di Consorzio di Bonifica della Piana di Venafro, s.d.

3.2 – Metodi non convenzionali

3.2.1 – Raccolta da precipitazioni

Un'ulteriore fonte idrica strettamente legata alla stagionalità e alla forte contaminazione dovuta all'esposizione agli inquinanti atmosferici è data dalle precipitazioni atmosferiche.

L'obiettivo di questo metodo di raccolta consiste nell'intercettazione e nel convogliamento delle precipitazioni prima che esse evaporino oppure che vengano assorbite dal terreno.

In uno scenario dove le risorse idriche sono sempre più carenti, la raccolta e il recupero dell'acqua piovana (Rainwater Harvesting) rappresentano una vera e propria strategia di adattamento (Campisano et al., 2017).

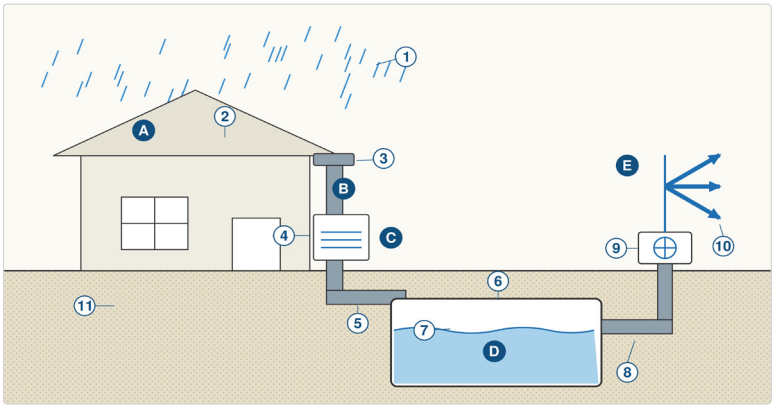
Un sistema di raccolta dell'acqua piovana non si limita solamente allo stoccaggio dell'acqua raccolta, ma prevede degli step precisi e definiti (Figura 28):

- **Intercettazione**: le precipitazioni atmosferiche colpiscono superfici come tetti degli edifici (domestici, aziendali) o aree specialmente costruite.
- **Convogliamento**: grondaie, tubazioni e canali di scolo indirizzano il flusso verso punti di raccolta.
- **Filtrazione e trattamento**: prima dello stoccaggio, data l'esposizione ad inquinanti atmosferici, l'acqua attraversa filtri meccanici che rimuovono i sedimenti di grandi dimensioni e viene sottoposta a trattamenti chimico-fisici o di disinfezione.
- **Stoccaggio**: per mantenere invariate le caratteristiche dell'acqua raccolta e filtrata, viene quindi convogliata verso delle cisterne di stoccaggio. Vi sono diverse soluzioni, dalle cisterne interrate o fuori terra in polietilene ad alta densità (HDPE)

fino a vasche in ferrocemento o muratura impermeabilizzata.

- **Distribuzione e uso**: dalle cisterne di stoccaggio, tramite l'utilizzo di pompe idrauliche, l'acqua viene sfruttata per compiere svariati compiti (Colonna, 2020; Campisano et al., 2017).

Figura 28
Fasi di un sistema di raccolta dell'acqua piovana



Nota. Elaborazione propria basata su Colonna (2020) e Campisano et al. (2017).

LEGENDA Figura 28

FASI DEL TRATTAMENTO

- A Intercettazione
- B Convogliamento
- C Filtrazione e trattamento
- D Stoccaggio
- E Distribuzione e uso

ELEMENTI E PROCESSI

- 1 Precipitazioni
- 2 Tetto, superficie di captazione
- 3 Grondaia e pluviale
- 4 Filtro meccanico
- 5 Tubazione interrata di adduzione
- 6 Cisterna di stoccaggio
- 7 Livello dell'acqua accumulata
- 8 Tubazione di mandata
- 9 Pompa
- 10 Usi non potabili
- 11 Terreno

CHIAVE DEI SEGNI

- Pioggia
- Tubazioni e pluviali
- Acqua distribuita agli usi finali
- Acqua accumulata nella cisterna
- Terreno

3.2.2 – Raccolta dall'atmosfera

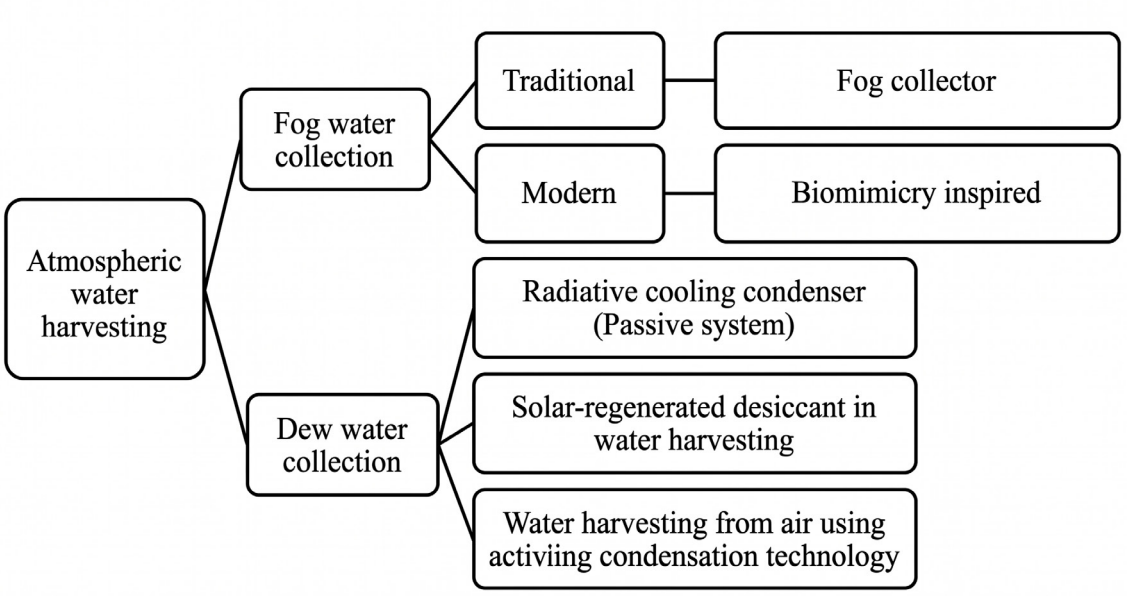
Nebbia
Ammasso di goccioline d'acqua aventi diametro di qualche millesimo di millimetro, e quindi leggerissime, che si formano in prossimità del suolo o sopra il mare e i laghi o lungo i fiumi per condensazione di vapor d'acqua (Istituto della Enciclopedia Italiana, s.d.-a).

Rugiada
Precipitazione atmosferica costituita dalla condensazione del vapore acqueo atmosferico sui corpi al suolo. Si forma per il raffreddamento conseguente alla radiazione termica notturna del suolo ed è caratteristica delle notti serene (Istituto della Enciclopedia Italiana, s.d.-b).

I sistemi di raccolta dell'acqua dall'atmosfera chiamati comunemente Atmospheric Water Harvesting o AWH sono l'insieme di tecnologie e tecniche tramite cui è possibile estrapolare il vapore acqueo, la nebbia o la rugiada presenti nell'aria trasformandoli in una fonte di acqua accessibile.

La distinzione principale all'interno dei sistemi di raccolta dell'acqua dall'atmosfera prevede la separazione tra i fog water collection (raccolta della nebbia) e i dew water collection (raccolta della rugiada) (Figura 29).

Figura 29
Categorizzazione delle tipologie di raccolta atmosferica dell'acqua



Nota. Tratto da "Review of sustainable methods for atmospheric water harvesting", di H. Jarimi, R. Powell e S. Riffat, 2020, International Journal of Low-Carbon Technologies, 15(2), p. 254 CC BY 4.0.

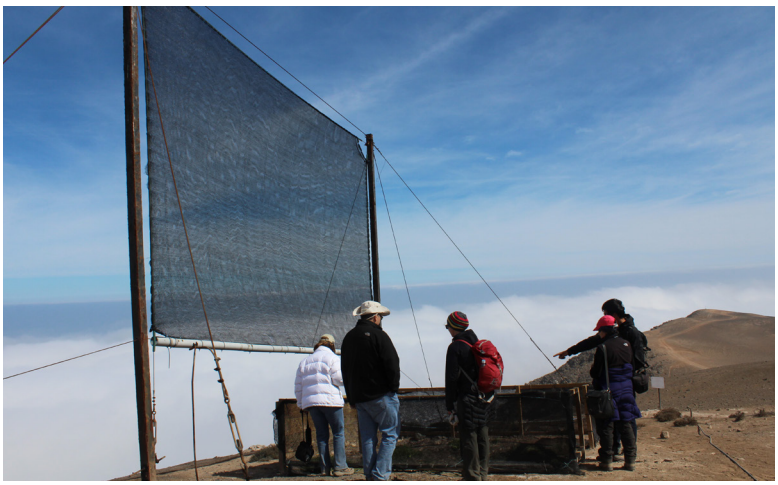
3.2.3 – I fog harvester

Partendo dalla necessità di una fonte d'acqua affidabile, l'uomo ha sviluppato in passato sistemi di condensazione della nebbia in acqua. Questi sistemi sono documentati principalmente in contesti aridi o semi-aridi e si articolano in due principali sistemi di raccolta atmosferica: la raccolta di particelle accumulate su strutture precostruite o la raccolta di rugiada dalle foglie degli alberi.

Le prime documentazioni risalgono però al XVI secolo, quando in Messico e nel deserto di Atacama, vennero costruiti dei piccoli tumuli di pietre che, raffreddando l'aria, condensavano l'umidità per poi convogliarla in piccole cisterne (Jarimi et al., 2020).

I fog harvester veri e propri nascono solo a partire dal 1980. Sono delle strutture che trasformano la nebbia in acqua, attraverso reti con trame che condensano in gocce d'acqua la nebbia spinta dal vento (Figura 30).

Figura 30
Fog harvester

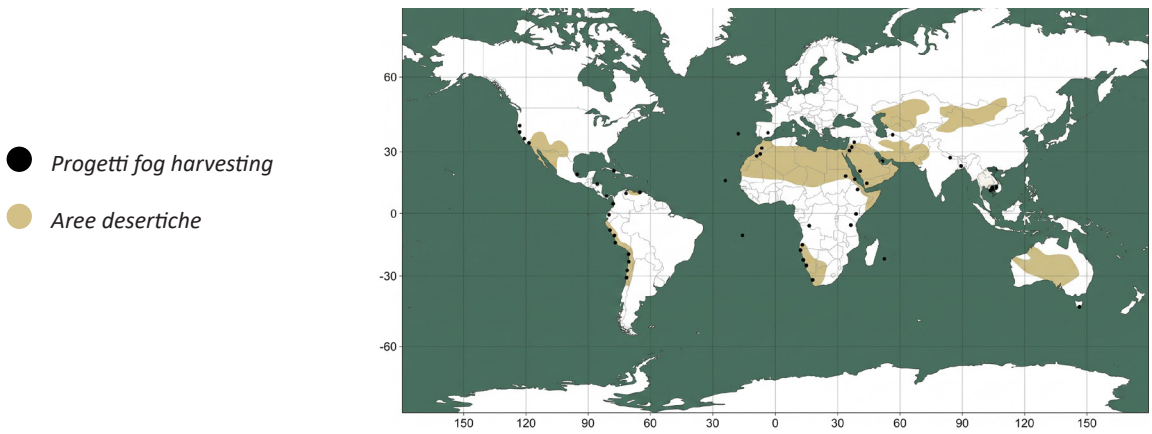


Nota. Tratto da Rector Ignacio Sánchez visita Alto Patache, di Pontificia Universidad Católica de Chile, 2013, Wikimedia Commons CC BY-SA 2.0.

Sono utilizzati in contesti con climi aridi o montani, dove le piogge sono scarse mentre le nebbie sono frequenti.

Se da un lato possono sembrare un metodo di raccolta limitato, in quanto dipendono fortemente dalla loro collocazione geografica e dalle condizioni climatiche, i fog harvester presentano anche diversi vantaggi. Sono strutture semplici da costruire e, soprattutto, economicamente accessibili. Offrono un contributo concreto in termini di fabbisogno idrico in contesti in cui ottenere piccolissime quantità di acqua rappresenta una sfida. Infine, non necessitano di alcuna fonte di energia per il loro funzionamento, ma richiedono soltanto la manutenzione delle reti.

Figura 31
Mappatura progetti di fog harvesting nel mondo



Nota. Tratto da "Fog water harvesting through smart façade for a climate resilient built environment", di M. G. Di Bitonto, A. Kutlu e A. Zanelli, in E. Arbizzani et al. (A cura di), Technological imagination in the green and digital transition, 2023, Springer CC BY 4.0.

3.2.3.1 – Bio-inspired

L'idea di raccogliere l'acqua dalla nebbia nasce dall'osservazione del mondo naturale.

Si parla di un coleottero tenebrionide, lo Stenocara Gracilipes, anche detto scarabeo delle nebbie (Figura 32 e 33), caratteristico del deserto del Namib, sulla costa ovest africana. Questo insetto sfrutta la struttura del suo dorso per catturare le gocce d'acqua della nebbia mattutina e le convoglia fino alla sua bocca, (Figura 34) idratandosi e soddisfacendo il suo bisogno idrico giornaliero. Per catturare al meglio le gocce d'acqua lo scarabeo delle nebbie solleva e inclina il suo corpo, agevolando anche lo scorrimento di acqua raccolta e facilitandone l'ingestione. La posizione di raccolta è resa possibile dalle zampe, in quanto quelle posteriori sono più lunghe delle anteriori.

Infine, le ali anteriori dure che coprono il corpo, dette elitre, sono fuse insieme formando una piccola cavità. Questa struttura riduce la perdita di umidità attraverso la respirazione, contribuendo alla sopravvivenza della specie (Draney, 1993; Duncan, 2003).

Figura 32
Lo scarabeo delle nebbie



Nota. Tratto da Stenocara gracilipes, di H. Hillewaert, [2007], Wikimedia Commons CC BY-SA 3.0.

Figura 33
Lo scarabeo delle nebbie



Nota. Fotografia di D. Delso, 2018, Wikimedia Commons. CC BY-SA 4.0.

Figura 34
Lo scarabeo delle nebbie



Nota. Fotografia di GbbIT, [2005], Wikimedia Commons CC BY-SA 3.0.

Figura 36
Un esemplare di Asplenium nidus ancorato ad un albero



Nota. Fotografia di F. Starr e K. Starr, 2009, Wikimedia Commons. CC BY 3.0 US.

Un'ispirazione dal mondo vegetale per la raccolta dell'acqua e il suo convogliamento arriva invece dall'Asplenium nidus (Figura 35), pianta le cui fronde formano una rosetta centrale concava a forma di imbuto.

La pianta è originaria di una vasta area che comprende Indonesia, Malesia, Nuova Guinea e Australia tropicale ed appartiene alla famiglia delle Aspleniaceae.

Questa forma è pensata per intercettare la pioggia e la rugiada che scivolano lungo le foglie verso il centro. La parte centrale non solo raccoglie acqua, ma accumula anche detriti organici che, decomponendosi, trattengono l'umidità e nutrono la pianta. Le radici invece, avvolte in una massa compatta, crescono tra le fessure della corteccia degli alberi e assorbono l'acqua accumulata nel "nido" (North Carolina Extension Gardener Plant Toolbox, s.d.; Xu et al., 2024) (Figura 36).

Figura 35
Asplenium nidus



Nota. Fotografia di Obsidian Soul, [2022], Wikimedia Commons CC0 1.0.

Il Diavolo spinoso, Moloch horridus, è un piccolo rettile appartenente alla famiglia Agamidae ed è un caso studio interessante per la sua superficie cutanea microstrutturata, con canali tra le squame sovrapposte, che gli consente di raccogliere acqua dalla nebbia, dall'aria umida o dalla sabbia bagnata per capillarità e trasportarla passivamente fino alla bocca per l'ingestione. I canali sono strutturati gerarchicamente, con un canale principale tra le squame, suddiviso da protrusioni in sub-capillari più piccoli (Figura 38).

Il canale principale assorbe rapidamente l'acqua, mentre la struttura sub-capillare estende la distanza di trasporto di circa il 39% e può ridurre il volume d'acqua necessario per bere.

Anche questo rettile fornisce un interessante esempio di raccolta e convogliamento dell'acqua (Comanns et al., 2015).

Figura 38
Struttura schiena Moloch horridus



Nota. Fotografia di C. Watson, [2013], Wikimedia Commons CC BY-SA 3.0.

Figura 37
Moloch horridus



Nota. Fotografia di Bäras, [2006], Wikimedia Commons CC BY-SA 3.0.

3.2.3.2 – Funzionamento

Il funzionamento dei fog harvester si articola in tre fasi principali (Figura 39):

- **Intercettazione**: la nebbia attraversa la rete, spinta dal vento.
- **Condensazione e aggregazione**: la nebbia condensa in minuscole goccioline che si accumulano sulla trama della rete e si uniscono formando gocce più grandi.
- **Raccolta**: per l'effetto della gravità, le gocce cadono verso la base della struttura attraverso canali e grondaie e vengono convogliate in un serbatoio o in una cisterna di stoccaggio.

LEGENDA Figura 39

FASI DEL PROCESSO

- A Intercettazione
- B Condensazione e aggregazione
- C Raccolta

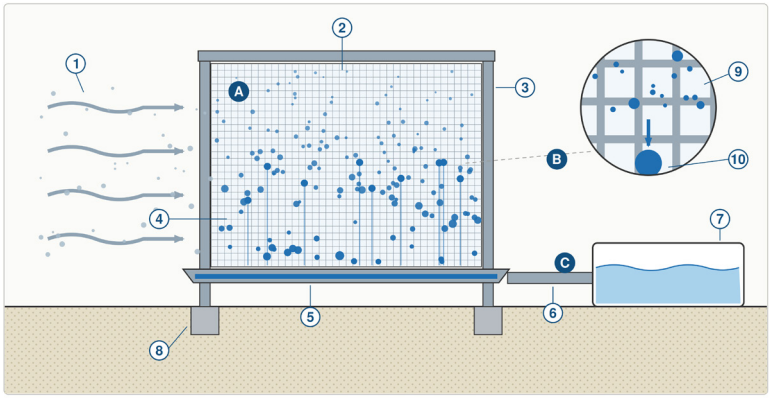
ELEMENTI

1. Nebbia trasportata dal vento
2. Rete di captazione
3. Telaio e montanti di sostegno
4. Gocce che scendono lungo i filamenti
5. Canalina di gronda
6. Tubazione di adduzione
7. Serbatoio di accumulo
8. Plinto di fondazione

DETTAGLIO INGRANDITO

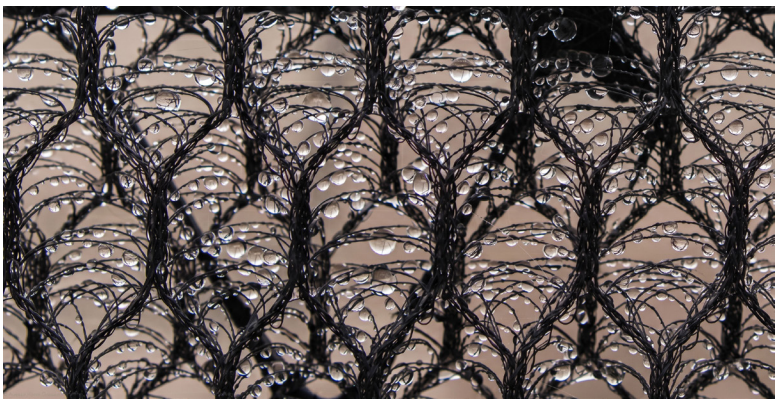
9. Filamenti della maglia
10. Goccia ingrossata per coalescenza

Figura 39
Principio di funzionamento di un fog harvester



Per rendere possibili queste fasi, i fog harvester sono semplici strutture che sostengono una rete metallica o plastica in posizione verticale. I grandi collettori di nebbia operativi sono solitamente costituiti da due pali di supporto e da cavi su cui è sospesa la rete. Per garantire la stabilità della struttura è presente una rete di tiranti che sostiene i pali. Infine, è anche presente una rete di canali che raccolgono e convogliano l'acqua fino al serbatoio o alla cisterna. I collettori di grandi dimensioni più comuni sono lunghi 12 metri e alti 6 metri. La rete copre i 4 metri superiori del collettore. La superficie di raccolta della rete è quindi di 48 m^2 e consente una produzione giornaliera d'acqua compresa tra 150 e 750 litri a seconda delle condizioni ambientali. Esistono anche collettori con strutture più complesse, che presentano gli stessi componenti disposti secondo configurazioni diverse (Schemenauer & Cereceda, 1997).

Figura 40
Trama rete di raccolta

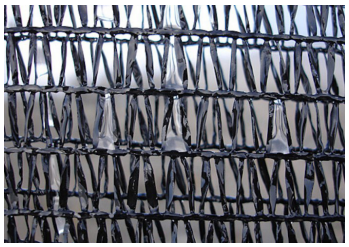


Nota. Tratto da "Harvesting fog to relieve water shortages in arid regions", di World Intellectual Property Organization, 2020, WIPO Magazine Copyright 2020 di Aqualonis.

3.2.3.3 – Fog collector

SFC
Lo Standard Fog Collector (SFC) è un dispositivo meteorologico standardizzato progettato per quantificare l'acqua liquida presente nella nebbia e valutare la fattibilità di progetti di fog harvesting in una specifica area geografica (Schemenauer & Cereceda, 1994).

Figura 41
Rete Raschel



Nota. Tratto da "Review of sustainable methods for atmospheric water harvesting", di H. Jarimi, R. Powell e S. Riffat, 2020, International Journal of Low-Carbon Technologies, 15(2) CC BY 4.0.

Nel presente elaborato si utilizza il termine fog collector per indicare la struttura fisica del sistema di raccolta della nebbia, costituita dalla rete di raccolta e dalla relativa struttura di supporto. Con fog harvester, invece, si fa riferimento all'intero sistema di raccolta della nebbia, comprendente il collector e tutti gli elementi necessari al convogliamento e allo stoccaggio dell'acqua. Sebbene i due termini siano spesso utilizzati come sinonimi, nel presente elaborato si adotta tale distinzione per facilitare la descrizione delle diverse componenti del sistema.

Per valutare l'efficienza dei diversi fog collector, Schemenauer e Cereceda hanno stabilito che i test dovessero essere svolti con il collettore di nebbia standard (SFC). È costituito da un telaio posto a due metri di altezza dal suolo, largo un metro per un metro e rivestito da una rete. Il sistema è inoltre collegato a un serbatoio chiuso, che non permette l'ingresso di acqua piovana.

I primi esperimenti di raccolta della nebbia hanno evidenziato che, tra le diverse tipologie di mesh, la più efficiente risultava essere la rete Raschel in polietilene o polipropilene (Figura 41).

Questa, infatti, garantisce un'elevata capacità di raccolta della nebbia, è economica grazie alla scelta dei materiali polimerici, è resistente alla forza del vento, al sole, alle radiazioni UV e alla pioggia ed infine drena l'acqua in modo efficace.

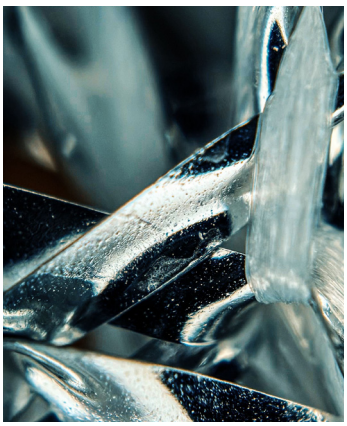
Alcuni test hanno inoltre dimostrato che, se il layer viene raddoppiato, le prestazioni aumentano. Infatti, lo sfregamento tra le maglie favorisce il deflusso dell'acqua.

La rete Raschel non è l'unica trama utilizzata per i fog harvester infatti, in alcuni contesti, la sua disponibilità è limitata oppure la sua durata risulta insufficiente a causa delle condizioni ambientali. Per questo motivo, gli scienziati hanno studiato configurazioni e materiali alternativi, con l'obiettivo di migliorare non solo l'efficienza di raccolta, ma anche la resistenza e la capacità di drenaggio delle superfici.

Quando la rete Raschel non è reperibile nelle quantità necessarie alla realizzazione degli impianti, si ricorre a materiali alternativi disponibili a livello locale. Tra questi rientrano reti ombreggianti per serre, come l'Aluminet (una rete in polietilene ad alta densità rivestita in alluminio) (Figura 42), le classiche reti per zanzariere oppure mesh tridimensionali sviluppate in modo specifico per il fog harvesting.

La scelta della superficie drenante dipende tuttavia non solo dalla reperibilità del materiale, ma anche dalle caratteristiche del sito di installazione. In Sud Africa, ad esempio, i forti venti provocavano frequenti erosioni e lacerazioni delle reti Raschel. Per rispondere a questa problematica è stata sviluppata una rete in poliestere e acciaio, più resistente agli agenti atmosferici. In questi casi è preferibile sacrificare parte dell'efficienza di raccolta a favore di una maggiore durabilità. Un metodo alternativo alla sostituzione della mesh è quello di ridurre la superficie dei singoli pannelli aumentando la stabilità della struttura e riducendo i possibili danni causati dal vento.

Figura 42
Aluminet



Nota. Fotografia di V. Link, 2026, Pexels. Licenza Pexels.

3.2.3.4 – Casi studio

Large Fog Collector (LFC)

I fog collector più utilizzati globalmente sono i Large Fog Collector (LFC) (Figura 43). Essi presentano una rete Raschel fissata a due pali verticali di sostegno e garantiscono una superficie di raccolta tra i 40 e i 48 m². Mediamente questi fog collector raccolgono da uno a dieci litri d'acqua per m² al giorno.

Sono gli impianti più diffusi in quanto sono semplici da costruire, ma soprattutto estremamente economici grazie ai pochi componenti e alla rete Raschel.

Nonostante siano strutture che funzionano in modo autonomo, necessitano però di una manutenzione regolare per il loro corretto funzionamento.

Figura 43
Large Fog Collector (LFC)



Nota. Tratto da Operational fog collection and its role in environmental education and social reintegration: A case study in Colombia 5th International Conference on Fog, Fog Collection and Dew. Copyright 2010.

CloudFisher

L'impianto di fog harvesting più grande al mondo, con una superficie di 1.686 m², il CloudFisher distribuito dalla fondazione benefica Wasserstiftung (Figura 44), si trova sul monte Boutmezguida (1225 m), sui monti dell'Antiatlante, in Marocco (Figura 44).

Prima dell'installazione, la popolazione della zona viveva di agricoltura di sussistenza: si dedicava all'apicoltura, coltivava grano e orzo, e allevava capre e pollame. L'acqua piovana veniva raccolta con piccole cisterne, ma visto che serviva sia per cucinare che per dare da bere al bestiame, spesso non bastava. Per queste ragioni, nella primavera del 2016, il BMZ - Ministero federale tedesco per la cooperazione economica e lo sviluppo - ha approvato la richiesta di finanziamento per l'installazione di un impianto CloudFisher.

I benefici si sono rivelati sostanziali: circa 1300 persone e una scuola dispongono oggi di un rifornimento idrico stabile, a cui si aggiunge il sostegno fornito alle attività agricole e all'allevamento della zona. Un ruolo non secondario è svolto dalle cisterne, che permettono di mantenere una disponibilità d'acqua anche nei mesi della stagione secca.

Ad oggi la rete conta 31 impianti CloudFisher, che, secondo i dati del gestore, sono complessivamente capaci di raccogliere fino a circa 37.000 litri d'acqua nelle giornate di nebbia, valore stimato a partire da una resa media di 22 litri per metro quadro su 1.686

Figura 44
Logo di Wasserstiftung



Nota. Logotipo di Wasserstiftung, s.d. Copyright Wasserstiftung.

m² di superficie captante. Il sistema di distribuzione assegna 12 litri d'acqua giornalieri per persona a ciascuna famiglia, lasciando poi a quest'ultima la libertà di decidere come impiegare l'eventuale acqua eccedente per l'allevamento e l'agricoltura (Wasserstiftung, s.d a.; Dodson & Bargach, 2015).

Figura 45
CloudFisher in Marocco



Nota. Tratto da "Harvesting fresh water from fog in rural Morocco: Research and impact — Dar Si Hmad's fogwater project in Aït Baamrane", di L. L. Dodson e J. Bargach, 2015, Procedia Engineering, 107, p. 189 CC BY-NC-ND 4.0.

3.2.3.5 – Casi studio: forme innovative

Warka Tower

Un esempio di fog harvester tridimensionale è l'impianto Warka Tower (Figura 46), realizzato da Warka Water (Figura 47) in Etiopia. Alto 10 metri e realizzato con giunchi intrecciati, si differenzia dai fog harvester più comuni in quanto raccoglie, oltre alla condensa della nebbia, anche la pioggia e la rugiada presenti nell'aria. L'acqua accumulata attraverso queste diverse modalità cade per gravità verso un filtro, per poi finire in un serbatoio d'acqua.

La configurazione tridimensionale consente di catturare la nebbia da tutte le direzioni, indipendentemente dalla direzione del vento. Non viene utilizzata una rete Raschel, ma una maglia polimerica sviluppata ad hoc, oggetto di sperimentazione su materiali diversi; il costo stimato del progetto è di circa 1.000 dollari per torre (BASF, s.d.).

Figura 46
Warka Water



Nota. Tratto da Warka Tower, di Warka Water Inc., s.d. Copyright di Warka Water Inc. Riprodotto ai sensi dell'art. 70 L. 633/1941 per finalità di studio.

Figura 47
Logo Warka Water

Warka Water
every drop counts

Nota. Logotipo di Warka Water Inc., s.d. Riprodotto a scopo identificativo.

Proyecto Niebla

Per combattere la scarsità d'acqua e la desertificazione nel nord del Cile, il designer Tomás Garay Ávila ha proposto il Proyecto Niebla nel 2016 (Figura 48). Si tratta di un collettore di nebbia tridimensionale che ha l'obiettivo di catturare la nebbia costiera che si forma nel nord del Cile, detta Camanchaca.

Realizzato con una rete agricola, la rete del collettore è facile da tendere, economica e durevole.

Inoltre, secondo il progettista, l'intera struttura richiede circa due-tre ore per essere assemblata (Aguamarket, 2016; Campus Creativo, Universidad Andrés Bello, 2016).

Figura 48
Il Proyecto Niebla

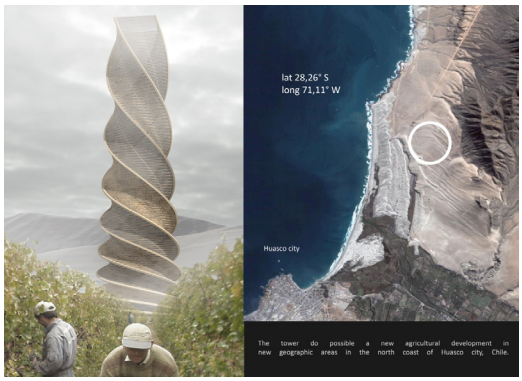


Nota. Fotografia di T. Garay Ávila, 2016, in Un dispositivo que permite obtener agua ¡de la niebla!, Bioguía Copyright 2016 di T. Garay Ávila. Riprodotto ai sensi dell'art. 70 della L. 633/1941 per finalità di studio.

Coastal Fog-harvesting Tower

Un altro progetto è la Coastal Fog-harvesting Tower (Figura 49) degli architetti Alberto Fernández González e Susana Valeria Ortega Gómez. Si tratta di una torre di cattura della nebbia che intercetta la camanchaca nel suo percorso dalla costa alla valle di Huasco. La struttura è formata da bracci di legno a spirale, che sostengono i pannelli in rame che favoriscono la deposizione e il drenaggio delle gocce e forniscono supporto strutturale. Il dispositivo è alto 200 metri e ha una superficie di raccolta di 5.000 m². Una membrana esterna in plastica riciclata riveste l'insieme, mentre alla base è previsto un impianto di osmosi inversa destinato a eliminare il sale trasportato dalla nebbia di origine marina (Holcim Foundation for Sustainable Construction, s.d.).

Figura 49
Coastal Fog-harvesting Tower



Nota. Tratto da Coastal fog-harvesting tower, di A. Fernández González e S. V. Ortega Gómez, 2009 Copyright della Holcim Foundation for Sustainable Construction. Riprodotto ai sensi dell'art. 70 della L. 633/1941 per finalità di studio.

3.2.4 – Raccolta della rugiada

Legge di Stefan-Boltzmann
É una legge che permette di calcolare quanta energia per unità di tempo e unità di superficie viene irradiata da un corpo a una certa temperatura (Catania, s.d.-b).

I dew collector, a differenza dei fog collector, sono dispositivi in grado di creare acqua condensandola sulla loro superficie.

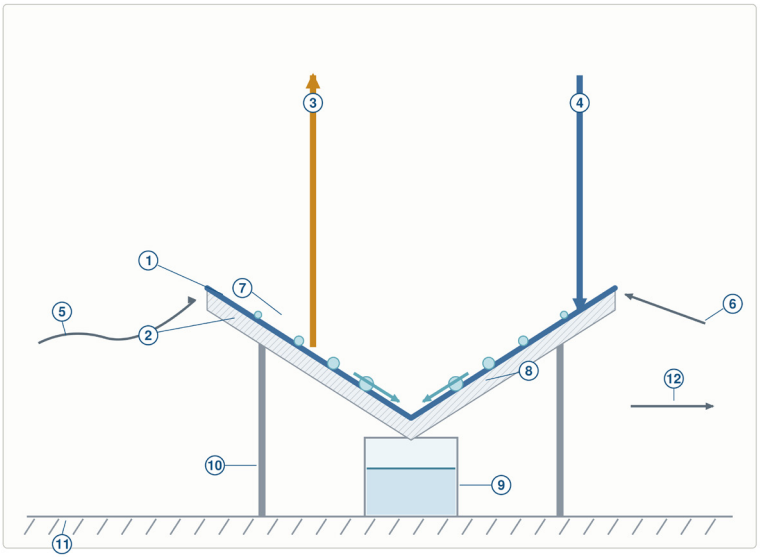
Essi devono affrontare un problema fondamentale che si trova alla base del loro funzionamento, la condensazione del vapore acqueo avviene solo su una superficie più fredda rispetto al punto di rugiada dell'aria.

Per fronteggiare questo problema sono state sviluppate tre principali tipologie differenti di dew harvester, che differiscono per la modalità con cui ottengono il freddo necessario per sviluppare la differenza di temperatura necessaria per creare la condensa:

- **Il condensatore a raffreddamento radiativo (Figura 50):** tra i tre metodi riportati è quello più antico e meno complesso, dove la formazione di rugiada è guidata dal fenomeno di radiazione della superficie dei materiali. È un fenomeno fisico che denota la capacità del materiale di raffreddarsi senza nessun tipo di energia esterna. L'elemento chiave per il funzionamento risulta essere il gradiente tra la potenza radiativa della superficie del condensatore e la potenza radiativa emessa dal cielo. La legge di Stefan-Boltzmann descrive questo fenomeno nel seguente modo: $P = \varepsilon\sigma T^4$, dove P ($W/m^2$) è la potenza radiale per unità d'area, T (K) è la temperatura locale di superficie, σ è la costante di Stefan-Boltzmann (W/m^2K^4) e ε è l'emissività della superficie. Nella realizzazione di un dispositivo di questo tipo vi è da porre attenzione all'emissività del materiale, ovvero a quanto la superficie riesce ad irraggiare calore verso il cielo, ed alla forma, in quanto una superficie piana

rende fino al 20% in meno rispetto ad una piramide rovesciata. Il forte limite è l'efficienza del dispositivo: esso riesce a raccogliere solo pochi millimetri di acqua per notte, rendendolo adatto ad un utilizzo su scala ridotta, essendo fortemente dipendente dall'emissività del cielo, dall'umidità relativa, dal vento e dalla conformazione topografica del territorio.

Figura 50
Schema di funzionamento di un condensatore a raffreddamento radiativo



LEGENDA Figura 50

ELEMENTI E FLUSSI TERMICI

1. Superficie emittente
2. Isolamento termico
3. Emissione radiativa della superficie
4. Irraggiamento atmosferico di ritorno
5. Aria umida
6. Scambi convettivi
7. Gocce di condensa
8. Deflusso verso il vertice
9. Recipiente di raccolta
10. Montanti di sostegno
11. Suolo
12. Vento

CHIAVE DEI SEGNI

- Gocce di condensa
- Superficie emittente
- Strato isolante

- **L'essiccante rigenerato dal sole (Figura 51)**: per aggirare il problema della prima tipologia di dispositivo, ovvero la resa, sono nati gli essiccanti rigenerati dal sole, che aggiungono un letto di materiale igroscopico al sistema. L'aggiunta di sale di calcio, gel di silice o zeoliti per creare il letto igroscopico dà un

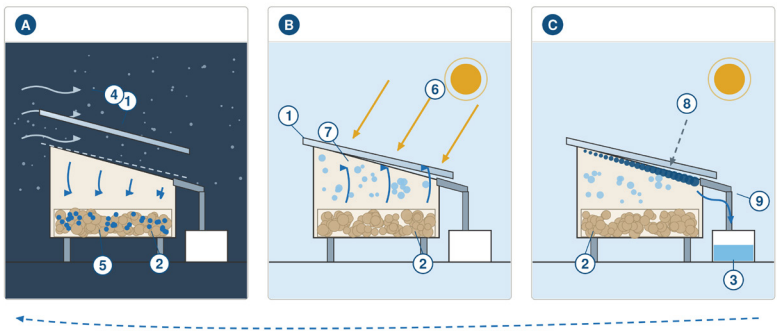
Figura 52
Prototipo di distillatore solare MIT



Nota. Fotografia di J. Gao e Z. Xu, 2023, MIT News.

vantaggio netto al sistema, che diventa in grado di raccogliere di più mantenendo lo stesso ingombro. Il funzionamento di questi dispositivi si divide in tre parti o atti nell'arco di ventiquattro ore: durante la notte la superficie igroscopica adsorbe in modo attivo l'umidità atmosferica, senza aspettare che si raffreddi da sola. Nel secondo atto il sole riscalda il letto di materiali igroscopici, facendo evaporare l'acqua tramite un processo di desorbimento. Il vapore che si crea post processo di desorbimento risulta essere maggiormente concentrato e più facile da ricondensare su una superficie fredda. Il limite dell'essiccante rigenerato dal sole risiede nella complessità maggiore del sistema, che richiede sussidi esterni come ventole o elementi elettronici per regolare il funzionamento e garantirne l'efficacia.

Figura 51
Schema di funzionamento processo essiccante rigenerato dal sole



LEGENDA Figura 51

FASI DEL CICLO

- A Adsorbimento
- B Desorbimento
- C Condensazione

ELEMENTI E PROCESSI

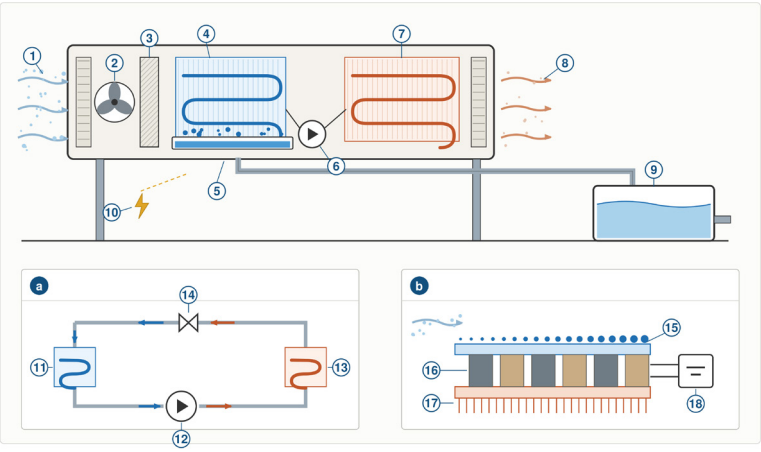
1. Copertura trasparente
2. Letto igroscopico
3. Acqua raccolta nel raccoglitore
4. Aria umida notturna in ingresso
5. Vapore adsorbito nei grani
6. Irraggiamento solare
7. Vapore desorbito
8. Superficie fredda di condensazione
9. Condensa che defluisce per gravità

CHIAVE DEI SEGNI

- Vapore acqueo in sospensione
- Gocce di condensa che si accrescono

- **Il sistema attivo (Figura 52):** questa ultima tipologia aggira il problema e si affida ad un dispositivo come un compressore o una cella di Peltier per raffreddare l'aria sotto il punto di rugiada, ovviando in questo modo alla costante dipendenza dalle basse temperature notturne o alla chimica per generare freddo. Il grande vantaggio, che allo stesso tempo diventa un limite, risiede nella possibilità di scalare il dispositivo, passando da dispositivi domestici in grado di generare pochi litri di acqua al giorno fino ad unità industriali che generano enormi quantità. Il forte limite, strettamente legato alla scalabilità, risiede nel costo del dispositivo: il costo dell'energia è strettamente legato a fenomeni esterni difficili da controllare come temperatura e umidità ambientale.

Figura 53
Schema di funzionamento sistema attivo



LEGENDA Figura 53

MACCHINA: CIRCUITO DELL'ARIA E DELL'ACQUA

1. Aria ambiente umida in ingresso
2. Ventilatore
3. Filtro
4. Batteria fredda
5. Vaschetta di raccolta della condensa
6. Compressore
7. Batteria calda
8. Aria in uscita
9. Serbatoio di accumulo
10. Alimentazione elettrica

a) CICLO A COMPRESSIONE DI VAPORE

11. Evaporatore
12. Compressore
13. Condensatore
14. Valvola di laminazione

b) CELLA DI PELTIER

15. Lato freddo
16. Elementi semiconduttori
17. Lato caldo alettato
18. Alimentazione in corrente continua

CHIAVE DEI SEGNI

- tubazioni del circuito e dell'acqua raccolta
- condensa che si forma sulla superficie fredda
- apporto di energia elettrica

Un’ulteriore analisi porta a galla un discorso legato al corretto utilizzo delle risorse a disposizione, poiché questi grandi impianti richiedono sistemi di raffreddamento per il loro funzionamento, il che risulta un paradosso dal momento in cui essi sono stati creati per generare acqua potabile. L’utilizzo dei dispositivi attivi, che operano per deumidificazione o per adsorbimento-desorbimento, ha senso solamente se abbinato a fonti di energia rinnovabile come il sole o il vento; i dispositivi passivi, basati sul raffreddamento radiativo, non richiedono invece alcun apporto energetico esterno (Del Bianco, 2024; Jarimi et al., 2020).

3.3 – Desalinizzazione

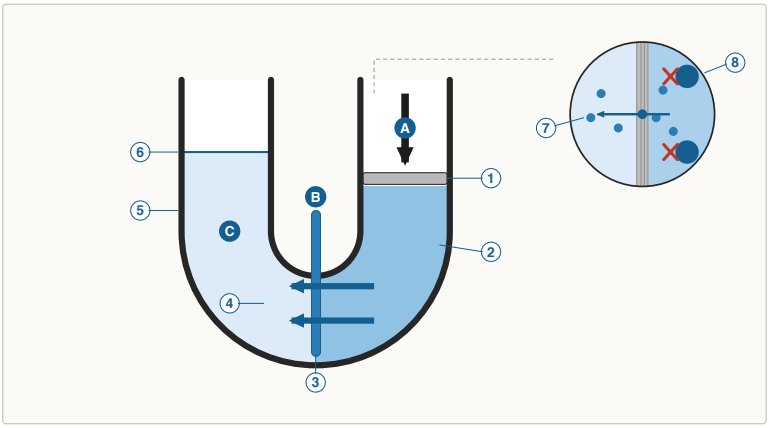
La desalinizzazione è un processo chimico-fisico tramite cui si estrae acqua dolce dall'acqua salata, rimuovendo il sale e i minerali naturalmente presenti al suo interno (Curto et al., 2021; Elimelech & Phillip, 2011; Ghaffour et al., 2015).

Le tecniche di desalinizzazione delle acque salate o salmastre si dividono in due macrocategorie: i processi a membrana e i processi termici, che a loro volta si dividono in MSF – Multi-Stage Flash e MED – Multi-Effect Distillation (Ghaffour et al., 2013; Elimelech & Phillip, 2011).

Processi a membrana

All'interno di questo gruppo la posizione di predominanza è sicuramente occupata dalle tecnologie a osmosi inversa (RO). Gli impianti ad osmosi inversa impiegano pompe ad alta pressione e membrane semipermeabili in grado di separare il flusso d'acqua dai sali disciolti (Figura 54 e 55).

Figura 54
Schema di funzionamento processo di osmosi inversa



LEGENDA Figura 54

FASI DEL PROCESSO

- A – Applicazione della pressione
- B – Passaggio selettivo
- C – Separazione

ELEMENTI

- 1 – Pressione esterna applicata
- 2 – Soluzione salina
- 3 – Membrana semipermeabile
- 4 – Flusso dell'acqua attraverso la membrana
- 5 – Permeato dissalato
- 6 – Livello del permeato

DETTAGLIO INGRANDITO

- 7 – Molecola d'acqua che attraversano la membrana
- 8 – Ioni trattenuti

CHIAVE DEI SEGNI

- pressione applicata dal pistone
- membrana semipermeabile
- soluzione salina
- permeato dissalato
- molecole d'acqua
- ione trattenuto dalla membrana

Nota. Adattato da Dissalatori a osmosi inversa: cosa sono e come funzionano, di A. Izzi, 2022, Geopop Copyright 2022 di Geopop. Riprodotto ai sensi dell'art. 70 della L. 633/1941 per finalità di studio.

I componenti principali degli impianti a RO sono:

- **Opere di presa (intake)**: sistemi di tubature e pompe che prelevano l'acqua salata da trattare dal mare.
- **Una prima sezione di pretrattamento**: una serie di filtri evita che residui marini come sabbia, alghe o sedimenti vari vadano ad intaccare le membrane. Questa è una sezione cruciale per il buon funzionamento dell'impianto.
- **Sistemi di pompe a pressione**: la parte più energivora dell'impianto; servono per fornire la pressione di esercizio essenziale per il funzionamento del sistema.
- **I moduli a membrane**: sezione dove avviene effettivamente la separazione del sale dall'acqua. L'acqua, entrando in questa sezione, in parte permea formando la cosiddetta acqua desalinizzata, mentre la restante parte va a costituire la salamoia, ovvero l'acqua di scarto ad elevata salinità.
- **Post-trattamenti**: necessari per regolare il pH dell'acqua dopo il trattamento ad osmosi.
- **Dispositivi di recupero energetico (ERD)**: sistemi che catturano l'alta pressione della salamoia di scarto, riutilizzandola per spingere l'acqua in arrivo e abbattere i consumi di energia.
- **Scarico a mare della salamoia prodotta.**

Figura 55
Impianto di osmosi inversa



Nota. Fotografia di RephiLe water, 2021, Unsplash.

Processi termici

Tramite il calore, l'acqua salata viene fatta evaporare. Durante l'evaporazione l'acqua evapora, mentre i sali minerali e le impurità disciolte rimangono indietro. Il vapore acqueo ottenuto dopo la separazione dal sale viene condensato e diventa acqua pulita e sicura da utilizzare. All'interno di questa macrocategoria vi è un'ulteriore divisione tra MSF – Multi-Stage Flash e MED – Multi-Effect Distillation.

Figura 56
Impianto MSF



Nota. Fotografia di Starsend, s.d., Wikimedia Commons. CC BY-SA 3.0.

MSF

L'impianto di desalinizzazione che utilizza una tecnica MSF è caratterizzato da una successione di camere, l'una di fila all'altra, chiamate stadi (Figura 56 e 57).

La successione di questi stadi è realizzata in modo da avere una pressione progressivamente minore di stadio in stadio.

L'acqua di mare, recuperata tramite le opere di presa, ovvero sistemi di tubazioni che prelevano l'acqua dal mare, viene riscaldata ad alta temperatura in un apposito riscaldatore esterno e poi immessa nel primo stadio.

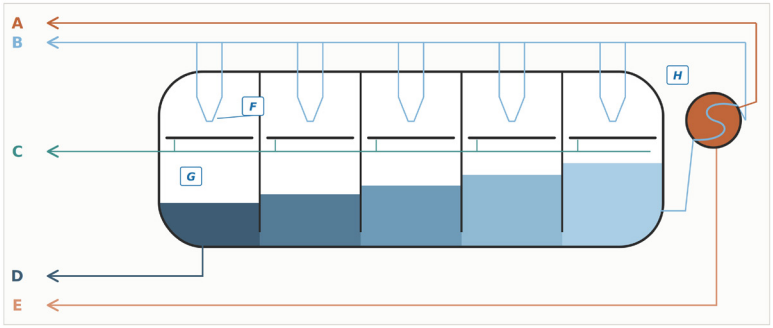
Poiché la pressione in questo primo stadio è inferiore rispetto alla pressione di saturazione dell'acqua calda in arrivo, si verifica l'effetto flash, ovvero una frazione dell'acqua evapora istantaneamente.

Il vapore che si genera sale verso l'alto, dove incontra una serie di tubi freddi in cui scorre l'acqua di mare in ingresso; condensando su questi tubi, il vapore cede il suo calore e viene raccolto come acqua dolce pulita.

La restante acqua salata che non è evaporata passa allo stadio successivo, dove, trovando una pressione ancora più bassa, subisce una nuova evaporazione istantanea.

Questo processo, definito a cascata, si ripete in tutti gli stadi successivi, mentre la salamoia finale viene estratta e la stessa acqua di mare in ingresso si preriscalda assorbendo il calore dei vapori che condensano.

Figura 57
Schema funzionamento impianto MSF



A - Steam in
B - Seawater in
C - Potable water out
D - Brine out (waste)
E - Condensate out
F - Heat exchange
G - Condensation collection
H - Brine heater

Nota. Adattato da Multiflash [Schema], di R. Castelnuovo e NJR_ZA, s.d., Wikimedia Commons CC BY-SA 3.0. Il presente adattamento è distribuito con la medesima licenza.

MED

Il metodo MED sfrutta un principio fisico analogo a quello della tecnica MSF, ma l'impianto è diviso in una serie di camere, l'una di fila all'altra, chiamate effetti (Figura 58).

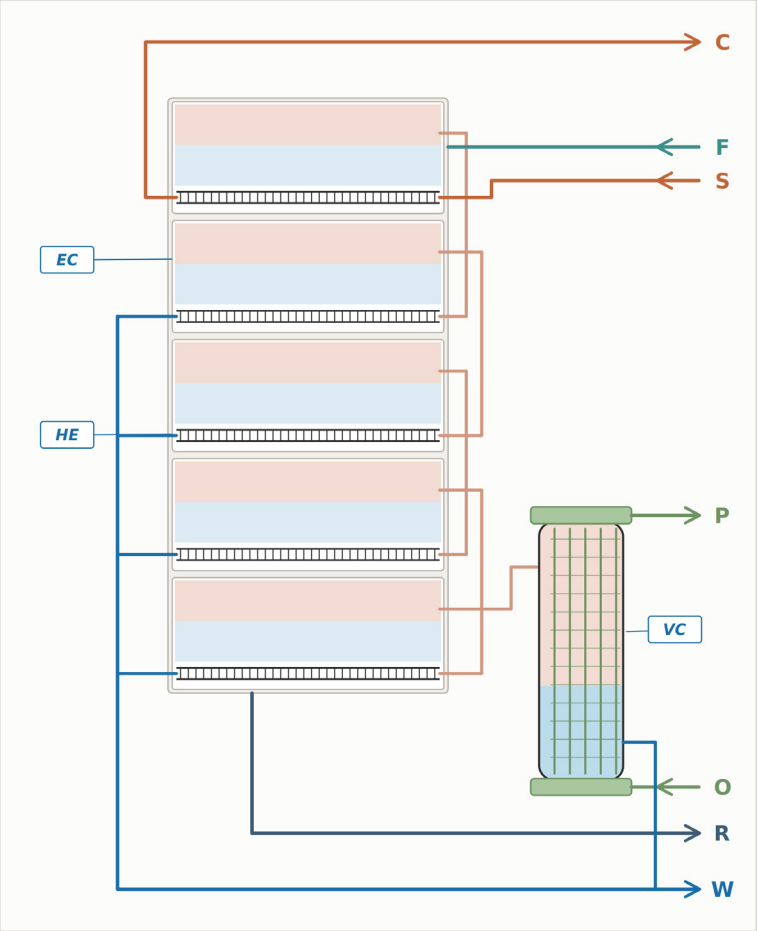
Ogni singola camera, quindi ogni effetto, lavora a pressione e temperatura più basse rispetto alla camera precedente.

Nella parte superiore di ogni effetto vi è un fascio di tubi nel quale scorre il vapore caldo proveniente dalla camera precedente. Il vapore all'interno di questi tubi condensa tornando allo stato liquido e, nel farlo, cede il suo calore all'acqua salata che bagna l'esterno dei tubi, donando l'energia necessaria per farla evaporare.

Il nuovo vapore generato dall'evaporazione dell'acqua di alimentazione viene incanalato verso i tubi dell'effetto successivo per ripetere l'operazione, sfruttando un salto di pressione che riduce progressivamente il consumo di energia.

L'acqua pulita viene raccolta lungo il percorso dalla condensazione, mentre la parte più salata, chiamata salamoia, passa da un effetto all'altro per essere ulteriormente sfruttata o smaltita.

Figura 58
Schema di funzionamento impianto MED



Nota. Adattato da Diss ME [Schema], di Ub, s.d., Wikimedia Commons. CC BY-SA 3.0. Il presente adattamento è distribuito con la medesima licenza.

F - Acqua di alimentazione in ingresso
S - Vapore di riscaldamento in ingresso
C - Vapore di riscaldamento condensato in uscita
W - Acqua dolce (condensato) in uscita
R - Salamoia in uscita
O - Refrigerante in ingresso
P - Refrigerante in uscita
EC - Camera di evaporazione
HE - Scambiatore di calore
VC - Condensatore finale.

3.4 – Riuso e trattamento acque grigie

Tra le soluzioni individuate per l'approvvigionamento delle risorse idriche spicca il recupero e la valorizzazione delle acque grigie. Le acque grigie sono acque di scarto prodotte dall'utilizzo di acqua nella quotidianità. È necessario però fare un'ulteriore classificazione delle acque di scarto in modo tale da prenderne in considerazione solo la fetta interessata, ovvero quella parte di acque, chiamata appunto acque grigie, che contiene al suo interno un quantitativo di inquinanti sostenibile da poter eliminare.

I diversi flussi di scarico di un edificio sono:

- **Acque nere**: acque che provengono dai servizi igienici e contengono cariche organiche e microbiologiche elevate, risultando altamente critiche dal punto di vista sanitario.
- **Acque grigie:** provengono principalmente da docce, vasche da bagno, lavabi e, frequentemente, dalle lavatrici, senza prendere in considerazione gli scarichi dei servizi igienici.
- **Acque bianche:** insieme delle acque provenienti dalla raccolta di precipitazioni.

Poichè la carica batterica e il contenuto di agenti inquinanti (residui di saponi, tensioattivi, cosmetici e particolato) nelle acque grigie sono inferiori alla metà rispetto a quelli presenti all'interno delle acque nere, esse sono maggiormente adatte a subire trattamenti in grado di trasformarle in una fonte di acqua pulita.

I trattamenti in grado di trasformare le acque grigie in acque adatte all'uso sono composti dai seguenti passaggi:

- **Raccolta separata delle acque**: fase preventiva che consiste nel separare fisicamente le reti di scarico sin dall'origine;

in questo modo la rete di acque grigie non viene mai in contatto con le reti di acque nere, che porterebbe a una grossa contaminazione.

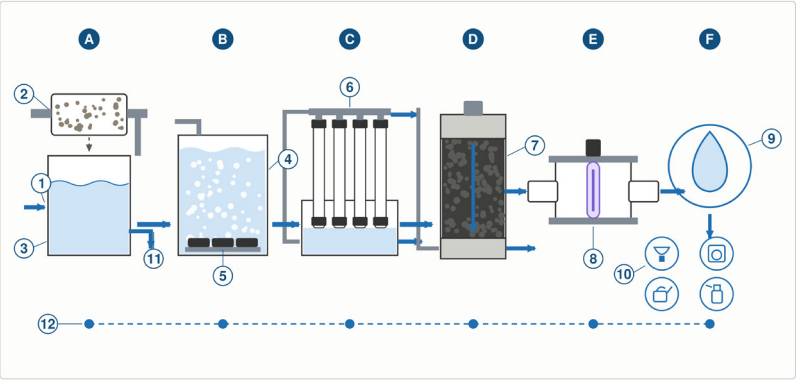
- **Prefiltrazione ed equalizzazione**: fase di filtrazione che previene il passaggio di sedimenti o materiali organici all'interno del sistema di depurazione. Segue poi in ordine una vasca di accumulo ed equalizzazione che serve ad attenuare i picchi di consumo dell'edificio, regolando le portate.
- **Trattamento depurativo (Bio-ossidazione e Ultrafiltrazione)**: i sistemi come i compatti Idrocell integrano evoluti processi biologici di ossidazione e membrane di ultrafiltrazione che sono in grado di abbattere la carica batterica e i contaminanti disciolti.
- **Affinamento e disinfezione**: prima di essere rinviata alle utenze per essere utilizzata nuovamente, l'acqua viene sottoposta a trattamenti di lucidatura con carboni attivi e a una fase finale di debatterizzazione tramite una lampada a UV che ne migliora la qualità e l'odore.
- **Riutilizzo**: Impiego delle acque grigie recuperata per scopi non potabili.
- **Manutenzione**: I sistemi di pompe filtri cisterne e i sistemi di disinfezione richiedono un controllo periodico per garantirne l'efficacia.

Il riuso delle acque grigie è generalmente previsto solo per impieghi che non prevedono una fonte di acqua potabile, come l'irrigazione o l'impianto di acque per lo scarico del WC, e richiede una

rete dedicata separata da quella dell'acqua potabile. Ecco alcuni esempi e modalità tramite cui è possibile trattare e riusare le acque grigie (Oteng-Peprah et al., 2018):

- **Sistemi Centralizzati:** Raccolgono e trattano le acque grigie da più unità abitative in un'unica struttura.
- **Sistemi Decentralizzati:** Raccolgono e trattano le acque grigie da una sola unità abitativa.
- **Sistemi Greywater-toilet (GWTS):** Sistemi che collegano direttamente le acque grigie trattate allo scarico dei servizi igienici, riducendo così il consumo di acqua potabile.
- **Sistemi di Irrigazione e lavaggio di spazi esterni (UNI EN 16941-2:2021).**

Figura 59
Schema di funzionamento trattamento acque grigie



LEGENDA Figura 59

STADI DEL TRATTAMENTO

- A Prefiltrazione ed equalizzazione
- B Trattamento biologico
- C Separazione a membrana
- D Affinamento con carboni attivi
- E Disinfezione a raggi ultravioletti
- F Acqua trattata e riutilizzo

ELEMENTI E PROCESSI

- 1 Acque reflue in ingresso
- 2 Prefiltro meccanico
- 3 Vasca di accumulo ed equalizzazione
- 4 Reattore biologico
- 5 Diffusori d'aria
- 6 Modulo di ultrafiltrazione a membrane
- 7 Colonna a carboni attivi
- 8 Lampada a raggi ultravioletti
- 9 Acqua trattata
- 10 Usi finali
- 11 Flusso fra gli stadi
- 12 Linea di processo

CHIAVE DEI SEGNI

- Flusso dell'acqua
- Materiale trattenuto dal prefiltro
- Tubazioni e collettori
- Acqua in trattamento
- Letto di carboni attivi
- Lampada a raggi ultravioletti
- Linea di processo

Capitolo 4

Il progetto Nebel



4.1 – Riflessioni alla base del progetto

Il punto di partenza del progetto Nebel non è stata la volontà di convalidare un'idea, ma quella di comprendere un problema reale.

Il progetto è il risultato di una serie di analisi che hanno portato in primo luogo all'identificazione del problema, per poi arrivare all'individuazione del luogo, del momento e delle modalità attraverso cui fosse possibile intervenirvi.

Sono le riflessioni che seguono ad aver definito il contorno del progetto.

La prima riflessione ha riguardato la scelta della crisi idrica come campo d'azione. Oltre a essere una delle crisi globali di maggiore rilevanza, è una condizione documentata e con dati quantificabili, il cui andamento è noto: la domanda di acqua cresce, la disponibilità delle risorse idriche diminuisce, la quota di popolazione colpita aumenta di anno in anno.

Ma tra i molti problemi che presentano queste caratteristiche, l'acqua occupa una posizione particolare, perché non ha alternative. Per l'energia esistono fonti sostitutive e tecnologie in competizione tra loro. Per l'acqua non esiste nulla di equivalente: la si può certo risparmiare, recuperare, trasportare, depurare o desalinizzare, ma non sostituire con qualcos'altro. Nessuna tecnologia potrà mai produrre un'alternativa alla risorsa, ma soltanto renderne più efficiente l'impiego.

Se l'acqua in termini di risorsa non è sostituibile, l'unica variabile realmente disponibile diventa allora il modo in cui essa viene utilizzata: i metodi di approvvigionamento, la sua gestione e le

modalità attraverso cui è possibile contenerne lo spreco.

Ed è esattamente qui che il problema diventa una questione di progetto. L'acqua è l'unica risorsa di rilevanza planetaria che attraversa fisicamente le mani delle persone ogni giorno.

A differenza delle emissioni o dei consumi energetici, invisibili e regolati da sistemi complessi e lontani, l'acqua viene vista, toccata, aperta e chiusa decine di volte al giorno. Chiunque, nel corso della propria giornata, utilizza dispositivi progettati per erogarla, e ogni volta ne regola direttamente il consumo: il suo utilizzo non è un comportamento astratto, ma un gesto che passa sempre attraverso un oggetto progettato. Ed è proprio qui che Nebel si vuole inserire.

Da questa constatazione nasce la seconda riflessione. Se l'uso dell'acqua dipende dai dispositivi che la erogano e dal modo in cui le persone interagiscono con essi, allora anche il suo spreco dipende dagli stessi dispositivi.

Questo è il nodo centrale di Nebel: ovvero la comprensione della crisi idrica globale non come un'unica forma, ma come due facce opposte e interconnesse. Nei contesti in cui l'acqua è abbondante viene sprecata o mal gestita, perché non viene percepita come un problema quotidiano, mentre in quei contesti in cui è scarsa o del tutto assente, ogni goccia assume un valore tale che la ricerca di una fonte, di un mezzo o di un'alternativa arriva a occupare una parte consistente del tempo e delle energie di chi ne è privo. Lo stesso bene è, nello stesso momento, materia trascurabile e questione di sopravvivenza.

Figura 60
Rubinetto che perde



Nota. Fotografia di S. Arora, 2024, Pexels.

Le due facce non sono indipendenti. La percezione dell'acqua come risorsa illimitata rende accettabili lo spreco e la cattiva gestione, e legittima un sistema di consumo che continua a impattare sulla quantità complessivamente disponibile, mentre altrove quella stessa risorsa è già insufficiente.

Il riconoscimento di questo dualismo porta con sé la necessità di operare su entrambi i fronti. Intervenire soltanto sull'assenza di acqua porterebbe a un miglioramento della reperibilità della risorsa, ma lascerebbe intatte le cause originarie del problema, con il rischio che nel lungo periodo la situazione torni al punto di partenza e l'impatto effettivo dell'intervento si riduca a zero. Intervenire soltanto sullo spreco, invece, non permetterebbe di raggiungere chi la mancanza d'acqua la vive quotidianamente. In entrambi i casi si tratterebbe di una comprensione parziale del problema, e quindi di una risposta parziale.

Il rischio appena descritto, ovvero il creare una soluzione che non perdura nel tempo ma si limita a trovare una soluzione momentanea, introduce la terza riflessione, che riguarda la comprensione del fenomeno.

È proprio per questa ragione che molte soluzioni tecnicamente valide non hanno prodotto effetti duraturi: non sono fallite come tecnologie, ma come iniziative prive di continuità.

La crisi idrica è una condizione duratura e consolidata nel tempo e nei luoghi; non si tratta infatti di un fenomeno emergenziale momentaneo che richiede un intervento rapido, ma richiede una risposta con un'evoluzione che persiste insieme all'avanzamento

della crisi.

In conclusione, la risposta di Nebel si vuole radicare nei luoghi e nelle persone, diventando parte della quotidianità, agendo su entrambe le facce della crisi idrica e, di conseguenza, all'interno di contesti diversi con bisogni, necessità e priorità differenti, per creare una risposta concreta, duratura ed efficace al problema della crisi idrica globale.

4.2 – La struttura del progetto

Dalle riflessioni alla base del progetto nasce la sua struttura.

Nebel, infatti, si articola su due prodotti differenti, pensati per contesti e target diversi, per ambienti di applicazione agli antipodi, con logiche alla base e con obiettivi differenti.

I due prodotti non procedono però in parallelo: sono legati da un rapporto di reciproca dipendenza che li rende le due componenti di un unico sistema, capace di agire su entrambe le facce della crisi idrica.

Figura 61
Il legame alla base della struttura



Nota. Fotografia di S. Lee, 2025, Pexels.

4.2.1 – Le due facce di Nebel

Come anticipato, il progetto Nebel ha la necessità di essere composto da due dispositivi differenti ma interconnessi. Ognuno dei due rappresenta al tempo stesso una faccia di Nebel e una faccia della crisi idrica.

Il primo prodotto, che agisce sul fronte dello spreco, è Zerodrop: un dispositivo domestico adattabile ai diversi rubinetti di casa, che filtra e nebulizza l'acqua riducendone il consumo senza perdere in efficienza e funzionalità, e mettendo a disposizione una fonte d'acqua sicura e gestita responsabilmente. Zerodrop diventa parte delle attività quotidiane, integrandosi nei gesti e negli spazi domestici.

Il secondo dispositivo, Everydrop, agisce sul fronte opposto, quello dell'assenza. È un dispositivo di raccolta dell'acqua atmosferica che rende disponibile e a pari passo accessibile una risorsa già presente ma non utilizzata nei luoghi in cui l'accesso all'acqua è limitato o assente. Si tratta di una soluzione passiva, che non richiede alcuna forma di energia per funzionare e che si adatta alle necessità del luogo di applicazione attraverso semplici modifiche e migliorie.

Ciò che lega i due dispositivi, oltre all'obiettivo comune del contrasto alla crisi idrica, è la loro interdipendenza economica. La vendita di Zerodrop finanzia la realizzazione di Everydrop: il ricavato di un numero definito di dispositivi domestici rende possibile la costruzione di un raccoglitore, e ogni acquirente può verificare a quale realizzazione il proprio acquisto abbia contribuito, avendo chiaro e visibile l'impatto reale del proprio gesto.

Il gesto di chi riduce il proprio consumo dove l'acqua è disponibile diventa così la condizione materiale che permette di raccoglierla dove non lo è.

Figura 62
Le due facce di Nebel



Nota. Fotografia di Pratikxox, 2024, Pexels. Licenza Pexels.

4.2.2 – La scelta degli scenari

Individuate le due direzioni d'azione, il progetto ha richiesto la definizione degli scenari di applicazione per i due dispositivi.
Si tratta di una fase centrale, dalla quale dipendono non soltanto le caratteristiche dei dispositivi stessi, ma la loro possibilità di produrre un risultato effettivo.
La domanda di partenza, comune a entrambi gli scenari, ha riguardato il contesto in cui un intervento avrebbe potuto incidere maggiormente su ciascuna delle due facce del problema. Il primo scenario a essere individuato è stato quello di Everydrop, frutto di un'analisi dei territori maggiormente colpiti dalla crisi idrica globale. La definizione del secondo scenario invece è avvenuta di conseguenza, attraverso il confronto tra i possibili ambiti in cui intervenire sugli sprechi e sulla gestione delle acque, fino all'individuazione del contesto in cui collocare Zerodrop.
In entrambi i casi la tecnologia impiegata è una conseguenza dello scenario, e non il suo presupposto.
I paragrafi che seguono ripercorrono le analisi condotte, i criteri di valutazione adottati e il percorso che ha portato alla definizione dei due contesti di applicazione e delle risposte progettuali corrispondenti ripercorrendo l'ordine cronologico dell'analisi, partendo quindi da Everydrop, il cui scenario è stato individuato per primo.

4.2.2.1 – Scenario Everydrop

La scelta dello scenario di applicazione di Everydrop è avvenuta a partire dall'analisi del fenomeno della crisi idrica su scala globale e dalla successiva selezione dei territori in cui essa si manifesta con maggiore intensità.

Questa analisi, condotta precedentemente nel capitolo 2, ha fatto emergere che la scarsità d'acqua assume forme e necessità differenti in base all'ambiente preso in analisi, a seconda che manchi la risorsa, l'infrastruttura o la qualità. I tre contesti precedentemente presi in esame, ovvero le aree aride, l'area amazzonica e i contesti urbani, corrispondono ciascuno a una di queste condizioni, e richiedono di conseguenza risposte progettuali di natura diversa.

Nell'area amazzonica l'acqua è presente in grandissime quantità, e la situazione di vulnerabilità della popolazione, che la rende un'area di interesse progettuale, deriva dall'assenza o dalla cattiva gestione di reti di distribuzione e di sistemi di trattamento delle acque.

Questo problema, così radicato e profondo, richiede interventi infrastrutturali e politiche pubbliche più che un dispositivo singolo; il rischio che porterebbe l'agire sul singolo prodotto sarebbe il creare una soluzione solo temporanea, che non porterebbe a un reale impatto finale.

Il contesto urbano presenta invece un problema di gestione e di consumo, strettamente legato all'altra faccia del progetto, ovvero alla gestione e al risparmio, e verrà approfondito successivamente nel paragrafo 4.2.2.2.

Nelle aree aride l'assenza delle risorse idriche rappresenta un problema reale e la progettazione di un dispositivo può produrre disponibilità là dove non ne esiste.

La scelta è ricaduta sui contesti aridi per una ragione precisa: sono gli unici in cui la scarsità è di tipo fisico e non di pura gestione.

Dopo aver delineato come possibile scenario applicativo l'ambiente arido, il focus si è concentrato sul territorio della Namibia, dove oltre il 90% del territorio è arido o iper-arido, le fonti disponibili di acqua sono spesso distanti dai luoghi di utilizzo e difficili da sfruttare, e l'assenza di punti di accesso ad acqua sicura è un problema tangibile.

L'analisi successivamente si è spostata sulle possibili modalità di intervento, valutando i metodi di approvvigionamento precedentemente descritti all'interno del capitolo 3.

Le valutazioni utilizzate per la scelta della modalità di approvvigionamento da utilizzare sono state effettuate rispetto alle condizioni specifiche del territorio namibiano.

I criteri adottati riguardano il fabbisogno energetico, i costi di realizzazione ed esercizio, la dipendenza da infrastrutture preesistenti, il livello di competenza richiesto per la manutenzione e la possibilità di replicare l'intervento con risorse locali.

I metodi convenzionali sono inapplicabili nel contesto individuato per i seguenti motivi:

- **L'estrazione da acque sotterranee** presuppone la presenza di falde acquifere accessibili e, essendo la Namibia un territorio iper-arido, raramente le due condizioni coincidono e, nel caso

in cui si verificasse, comporterebbe un ipersfruttamento.

- **La raccolta da acque superficiali** richiede corsi d'acqua permanenti e opere infrastrutturali di grande scala, entrambi assenti nel territorio in esame.

Tra i metodi non convenzionali sono stati scartati i seguenti:

- **La raccolta da precipitazioni** è strettamente vincolata alle precipitazioni stesse, una risorsa che in Namibia è scarsa e fortemente irregolare, e che pertanto non può garantire continuità.
- **La desalinizzazione**, già oggetto di sperimentazione nel paese, presenta un consumo energetico elevatissimo e un rilascio e formazione di scarti fisici, e richiederebbe reti di distribuzione verso l'entroterra che non esistono.
- **I sistemi di raccolta della rugiada** presentano limiti stringenti: i condensatori a raffreddamento radiativo hanno una resa di pochi millimetri per notte, mentre le soluzioni più efficienti, essiccanti rigenerati dal sole e sistemi attivi, richiedono costi di esercizio e complessità incompatibili con l'autonomia richiesta dalla soluzione necessaria.
- **Il riuso delle acque grigie**, infine, presuppone un consumo idrico da cui recuperare, ed è quindi strutturalmente inapplicabile in un contesto in cui il problema è l'assenza stessa della risorsa.

L'unica soluzione emersa tra quelle precedentemente prese in considerazione, una volta applicati i vincoli territoriali e le necessità applicative, è ricaduta sul fog harvesting.

Gli elementi che hanno fatto sì che esso sia stato identificato come la soluzione sono i seguenti:

- **È un sistema interamente passivo:** non necessita di alcun apporto energetico.
- **L'economicità delle strutture**, che sono in linea generale semplici da realizzare ed economicamente accessibili.
- **Il numero ridotto di elementi** che li compongono e l'eventuale possibilità di utilizzo di materiali reperibili o sostituibili con materiali locali.
- **Il risultato sul grado di pulizia e sicurezza dell'acqua raccolta.** Non attraversando falde acquifere o suoli contaminanti, e prevedendo un sistema di purificazione, la fonte che si ottiene rientra all'interno dei parametri di consumo potabile.

Il vincolo principale risiede nella dipendenza dalla presenza della nebbia, condizione che ne restringe fortemente l'applicabilità geografica ma che nel contesto individuato non costituisce un ostacolo: nel deserto costiero del Namib la differenza termica tra deserto e oceano genera banchi di nebbia per 200 giorni all'anno, garantendo una continuità di funzionamento paragonabile a quella di una fonte stabile.

Il funzionamento dei fog harvester, le configurazioni esistenti e i principali casi studio internazionali sono stati descritti nel paragrafo 3.2.3.

Un ulteriore elemento che ha delineato il fog harvesting come campo di azione è stata l'analisi di tipo bio-inspired, volta a comprendere in che modo la natura risponda alla medesima condizio-

Topnaar
I Topnaar sono un antico clan indigeno del gruppo Nama, stanziato in Namibia lungo la valle del fiume Kuiseb, nel deserto del Namib. La loro sopravvivenza è legata alla raccolta del frutto della pianta !nara e affrontano sfide per i diritti sulle terre ancestrali (Viaggitribali, s.d.).

ne di scarsità. Il caso più importante è risultato essere quello dello *Stenocara gracilipes*, endemico del deserto del Namib, che ricava dalla nebbia mattutina l'intero proprio fabbisogno idrico.

Il dato significativo non è il meccanismo tramite cui raccoglie l'acqua, ma il luogo: nel territorio in cui si intende intervenire esiste già un organismo che ha fatto della nebbia la propria unica fonte d'acqua. La soluzione identificata non rimane solo un'ipotesi teorica, ma è il frutto di una soluzione che la natura utilizza già per fronteggiare la problematica.

Dall'analisi del contesto emerge infine un elemento che riguarda le condizioni della sua permanenza. I fog harvester sono strutture autonome nel funzionamento, ma che necessitano di una manutenzione e di un'attenzione particolare. Le reti richiedono una pulizia regolare per mantenere l'efficienza, e la loro efficacia nel tempo dipende interamente dalla presenza di qualcuno che se ne occupi. È questo, più della resa tecnica, il fattore che distingue gli impianti attivi da quelli abbandonati.

L'esperienza del Gobabeb Training and Research Centre, nel cuore del deserto del Namib, lo dimostra: lo sviluppo delle tecnologie di raccolta è avvenuto a stretto contatto con la comunità indigena dei Topnaar, trasformando il fog harvesting da esperimento tecnico a strumento di autonomia idrica per le comunità rurali.

Il contesto individuato non richiede dunque soltanto un dispositivo efficiente, ma un dispositivo che possa essere mantenuto e adattato da chi lo utilizza: un requisito che ha orientato in modo determinante le scelte progettuali descritte nei capitoli successivi.

4.2.2.2 – Scenario Zerodrop

L'individuazione del contesto di applicazione di Zerodrop è la conseguenza diretta del riconoscimento della doppia natura della crisi idrica.

Una volta che è stato identificato il contesto arido come scenario applicativo per Everydrop sul lato di intervento dell'assenza di acqua, vi era la necessità di intervenire anche sul fronte opposto, quello dello spreco. Insieme a ciò si è sviluppata una seconda necessità, ovvero il rendere Zerodrop un modello capace di sostenere economicamente nel tempo la realizzazione dei dispositivi destinati ai contesti aridi.

Entrambe queste necessità hanno delineato i contesti dove l'acqua è disponibile in eccesso come possibili scenari applicativi, poiché è lì che si concentra il consumo non necessario ed è lì che esistono le capacità di spesa in grado di finanziare l'intervento sull'altro fronte.

Questo ha portato in primo luogo ad analizzare la possibilità di applicazione della stessa logica adottata nei territori aridi, inserendo i sistemi di raccolta dell'acqua atmosferica all'interno di città o contesti urbani e verificando se potessero costituire una risposta anche in un contesto di abbondanza.

L'analisi ha evidenziato un'impossibilità di applicazione di quella soluzione per le seguenti motivazioni:

- **Il funzionamento dei sistemi di raccolta passivi della nebbia** richiede precise condizioni atmosferiche frequenti che un contesto urbano non può garantire.
- **La forte presenza di inquinamento** condizionerebbe drastica-

mente la qualità dell'acqua ottenuta, e lo spazio necessario per l'installazione non sarebbe ottimizzato dati i pochi volumi di produzione e la qualità dell'acqua raccolta.

Il fattore di maggior rilevanza per il quale si è deciso di non applicare la stessa tecnologia per entrambi i contesti è che un dispositivo di questo tipo non produrrebbe un effettivo beneficio percepibile in un contesto dove il reale problema non è la raccolta dell'acqua, ma lo spreco e la gestione.

La ricerca si è quindi spostata dalla raccolta dell'acqua alla sua gestione e alla limitazione degli sprechi, effettivo problema che affligge questi scenari.

Una volta individuato il contesto ed essendo giunti alla conclusione che l'ambito di applicazione doveva essere differente rispetto a quello di Everydrop, sono stati messi a confronto sei possibili ambiti di applicazione ed è stato svolto un processo di valutazione tramite i seguenti criteri: l'adeguatezza al contesto urbano, l'ampiezza del target raggiungibile, l'efficacia effettiva del dispositivo, la capacità di integrarsi nei gesti quotidiani, il potenziale divulgativo e la coerenza con il secondo prodotto del sistema.

I possibili ambiti di applicazione sono:

- **Fog collector urbani**
- **Raccolta dell'acqua piovana**
- **Irrigazione**
- **Gestione dell'acqua in ambito domestico**
- **Sistemi per la cura delle piante**
- **Dispositivi di deumidificazione**

Tabella comparativa degli ambiti di applicazione

Legenda

○ non adeguato ◑ parzialmente adeguato ● adeguato

Criterio	Fog collector urbani	Raccolta dell'acqua piovana	Irrigazione	Gestione in casa	Cura piante	Deumidificatori
Adeguatezza al contesto urbano	○	○	●	●	◑	◑
Ampiezza del target	○	○	○	●	○	◑
Efficacia sul consumo	○	◑	◑	●	○	○
Indipendenza da fattori esterni	○	○	◑	●	◑	○
Integrazione nei gesti quotidiani	○	○	◑	●	◑	○
Potenziale divulgativo	○	○	◑	●	○	○
Differenziazione dal mercato	◑	○	○	●	○	○
Coerenza con Everydrop	◑	◑	○	●	○	◑
Assenza di vincoli d'installazione	○	○	○	●	●	◑

La gestione dell'acqua in ambito domestico è risultata l'unico ambito tra i sei presi in analisi in grado di soddisfare l'insieme dei criteri.

È un campo d'applicazione ampio, caratterizzato da una scalabilità tale da poter progettare dispositivi su piccola e su larga scala. La progettazione di dispositivi e soluzioni all'interno di questo campo prevede l'utilizzo di gestualità già presenti nella routine quotidiana e che consentono un risparmio su più fronti, idrico ed economico insieme.

È risultato inoltre essere l'ambito con il maggiore potenziale divulgativo, poiché il dispositivo entra in contatto con l'utente più volte nel corso della giornata, e soprattutto entra in contatto con una fetta di popolazione considerevole.

Tabella gestione dell'acqua domestica

Criterio	Riscontro dell'analisi
- Ampiezza dell'ambito	Include gesti diversi (doccia, lavaggio stoviglie, igiene mani, bucato, irrigazione, pulizie) superficie di intervento molto estesa
- Scalabilità	Applicabile sia a dispositivi puntuali su piccola scala, sia a soluzioni su larga scala
- Integrazione nella routine	Il dispositivo entra in contatto con l'utente più volte al giorno, senza richiedere nuovi comportamenti
- Risparmio multiplo	Beneficio idrico ed economico insieme, senza percepirlo come costo aggiuntivo
- Willingness to pay	Le persone sono disposte a spendere in questo ambito, se la soluzione è comoda
- Rifiuto di alternative "scomode"	Le bottiglie d'acqua sono percepite come scomode da acquistare e trasportare
- Bassa manutenzione richiesta	Preferenza per soluzioni "install & forget" o abbonamenti che evitano acquisti ricorrenti
- Punto critico identificato	Il lavandino risulta il punto della casa con il maggiore spreco idrico
- Percezione dell'investimento	Una spesa iniziale contenuta, ammortizzata nel risparmio nel ciclo di vita, è ben accolta

Figura 63
Abitazione privata



Nota. Fotografia di A. Tyson, 2024, Pexels.

Figura 64
Camperisti e off-gridder



Nota. Fotografia di M. Bertelli, 2025, Pexels.

Figura 65
Struttura ricettiva



Nota. Fotografia di D. Mazur, 2025, Pexels.

Individuato l'ambito, l'analisi è proseguita spostandosi verso l'identificazione dei possibili scenari di applicazione.

Ne sono stati identificati tre, con caratteristiche tali da avere un quadro con prospettive differenti sulle plausibili motivazioni di acquisto e sulle condizioni di utilizzo.

I tre scenari sono:

- **Abitazioni private** (Figura 63)
- **Camperisti e off-gridder** (Figura 64)
- **Le strutture ricettive come hotel e agriturismi** (Figura 65)

Per comprendere le condizioni d'uso e le motivazioni alla base dell'acquisto di ciascuno scenario è stata condotta un'indagine esplorativa di tipo qualitativo, articolata su dodici interviste semi-strutturate, svolte nell'arco di due settimane e distribuite equamente tra i tre gruppi.

I temi affrontati sono stati gli stessi per tutti e tre i gruppi, con domande riformulate in base al contesto: la fonte di acqua potabile usata, l'attenzione alla qualità e al consumo, dove si percepisce più spreco, e se acquisterebbero un dispositivo dedicato e a quale prezzo.

Di seguito si riportano le tabelle contenenti i risultati emersi dalle interviste condotte.

Interviste abitazioni private

	Ginevra	Marco	Sofia	Pietro
Qual è la tua fonte di acqua potabile in casa?	Bottiglie d'acqua	Acqua delle bottiglie	Bottiglie d'acqua	Uso un depuratore per l'acqua fissato sotto al lavello, che mi evita di dover comprare le bottiglie
Presti attenzione alla qualità dell'acqua che bevi o che usi per lavarti?	Solo comprando bottiglie d'acqua che hanno buona qualità	Molto, uso l'acqua del pozzo, so che è pulita e controllo i valori di pulizia dell'acqua	Non molto	No, mi fido del mio depuratore
Dove si può risparmiare acqua in casa secondo te?	Noto che spreco tanta acqua quando lavo i piatti	Non spreco	Potrei risparmiare acqua quando mi lavo i denti, lascio spesso aperto il flusso d'acqua	Mi piace fare delle lunghe docce dopo che vado nell'orto. Effettivamente spreco molta acqua
Presti attenzione al tuo consumo di acqua?	No	Sì	Non penso a quanta acqua consumo	No
Credi di poter fare qualcosa per risparmiare acqua in casa?	Sì, stare più attenta ai flussi di acqua del lavandino quando mi strucco e lavo i denti	Non più di quello che faccio già	No, non ho voglia di prestarci attenzione	Potrei fare delle docce meno lunghe
Acquisteresti un prodotto che ti permette di risparmiare l'acqua del lavandino e di avere acqua pulita? Quale cifra saresti disposto a spendere?	No, non mi preoccupa sprecare acqua	Sì se mi permettesse di essere più sicuro e meno attento nei controlli Spenderei massimo 200 €	Sì, lo comprerei. Spenderei circa 50 €.	Sì, ma solo se non avessi già quello che ho ora. Meno di 100 €

Interviste camperisti e off-gridder

	Floriano	Anna	Bruno	Andrea
Qual è la tua fonte di acqua potabile in camper?	Acqua stipata nei gavoni da 90 litri e acqua in bottiglia questione campeggi attrezzati	Bottiglie di plastica	Carico l'acqua a casa perché sono collegato al pozzo, ma per bere e cucinare uso le bottiglie	Dipende dal tipo di viaggio che sto facendo
Presti attenzione alla qualità dell'acqua che bevi o che usi per lavarti in camper?	No, bevo acqua in bottiglia, l'acqua nei gavoni solo per cucinare e lavarmi le mani	Sì	Sì, principalmente a quella che bevo	Solo per l'acqua da bere
Dove si può risparmiare acqua in camper secondo te?	In camper da nessuna parte, forse più nei campeggi	Faccio attenzione ad aprire e chiudere il rubinetto solo per il tempo necessario	Lavaggio stoviglie, igiene personale	Lavarsi e lavare
Presti attenzione al tuo consumo di acqua?	No, mi affido alle strutture del campeggio	Sì abbastanza	Uso l'acqua in modo parsimonioso	Sì molto, uso le scorte di acqua potabile solo per bere e poche altre cose, mi arrangio per il resto
Credi di poter fare qualcosa per risparmiare acqua in camper?	Non ne trovo la necessità	Quando lavo le stoviglie e cerco di fare la doccia nelle aree di sosta	Ho acquistato un depuratore per usare acqua dal lavandino	Si potrebbe fare ma farei fatica a fare di più
Acquisteresti un prodotto che ti permette di risparmiare l'acqua del lavandino e di avere acqua pulita? Quale cifra saresti disposto a spendere?	Non sono interessato	Al momento non sarei interessata	Sì, spenderei sui 2000 €	Sì, lo acquisterei se mi permettesse di evitare di far bollire l'acqua che prendo dall'ambiente. Non spenderei più di 100 €

Interviste strutture ricettive come hotel e agriturismi

	Paolo	Mirella	Milena	Antonio
Qual è la fonte di acqua potabile delle tue camere?	Utilizziamo l'acqua della rete idrica comunale. In camera gli ospiti trovano l'acqua in caraffe riutilizzabili	Acqua dell'acquedotto comunale e per gli ospiti le classiche bottiglie di accoglienza	L'acqua proviene dall'acquedotto	Noi usiamo quella del sindaco, l'acqua del rubinetto e la bottiglia di benvenuto
Presti attenzione alla qualità dell'acqua che bevono i tuoi clienti?	Sì, negli anni abbiamo fatto valutare l'acqua da laboratori	Ci fidiamo dei controlli periodici che fa il comune sulla rete pubblica	Abbastanza da garantire una sicurezza al cliente	Sì, l'acqua dei lavandini e della doccia è a norma
Dove si può risparmiare acqua in camera secondo te?	Il margine più grande si ha nelle docce e nei sanitari	Nei lavandini, soprattutto quando i clienti usano il bagno per lavarsi e lasciano il rubinetto aperto	Penso docce e lavandino, ma anche gli scarichi del wc	Credo principalmente doccia o lavandino
Presti attenzione a quanto spendi in acqua?	Sì, monitoriamo i consumi mensilmente tramite contatori parziali	Essendo una piccola struttura familiare, le bollette si fanno sentire a fine mese	Insieme alla luce sono sempre costi elevati ma previsti	Sì ma dipende molto anche dalla stagione
Credi di poter fare qualcosa per risparmiare acqua nelle tue camere?	Sì, ora stiamo valutando un sistema di recupero delle acque grigie delle docce	Siamo una struttura vecchiotta, ma abbiamo i classici rompigetto ai lavandini	All'interno delle singole camere non saprei	Non penso
Acquisteresti un prodotto che ti permette di risparmiare l'acqua del lavandino e di avere acqua pulita? Quale cifra saresti disposto a spendere?	Probabilmente si, ma deve essere un oggetto in grado esteticamente di stare in una nostra camera, con un prezzo accessibile	Ultimamente siamo a corto di fondi, ma in periodi migliori sarebbe una soluzione interessante	Non penso	Potrebbe essere interessante

Dalle risposte alle interviste sono emerse alcune indicazioni ricorrenti.

La prima riguarda il dove avviene lo spreco: il lavandino viene indicato con costanza, da tutti e tre i gruppi, come il punto in cui il consumo non necessario è maggiore; semplici gesti quotidiani come il lavaggio delle stoviglie, l'igiene personale e il flusso lasciato aperto durante operazioni che non lo richiedono fanno sprecare decine di litri di acqua al giorno.

Il secondo dato che risulta ricorrente nelle interviste riguarda l'approvvigionamento di acqua potabile. L'acqua confezionata risulta come la fonte fidata nella maggior parte dei casi, anche se percepita come scomoda da acquistare e trasportare, ma ritenuta più affidabile di quella erogata dalla rete.

La terza riguarda le condizioni di uso e interazione del prodotto. Viene infatti richiesta una soluzione a bassa manutenzione, esteticamente compatibile con l'ambiente in cui viene installata e in grado di ripagarsi nel corso della propria vita utile.

L'indicazione più rilevante tra quelle emerse deriva dal confronto tra due domande.

Alla richiesta di valutare la propria attenzione al consumo idrico la maggior parte degli intervistati risponde negativamente, e in un caso viene dichiarato apertamente che lo spreco d'acqua non costituisce una preoccupazione. Alla domanda sull'eventuale acquisto, chi si dichiara interessato motiva la propria risposta quasi sempre con la sicurezza dell'acqua, e solo raramente con il risparmio.

Questa è la conferma di quanto osservato in fase di analisi del fenomeno di crisi idrica: nelle situazioni dove l'acqua è abbondante, il risparmio non costituisce di per sé una motivazione all'acquisto. Le abitazioni private rappresentano il segmento più ampio e diventerebbero la principale fonte di sostenibilità economica del sistema.

Sono anche lo scenario in cui vi è una marcata distanza tra motivazione all'acquisto e finalità del progetto: l'attenzione al consumo è pressoché assente, mentre il ricorso all'acqua confezionata è generalizzato e vissuto come un onere. La leva è dunque la qualità dell'acqua, e la disponibilità di spesa dichiarata si colloca in un intervallo ampio, compreso tra poche decine e alcune centinaia di euro.

Per i camperisti e gli utenti off-grid l'acqua è una risorsa contata per necessità, avendo poco spazio a disposizione. È il segmento in cui il valore del dispositivo si comprende più immediatamente. Le interviste, d'altro canto, riportano un quadro disomogeneo: chi si appoggia ai campeggi attrezzati non ne sente il bisogno. Anche qui si ricrea il meccanismo precedente di abbondanza e mancata percezione del valore. Mentre chi pratica la sosta libera si dichiara interessato, soprattutto per poter usare l'acqua prelevata dall'ambiente senza doverla trattare.

Nelle strutture ricettive, infine, il consumo idrico è un costo d'esercizio già monitorato. I gestori indicano il lavandino tra i punti di maggiore spreco, in particolare per l'abitudine dei clienti a lasciare il rubinetto aperto più del necessario.

Il segmento pone due vincoli ulteriori: il dispositivo, infatti, deve essere in grado di integrarsi esteticamente all'interno della camera e il suo prezzo unitario deve poter essere ammortizzato considerando un acquisto su grandi numeri in base al numero delle camere della struttura.

L'insieme delle indicazioni emerse dalle interviste raccolte porta l'attenzione complessiva verso un punto preciso, ovvero un elemento comune ai tre scenari: il lavandino.

È il luogo in cui si concentrano i gesti a maggiore consumo, è presente in tutti e tre i contesti con la stessa funzione, ed è il punto in cui coincidono le due esigenze emerse dall'indagine, la riduzione dello spreco e l'accesso a una fonte d'acqua sicura.

È su questo elemento che si è definito il campo d'intervento di Zerodrop, il rubinetto domestico.

Analisi di mercato

Zerodrop non si inserisce in un mercato nuovo, bensì in uno spazio già ampiamente presidiato, che è quello dei dispositivi collegati alla bocca di erogazione del lavello. Vista questa situazione, prima di agire e individuare quelli che saranno i punti di forza di Zerodrop, è fondamentale fare un'analisi di quelli che sono i prodotti già presenti sul mercato e cosa essi sono in grado di offrire.

L'analisi si sviluppa su tre punti distinti:

- Il primo è puramente di prestazione, e l'obiettivo è fissare dei valori di riferimento che dovranno essere rispettati
- Il secondo riguarda problemi di natura tecnica, come le soluzioni costruttive adottate dai vari produttori
- Il terzo, più strategico, cerca di individuare il posto corretto in cui si dovrà inserire Zerodrop.

I dati riportati nelle schede provengono dalla documentazione tecnica dei produttori, dai manuali d'uso e dalle schede prodotto dei rivenditori ufficiali (Filtri Casa Facile, s.d.; TAPP Water, s.d.-a, s.d.-b; Waterdrop, s.d.; Xiaomi, s.d.-a, s.d.-b). Si tratta pertanto di valori nominali, dichiarati in condizioni di prova non uniformi tra le diverse aziende e non verificati sperimentalmente in questa sede.

Criteri di valutazione e prodotti analizzati

Per garantire che il confronto risulti coerente con gli obiettivi del progetto, ciascun prodotto è stato esaminato secondo sei dimensioni:

- **Universalità di aggancio:** numero e tipologia degli adattatori forniti, standard di filettatura coperti, presenza di soluzioni per bocche di erogazione non filettate.
- **Trattamento dell'acqua:** numero di stadi, tecnologia filtrante impiegata, spettro dei contaminanti dichiarati e presenza di certificazioni di parte terza.
- **Manutenibilità:** capacità e durata dell'elemento filtrante, modalità di accesso e di sostituzione e presenza di un sistema di segnalazione dello stato del filtro.
- **Gestualità e interfaccia:** numero di modalità di erogazione disponibili, tipologia del comando e natura del riscontro fornito all'utente.
- **Impatto idraulico:** portata residua a valle del dispositivo e pressione minima richiesta per il corretto funzionamento.
- **Accessibilità economica:** prezzo di acquisto e costo di esercizio, quest'ultimo determinato dalla frequenza di sostituzione della cartuccia.

Xiaomi Faucet Water Purifier

Lo Xiaomi Faucet Water Purifier (Figura 66) è un sistema di filtrazione composito a cinque stadi che rimuove sabbia, ruggine, cloro residuo, colloidi e inquinanti organici (Xiaomi, s.d.-a). Il dispositivo consente tre modalità di erogazione: acqua purificata, acqua non purificata e getto a spruzzo. La sua scocca in ABS traslucido satinato permette di verificare visivamente lo stato di intasamento dell'elemento filtrante senza smontarlo.

La caratteristica maggiormente interessante è il componente in ceramica di diatomea, che costituisce un elemento rigenerabile e non un materiale di consumo da sostituire. Per ripristinarne le prestazioni è sufficiente abraderne la superficie con carta abrasiva.

Figura 66
Xiaomi Faucet Water Purifier



Nota. Tratto da Xiaomi Faucet Water Purifier, di Xiaomi, s.d. Copyright di Xiaomi. Riprodotto ai sensi dell'art. 70 della L. 633/1941 per finalità di studio.

Stadi di filtrazione
5 compositi
Mezzi filtranti
Rete inox, ceramica di diatomea, carbone attivo da guscio di cocco, tessuto non tessuto
Portata
3,4 L/min a 0,2 MPa
Capacità nominale
80 L (rigenerabile)
Durata dichiarata
3–6 mesi
Modalità di erogazione
3 (purificata e non, a spruzzo)
Pressione di esercizio
0,1–0,4 MPa
Temperatura dell'acqua
4–50 °C
Attacco
4 adattatori filettati + connettore universale 15–23 mm
Materiale della scocca
ABS traslucido satinato
Alimentazione
Nessuna
Prezzo
29,99 €

Fonte: Xiaomi (s.d.-a, s.d.-b).

BRITA ON TAP Pro V-MF

Stadi di filtrazione
5 con membrana microfiltrante
Porosità della membrana
> 0,5 µm
Portata
1,6 L/min
Capacità della cartuccia
600 L
Durata dichiarata
4 mesi
Rimozione dichiarata
99,99% dei batteri
Modalità di erogazione
3 (filtrata, non filtrata, spruzzo)
Indicatore
Display dello stato del filtro
Pressione di esercizio
0,7–3,5 bar
Temperatura in modalità filtrata
5–23 °C
Dimensioni
172 × 88 × 143 mm
Attacco
5 adattatori
Prezzo
59,95 €

Fonte: Filtri Casa Facile (s.d.).

Il BRITA ON TAP Pro V-MF (Figura 67) è un sistema compatto che integra una filtrazione a cinque stadi composta da un pre-filtro meccanico, uno scambiatore ionico, un letto di carbone attivo naturale e una membrana microfiltrante.

L'insieme di tutti questi elementi consente di trattenere fino al 99,99% dei batteri (Filtri Casa Facile, s.d.).

Il BRITA ON TAP Pro V-MF è il migliore, tra i prodotti analizzati, per quanto riguarda lo spettro di trattamento e rappresenta l'unico caso in cui lo stato del sistema di filtraggio viene monitorato da un display digitale e non è affidato alla memoria dell'utente. La confezione comprende cinque adattatori, tra cui uno destinato alle bocche di erogazione prive di aeratore, e l'installazione non richiede attrezzi.

Figura 67
BRITA ON Tap Pro V-MF



Nota. Tratto da ON TAP Pro V-MF, di BRITA, s.d. Copyright di BRITA. Riprodotto ai sensi dell'art. 70 della L. 633/1941 per finalità di studio.

Waterdrop Faucet Water Filter System Stainless Steel FC-06

Il Waterdrop FC-06 (Figura 68) impiega un mezzo filtrante a base di fibra di carbone attivo (ACF, Activated Carbon Fiber) ad alta capacità di adsorbimento, ricavato da gusci di cocco, in grado di ridurre cloro, odori, sedimenti e alcune impurità mantenendo inalterato il contenuto minerale dell'acqua.

Questa linea di prodotti permette l'utilizzo sia di cartucce a fibra di carbone sia di cartucce a blocco di carbone, con una capacità dichiarata di 1.200 litri che corrisponde a una sostituzione trimestrale.

Questo prodotto si distingue dagli altri analizzati per il materiale con cui è realizzato: acciaio inossidabile. Tramite uno snodo a 360° si evita che le sollecitazioni dovute al peso e alla manipolazione dell'oggetto danneggino la filettatura del rubinetto.

Figura 68
Waterdrop Faucet Water Filter System Stainless Steel FC-06



Nota. Tratto da Waterdrop Faucet Water Filter System Stainless Steel FC-06, di Waterdrop, s.d. Copyright di Waterdrop. Riprodotto ai sensi dell'art. 70 della L. 633/1941 per finalità di studio.

Tecnologia filtrante
Fibra di carbone attivo (ACF) da guscio di cocco; compatibile con cartucce a blocco di carbone

Certificazione
NSF/ANSI 42 (cloro, sapore, odori)

Capacità della cartuccia
≈ 1.200 L (320 galloni)

Durata dichiarata
≈ 3 mesi

Portata
≈ 4,9 L/min (1,3 GPM rilevati, da 2,2 GPM in ingresso)

Materiale
Acciaio inossidabile AISI 304 per uso alimentare

Dimensioni
≈ 127 × 64 × 127 mm

Peso
≈ 0,54 kg

Attacco
4 adattatori in dotazione

Modalità di erogazione
2 (filtrata, non filtrata)

Prezzo
49,99 €

Fonte: Waterdrop (s.d.); Should It (s.d.).

TAPPwater EcoPro Compact

Tecnologia filtrante
Microfiltrazione a 5 stadi con carbone attivo da guscio di cocco
Densità dei pori
1–2 µm
Portata
4 L/min (≈ 15 s per litro)
Capacità della cartuccia
220–300 L al mese
(≈ 8 L al giorno)
Durata dichiarata
2 mesi
Rimozione dichiarata
Oltre 100 sostanze fra composti chimici, gas, metalli e composti organici
Modalità di erogazione
2 (filtrata, non filtrata)
Vincoli d'uso
Esclusione dell'acqua calda
Installazione
Senza attrezzi
Prezzo
59,90 €

Fonte: TAPP Water (s.d.-a, s.d.-b).

L'EcoPro Compact di TAPPwater (Figura 69) è il filtro da rubinetto più contenuto in volume fra quelli esaminati e si basa su una tecnologia di microfiltrazione a cinque stadi con carbone attivo ricavato da guscio di cocco. Il produttore dichiara la rimozione di oltre cento sostanze tra composti chimici, gas, metalli e composti organici.

Secondo i dati del produttore EcoPro ha una portata di 4 L/min; la cartuccia è in grado di filtrare fino a 300 litri al mese e va sostituita bimestralmente (TAPP Water, s.d.-a).

È importante specificare che oltre i due mesi non decade solo l'efficienza del filtro, ma aumentano anche le probabilità di proliferazione batterica al suo interno. Per un corretto utilizzo è inoltre importante non far transitare acqua calda attraverso il filtro (TAPP Water, s.d.-b).

Figura 69
TAPPwater EcoPro Compact



Nota. Tratto da EcoPro Compact, di TAPP Water, s.d. Copyright di TAPP Water. Riprodotto ai sensi dell'art. 70 della L. 633/1941 per finalità di studio.

4.3 - Obiettivi di Nebel

Il progetto Nebel si propone di agire su piani diversi, con prospettive differenti e metodi alternativi in modo da affrontare il problema nel modo più completo ed efficace.

Il primo obiettivo, materiale e quantitativo, riguarda da un lato la volontà di ridurre i volumi d'acqua impiegati nella quotidianità domestica, là dove il consumo e la cattiva gestione riflettono il paradosso dell'abbondanza; dall'altro, mira a rendere maggiormente disponibile la risorsa idrica attraverso metodi alternativi, nei contesti in cui essa è scarsa o assente.

A questo primo obiettivo si affianca una condizione non negoziabile per entrambe le soluzioni: la qualità dell'acqua. La riduzione dei consumi non deve corrispondere all'accesso a una fonte meno sicura e Zerodrop prevede per questo accorgimenti che ne garantiscono la potabilità; allo stesso modo, i sistemi di raccolta impiegati in Everydrop integrano sezioni di filtraggio.

Vi è poi un obiettivo il cui effetto è difficilmente misurabile, che rimane sul piano della sensibilizzazione. Dove l'acqua manca il suo valore percepito è già massimo, poiché la risorsa ricopre un ruolo di prima necessità; nei contesti urbani, invece, l'abbondanza fa perdere quel valore e con esso il contatto con il problema.

Nebel si propone di rendere nuovamente visibile il legame tra gesto quotidiano e risorsa, restituendo un feedback e mostrando l'effetto del proprio comportamento.

Resta l'obiettivo che tiene in piedi tutti gli altri: il durare nel tempo, mantenendo una risposta efficace. Una soluzione che dipende esclusivamente da fondi esterni si esaurisce nel momento in

cui questi vengono meno, e una che solo chi l'ha progettata sa riparare si ferma alla prima rottura.
Per questo il sistema di Nebel deve essere in grado di sostenersi da sé e i dispositivi devono poter essere riparati e adattati da chi li usa.

4.4 – Gestione economica

Poiché Nebel nasce come progetto realizzabile, deve rispettare alcuni criteri di fattibilità, con particolare attenzione alla sostenibilità economica.

Uno dei fattori che incentivano l'acquisto di Zerodrop è la consapevolezza di partecipare a un'iniziativa più ampia, grazie alla quale non solo si risparmia e si ottiene acqua sicura, ma si può contribuire attivamente al contrasto della siccità globale. Ciò è reso possibile da una pubblicità attenta, che evidenzia come acquistando Zerodrop si finanzi la costruzione di installazioni Everydrop dove queste sono più necessarie.

Per ogni dispositivo venduto, infatti, vengono accumulati dieci euro che, al raggiungimento della quota necessaria per realizzare un Everydrop, ne coprono interamente la spedizione e la costruzione. Tramite il sito web di Nebel, l'utente può monitorare lo stato del proprio contributo: se il fondo è ancora in fase di raccolta, se sta finanziando la costruzione di un Everydrop o se questa è già stata completata.

Le risorse raccolte attraverso questo meccanismo devono però essere affiancate da altri finanziamenti: somme più consistenti provenienti da bandi, fondi europei e ONG.

In una prima fase, Nebel si rivolge a Imagine H2O (Figura 70) acceleratore che ogni anno seleziona alcuni progetti promettenti nel settore idrico. La scelta risponde soprattutto all'esigenza di testare e consolidare le forme e le tecnologie proposte per Everydrop, consentendo la costruzione di alcuni impianti di fog harvesting che non solo iniziano a produrre acqua, ma vengono studiati

Figura 70
Logo Imagine H2O

IMAGINE H2O

Nota. Logo di Imagine H2O, s.d.

Figura 71
Logo EIT Climate-KIC



Nota. Logo di EIT Climate-KIC, s.d.

e perfezionati da un team di esperti.

A questo supporto tecnico si affiancano inoltre risorse economiche, indispensabili per sostenere le fasi appena descritte (Imagine H2O, s.d.).

In una seconda fase, vengono invece ricercati fondi europei, che finanziano numerosi progetti tramite bandi a scadenza. Una piattaforma interessante per Nebel, in questo ambito, è EIT Climate-KIC, partner chiave per l'innovazione nelle politiche climatiche europee, che adotta un approccio sistemico per orientare l'innovazione a supporto delle missioni dell'Unione Europea, degli Stati membri, delle città e delle regioni, al fine di aiutarli a conseguire i propri obiettivi climatici (Climate KIC, s.d.) (Figura 71).

Non tutti i programmi di raccolta fondi sono però disposti a finanziare progetti in fase di sviluppo: alcuni richiedono dati sul contributo effettivo del progetto. È il caso di realtà come Horizon Europe, programma avviato con un budget da investire in progetti innovativi che contribuiscano a un futuro equo e prospero per le persone e per il pianeta. Per raggiungere questo obiettivo, Horizon Europe rafforza il legame tra innovazione scientifica e tecnologica, affrontando al contempo le principali sfide sociali delineate negli Obiettivi di Sviluppo Sostenibile. Tra le sue linee di intervento figurano cinque sfide specifiche:

- Adattamento ai cambiamenti climatici, compresa la trasformazione sociale
- Cancro
- Città intelligenti e a impatto climatico zero

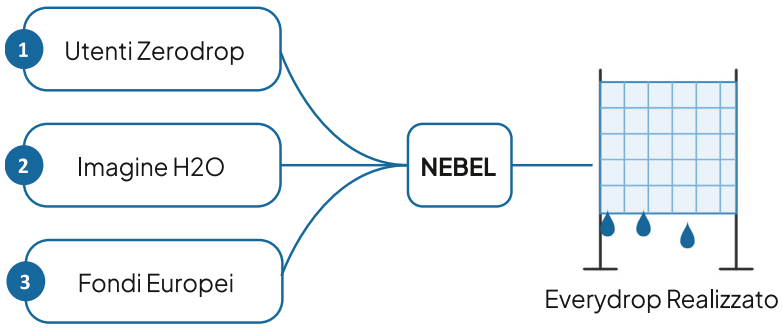
- Oceani, mari, acque costiere e interne sani
- Salute del suolo e cibo

Nebel utilizza i finanziamenti precedentemente ottenuti per sviluppare una soluzione consolidata ed efficiente, per poi accedere a fondi più consistenti, ma vincolati a requisiti più stringenti (Catalyze Group, s.d.).

I tre canali descritti non rappresentano delle alternative, ma un percorso: il contributo degli utenti assicura un flusso continuo e indipendente da scadenze esterne, l'acceleratore fornisce le competenze e i primi impianti con cui dimostrare la validità della soluzione, i fondi europei intervengono quando il progetto dispone dei dati necessari per candidarsi.

È in questa sequenza, più che nella singola fonte di finanziamento, che risiede la sostenibilità economica di Nebel.

Figura 72
Schema approvvigionamento economico



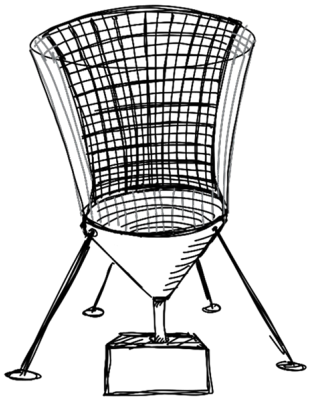
Capitolo 5

Everydrop



5.1 – Concept

Figura 73
Sketch



Everydrop non è soltanto un dispositivo nell'accezione più comune del termine, ma lo strumento che il progetto Nebel offre per realizzare uno dei suoi obiettivi: una rete di strutture in grado di portare l'acqua dove essa non è presente.

Nasce dapprima come concetto e solo in un secondo momento si concretizza in un dispositivo reale; costituisce la risposta a un problema specifico, all'interno di un ecosistema e di un contesto altrettanto definiti, ovvero le aree aride, nelle quali la nebbia rappresenta un elemento chiave e ricorrente.

Il suo nome riassume con precisione la finalità per cui è stato concepito e si presta a due possibili interpretazioni. La prima, più immediata, è «ogni goccia»: essa richiama la massima attenzione al non spreco e all'ottimizzazione del collettore, poiché nessuna quantità d'acqua, per quanto minima, può essere trascurata o considerata non fondamentale.

È lo stesso principio che si osserva in natura nel coleottero del Namib, straordinaria dimostrazione di adattamento a condizioni estreme: l'animale riesce a sopravvivere raccogliendo gocce d'acqua che, per molte altre specie, non risulterebbero nemmeno disponibili.

La seconda interpretazione, più sottile, evidenzia come Everydrop sia concepito per adattarsi a qualsiasi ambiente: non è progettato per un singolo luogo, bensì come sistema altamente riproducibile e sviluppabile in contesti anche molto diversi tra loro, purché ricorrano le medesime condizioni, prima fra tutte la presenza della nebbia.

Da questo dualismo nasce l'idea di sviluppare un sistema fondato sulle risorse effettivamente disponibili e accessibili nel contesto d'impiego, semplice da realizzare e da utilizzare per chi ne ha bisogno. Prima ancora di diventare un prodotto fisico, Everydrop intende offrire alle persone e alle comunità locali la possibilità di costruire e gestire in autonomia lo strumento da cui dipendono, evitando che l'accesso all'acqua si trasformi in un privilegio di pochi, vincolato a brevetti e a competenze assenti nel contesto di utilizzo.

Figura 74
Sketch

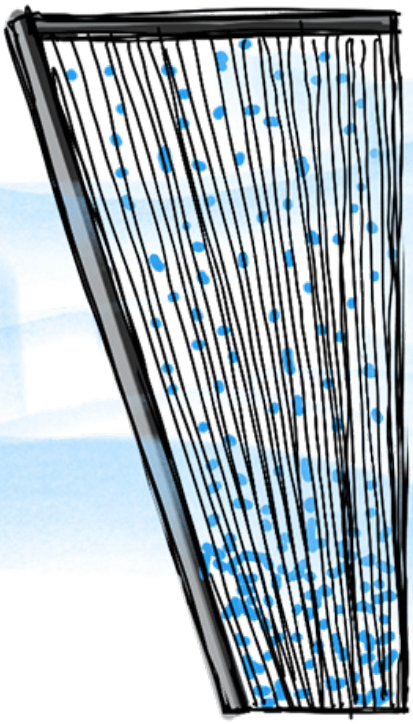
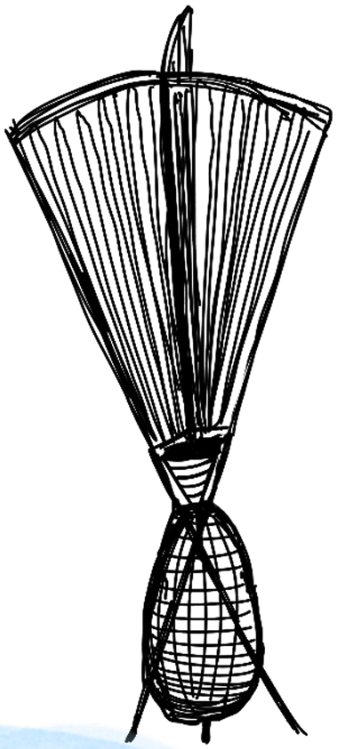
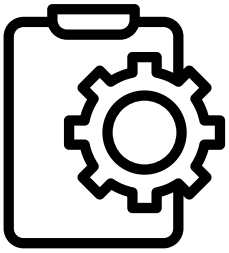


Figura 75
Sketch

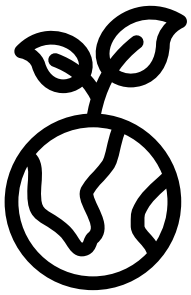


5.2 – Linee guida



Progetto open e replicabilità

Everydrop è composto da due parti. La parte superiore è ingegnerizzata e studiata per garantirne efficienza e produttività e la parte inferiore che viene realizzata e prodotta in loco. Tutti i file per l'autoproduzione sono gratuiti e scaricabili liberamente senza brevetti né vincoli. Chiunque può costruire e/o modificare il suo Everydrop.



Sostenibilità ambientale

Realizzato con materiali non inquinanti e completamente smontabile, permette la manutenzione dei singoli componenti, garantendo durabilità e affidabilità del prodotto anche in caso di guasti ed eventuali riparazioni. I componenti ingombranti e pesanti vengono prodotti in loco, riducendo l'inquinamento generato dalla produzione e dalla spedizione.

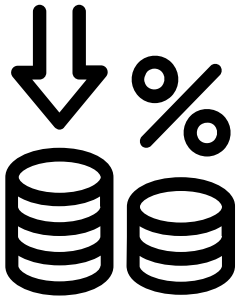


Affidabilità

La rete di raccolta fornita da Nebel si basa su soluzioni già testate e tecnologie già in funzione, per garantire una resa ottimale e una produzione costante.

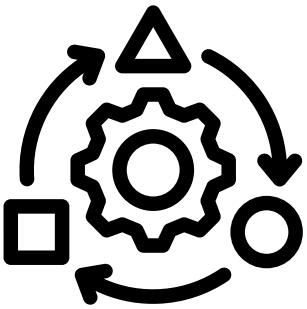
Sostenibilità economica

Grazie al finanziamento attraverso bandi e fondi, oltre che alle costanti entrate dalle vendite di Zerodrop, è possibile distribuire le componenti ingegnerizzate di Everydrop in modo completamente gratuito. Grazie anche ai componenti realizzati in loco è possibile abbattere i costi di produzione.



Adattabilità

Il modulo inferiore può essere realizzato in materiali e dimensioni diverse, in base ai materiali e alle tecnologie disponibili in loco.



Tutti i principi si sostengono a vicenda e consentono di creare e sviluppare un sistema funzionante e duraturo. L'apertura generale del progetto gli consente di adattarsi e svilupparsi in contesti anche molto diversi tra loro, mentre la rete, che rappresenta il punto critico del sistema, è standardizzata per non compromettere l'affidabilità del fog harvester.

5.3 – Target

Nel caso di Everydrop non si tratta di un vero e proprio target bensì di segmenti beneficiari che potranno usufruire delle tecnologie messe a disposizione dal progetto Nebel.

Il raccoglitore di nebbia viene prodotto e spedito senza spese e costi da parte degli utilizzatori e dei beneficiari essendo Everydrop pensato per quelle situazioni a basso reddito dove la crisi idrica è un problema all'ordine del giorno.

I segmenti beneficiari possono essere singoli individui (Figura 76) e piccole comunità isolate (Figura 77) che, grazie alla produzione del fog harvester, possono migliorare drasticamente la loro qualità di vita.

Il riferimento di Nebel è sempre la Namibia, in particolare le comunità che abitano e vivono abitualmente le sfide del deserto del Namib.

Un caso studio rilevante è Gobabeb Training and Research Centre, già citato per il rapporto consolidato con le popolazioni indigene, tra cui i Topnaar.

A questo si affianca un target secondario, non meno importante: le organizzazioni non governative e gli enti locali che gestiscono l'installazione, formano le comunità e seguono nel tempo il funzionamento dei dispositivi.

Sono loro, di fatto, l'anello che collega il progetto Nebel ai beneficiari finali, garantendo che tutto avvenga nel rispetto delle pratiche e delle competenze del luogo.

Figura 76
Singoli individui



Nota. Fotografia di M. Belachew, 2025, Pexels.

Figura 77
Piccole comunità



Nota. Fotografia di A. Bawa, 2026, Pexels.

5.4 – Sketch e idee

Figura 78
Prime forme

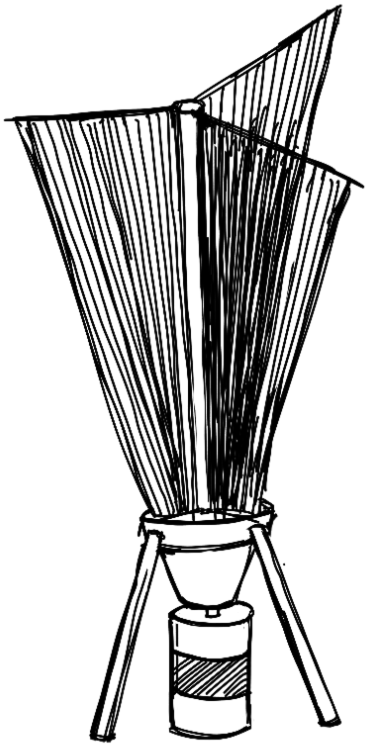


Figura 79
Prime forme

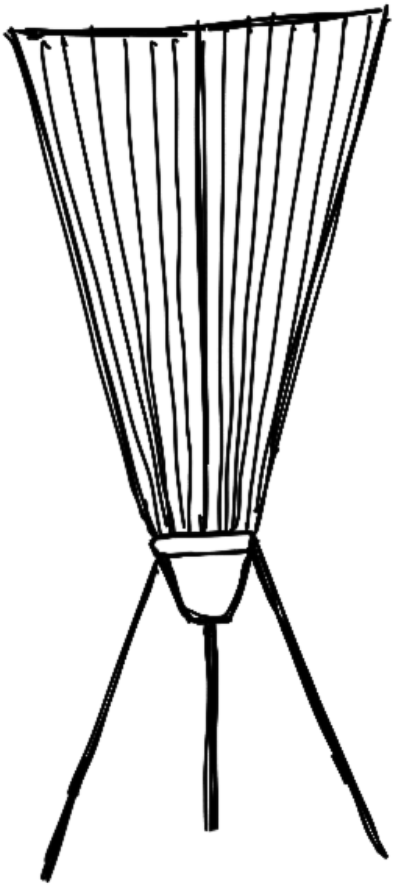


Figura 80
Prima disposizione complessiva

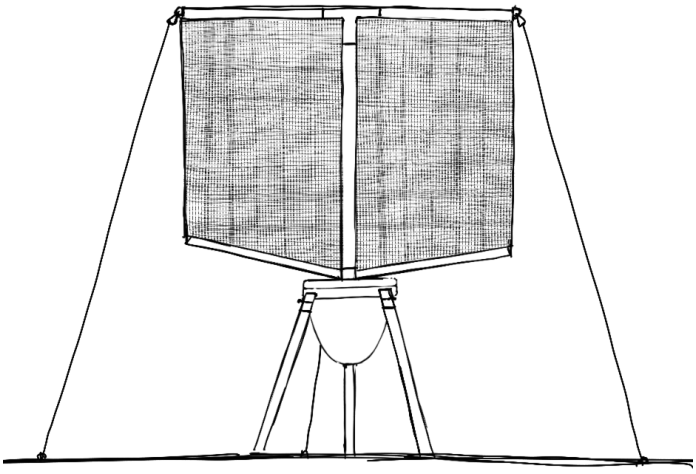


Figura 81
Idea per sistema di ancoraggio reti

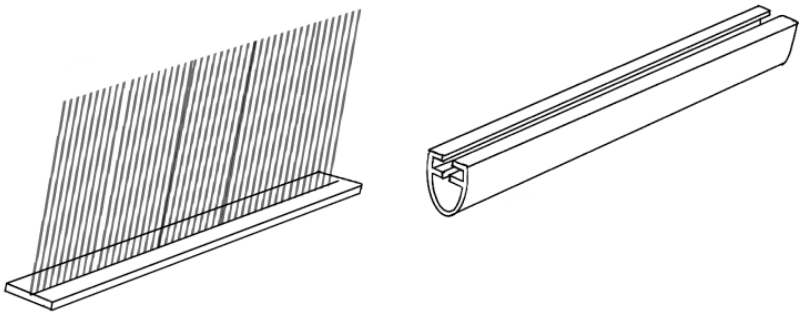


Figura 82
Prime idee per giunture

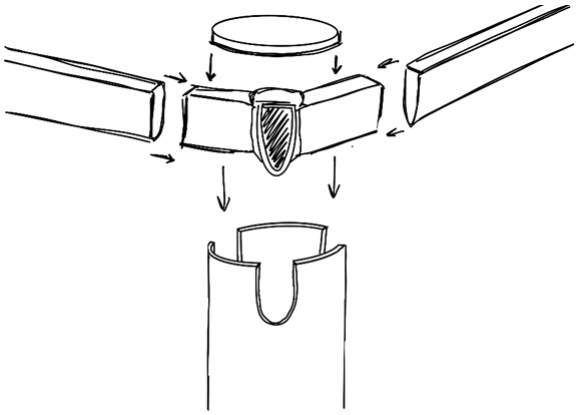


Figura 83
Studio ancoraggio tramite moschettone e tiranti

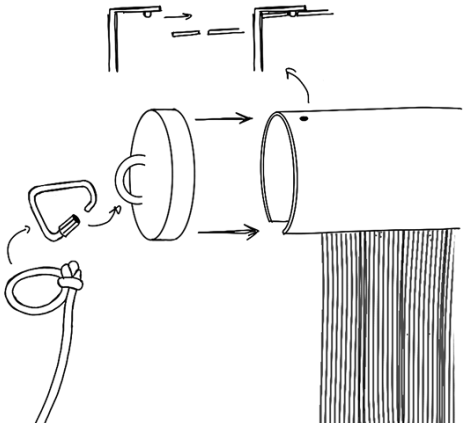


Figura 84
Prime idee per giunture

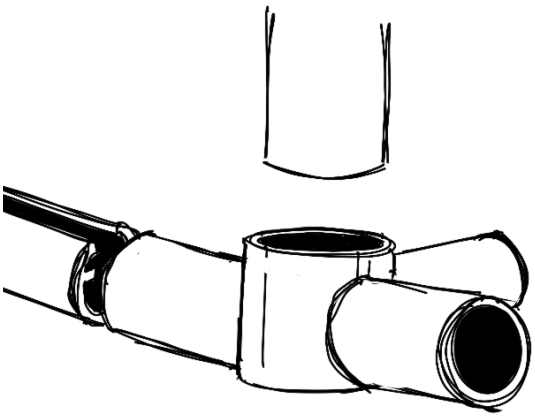
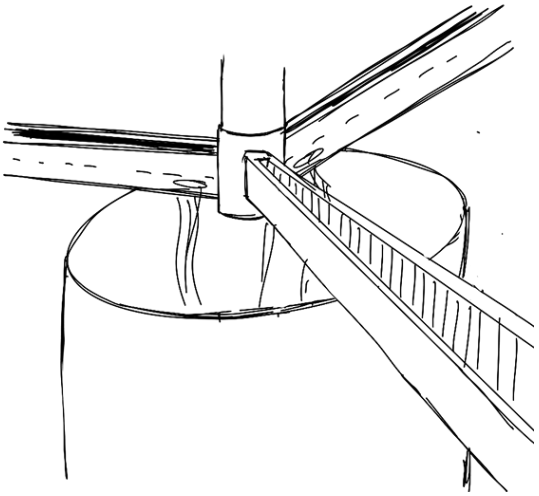


Figura 85
Sviluppo delle canaline interne ai bracci



5.5 – Il dispositivo



Figura 86
Everydrop

Figura 87
Everydrop



Figura 88
Indicatore livello acqua nella tanica di raccolta

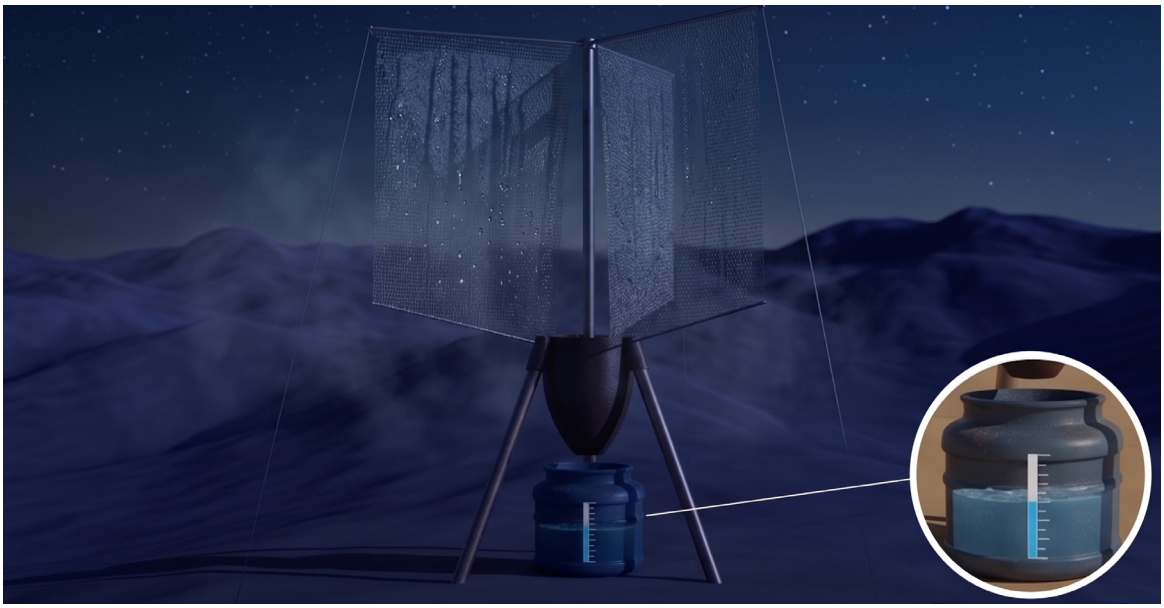


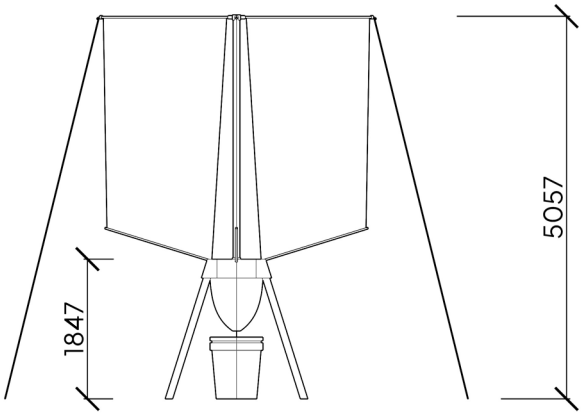
Figura 89
Disposizione Everydrop complessiva



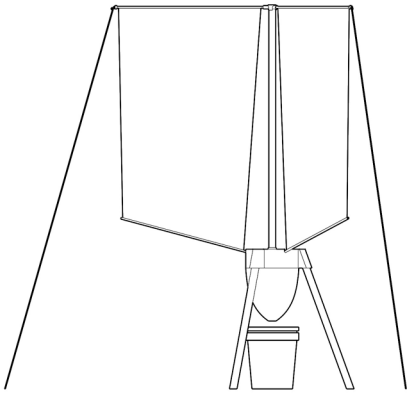


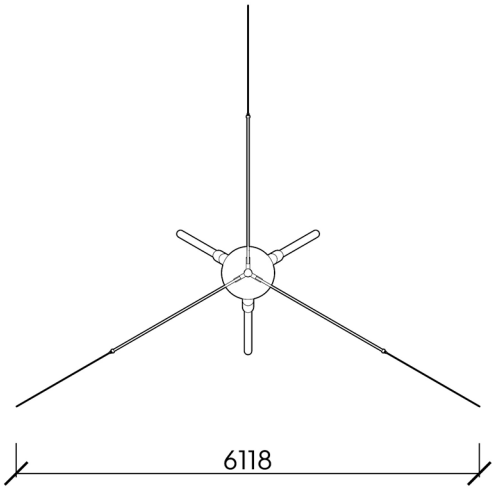
Viste tecniche ortogonali

Vista Frontale

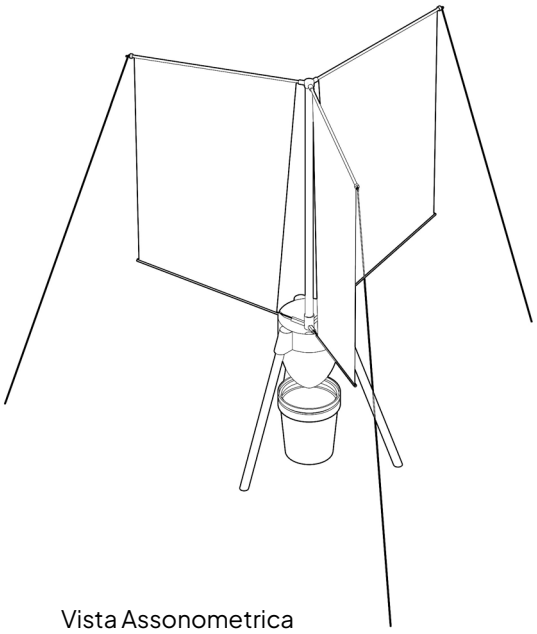


Vista Laterale





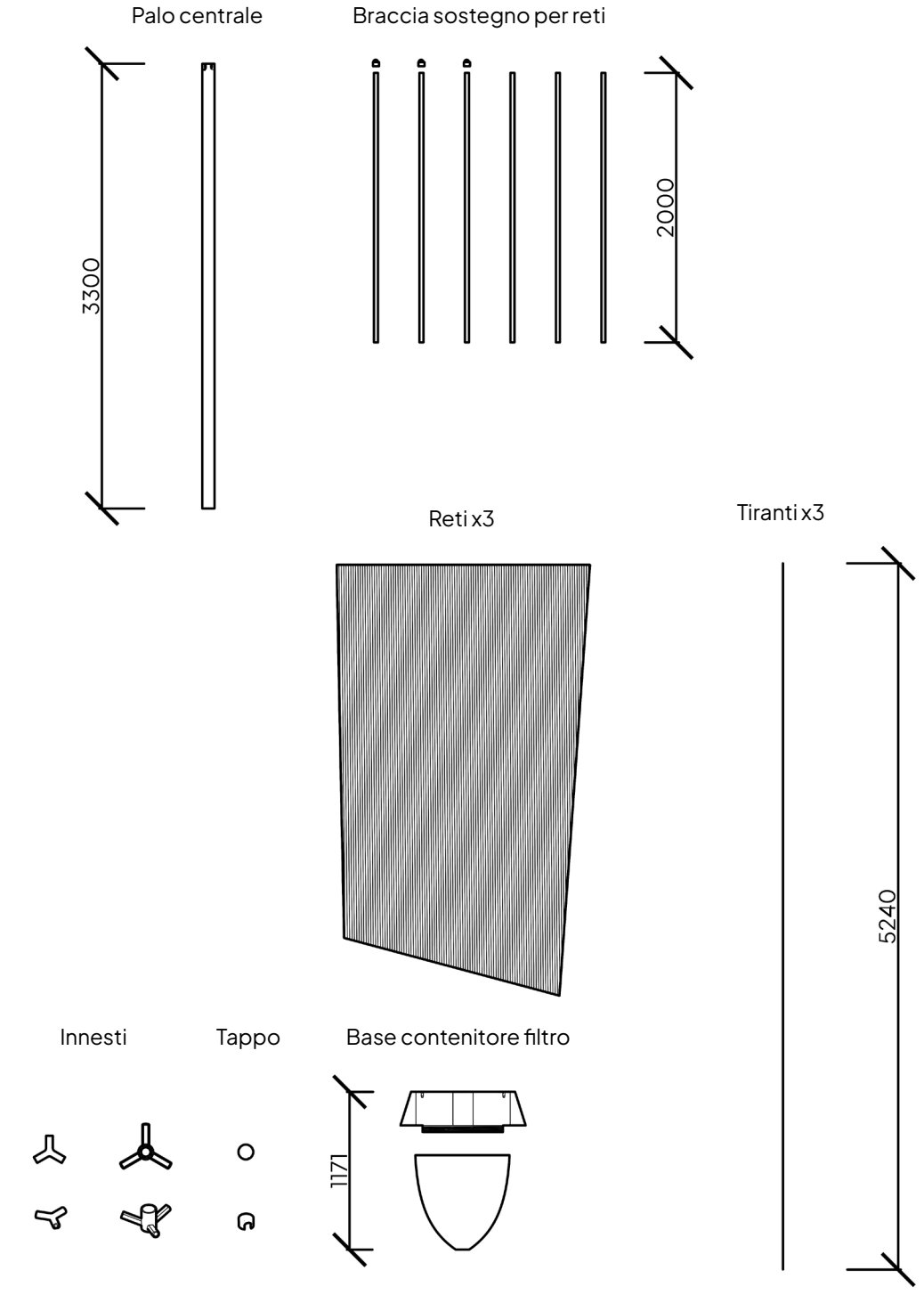
Vista Superiore



Vista Assonometrica

Scala 1:100

Quote in millimetri

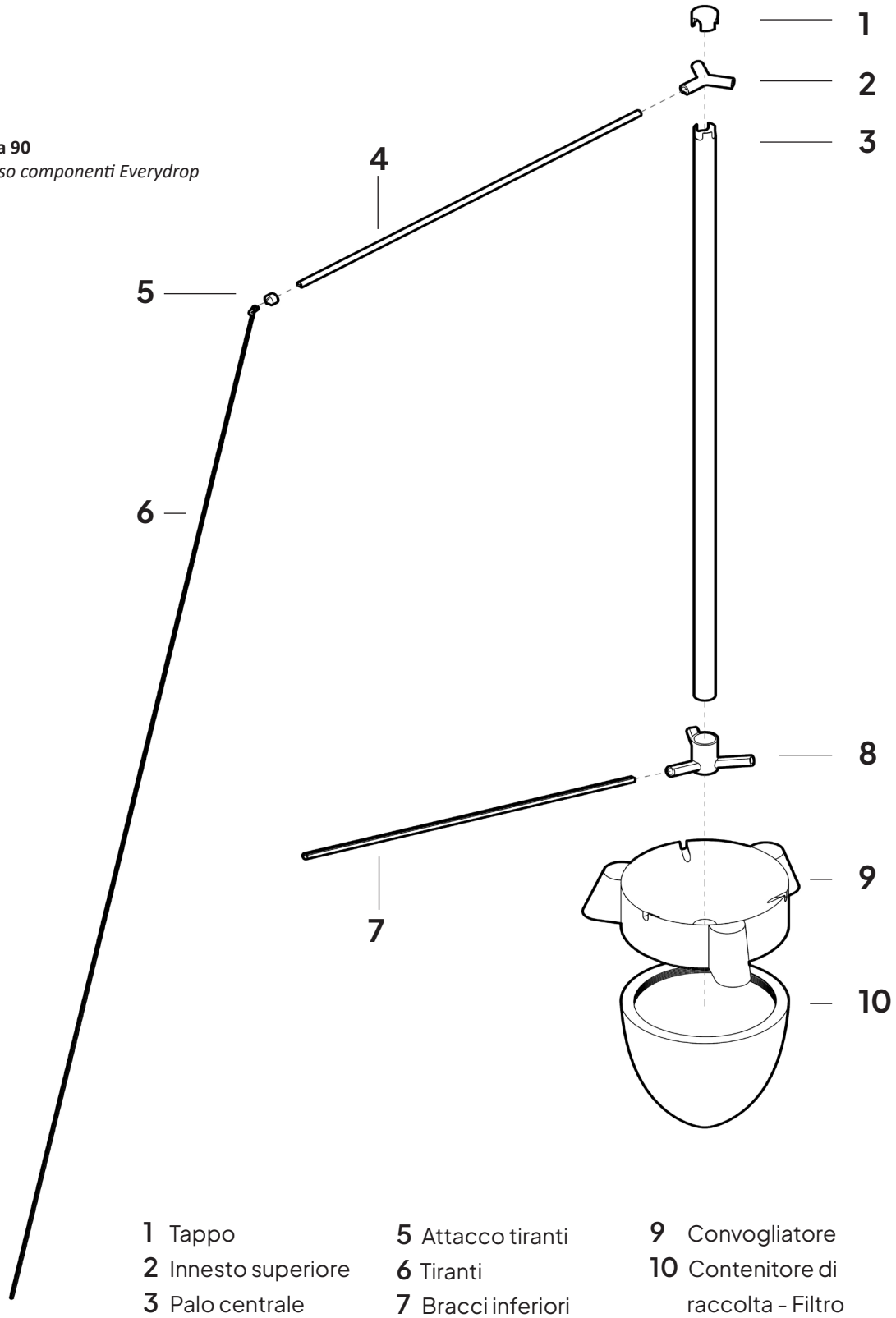


Scala 1:50

Quote in millimetri

5.6 – Scelte progettuali

Figura 90
Esploso componenti Everydrop



1 Tappo
2 Innesto superiore
3 Palo centrale
4 Bracci superiori
5 Attacco tiranti
6 Tiranti
7 Bracci inferiori
8 Innesto Inferiore
9 Convogliatore
10 Contenitore di raccolta - Filtro

La struttura di Everydrop non è casuale ma discende direttamente dalle linee guida illustrate in precedenza. Prima ancora di analizzare i singoli componenti i principi guida si concretizzano nella suddivisione del fog harvester in due macro-insiemi.

Il primo è il nucleo tecnologico che compone la parte superiore del collettore: è l'insieme dei componenti inclusi cioè offerti gratuitamente nelle zone di necessità dal progetto Nebel.

I componenti all'interno di questa prima sezione garantiscono la resa della raccolta della nebbia.

Il secondo è la parte inferiore che viene realizzata a partire da materiali presenti e reperibili sul territorio. Si tratta dei componenti non inclusi e non spediti da Nebel.

La logica della start-up è chiara, concentrarsi sulla standardizzazione e sulla corretta produzione di tutti quegli elementi che possono influenzare e condizionare i volumi di produzione, lasciando piena libertà per i componenti rimanenti.

Grazie alla produzione in loco si hanno soluzioni equivalenti a costo pressoché nullo e soprattutto con una diminuzione dei costi di produzione e spedizione dell'intero sistema.

Insieme a queste linee guida si affianca un'altra caratteristica trasversale a tutti i componenti, la reversibilità di assemblaggio. La maggior parte delle connessioni e dei giunti sono ad innesto o serraggio meccanico consentendo l'ispezione, la pulizia e la manutenzione dei singoli componenti, senza compromettere l'intera struttura.

5.6.1 – Componentistica

La parte superiore racchiude tutti gli elementi le cui forme e geometrie non possono essere lasciate al caso, poiché da esse dipende l'efficacia dell'impianto.

Il palo centrale (3) è l'elemento portante attorno al quale si sviluppa l'intero collettore. È realizzato in alluminio anodizzato, materiale scelto per conferire robustezza, rigidezza e resistenza alla corrosione, conferendo al tempo stesso leggerezza alla struttura. Il palo sorregge gli innesti superiore e inferiore (2 e 8), saldati alla sua superficie, nei quali vengono inseriti i supporti in vetroresina (7) delle reti. Gli innesti costituiscono il punto più delicato della struttura: sono componenti metallici lavorati con estrema precisione, così da garantire un posizionamento corretto.

Se ne distinguono tre tipi:

- L'innesto superiore, che corona il palo e accoglie i tre bracci superiori del collettore.
- L'innesto inferiore, una crociera disposta attorno al palo, all'interno del convogliatore, che riceve i tre bracci inferiori.
- Il tappo (1), che sigilla la sommità del palo.

Questi tre nodi di connessione garantiscono il posizionamento delle reti a 120° l'una dall'altra. Poiché Everydrop è un collettore destinato a essere installato senza studi preliminari sul movimento delle nebbie, a differenza dei grandi sistemi industriali, l'impostazione radiale e le tre reti consentono di raccogliere nebbia da tutte le direzioni. La geometria delle reti a sua volta, permette ai flussi d'aria di attraversare il collettore anziché aggirarlo, migliorandone la resa.

Figura 91
Giunto superiore

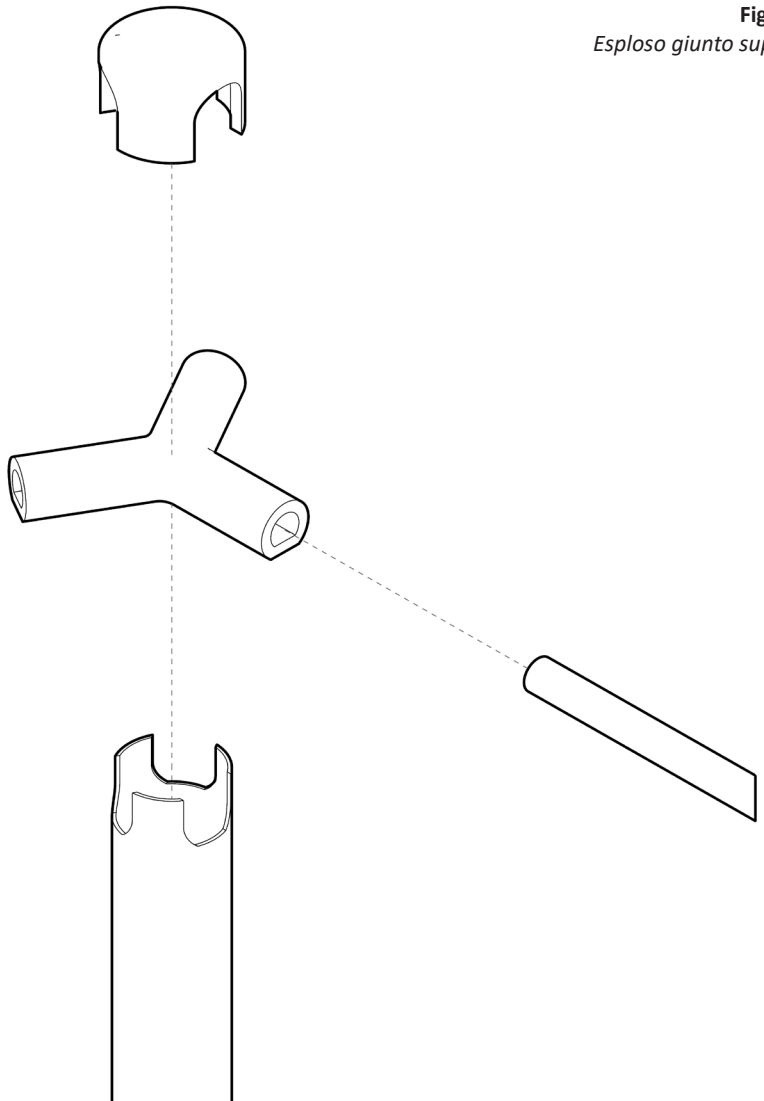


Figura 92
Esploso giunto superiore

La standardizzazione di questi componenti assicura che ogni Everydrop, ovunque venga costruito, riproduca la configurazione ottimizzata.

I bracci di sostegno delle reti sono sei elementi, tre inferiori e tre superiori (4 e 7) che distendono le reti e le mantengono in tensione nella posizione corretta. Sono realizzate in vetroresina, materiale scelto per una combinazione difficilmente eguagliabile di leggerezza, elasticità e totale resistenza alla corrosione. La leggerezza ne riduce i costi e l'impatto della spedizione, mentre l'elasticità consente ai bracci di flettersi sotto le raffiche di vento e di tornare in posizione, dissipando l'energia del vento anziché opporvisi rigidamente e rischiare la rottura. L'inerzia chimica, infine, le rende insensibili all'umidità salina che investe di continuo l'impianto.

Le reti di raccolta sono i componenti che si occupano realmente della cattura della nebbia, data la loro importanza sono i componenti a cui è necessario dare maggiore attenzione sia in fase di installazione sia in fase di pulizia e manutenzione. Sono tre reti polimeriche con area totale di circa 16-17 m^2, realizzate in maglia Raschel dato che risulta essere lo schema migliore per la raccolta e il convogliamento delle micro gocce della nebbia. È stato scelto il nylon come polimero per la sua resistenza alla corrosione insieme ad un ottimale coefficiente di ombra ideale per intercettare la nebbia proveniente da qualsiasi direzione.

I tiranti (6) sono tre cavi ancorati al suolo e messi in tensione che sorreggono la struttura. La loro presenza è resa obbligatoria dalle

Figura 93
Aggancio tramite tiranti



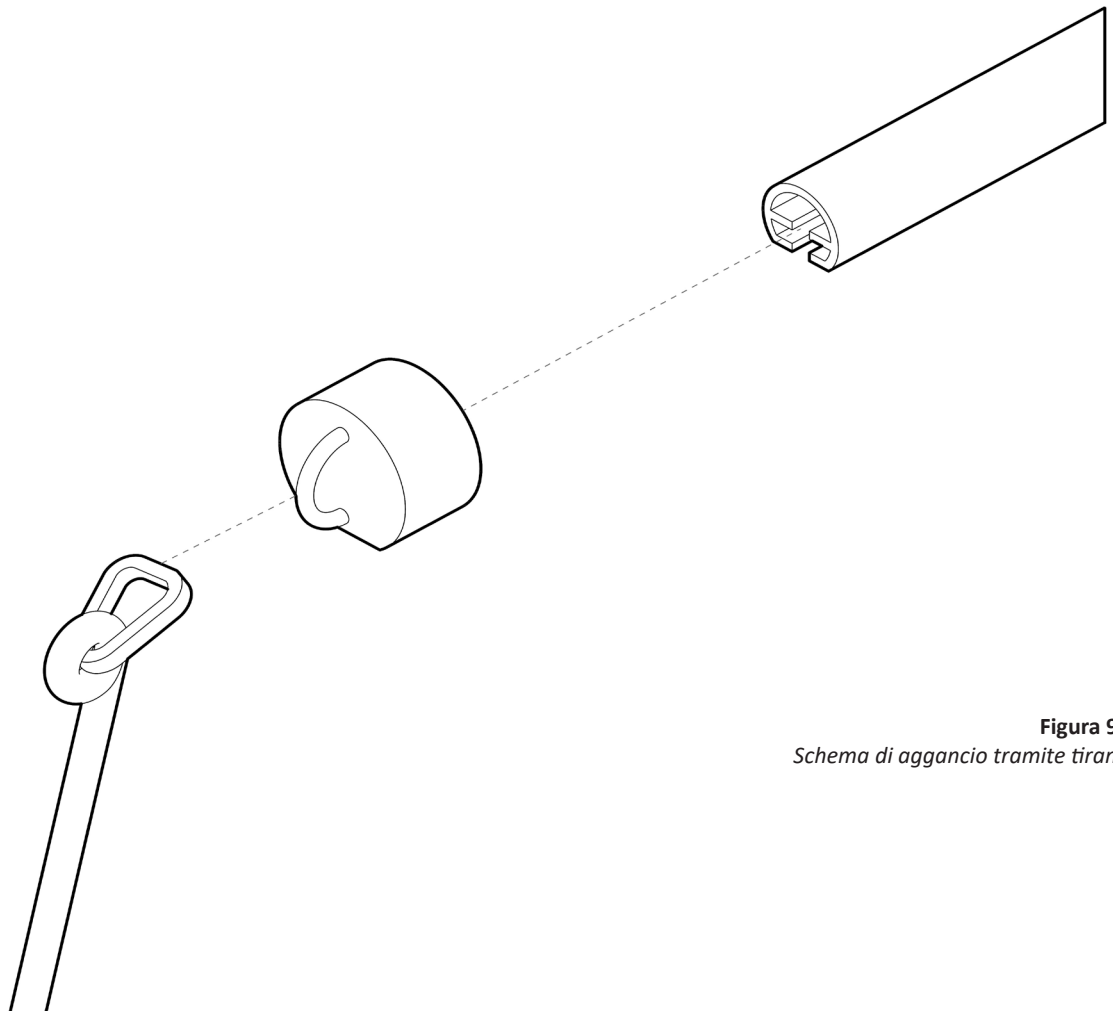


Figura 94
Schema di aggancio tramite tiranti

condizioni in cui operano i fog harvester: la nebbia si sposta grazie a venti costanti e spesso molto intensi, i cavi consentono di scongiurare il pericolo di ribaltamento e permettono di resistere alle sollecitazioni laterali a cui è sottoposto il collettore. Il convogliatore-filtro (9 e 10), posto alla base della parte superiore, è l'imbuto che si occupa di raccogliere l'acqua drenata dalle reti e di convogliarla verso il basso, indirizzandola attraverso il filtro che a sua volta la deposita nel contenitore di stoccaggio. È realizzato in PVC rigido (Cloruro di Polivinile), resistente a raggi UV e sbalzi termici.
La parte inferiore invece raccoglie i componenti che Nebel non spedisce ne realizza, elementi reperibili in loco che permettono di ridurre i costi di produzione e spedizione.
I pali di sostegno sono tre di uguale altezza che insieme ai tiranti, sorreggono tutta la struttura. Sono elementi che possono essere realizzati con materiali di recupero, tubolari o simili a patto che consentano il corretto posizionamento del fog harvester. Il contenitore di raccolta (10) è l'ultima tappa dell'acqua ottenuta a partire dalla nebbia.
Per garantire un filtraggio ottimale dell'acqua, è fondamentale progettare il filtro concatenando materiali con proprietà specifiche e complementari.
Nel sistema Everydrop si consiglia la seguente composizione:
sabbia e ghiaia che rimuovono il particolato e regolano la torbidità, carbone attivo che adsorbe le sostanze organiche disciolte e infine calcare o dolomite frantumati che, sciogliendosi, regolano pH e livello di minerali e sali disciolti.

Figura 95
Giunto inferiore e convogliatore

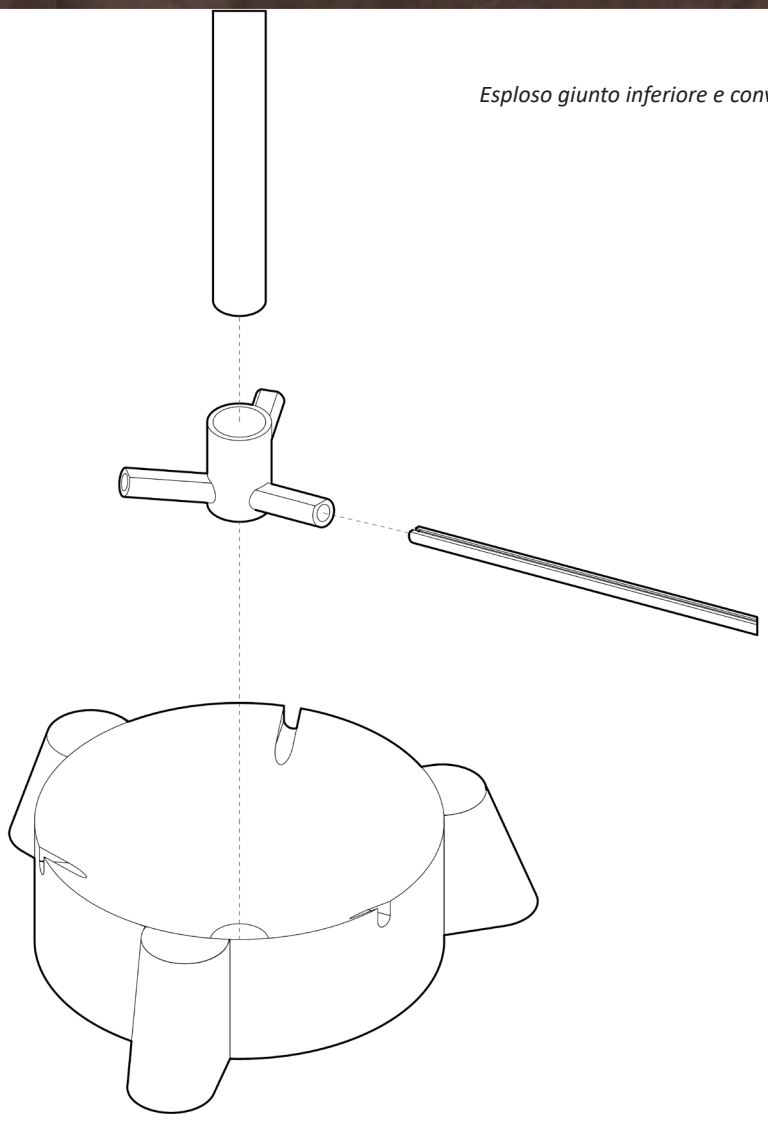


Figura 96
Esploso giunto inferiore e convogliatore

5.7 – Funzionamento e installazione

Il funzionamento di Everydrop è molto semplice e intuitivo. Essendo il fog harvesting un metodo di raccolta passivo, non richiede allacciamento alla corrente elettrica. Subito dopo l'installazione, il collettore inizia a funzionare.

L'assemblaggio prevede il posizionamento delle reti sui sostegni in vetroresina, il loro aggancio al palo centrale di supporto collocato al centro del collettore, il posizionamento del filtro con i sostegni autoprodotti e l'installazione dei tiranti per garantire solidità alla struttura. In loco, oltre ai sostegni, vengono ottenuti i materiali per il filtro (sabbia, ghiaia e carbone) e il contenitore per la raccolta.

Una volta completata l'installazione, il vento inizierà a spingere i grandi banchi di nebbia contro le reti che, grazie alla loro composizione, agglomerano le piccolissime gocce presenti nella nebbia, le quali, grazie alla gravità, scendono lungo le reti e vengono convogliate nel filtro alla base. Grazie alla miscela di materiali e alla retina di filtraggio, l'acqua viene privata delle principali impurità raccolte e finisce nel contenitore di stoccaggio, pronta per essere utilizzata.

Fondamentale per il corretto funzionamento dell'impianto è una costante pulizia delle reti e del filtro; in mancanza di essa, la produttività del sistema rischia di essere notevolmente penalizzata.

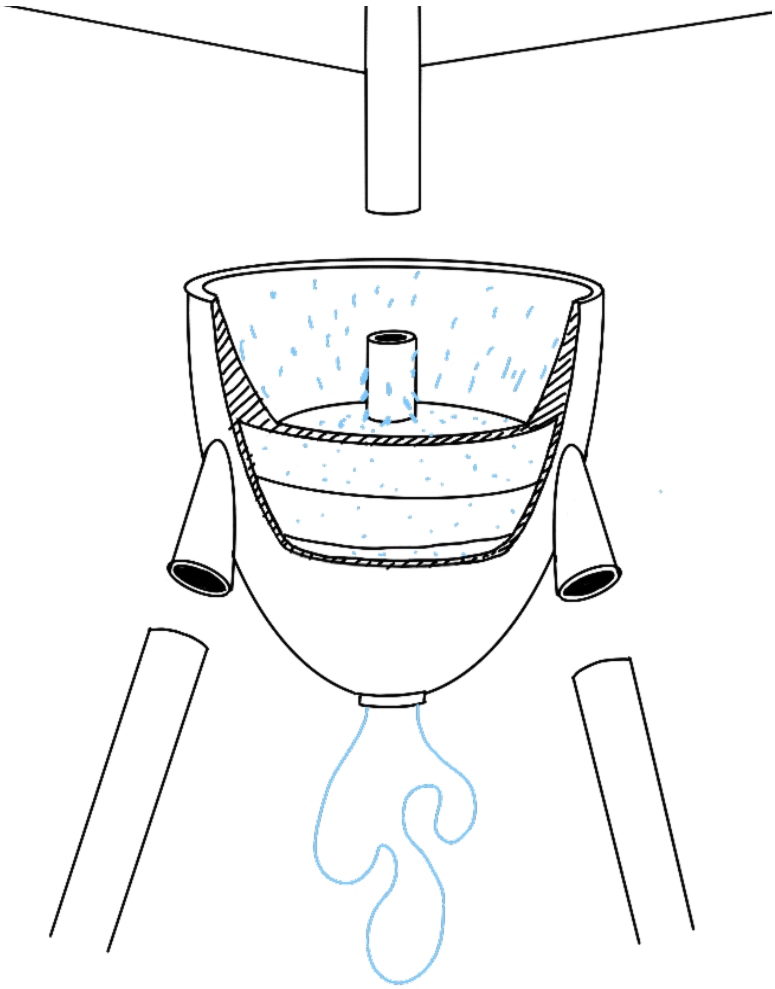


Figura 97
Sketch di funzionamento

Figura 98
Installazione di una versione alternativa di Everydrop



5.8 – L'acqua prodotta

Acqua a bassa mineralizzazione
Acqua con un contenuto di sali disciolti, misurato come residuo fisso a 180 °C, sensibilmente inferiore a quello delle comuni acque potabili. La normativa italiana ammette la menzione «oligominerale» sotto i 500 mg/L e «minimamente mineralizzata» sotto i 50 mg/L (Decreto legislativo n. 176/2011, art. 12, comma 2). Non va confusa con l'acqua demineralizzata, praticamente priva di sali: per l'acqua potabile desalinizzata l'Organizzazione mondiale della sanità raccomanda un minimo di 100 mg/L di solidi disciolti totali, al di sotto del quale il consumo prolungato altera l'equilibrio idro-salino dell'organismo (Kozisek, 2005).

Everydrop riesce a condensare e ottenere fino a 50-100 litri di acqua al giorno nelle giuste condizioni.

L'acqua raccolta ha però bisogno di alcuni accorgimenti prima che possa essere utilizzata. Le caratteristiche dell'acqua raccolta nel deserto del Namib sono state oggetto di numerosi studi scientifici, che costituiscono il riferimento per le scelte progettuali adottate.

Dal punto di vista chimico-fisico, l'acqua ottenuta dalle nebbie del deserto del Namib si presenta come una risorsa con un buon livello di purezza: possiede una mineralizzazione complessiva molto bassa, i sali disciolti medi si aggirano intorno ai 14,5 ppm, un dato che la colloca come una delle acque migliori ottenute dall'atmosfera, insieme a quelle dei deserti di Cile e Oman. I principali ioni presenti nell'acqua sono invece sodio, cloro e magnesio, che derivano dagli aerosol trasportati dai venti costieri, a cui si aggiungono il calcio e il solfato. Quest'ultimo presente in eccesso di circa l'89% rispetto alla composizione dell'acqua di mare e principale responsabile dell'acidità dei campioni (Eckardt & Schemenauer, 1998). Le concentrazioni, nella maggior parte dei casi, rientrano totalmente entro i limiti stabiliti dall'Organizzazione Mondiale della Sanità in merito alle acque destinate al consumo umano. (Eckardt & Schemenauer, 1998). La purezza e la qualità delle acque prodotte sono un ottimo punto di partenza per destinarla al consumo umano; tuttavia, ci sono due criticità che ne impediscono l'utilizzo diretto: la prima è l'acidità.



Figura 99
Tanica di raccolta dell'acqua

In alcuni test i campioni hanno mostrato un pH troppo basso, pari a 3,46. Questa condizione, oltre a essere pericolosa per l'uomo, rende l'acqua un agente corrosivo per tubazioni e contenitori di stoccaggio (Eckardt & Schemenauer, 1998).

Il secondo problema, il più critico, è di natura microbiologica. Nonostante la nebbia in origine sia pressoché sterile, tutte le superfici con cui essa viene a contatto sono potenziali rischi per la proliferazione batterica e agenti patogeni. In assenza di una manutenzione adeguata, la contaminazione biologica può superare con facilità i limiti indicati dalle linee guida dell'OMS, rendendo l'acqua non idonea al consumo senza un trattamento di disinfezione. È necessario considerare che la bassa mineralizzazione dell'acqua da un lato garantisce purezza, ma allo stesso tempo avvicina le caratteristiche dell'acqua prodotta a quelle dell'acqua demineralizzata, il cui utilizzo continuo e prolungato è altamente sconsigliato.

Nei contesti dove è presente anche acqua di falda, di norma, si mischiano le due acque andando a ottenere una fonte nel complesso migliore e con parametri compresi tra i valori dettati dall'OMS (Organizzazione Mondiale della Sanità).

Per rendere l'acqua potabile, Everydrop integra un primo filtro alla base dell'imbuto/convogliatore.

Il filtro, realizzato con materiali reperibili in loco, è composto da strati successivi di ghiaia, sabbia e carbone.

La ghiaia e la sabbia trattengono il particolato e riducono la torbidità, il cui valore in ingresso non deve superare le 5 NTU (Unità Nefelometrica di Torbidità) per evitare l'intasamento del filtro, mentre lo strato biologicamente attivo che si sviluppa nella sabbia è in grado di rimuovere gran parte della carica batterica, con abbattimenti che possono superare il 99% dei coliformi. Il carbone attivo completa il trattamento adsorbendo le sostanze organiche disciolte, i composti responsabili di odori e sapori sgradevoli ed eventuali microinquinanti (Abdiyev et al., 2023). Il filtro presenta un'apertura sul fondo ma non deve permettere la fuoriuscita dei materiali filtranti. Per evitarlo si è scelto di inserire in corrispondenza del foro uno strato di tessuto permeabile, mantenuto in posizione dalla pressione che i materiali interni esercitano per gravità sulle pareti.

Il materiale individuato è il geotessile, scelto per le sue caratteristiche. Infatti, lascia defluire l'acqua trattenendo particelle inferiori al decimo di millimetro, non marcisce né ammuffisce a contatto prolungato con l'acqua (a differenza delle fibre naturali) ed è economico e facilmente reperibile.

Figura 100
Componente di filtraggio



La sola filtrazione, però, non è abbastanza: è necessario adottare altri trattamenti mirati. Nel caso di Everydrop si pone sempre attenzione al contesto di applicazione: quali sono i materiali e le tecnologie messe a disposizione dagli abitanti e a cosa si ha accesso (Kaseke & Wang, 2018).

Il primo intervento, che risolve i problemi di acidità e demineralizzazione, prevede che l'acqua venga fatta scorrere attraverso un letto di calcare o dolomite frantumati. Il carbonato di calcio si scioglie lentamente a contatto con l'acqua acida secondo la reazione:

$$CaCO3 + CO2 + H2O \rightarrow Ca(2+) + 2HCO3(-)$$

Il pH risale verso la neutralità e l'acqua si arricchisce di calcio e magnesio.

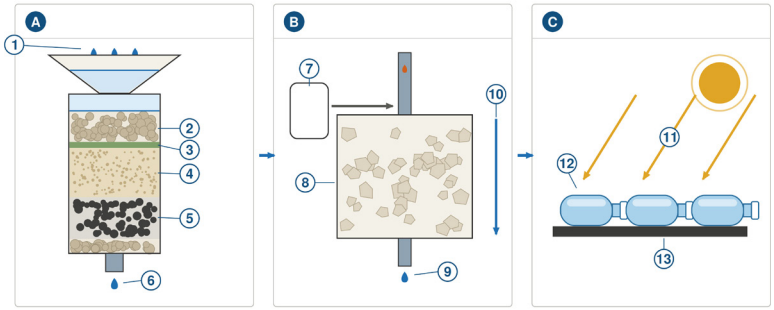
Questa tecnica, comunemente impiegata per condizionare le acque dolci e desalinizzate, agisce da tampone evitando bruschi sbalzi di pH, riduce la corrosività dell'acqua e ne migliora sapore e qualità complessiva, richiedendo il dosaggio di anidride carbonica, che governa la dissoluzione del calcare, ma nessun apporto di energia (Hasson & Bendrihem, 2006).

Il secondo intervento, più rilevante sul piano sanitario, è un processo di disinfezione finale. Analizzando contesto e opportunità in zone desertiche come il deserto del Namib, la soluzione migliore è la disinfezione solare SODIS. Questa metodologia prevede l'esposizione dei volumi d'acqua ai raggi solari per alcune ore: l'effetto combinato di calore e raggi UV inattiva batteri e virus responsabili delle malattie a trasmissione idrica.

SODIS è una tecnologia a costo quasi nullo e già utilizzata quotidianamente da milioni di persone. Non necessita di elettricità, reagenti e infrastrutture particolari (McGuigan et al., 2012).

Everydrop è quindi un sistema ciclico passivo di raccolta dell'acqua: durante la notte e il mattino, quando è presente la nebbia, raccoglie e filtra e durante i pomeriggi, tendenzialmente soleggiati, sarà compito dei fruitori esporre l'acqua prodotta alla luce solare e chiudere così il ciclo.

Figura 101
Schema di filtraggio



Nota. Elaborazione dell'autore sulla base di Abdiyev et al. (2023), Hasson e Bendrihem (2006) e McGuigan et al. (2012).

LEGENDA Figura 101

FASI DEL TRATTAMENTO

- A Filtrazione a strati
- B Rimineralizzazione
- C Disinfezione solare

ELEMENTI E PROCESSI

- 1 Acqua grezza in ingresso
- 2 Strato di ghiaia
- 3 Strato biologicamente attivo
- 4 Strato di sabbia
- 5 Carbone attivo
- 6 Acqua filtrata in uscita
- 7 Immissione di anidride carbonica
- 8 Letto di calcare o dolomite
- 9 Acqua rimineralizzata in uscita
- 10 Risalita del pH lungo il letto
- 11 Irraggiamento solare
- 12 Bottiglie trasparenti esposte
- 13 Superficie scura

CHIAVE DEI SEGNI

- Acqua
- Acqua acidificata dalla CO_2

È importante precisare che l'efficacia di questi metodi non è sempre totale e dipende dai livelli di pulizia e manutenzione che vengono eseguiti sul raccoglitore; la pulizia delle reti, del convogliatore e della cisterna è alla base di un corretto funzionamento. L'insieme delle fasi di raccolta e potabilizzazione è studiato per portare l'acqua raccolta entro i requisiti per il consumo umano, rendendola potabile e sicura da bere.

Nonostante ciò, la potabilità dell'acqua non è un valore intrinseco e direttamente collegato al progetto, ma uno stato che va periodicamente confermato con analisi sull'acqua in uscita. La qualità dell'acqua prodotta da Everydrop è dunque garantita non da un singolo dispositivo, ma da un processo integrato che unisce tecnologia, gestione e monitoraggio continuo nel tempo.

5.9 – Come si arriva in Namibia

Everydrop è una soluzione che viene distribuita a titolo gratuito, data l'assenza di un mercato che regola l'incontro tra la domanda e l'offerta. L'intero percorso che svolge il prodotto dal luogo di produzione a quello di installazione deve essere pensato e sviluppato.

In un contesto come quello della Namibia la distribuzione di una nuova tecnologia non avviene mai per contatto diretto tra chi progetta e chi utilizzerà il dispositivo, bensì attraverso una filiera consolidata di attori con ruoli ben distinti che si occuperanno dello sviluppo dell'iniziativa.

In cima alla catena dei finanziamenti, oltre ai fondi raccolti attraverso Zerodrop, si collocano organismi internazionali come UNICEF e UNDP, entrambi presenti sul suolo namibiano con uffici che mettono a disposizione risorse e gestiscono le strategie di intervento (UNICEF, 2025; UNDP, 2025).

Il governo si occupa di gestire e regolare il settore idrico, attraverso il Directorate of Water Supply and Sanitation Coordination (Figura 102) che stabilisce le priorità di intervento e autorizza le iniziative, mentre NamWater (Figura 103) opera come società a partecipazione statale per la fornitura idrica all'ingrosso.

La presenza dell'amministrazione pubblica è costante lungo l'intero processo, dalla definizione dei programmi fino alla gestione ordinaria degli impianti (Ministry of Agriculture, Fisheries, Water and Land Reform, s.d.; Namibia Water Corporation Act 12 of 1997).

Figura 102
Logo Directorate of Water Supply and Sanitation Coordination



Nota. Logotipo del Ministry of Agriculture, Fisheries, Water and Land Reform della Repubblica di Namibia. Tratto da Ministry of Agriculture, Fisheries, Water and Land Reform (s.d.-b).

Figura 103
Logo NamWater



Nota. Logo di NamWater (Namibia Water Corporation Ltd), s.d.

NamWater
NamWater è un'azienda idrica che fornisce acqua all'ingrosso a industrie, istituzioni governative, comuni, enti locali, entità commerciali come le miniere e alla Direzione per l'approvvigionamento idrico e i servizi igienico-sanitari del Ministero dell'Agricoltura, dell'Acqua e delle Foreste (NamWater, s.d.-a).

Insieme a tali tipologie di organizzazione si affiancano acceleratori dedicati al settore idrico, cioè aziende che non finanziano direttamente le installazioni sul territorio ma sostengono e aiutano lo sviluppo delle imprese che ci operano. Il riferimento principale in questo caso è Imagine H2O un modello a partecipazione zero, che non prevede cioè l'acquisizione di quote societarie ma seleziona ogni anno un numero ristretto di realtà in fase iniziale e le accompagna durante la creazione delle relazioni della filiera.

Alla fine della catena sono presenti le comunità locali, coloro che si occupano della costruzione e a cui viene fatta la formazione sul dispositivo. Si tratta quindi delle persone che ne assumono la gestione una volta completata l'installazione.

Il percorso di un intervento idrico è quindi molto articolato e complesso, Nebel non dispone né della struttura né delle autorizzazioni necessarie per gestire e presidiare l'intera filiera ma interviene nelle fasi di finanziamento e nella fase di progettazione, offrendo e garantendo le componenti ingegnerizzate insieme alle istruzioni e alla documentazione per l'installazione e il funzionamento. Realizzazione e gestione del dispositivo vengono lasciate ai beneficiari e a coloro che dovranno relazionarsi con esso nel lungo periodo.

Dall'analisi del quadro istituzionale della Namibia emerge un importante dettaglio per lo sviluppo di Everydrop nel paese. A partire dal 1997, in attuazione della politica nazionale per l'approvvigionamento idrico e i servizi igienico-sanitari, la Directorate of Rural Water Supply (Figura 104) ha avviato una strategia di ge-

stione comunitaria che ha progressivamente trasferito agli utenti la responsabilità operativa e finanziaria dei punti d'acqua rurali. Il Water Resources Management Act 11 del 2013, entrato in vigore soltanto il 29 agosto 2023, ha dato riconoscimento giuridico a un'impostazione già consolidata nella prassi, prevedendo l'istituzione e l'accreditamento dei water point committees, ai quali viene rilasciato un certificato che li autorizza a gestire e controllare l'erogazione presso il punto d'acqua di competenza (Falk et al., 2009; Schnegg & Bollig, 2016; Water Resources Management Act 11 of 2013).

Ciascun comitato ha una composizione definita, con un presidente che sovrintende alle attività, un segretario che convoca le assemblee e ne redige i verbali, un tesoriere che raccoglie i contributi degli utenti e un caretaker incaricato del funzionamento e della manutenzione dell'impianto (Falk et al., 2009).

Sul territorio Nebel deve stringere relazioni con organizzazioni locali attive e radicate alle quali competono l'installazione e l'accompagnamento nel tempo.

Tra queste la Desert Research Foundation of Namibia (DRFN) (Figura 105) è una fondazione dedicata alla ricerca e allo sviluppo sostenibile nelle terre aride, articolata in quattro aree tematiche: territorio, acqua, cambiamento climatico ed energia.

Collabora stabilmente con il Ministero, con la Global Water Partnership Southern Africa e con l'IUCN, la sezione dedicata all'acqua di questa organizzazione rappresenta la via più breve per ottenere la validazione del dispositivo (Desert Research Foundation

Figura 104
Logo directorate of Rural Water Supply



Nota. Logo del Rural Water Supply Network (RWSN), s.d.

Figura 105
Desert Research foundation of Namibia



Nota. Logo della Desert Research Foundation of Namibia (DRFN), s.d.

DRFN
La Desert Research Foundation of Namibia (DRFN) è stata fondata per sostenere la ricerca, ma anche per affrontare le problematiche dello sviluppo sostenibile nelle zone aride (Civic264, s.d.).

of Namibia [DRFN], s.d.).

Dopo la fase di installazione vi è la fase più delicata, da cui dipende l'efficacia futura e la durata dell'intervento cioè la formazione delle comunità.

Uno dei riferimenti principali in materia è il progetto condotto in Marocco dall'organizzazione Dar Si Hmad sul monte Boutmezguida. Il dato rilevante non riguarda la tecnologia, ma il modello gestionale: la manutenzione dell'impianto è stata affidata alle donne dei villaggi, formate attraverso una serie di laboratori di capacitazione, scelta che ha garantito la continuità di funzionamento nel tempo e ha ottenuto il riconoscimento delle Nazioni Unite nell'ambito del programma Momentum for Change. La formazione non è stata concepita come un adempimento successivo all'installazione, ma come la condizione che ne rende possibile la permanenza (United Nations Framework Convention on Climate Change, 2016).

Un secondo riferimento è il progetto Warka Water interessante perché crea due istruzioni e manuali completamente distinti, l'uno dedicato alla costruzione e l'altro all'esercizio e alla manutenzione. È inoltre progettato in modo da non richiedere competenze specialistiche per l'installazione (Warka Water, s.d.).

Nebel fornirà quindi le istruzioni basandosi su tre principi fondamentali per la riuscita del progetto:

- **Indipendenza dall'alfabetizzazione:** le istruzioni sono prevalentemente grafiche, costruite su sequenze di immagini e su simboli.

- **Adeguatezza linguistica:** la documentazione è redatta in inglese, lingua ufficiale del paese, e tradotta in Khoekhoegowab, la lingua parlata dalle comunità Nama e Topnaar del bacino del Kuiseb.
- **Formazione dei formatori:** l'attività non si rivolge ai soli utenti finali, ma forma all'interno di ciascuna comunità alcune figure in grado di trasmettere a loro volta le procedure, così da rendere il trasferimento di competenze indipendente dalla presenza di operatori esterni.

Capitolo 6

Zerodrop



6.1 – Concept

Zerodrop non nasce come un dispositivo qualsiasi, ma nasce con il fine di sensibilizzare sulla tematica degli sprechi dell'acqua coloro che ne utilizzano elevate quantità senza darle il giusto valore. Sulla base di questo obiettivo, Zerodrop si sviluppa come una soluzione che si colloca proprio dove le persone entrano più spesso in contatto con l'acqua, ovvero al rubinetto.

Si potrebbe dire che Zerodrop ed Everydrop siano due sistemi complementari: il primo educa sullo spreco d'acqua dove questa è presente in abbondanza, il secondo propone una soluzione per portarla dove questa è scarsa.

Il nome Zerodrop nasce dall'affiancamento di due parole: Zero e drop, che incarnano uno degli obiettivi di Nebel, quello di dare valore a ogni goccia d'acqua, senza versarne nessuna inutilmente.

Zerodrop è molto di più di un semplice oggetto da vendere: prima di ridurre materialmente lo spreco, intende responsabilizzare. Non impone un comportamento, ma costruisce con l'utente una relazione di consapevolezza, nella convinzione che l'acqua più preziosa non sia solo quella che si riesce a raccogliere, ma anche quella che si impara a non sprecare.

Figura 106
Prime idee e sketch

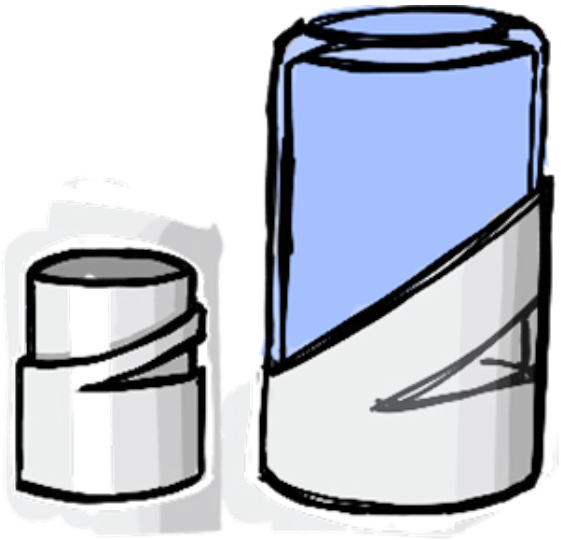


Figura 107
Prime idee e sketch

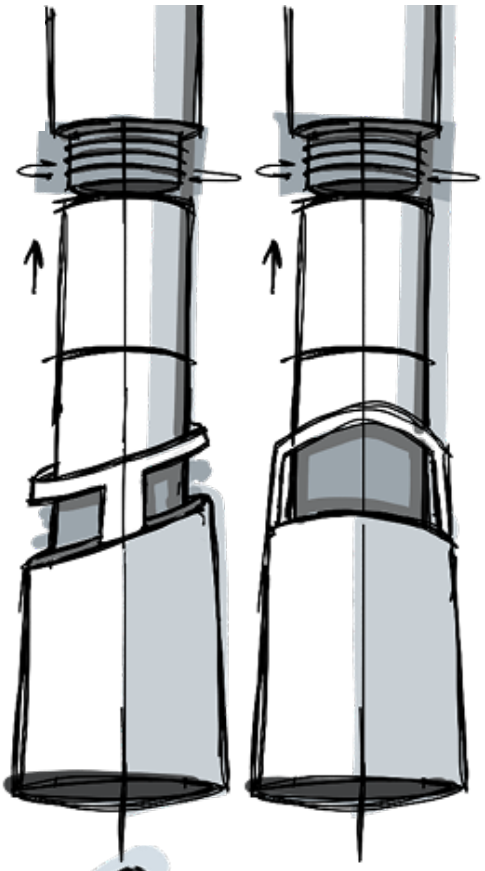
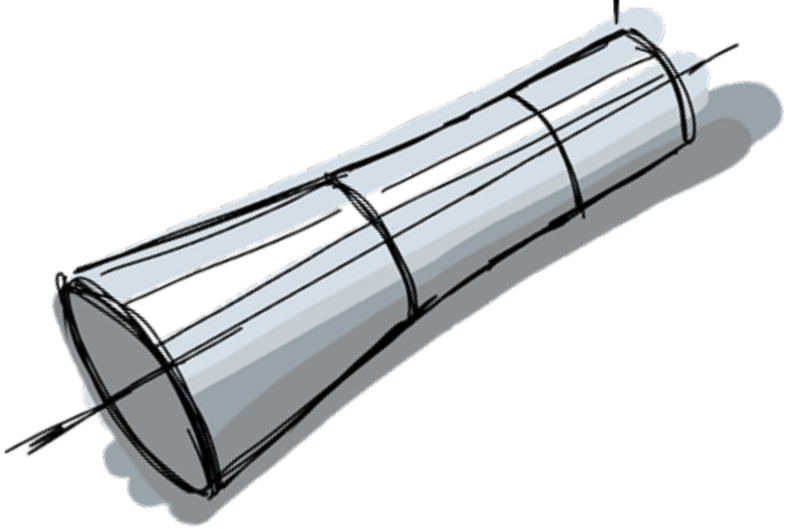


Figura 108
Prime idee e sketch

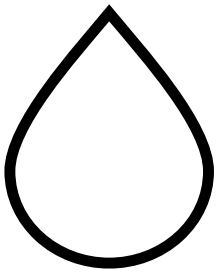


6.2 – Tabella esigenziale

CLASSI DI ESIGENZE	ESIGENZE	REQUISITI
01 **Sicurezza**	**Salubrità dell'acqua**	Sistema di purificazione capace di trattenere sedimenti, cloro e metalli pesanti garantendo acqua conforme ai parametri di potabilità
	Controllo dell'erogazione	Sistema di gestione dell'erogazione che limita gli sprechi e impedisce contaminazioni della rete idrica
	Durabilità	Materiali resistenti ad acqua, umidità e pressione; giunzioni resistenti e stabili nel tempo
	Tenuta idraulica	Assenza di perdite in corrispondenza delle giunzioni, anche dopo ripetuti cicli di smontaggio e rimontaggio
02 **Fruibilità**	**Comprensibilità**	Gestualità intuitive
	Ergonomia	Forma e dimensioni compatibili con la presa e con i gesti abituali dell'utente durante l'uso quotidiano
	Funzionalità	Erogazione efficace e tripla modalità di utilizzo
	Regolabilità	Diverse tipologie di erogazione (getto continuo, aerato, depurato) selezionabili direttamente dall'utente
	Semplicità	Giunzioni semplici e comprensibili
	Universalità	Utilizzabile senza sforzo e senza competenze tecniche da tutti gli utenti

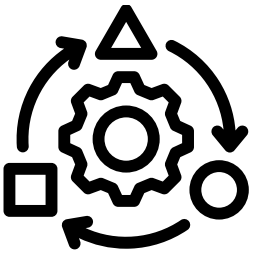
CLASSI DI ESIGENZE	ESIGENZE	REQUISITI
03 **Gestione**	**Manutenibilità**	Prodotto scomponibile che permette la sostituzione del filtro senza l'uso di attrezzi
	Facilità di pulizia	Giunzioni reversibili e materiali pulibili, superfici lisce e prive di punti di accumulo del calcare
	Installabilità	Installazione autonoma da parte dell'utente senza intervento di un tecnico idraulico
	Esplicitazione d'uso	Indicazioni chiare e visibili su installazione sostituzione del filtro e limiti d'impiego del prodotto
	Accessibilità economica	Ricambi facilmente reperibili e prodotto facilmente acquistabile attraverso i canali di vendita
	Impatto tangibile	Risparmio di acqua e riduzione dei costi in bolletta (quantificabile dall'utente)
04 **Integrabilità**	**Compatibilità**	Adattabile ai diversi attacchi dei rubinetti presenti sul mercato
	Ingombro	Dimensioni compatibili con il lavello domestico standard e con l'uso quotidiano
05 **Aspetto**	**Estetica**	Design accattivante e coerente con gli altri oggetti dell'ambiente cucina
	Riconoscibilità	Linguaggio formale che comunica affidabilità
06 **Salvaguardia dell'ambiente**	**Riduzione dei consumi**	Riduzione degli sprechi d'acqua senza perdita di efficacia percepita nell'uso
	Riduzione dei rifiuti	Eliminazione del ricorso all'acqua in bottiglia di plastica
	Durata del componente di consumo	Filtro a cartuccia sostituibile, con sostituzione del solo elemento filtrante e non dell'intero corpo

6.3 – Linee guida



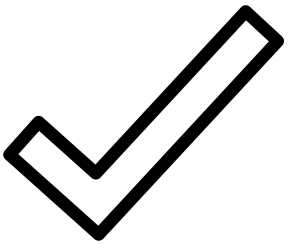
Normative e qualità dell'acqua potabile

Essendo Zerodrop un prodotto destinato all'erogazione di acqua potabile per il consumo umano, la sua progettazione deve rispettare le normative europee vigenti, che regolano i materiali a contatto con l'acqua e i requisiti igienico-sanitari da garantire.



Universalità di aggancio

Zerodrop deve poter essere montato su ogni lavello, in modo da garantire un risparmio di acqua e sicurezza nel maggior numero possibile di situazioni.

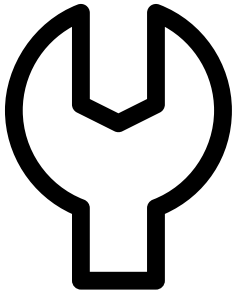


Trattamento efficiente dell'acqua

Zerodrop ha l'obiettivo di rendere sicura e di qualità l'acqua di ogni rubinetto, eliminando le preoccupazioni degli utenti che lo acquistano.

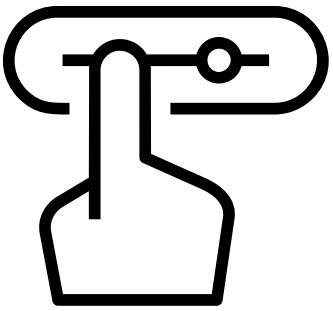
Manutenibilità

La soluzione deve garantire la possibilità di sostituire componenti usurati, ma soprattutto quella di garantire la pulizia e l'igiene dell'intero sistema.



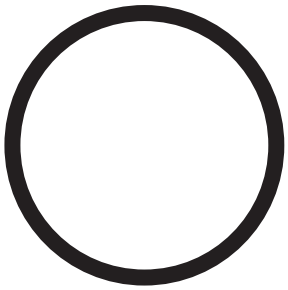
Gestualità

Zerodrop deve instaurare un vero e proprio rapporto con l'utente, sviluppando gestualità o rituali che sensibilizzino l'utente sul tema dello spreco dell'acqua.



Semplicità

Zerodrop è pensato per essere presente nelle case delle persone. Grazie a componenti semplici ed intuitivi, l'utente lo gestisce in autonomia, senza bisogno di assistenza da operatori esterni.



Lo sviluppo di Zerodrop ha come obiettivo la concretizzazione di una soluzione che garantisca, attraverso le linee guida sopra descritte, sicurezza, universalità e capacità di instaurare un rapporto consapevole con l'utente.

6.4 – Target

Famiglie

Che spesso devono fronteggiare il problema della bassa qualità dell'acqua del rubinetto. Ricercano delle soluzioni economiche che garantiscano acqua di qualità, senza dover trasportare grosse casse d'acqua (Figura 109).

Studenti fuorisede

Che vanno a fare la spesa senza macchina e preferiscono evitare di dover spostare, oltre alla spesa, pesanti casse d'acqua ogni settimana (Figura 110).

Proprietari di hotel o agriturismi

Che vogliono ottenere delle certificazioni di sostenibilità da usare nelle pubblicità per le loro proprietà. Inoltre, ricercano un metodo per risparmiare acqua dalle bollette visto che sono obbligati a fornirne in quantità illimitata ai loro clienti (Figura 111).

Camperisti e off-gridder

Che, avendo a disposizione poca acqua all'interno delle loro taniche, ricercano sistemi che permettano loro di risparmiare e dosare le proprie scorte d'acqua. Inoltre, spesso sono interessati ad avere garanzie aggiuntive sulla qualità dell'acqua che bevono (Figura 112).

Figura 109
Famiglie



Nota. Fotografia di Kampus Production, 2024, Pexels.

Figura 110
Studenti fuorisede



Nota. Fotografia di Mart Production, 2024, Pexels.

Figura 111
Proprietari di hotel e agriturismi



Nota. Fotografia di A. Piacquadio, 2024, Pexels.

Figura 112
Camperisti e off gridder



Nota. Fotografia di Kampus Production, 2024, Pexels.

6.5 – Interviste

La fase di sviluppo progettuale di Zerodrop è stata affiancata da una serie di interviste rivolte ai potenziali fruitori della soluzione come studenti, designer e utenti vari.
Tale attività ha accompagnato l'evoluzione delle varie versioni di Zerodrop fino al risultato finale, definito grazie alle osservazioni e alle interazioni di coloro che saranno gli utilizzatori finali, e ha contribuito a orientare numerose scelte progettuali.

01



Nome: Marco

Professione: Product designer

Complessivamente

Generalmente intuitivo

Elementi identificati

Ghiera direzionamento flusso

Nebulizzatore

Calotta filtro

Incastro

Intuitivo oppure no?

Intuitiva dopo pochi utilizzi

Utilizzo descritto come “Strano”

Si capisce il movimento da fare

Intuitivo da aprire meno da chiudere

Come migliorare

Utilizzo di colori e simboli

Cercare un componente di nebulizzazione con un fine corsa

Migliorare l’interazione con la calotta filtro con simboli e grip

Utilizzo di colori per facilitare l’incastro

02



Nome: Francesco

Professione: Studente di product design

Complessivamente

Intuitivo e comodo grazie alla vicinanza delle ghiere

Elementi identificati	Intuitivo oppure no?
Ghiera direzionamento flusso	Troppo piccola e di conseguenza nascosta
Calotta filtro	Intuitiva grazie alla forma ergonomica

Come migliorare

Ingrandire il pomello della ghiera per il direzionamento del flusso

Dare un colore diverso al pomello della ghiera

03



Nome: Silvia

Professione: Product designer

Complessivamente

Non del tutto autoesplicativo

Elementi identificati	Intuitivo oppure no?
Calotta filtro	Richiede troppo tempo per svitarla
Giunti	Funzionali
Igiene	Necessari giunti facilmente smontabili
Nebulizzatore	Autoesplicativo

Come migliorare

Associazioni di colori in base al posizionamento diverso

Accorciare il filetto della calotta filtro

Utilizzare un incastro a pressione

04



Nome: Farah

Professione: Studentessa di architettura

Complessivamente

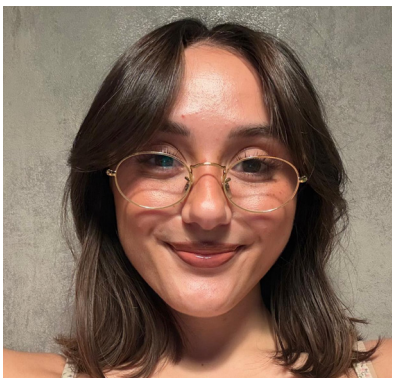
Utilizzo chiaro

Elementi identificati	Intuitivo oppure no?
Ghiera direzionamento flusso	Intuitiva grazie al fine corsa
Icone	Utili quando presenti

Come migliorare

Aggiungere un’icona per entrambi i percorsi del flusso d’acqua

05



Nome: Ginevra

Professione: Studentessa di Global Law and Transnational Legal Studies

Complessivamente

L'indicatore luminoso aiuta a dare più valore all'acqua, specialmente per chi ne spreca tanta. Servono delle istruzioni per chiarire l'utilizzo a monte.

Elementi identificati	Intuitivo oppure no?
Indicatore luminoso	Intuitivo e utile per sprecare meno acqua
Processo di sostituzione del filtro	Senza istruzioni non è intuitivo
Ghiera direzionamento flusso	Non intuitiva

Come migliorare

Icone come frecce che indicano come e cosa svitare

06



Nome: Matilde

Professione: Studentessa di Global Law and Transnational Legal Studies

Complessivamente

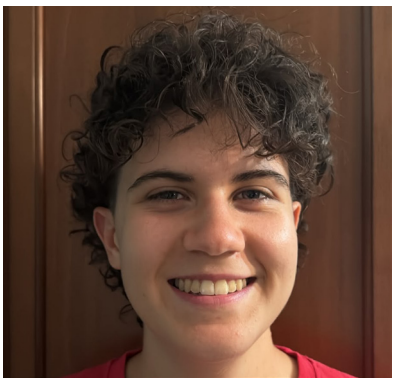
Intuitivo ed interessante perché può contribuire alla riduzione degli sprechi di plastica.

Elementi identificati	Intuitivo oppure no?
Estetica	Intuitivo e facile da imparare
Ghiera direzione flusso	Intuitiva grazie all'uso dei colori
Ghiera nebulizzatore	Intuitiva grazie all'adesivo con trama che si diffonde

Come migliorare

-

07



Nome: Sofia

Professione: Studentessa di Diritto per le imprese e le istituzioni

Complessivamente

L'indicatore luminoso ti fa rendere conto di quanta acqua utilizzi. Sarebbe interessante integrare anche un flusso d'acqua purificato e nebulizzato.

Elementi identificati	Intuitivo oppure no?
Design	Intuitivo dopo i primi utilizzi
Ghiera direzionamento flusso	La scelta del colore aiuta l'uso
Ghiera nebulizzatore	Intuitiva grazie alla trama diffusa
Indicatore luminoso	Intuitivo

Come migliorare

Fornire un manuale di istruzioni

08



Nome: Giuseppe

Professione: Pensionato

Complessivamente

Intuitivo e facilmente comprensibile. Sarebbe meglio posizionare il filtro alla sommità di Zerodrop, in modo da avere sempre un flusso depurato.

Elementi identificati	Intuitivo oppure no?
Design	Intuitivo e facile da imparare
Ghiera direzionamento flusso	Intuitiva ma piccola
Indicatore luminoso	Intuitivo ed efficace

Come migliorare

Ingrandire il pomello della ghiera direzionamento flusso

09



Nome: Emanuele

Professione: Tecnico informatico

Complessivamente

Intuitivo anche se manca un indicatore di usura del filtro.
Sarebbe interessante introdurre delle icone che accompagnano le funzioni.

Elementi identificati	Intuitivo oppure no?
Design	Intuitivo
Ghiera direzionamento flusso	Intuitiva
Indicatore usura filtro	Assente
Ghiera nebulizzatore	Intuitiva

Come migliorare

Introdurre un indicatore visivo

Valutare delle icone al posto della trama

10



Nome: Elena

Professione: Dispositrice tessile

Complessivamente

Intuitivo ed utile. Potrebbe svilupparsi più in altezza e meno in larghezza per essere meno ingombrante nel lavello.

Elementi identificati	Intuitivo oppure no?
Design	Intuitivo e facile da imparare
Ghiera direzionamento flusso	Intuitiva grazie all'uso dei colori
Ghiera nebulizzatore	Intuitiva e utile per controllare il flusso
Indicatore luminoso	Poco intuitivo

Come migliorare

Rendere tutto il pomello arancione

Sarebbe più interessante se si accendesse quando si spreca troppo

11



Nome: Domenica

Professione: Casalinga

Complessivamente

Intuitivo ed interessante sia per risparmiare acqua sia per averla più sicura.

Elementi identificati	Intuitivo oppure no?
Design	Intuitivo e facile da imparare
Ghiera direzionamento flusso	Intuitiva grazie ai colori
Ghiera nebulizzatore	Intuitiva grazie all’adesivo con trama
Indicatore luminoso	Poco intuitivo

Come migliorare

Sarebbe più interessante se si accendesse quando si spreca troppo

12



Nome: Bruno

Professione: Pensionato

Complessivamente

Intuitivo e interessante perché offre molte possibilità di utilizzo. Potrebbe essere troppo ingombrante per lo svolgimento delle operazioni nel lavello. Sarebbe comodo avere una versione compatta se non si ritiene necessario purificare l'acqua.

Elementi identificati	Intuitivo oppure no?
Design	Intuitivo dopo pochi utilizzi
Ghiera direzionamento flusso	Filtro intuitivo, meno il nebulizzatore
Ghiera nebulizzatore	Intuitiva ma rischia di sporcarsi e oscurare indicatore

Come migliorare

Rivedere lo snodo a tre vie

Effettuare uno studio sull'effetto del calcare

13



Nome: Fabrizio

Professione: Ingegnere

Complessivamente

**Pratico e funzionale. É interessante che si possa adattare a ogni rubinetto.
Il giunto a baionetta permette il corretto montaggio su ogni lavello e una corretta manutenzione.
È interessante avere il filtro nel punto di erogazione, poiché tutte le abitazioni hanno già un filtro a monte, che però non garantisce una purificazione per i condotti di spostamento dell'edificio.**

Elementi identificati	Intuitivo oppure no?
Design	Intuitivo e facile da usare
Ghiera direzionamento flusso	Intuitiva grazie all'uso dei colori
Ghiera nebulizzatore	Intuitiva ma deve essere spiegata
Indicatore luminoso	Intuitivo

Come migliorare

Il pomello potrebbe essere a forma di freccia per accompagnare la simbologia della rotazione

Avere una grafica sul packaging che richiama il concetto della nebbia

6.6 – Sketch e idee

Figura 113
Prime idee e sketch



Figura 114
Prime idee e sketch

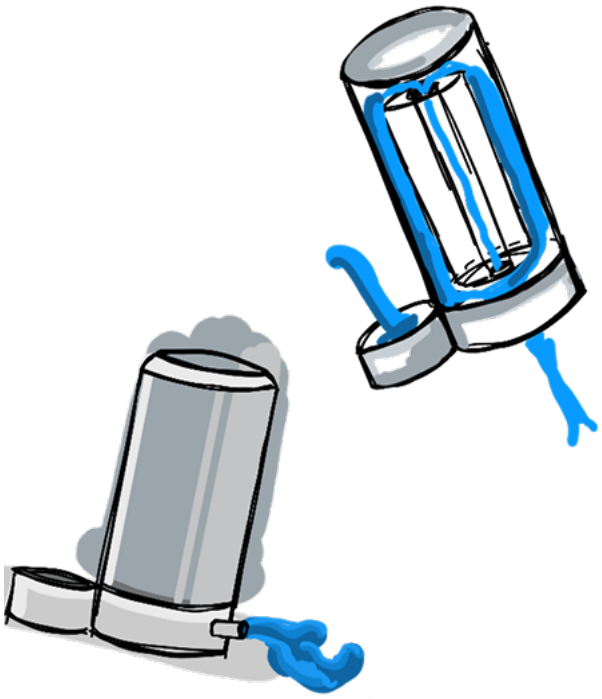


Figura 115
Prime idee e sketch

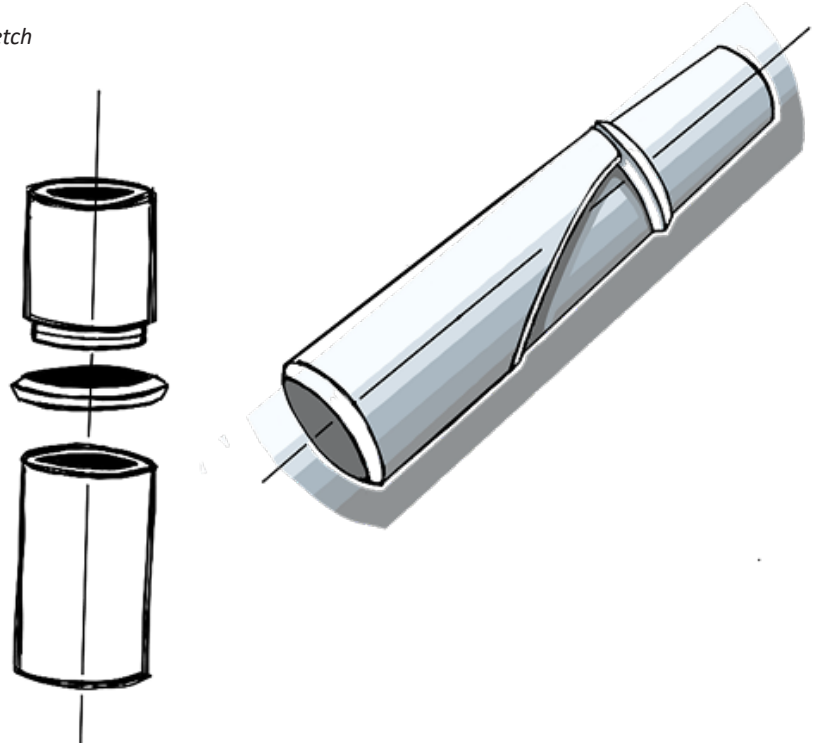


Figura 116
Prime idee e sketch

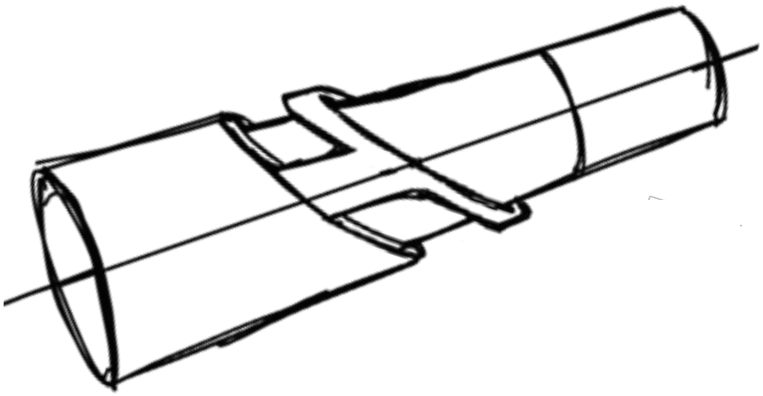
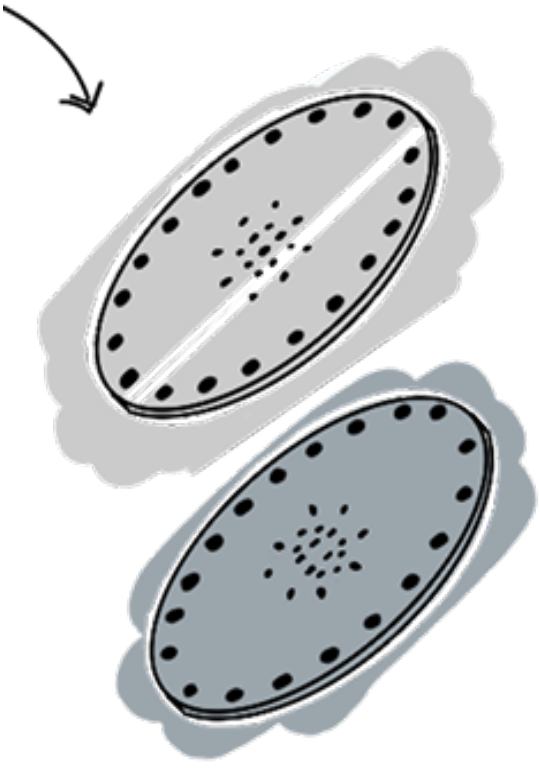


Figura 117
Prime idee e sketch



6.7 – Il dispositivo

Figura 118
Zerodrop agganciato al lavandino





Figura 119
Vista inferiore di Zerodrop



Figura 120
Flusso depurato



Figura 121
Configurazione nera e bianca di Zerodrop



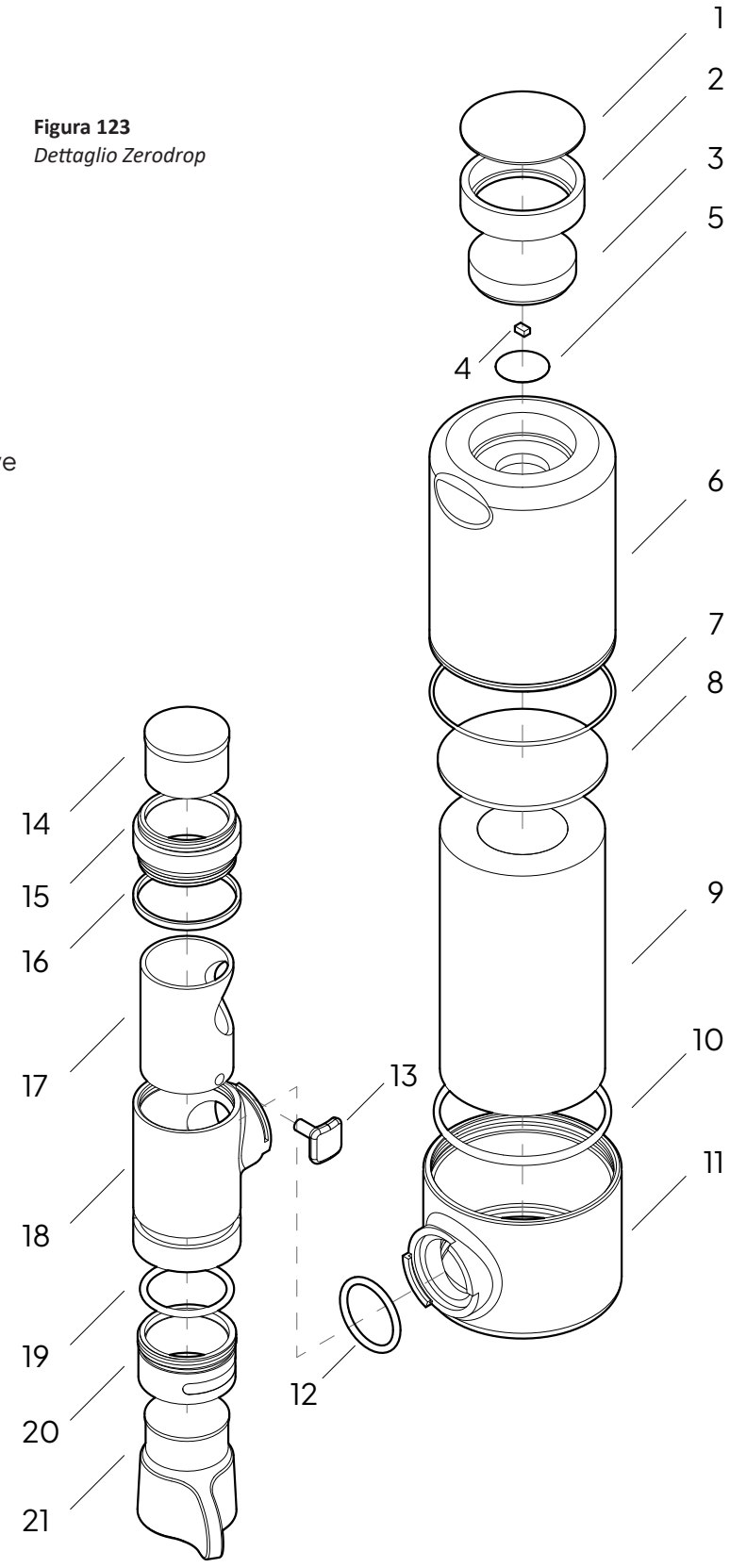


Figura 122
Dettaglio Zerodrop

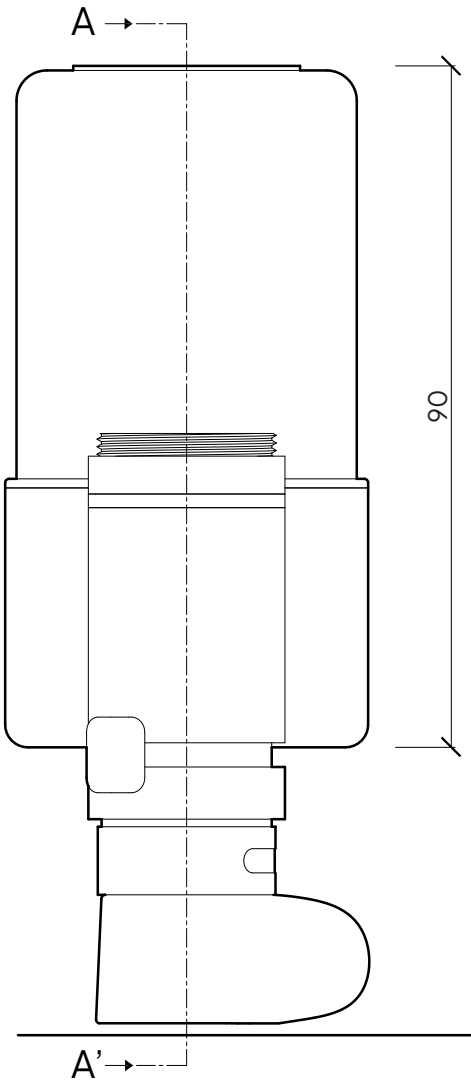
Viste tecniche assonometriche

1 Tappo elettronica
2 Involucro elettronica
3 Batteria
4 LED
5 Sensore
6 Cupola trasparente
7 Guarnizione
8 Tappo filtro
9 Filtro a carbone e fibre cave
10 Anello a pressione
11 Scocca base
12 Guarnizione
13 Pomello selettore flusso
14 Rompigetto
15 Aggancio universale
16 Guarnizione
17 Selettore flusso
18 Scocca selettore
19 Guarnizione
20 Aggancio nebulizzatore
21 Nebulizzatore

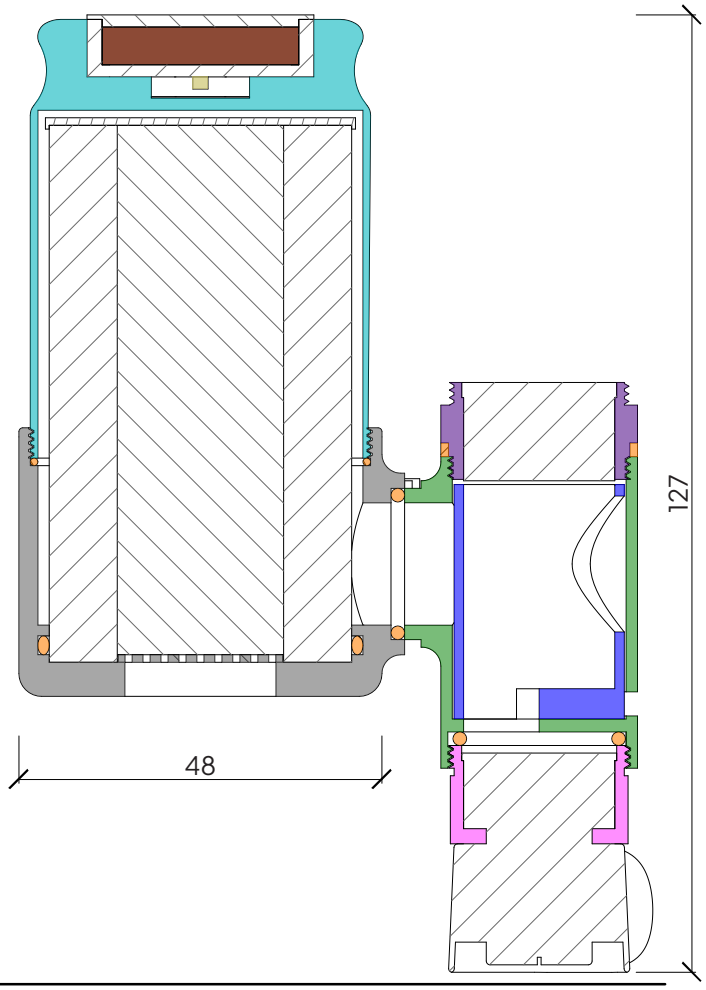
Figura 123
Dettaglio Zerodrop

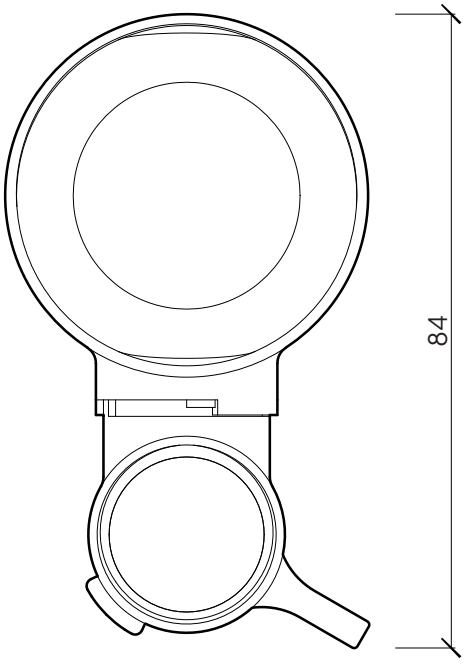


Vista Frontale

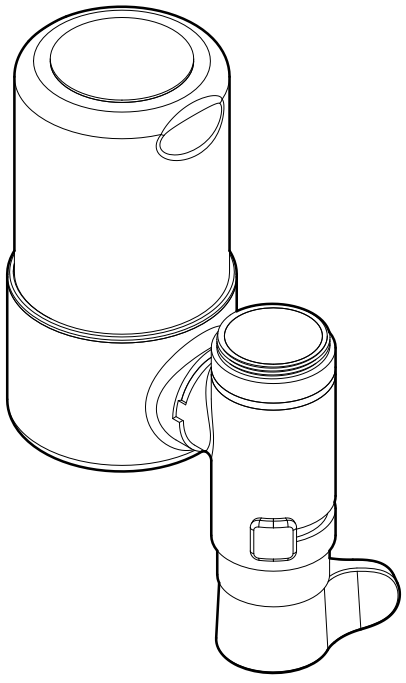


Sezione A-A'





Vista Superiore



Vista Assonometrica

Scala 1:1

Quote in millimetri

6.8 – Scelte progettuali

Questo paragrafo illustra le considerazioni alla base delle scelte progettuali chiave di Zerodrop. Vengono trattate la selezione del materiale, la definizione dei giunti che ne garantiscono il funzionamento, le modalità di interazione tra utente e prodotto e le verifiche fluidodinamiche sulle velocità e sulle perdite di carico dell'acqua interna, che ne confermano la validità.

Figura 124
Modello fisico - Dettaglio elementi visivi di selezione



Figura 125
Vista con componentistica interna



6.8.1 – Scelta dei giunti

Il corretto funzionamento di Zerodrop richiede che i componenti restino smontabili pur assicurando la tenuta stagna dell'intero sistema. Nei circuiti idraulici questa condizione è soddisfatta da due tipologie di collegamento: il giunto a baionetta e il giunto filettato. Per questo motivo tutti i giunti di Zerodrop appartengono a una di queste due categorie. Nei paragrafi seguenti sono dettagliate le motivazioni che hanno portato a preferire l'una o l'altra soluzione nei diversi punti del sistema.



Figura 126
Esploso Zerodrop

6.8.1.1 – Giunto al rubinetto

Essendo l'universalità di aggancio una delle linee guida della progettazione di Zerodrop, si è dovuta individuare una soluzione efficace per garantire che questo sia applicabile a ogni lavello.

I filetti standard per l'attacco degli aeratori ai rubinetti sono due:

- **M22x1** (maschio sul rubinetto): il rubinetto presenta una filettatura esterna da 22 mm.
- **M24x1** (femmina sul rubinetto): il rubinetto presenta una filettatura interna da 24 mm.

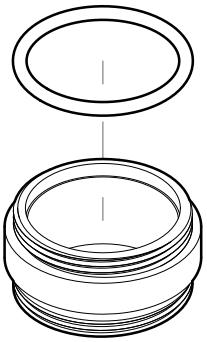
Questi rappresentano i due standard più diffusi, ma non gli unici. Esistono infatti diverse altre configurazioni possibili, che variano per diametro e passo della filettatura a seconda del produttore del modello, del mercato di destinazione e dell'epoca del rubinetto.

Per queste ragioni Zerodrop viene proposto nella sua configurazione standard con un filetto compatibile con l'attacco M24x1 femmina del rubinetto. Poiché però in questo modo si garantirebbe l'universalità di aggancio per meno della metà dei rubinetti presenti sul mercato, si è scelto di includere nell'acquisto un adattatore, che consente di collegare Zerodrop a qualsiasi tipo di rubinetto. L'adattatore corretto è incluso nell'acquisto di Zerodrop e viene spedito nella misura appropriata, selezionata in fase d'ordine specificando la dimensione del filetto e la tipologia di attacco (maschio o femmina).

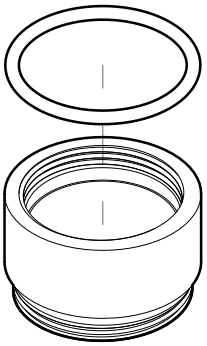


Figura 127
Dettagli giunto al rubinetto

Viste assonometriche

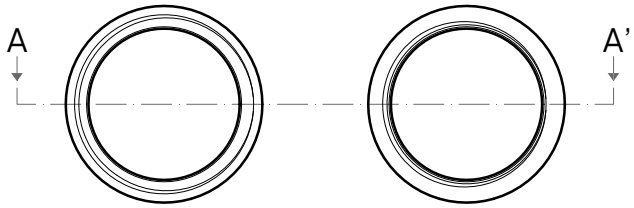


M24x1 maschio



M22x1 femmina

Vista superiore



Sezione A-A'

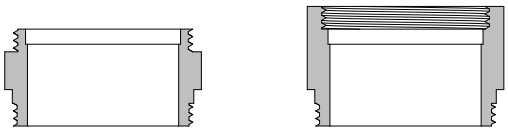
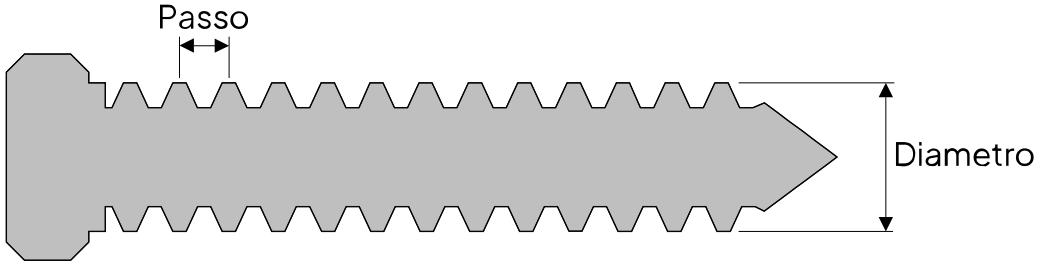


Figura 128
Schema misurazione vite



6.8.1.2 – Ghiera di selezione del flusso

Uno dei punti cruciali nella progettazione di Zerodrop è il direzionamento del flusso d'acqua interno.

L'utente deve infatti poter selezionare la modalità di erogazione desiderata tra flusso continuo depurato, flusso continuo non depurato e flusso nebulizzato non depurato.

A questo scopo è stata scelta una valvola a tre vie: l'acqua vi arriva dall'alto e viene indirizzata verso il filtro a carbone attivo oppure verso il nebulizzatore, quest'ultimo dotato a sua volta di un selettore che consente di scegliere tra flusso continuo e flusso nebulizzato.

La valvola è costituita da un cilindro cavo, inserito nel corpo principale al di sotto dell'asse del rubinetto e vincolato inferiormente da una superficie piana e superiormente da un componente filettato.

Il cilindro presenta due fori: quello laterale, una volta allineato, consente il passaggio dell'acqua verso il filtro a carbone attivo; in caso contrario si allinea il foro inferiore, che indirizza l'acqua verso il nebulizzatore.

La rotazione è controllata dall'utente tramite una leva, che si innesta dall'esterno del corpo di Zerodrop sul cilindro rotante. La leva alloggia in uno scasso che ne limita la corsa alle due sole posizioni di utilizzo (Figura 130).



Figura 129
Ingrandimento su ghiere di selezione dei flussi

Figura 130
Spaccato assonometrico - posizionamento selettore a tre vie

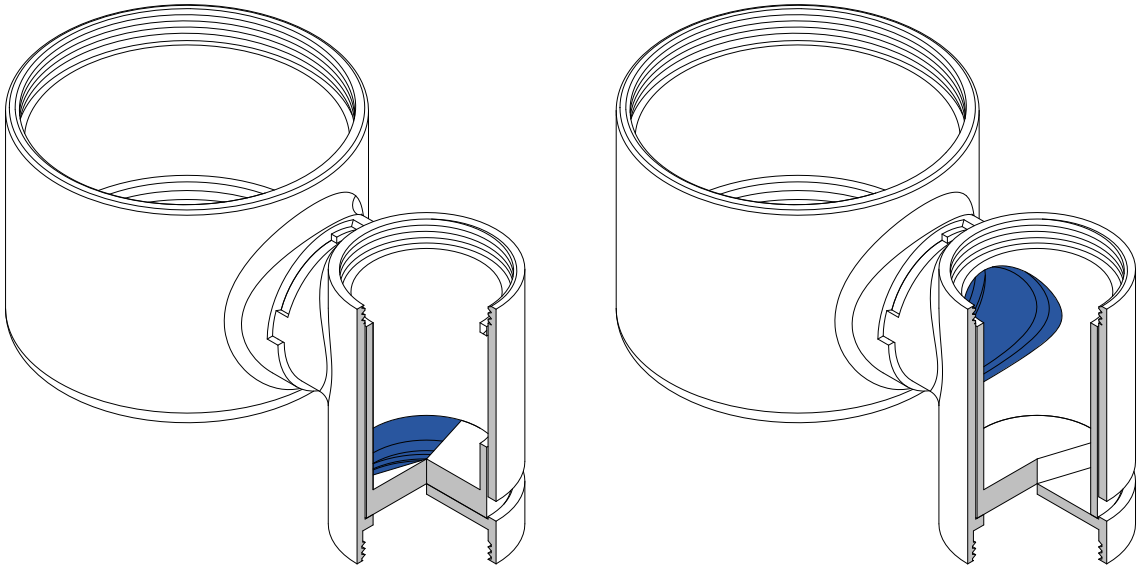
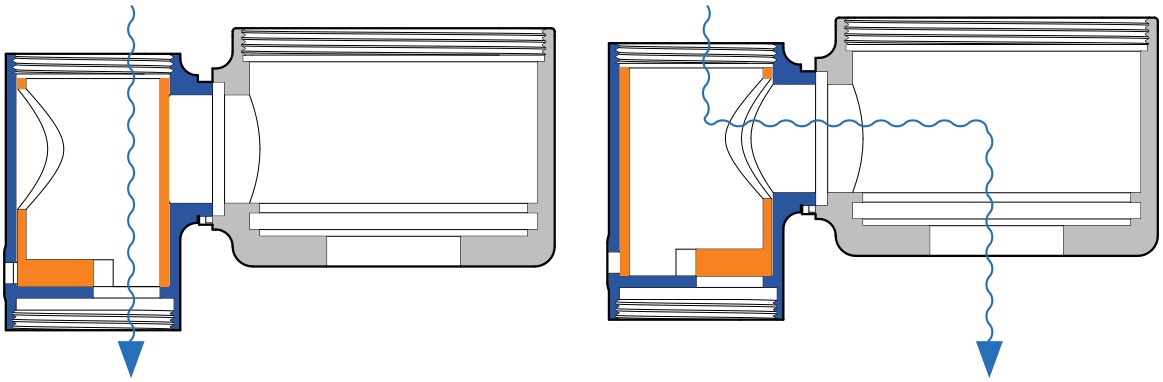


Figura 131
Schema direzionamento del flusso



6.8.1.3 – Scelta del giunto a baionetta per il collegamento al filtro a carbone attivo

Per evitare perdite e punti di fuoriuscita dell'acqua, la scocca di Zerodrop deve essere progettata in meno componenti possibili.
Questo però non è possibile per i componenti che si sviluppano su un asse diverso rispetto a quello della bocca di erogazione del rubinetto, ossia i componenti collegati al filtro a carbone attivo.
Dal momento che il filtro a carbone attivo sviluppa il suo volume verso l'alto, in fase di avvitaggio di Zerodrop al lavandino, andrebbe a urtare il corpo del rubinetto, impedendo il montaggio.
Si sceglie quindi di suddividere la parte centrale della scocca in due componenti diversi, che vengono assemblati dall'utente solo dopo che i primi pezzi di Zerodrop sono stati avvitati al lavello.
I giunti su cui ricade la scelta sono due: il giunto a baionetta o il filetto, gli unici che garantiscono, con l'aggiunta di un O-ring compresso, una tenuta stagna.
Nella progettazione di Zerodrop è stato scelto il giunto a baionetta, poiché il filetto non consentirebbe di garantire il corretto orientamento del filtro a carbone attivo, che deve rimanere in posizione verticale dopo il montaggio.



Figura 132
Zerodrop

Funzionamento del giunto a baionetta

Nel giunto a baionetta la tenuta stagna è garantita da un O-ring schiacciato. Lo stesso O-ring svolge anche una seconda funzione: la sua spinta elastica mantiene bloccato l'accoppiamento.

L'O-ring scelto è un 22 × 1,8 mm (diametro interno × diametro della sezione) e lavora in tre condizioni:

- **A riposo**: sezione di 1,8 mm, non schiacciata.
- **Massima compressione**: sezione ridotta del 30%, cioè 1,26 mm.
- **Tenuta**: sezione ridotta del 20%, cioè 1,44 mm.

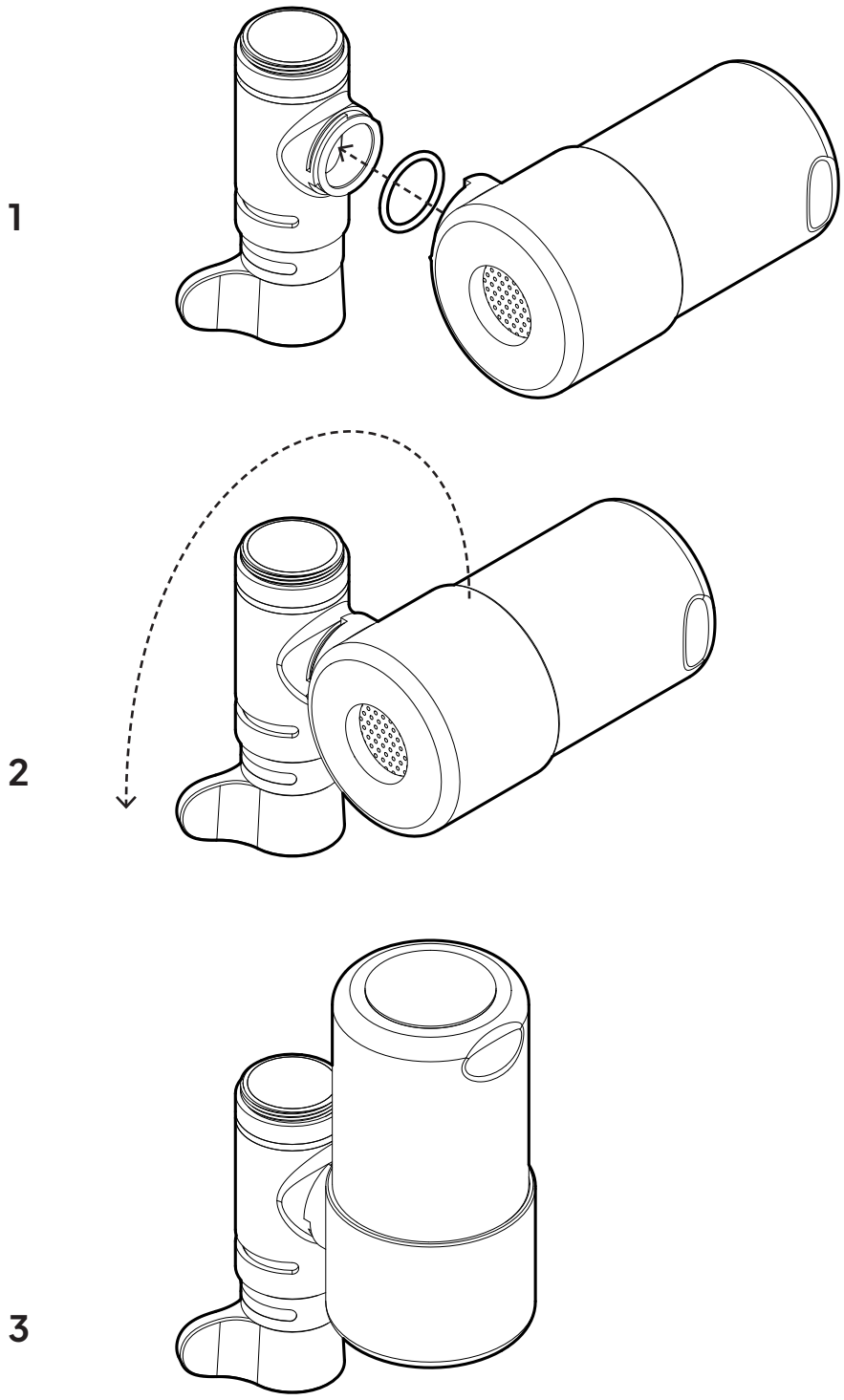
La sede in cui è alloggiato ha una profondità di 1,8 mm, che garantisce lo schiacciamento richiesto.

Per innestare il giunto l'utente lo spinge, schiacciando l'O-ring al massimo, e mantiene la spinta per tutta la rotazione. Arrivato a fine corsa, l'utente lascia la presa: l'O-ring si espande in parte e passa alla condizione di tenuta.

Espandendosi, l'O-ring spinge i due componenti in direzioni opposte.

I perni si appoggiano così contro il fondo delle cave a baionetta e restano bloccati. È proprio questa spinta a tenere insieme il giunto e a impedire che si sganci da solo.

Figura 133
Funzionamento del giunto a baionetta



Effetti della riduzione del diametro

Per valutare gli effetti della riduzione del diametro nello snodo laterale si è ipotizzato un diametro finale pari al 90% di quello iniziale, ovvero $\emptyset_2 = 0{,}9 \cdot \emptyset_1$. Poiché l'area della sezione circolare dipende dal quadrato del diametro (secondo la relazione $S = (\pi/4)\cdot\emptyset^2$), una riduzione del 10% del diametro non si traduce in una riduzione proporzionale dell'area. Sostituendo il $\emptyset_2$ nella formula si ottiene $S_2 = (\pi/4)\cdot(0{,}9\cdot\emptyset_1)^2 = 0{,}81\cdot S_1$, quindi la sezione di passaggio si riduce all'81% di quella di partenza.

Questa variazione della sezione ha una conseguenza diretta sulla velocità del fluido. Per l'equazione di continuità, a parità di portata ($Q_1 = Q_2$), la velocità deve aumentare tanto quanto l'area diminuisce. Si ha perciò $v_2 = v_1\cdot(S_1/S_2) = v_1\cdot(1/0{,}81) \approx 1{,}235\cdot v_1$, ovvero un incremento della velocità dell'acqua di circa il 23%. In altre parole, restringendo il passaggio il fluido è costretto a scorrere più velocemente per far transitare la stessa quantità d'acqua.

L'aumento di velocità, però, non è privo di costi. La perdita di carico è infatti proporzionale al quadrato della velocità, e questo fa sì che il suo incremento sia molto più marcato di quello della velocità stessa: $\Delta p_2/\Delta p_1 = (v_2/v_1)^2 = (1{,}235)^2 \approx 1{,}524$. La perdita di carico cresce quindi di circa il 52%, più del doppio rispetto all'aumento di velocità che l'ha generata.

È proprio questo il criterio progettuale che ha guidato la scelta. Una riduzione della sezione permette sì di aumentare la velocità del fluido, ma comporta un aumento delle dissipazioni energetiche, con una conseguente perdita di efficienza idraulica del sistema. Per questo motivo si è deciso di non ridurre lo snodo laterale

di oltre un decimo rispetto al foro di partenza: oltre questa soglia il guadagno in velocità verrebbe pagato con perdite di carico troppo elevate.

Figura 134
Modello fisico - Riduzione del diametro



6.8.1.4 – Accessibilità e posizionamento del filtro a carbone attivo

Essendo la manutenibilità una delle linee guida della progettazione di Zerodrop, è fondamentale garantire il corretto funzionamento del filtro a carbone attivo.

Questo è vincolato nelle dimensioni (40x40x70 mm) poiché la soluzione deve essere compatta ma soprattutto leggera. Di conseguenza anche la vita del filtro si accorcia, motivo per cui esso deve poter essere sostituito. Si è quindi scelto di separarne la sede dal guscio esterno che lo racchiude, permettendone il funzionamento. I due componenti sono avvitati l'uno all'altro e la tenuta stagna è garantita da un O-ring a pressione. In questo modo l'utente può sostituire il filtro quando questo giunge a fine vita, svitando l'accoppiamento, posizionando il filtro nuovo e riavvitando i componenti.

In caso di malfunzionamento di Zerodrop, l'utente può ripetere gli stessi passaggi per accedere velocemente al filtro ed effettuare le operazioni di manutenzione.

Il filtro di Zerodrop date le sue dimensioni ha un limite di 400 litri, oltre i quali le prestazioni calano e il filtraggio non è più garantito. Calcolando il fabbisogno di acqua filtrata giornaliero di una singola persona, circa 1,5 litri giornalieri per una famiglia media di 4 persone, il filtro avrà una durata di 80-100 giorni: deve essere quindi sostituito trimestralmente.

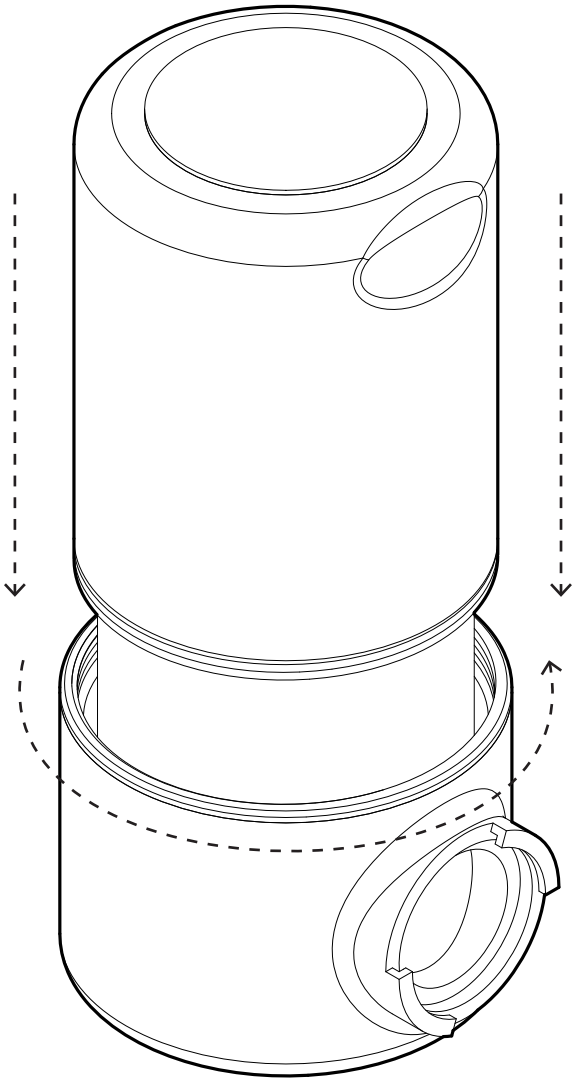


Figura 135
Avvitaggio calotta filtro

Figura 136
Rapporto antropometrico



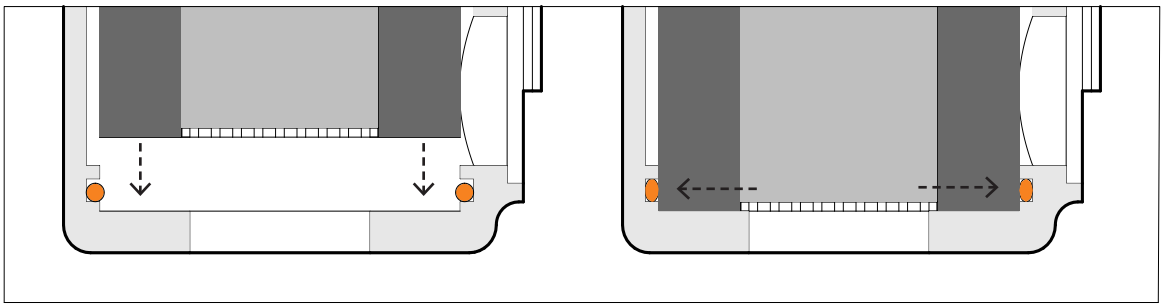
Il filtro a carbone attivo è appoggiato in una sede costituita da uno scasso profondo 1 mm. Per garantire un corretto posizionamento si è scelto di includere un altro elemento oltre alla gravità: un anello di gomma, alloggiato in una sede separata, a forma di binario circolare. Durante l'inserimento del filtro, l'anello di gomma viene premuto contro la parete del binario deformandosi e aderendo alla superficie delle pareti esterne e al filtro stesso. La tendenza dell'anello di gomma sarà quella di ritornare alla sua forma di partenza essendo essa un elastomero, ovvero un polimero caratterizzato da un elevato ritorno elastico.

Questa tendenza della gomma a ritornare alla sua forma originaria risulta essere la chiave per il funzionamento del giunto in quanto sviluppa una forza radiale che mantiene il filtro in posizione. Nel momento della rimozione del filtro per la sostituzione basterà applicare una forza di trazione verso l'alto per poterlo estrarre. In questo modo l'anello di gomma riprenderà la sua forma e sarà pronto ad ospitare il filtro nuovo.

Figura 137
Ingrandimento sistema di ancoraggio del filtro al carbone attivo



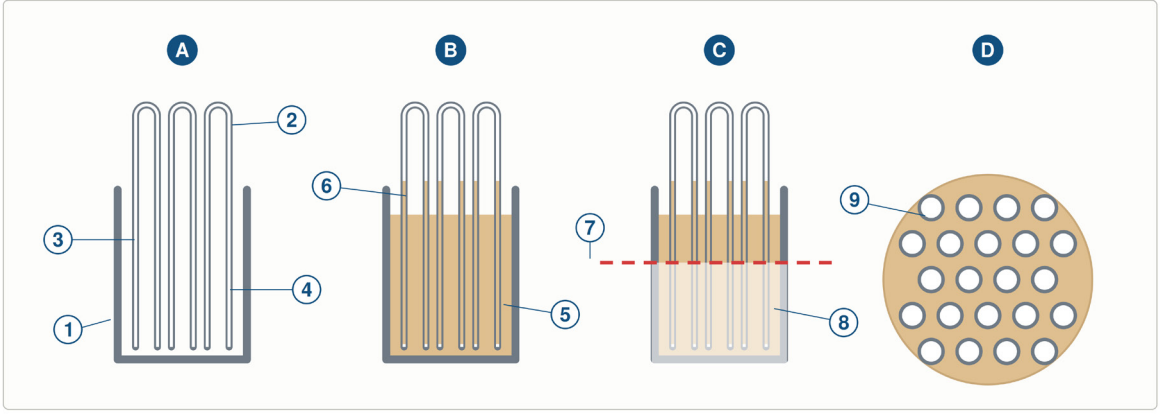
Figura 138
Ancoraggio filtro nella sua sede



6.8.1.5 – Alloggiamento delle fibre cave

Le fibre cave sono alloggiate all'interno del foro centrale del filtro a carbone attivo, sfruttando un volume, già presente nel modello, che altrimenti rimarrebbe inutilizzato. Il fascio, ripiegato a U, è mantenuto volutamente lasco e viene racchiuso all'interno di una rete tubolare in polipropilene, che lo contiene senza comprimerlo. Questo permette alle fibre di muoversi per tutta la loro lunghezza, condizione che ne rallenta l'intasamento superficiale. Solo l'estremità inferiore è vincolata, immersa in un tappo di poliuretano bicomponente che viene poi tagliato di netto sulla faccia, così da riaprire i canali interni delle fibre. Il funzionamento è quindi il seguente: l'acqua attraversa radialmente la parete di carbone attivo, raggiunge il foro centrale e bagna le fibre dall'esterno; filtra quindi attraverso la loro parete microporosa, scende nei lumi ed esce dalla faccia del tappo, unico elemento che separa l'acqua ancora da trattare dall'acqua potabile in uscita. L'accoppiamento permette alle due tecnologie di lavorare in serie condividendo un solo corpo; per questo l'utente continua a sostituire un unico componente.

Figura 139
Assemblaggio componente fibre cave



LEGENDA Figura 139

FASI DELLA LAVORAZIONE

- A Inserimento
- B Colata
- C Rifilatura
- D Faccia aperta

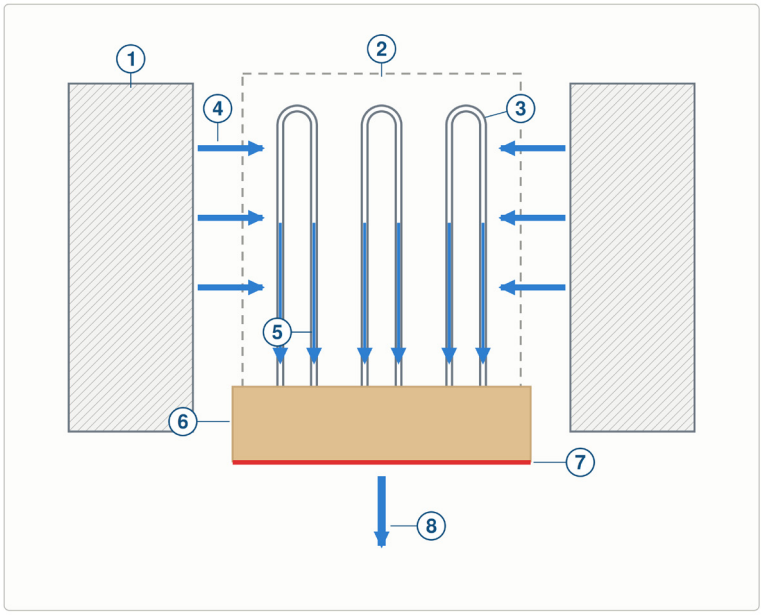
ELEMENTI

- 1 Coppetta di colata
- 2 Fascio di fibre ripiegate a U
- 3 Parete microporosa della fibra
- 4 Lume, canale interno della fibra
- 5 Poliuretano bicomponente
- 6 Risalita capillare della resina nei lumi
- 7 Piano di taglio
- 8 Fetta asportata
- 9 Lume aperto sulla faccia tagliata

CHIAVE DEI SEGNI

- Poliuretano bicomponente
- Parete microporosa della fibra
- Lume (canale interno)
- Piano di taglio
- Fetta asportata

Figura 140
Funzionamento fibre cave



LEGENDA Figura 140

PERCORSO DELL'ACQUA

1. Carbone attivo
2. Rete in polipropilene
3. Fibre cave ripiegate a U
4. Ingresso dell'acqua attraverso il carbone
5. Discesa dell'acqua nei lumi
6. Tappo di resina
7. Faccia tagliata
8. Uscita dell'acqua filtrata

CHIAVE DEI SEGNI

- Percorso dell'acqua
- Carbone attivo
- Rete in polipropilene
- Fibra cava: parete e lume
- Tappo di resina
- Faccia tagliata

6.8.2 – Interfaccia con l'utente

L'utente deve riconoscere immediatamente quale flusso ha selezionato. Zerodrop adotta perciò un'interfaccia essenziale, leggibile a colpo d'occhio e priva di elementi da interpretare.

Per rendere intuitivo il funzionamento della leva, alle icone si è preferito il ricorso ad associazioni cromatiche e di posizione. La leva è divisa verticalmente in due colori: la porzione di destra richiama un anello dello stesso colore collocato anch'esso sul lato destro del filtro a carbone attivo. Di conseguenza, la leva spostata verso sinistra attiva il nebulizzatore.

Per quest'ultimo, la distinzione tra flusso continuo e flusso nebulizzato è affidata a una striscia adesiva applicata frontalmente al di sopra di esso: la trama passa da piena, in corrispondenza del flusso continuo, a progressivamente rada, a indicare la trasformazione dell'acqua in nebbia. Seguendo l'adesivo con il pomello del nebulizzatore, l'utente può regolare in modo intuitivo il flusso non depurato e selezionare la funzione desiderata anche durante il funzionamento.

Entrambi i comandi restano accessibili anche in fase d'uso: nessuna selezione è definitiva e nessuna sequenza va rispettata, così che l'utente possa correggere la propria scelta in qualsiasi momento, anche a erogazione avviata. Leva e pomello sono inoltre azionabili con una sola mano, anche bagnata, condizione ricorrente nel contesto d'uso previsto.

Attraverso questi accorgimenti, l'utente utilizza Zerodrop senza legende né manuali, riconoscendo il flusso attivo fin dal primo utilizzo.



Figura 141
Elementi visivi

Figura 142
Rapporto antropometrico



6.8.3 – Analisi fluidodinamica del sistema

La portata (Q) all'interno di Zerodrop si mantiene costante lungo tutto il circuito idraulico. Per un rubinetto da cucina si stima una portata compresa tra 6 e 8 L/min.

Tramite la formula della perdita di carico si possono calcolare le differenze di pressione e velocità all'interno di Zerodrop. La formula è la seguente:

$$\Delta p = \text{costante} * \rho * v^2/2$$

Nella formula, Δp rappresenta la perdita di carico, cioè la differenza di pressione tra due punti del circuito idraulico.

Si distingue dalla pressione del fluido in un punto specifico e si ottiene sottraendo la perdita di carico alla pressione in un altro punto:

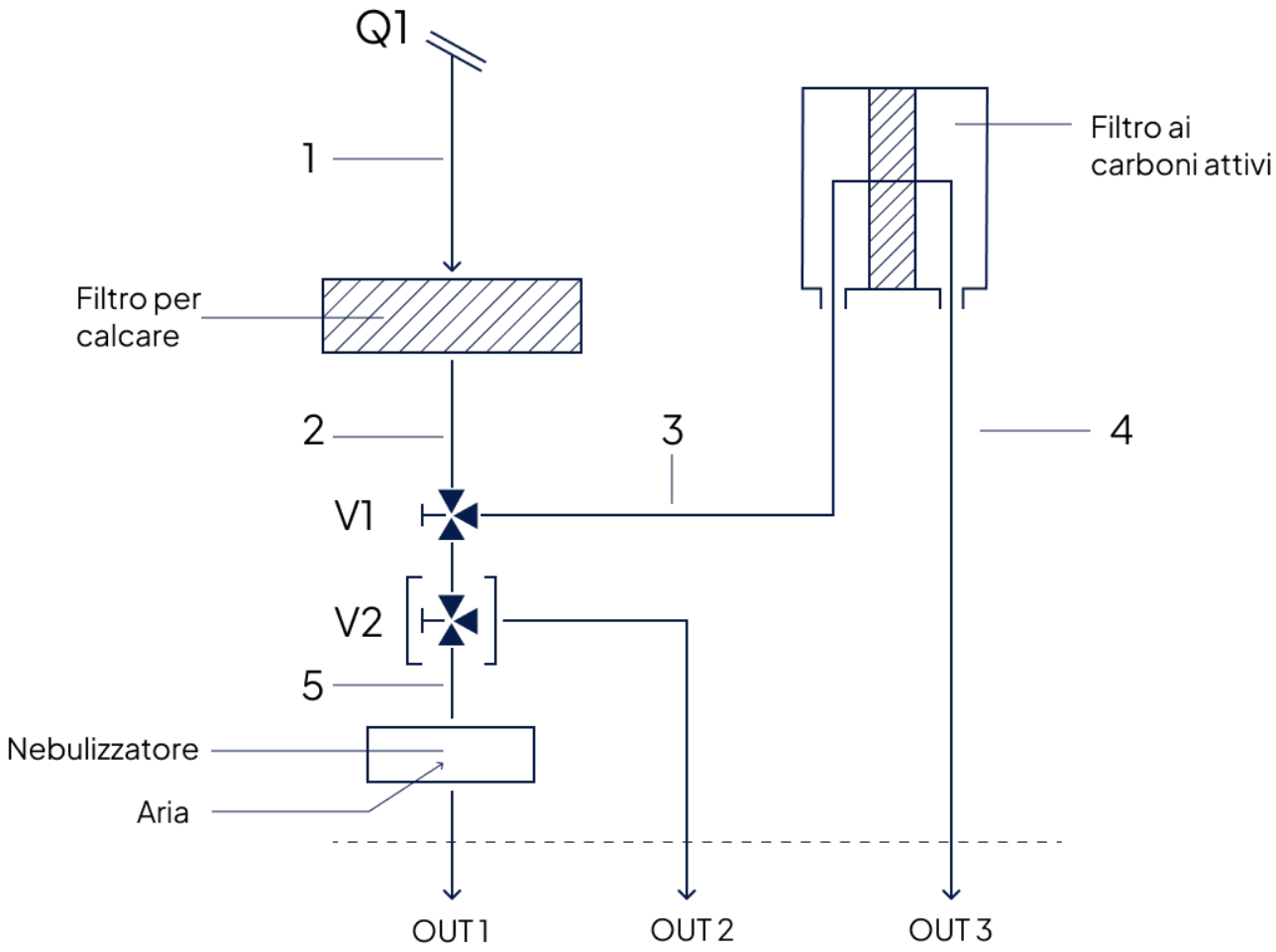
$$p2 = p1 - \Delta p$$

Si considera ρ, la densità, costante e uguale a 998 kg/m³ per l'acqua. Si arrotonda il valore a 1.000 kg/m³ per semplificare i calcoli.

Assumendo costanti la densità e il coefficiente della legge, le uniche grandezze variabili risultano essere la perdita di carico e la velocità, dove la prima è proporzionale al quadrato della seconda. La relazione tra le due grandezze è quadratica, quindi se v raddoppia, Δp quadruplica.

La pressione iniziale p1 è stimata di 3,5 bar in corrispondenza della fuoriuscita dal rubinetto.

Figura 143
Schema di funzionamento Zerodrop



6.9 – Fotografie modello

Figura 144
Modello fisico - Zerodrop



Figura 145
Modello fisico - Zerodrop



Figura 146
Modello fisico - Avvitamento calotta filtro



Figura 147
Modello fisico - Giunto a baionetta fase 3

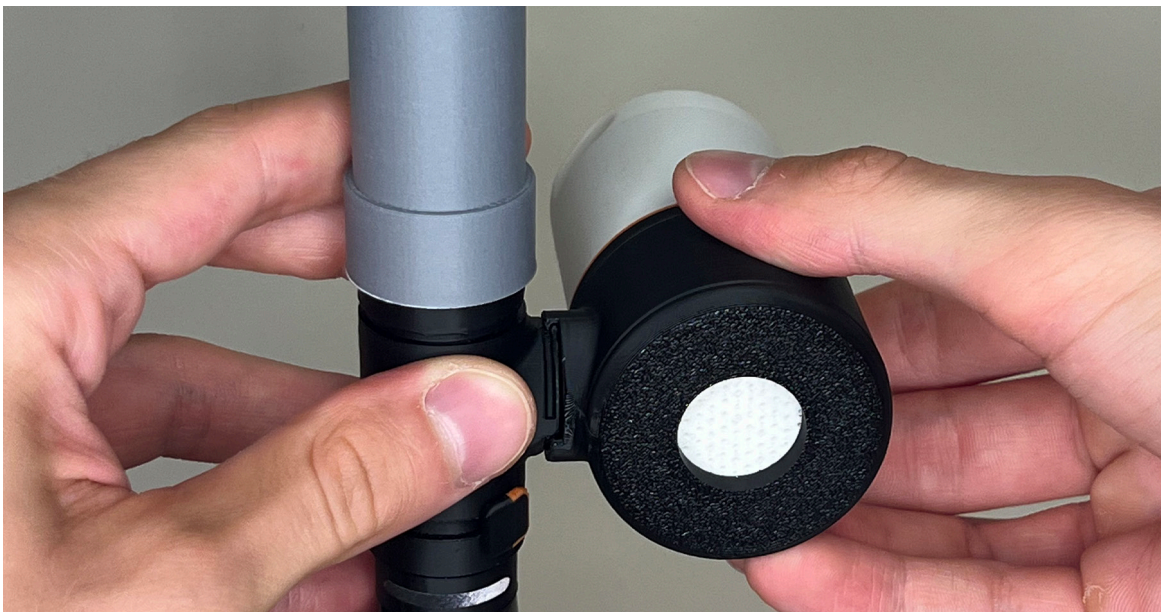


Figura 148
Modello fisico - Giunto a baionetta fase 2



Figura 149
Modello fisico - Giunto a baionetta fase 3



6.10 – Le due versioni di Zerodrop

Zerodrop nasce come soluzione progettata per ottenere un risparmio idrico concreto nell'ambiente domestico. Dopo un'attenta analisi si evince che i punti di erogazione in casa sono principalmente due: la cucina e il bagno. Questi due contesti, tuttavia, rispondono a esigenze d'uso profondamente diverse. In cucina l'acqua viene impiegata principalmente per il consumo diretto e per la preparazione degli alimenti; in bagno, invece, l'utilizzo è prevalentemente legato all'igiene personale. Il filtro a carbone attivo non è quindi necessario in entrambi gli ambienti, ma solo nel primo.

Si è quindi deciso di sviluppare due versioni diverse pensate per svolgere al meglio il loro scopo nel loro contesto di installazione. La versione completa, pensata per la cucina, ha sia il filtro a carbone attivo sia il nebulizzatore. In questo modo offre acqua sicura e aiuta a ridurre i consumi.

La versione per il bagno invece ha solo il nebulizzatore che permette di risparmiare acqua.

Togliere i componenti non necessari porta due vantaggi. Da una parte si abbassano i costi di produzione, dall'altra si riduce l'impatto sull'ambiente dovuto alla produzione e alla sostituzione periodica dei filtri. In questo modo Zerodrop si può installare su tutti i rubinetti di casa.

Questo conta perché il risparmio d'acqua non dipende da un solo Zerodrop, serve che il maggior numero possibile di dispositivi lavori insieme.





Figura 150
Versione Zerodrop da bagno

6.11 – Funzionamento

6.11.1 – Funzionamento del nebulizzatore

I nebulizzatori sono dispositivi che permettono di trasformare un flusso continuo di liquido in un flusso più scarico, formato da goccioline. Il processo è reso possibile attraverso degli ugelli che vengono utilizzati per scomporre un flusso di fluido in particelle più piccole tramite atomizzazione. La geometria dell'ugello determina il comportamento del fluido impattando direttamente su caratteristiche quali la distribuzione e l'ampiezza del getto e la dimensione delle goccioline prodotte (Lefebvre & McDonell, 2017). La frammentazione del liquido può essere ottenuta attraverso differenti configurazioni dell'ugello. In alcuni sistemi, il flusso viene fatto scorrere attraverso un'apertura di piccole dimensioni per poi direzionarlo verso una superficie, provocandone la disgregazione in goccioline molto fini (Chen & Yang, 2019); in altri sistemi, invece, il flusso attraversa una sezione ristretta del condotto, dove l'aumento di velocità provoca una diminuzione della pressione statica (effetto Venturi); di conseguenza, attraverso appositi canali laterali, un flusso d'aria si miscela con il liquido favorendone la frammentazione in goccioline fini (García et al., 2016).

Il funzionamento di un nebulizzatore dipende quindi dalla capacità dell'ugello di convertire il flusso liquido in uno spray attraverso specifiche condizioni di velocità, direzione e interazione del fluido con la geometria interna del dispositivo. La scelta della configurazione dell'ugello consente di ottenere differenti caratteristiche dello spray, rendendo possibile adattare la nebulizzazione alla specifica applicazione.



Figura 151
La nebulizzazione

6.11.2 – Funzionamento del filtro a carbone attivo

Parlando di carboni attivi ci si riferisce a dei materiali di origine vegetale caratterizzati da una struttura altamente porosa, che conferisce loro elevate capacità adsorbenti. Questa caratteristica dona loro ottime capacità filtranti, in quanto sono ottimi per rimuovere numerose sostanze inquinanti dall'acqua. A differenza dell'assorbimento, dove le particelle si "mescolano" ad un altro materiale, l'adsorbimento trattiene le impurità sulla superficie del carbone attivo.

Nello specifico, il filtro a carbone attivo è un estruso di carbone che viene attivato dal vapore caldo ad alte temperature (800-1000 °C) in condizioni di assenza di ossigeno, per aprire i suoi pori e formare perle nere porose o spugne nere porose. Questo processo di attivazione aumenta notevolmente la superficie del carbone, migliorando così la sua capacità di adsorbire le impurità. L'efficacia dipende dalla portata e dalla temperatura dell'acqua, quindi la maggior parte dei filtri al carbone deve essere utilizzata in condizioni di bassa pressione e acqua fredda (Shook, 2024).

Quando l'acqua grezza attraversa il filtro, l'estruso di carbone attivo rimuove efficacemente diverse sostanze nocive, riconducibili a tre categorie principali.

- **Composti organici.** Rientrano in questo gruppo i composti organici volatili (VOC) come benzene, toluene e dicloroetano, tipicamente presenti negli scarichi industriali e in alcuni prodotti per la pulizia domestica. Vi appartengono inoltre il cloro e i suoi sottoprodotti, in particolare i trialometani (THM) e il cloroformio, che si originano dalla reazione tra il cloro e le

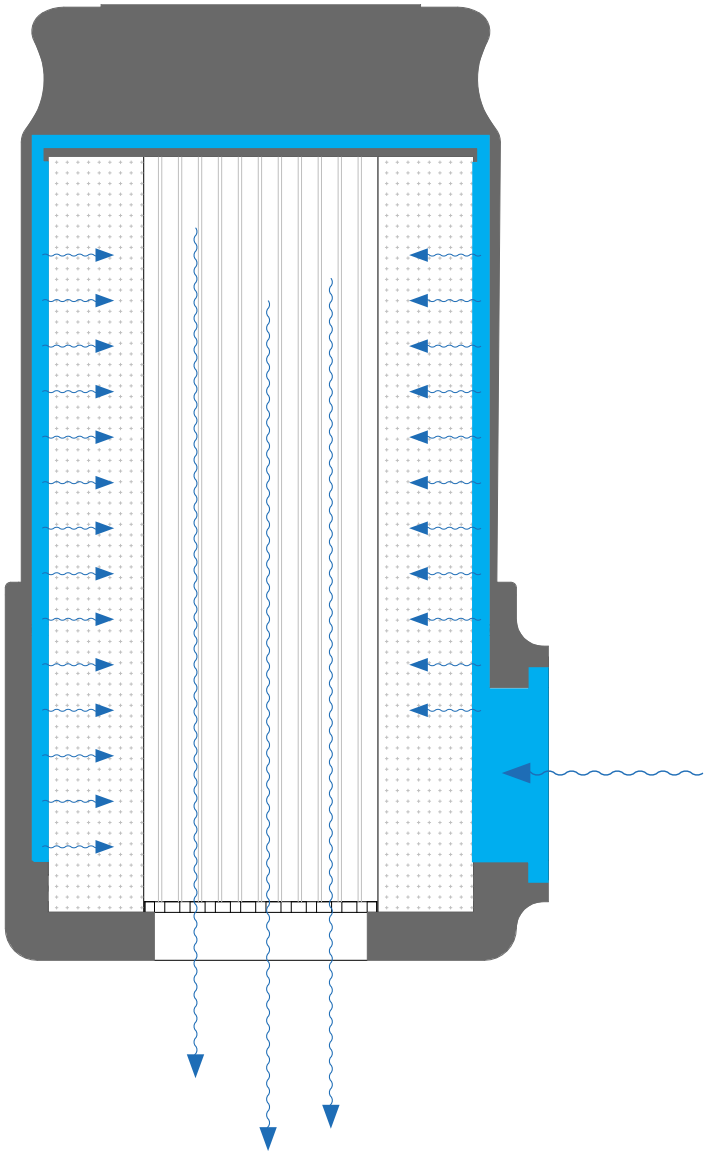
sostanze organiche durante il processo di disinfezione dell'acqua e che risultano dannosi per la salute se ingeriti per lunghi periodi. Infine, il filtro trattiene pesticidi ed erbicidi, come l'atrazina e il carbendazim, che raggiungono le acque superficiali e sotterranee attraverso il dilavamento dei terreni agricoli.

- **Odori e sostanze odorigene.** Il carbone attivo adsorbe il cloro residuo, attenuando il caratteristico odore di disinfettante, così come l'acido solfidrico, responsabile del tipico odore di uova marce, e gli odori di natura chimica, come quelli di vernici e detergenti.
- **Sostanze chimiche pericolose.** Il filtro è in grado di trattenere metalli pesanti quali piombo, mercurio e rame, che possono derivare da vecchie tubature o da inquinamento industriale, e gas nocivi come ozono, solfuri e ossidi di azoto. Rimuove inoltre una parte della contaminazione microbiologica, pur non essendo efficace contro tutti i microrganismi.

Nonostante l'ampio spettro d'azione, il filtro a carbone attivo presenta limiti precisi. Non rimuove i solidi totali disciolti (TDS), ossia i minerali come magnesio, potassio, sodio e calcio e i sali o metalli come il ferro; riduce solo parzialmente arsenico e amianto; ha un'efficacia limitata sui fluoruri e non trattiene i radionuclidi come uranio e radio. Anche alcuni composti organici tossici, in particolare le molecole di grandi dimensioni, sfuggono all'adsorbimento (Shook, 2024).

Proprio per compensare queste carenze, il carbone attivo è stato integrato con due mezzi filtranti complementari: le membrane a fibra cava e le particelle KDF. La logica dell'accoppiamento è che ciascuna tecnologia agisce secondo un principio fisico diverso, dall'adsorbimento superficiale alla reazione elettrochimica, fino all'esclusione dimensionale, così che i contaminanti sfuggiti a uno stadio vengano intercettati dal successivo.

Figura 152
Schema di funzionamento del filtro



- **Le membrane a fibra cava.** Si tratta di fasci di capillari polimerici microporosi che operano per ultrafiltrazione. L'acqua attraversa la parete della fibra e tutto ciò che ha dimensioni superiori al diametro dei pori — compreso tra 0,01 e 0,1 µm — viene trattenuto sulla superficie della membrana per esclusione sterica. La ritenzione non dipende quindi da alcun equilibrio chimico, ma da una barriera fisica assoluta, in grado di bloccare batteri, cisti protozoarie, colloidi, particolato e torbidità con efficienze dell'ordine del 99,999%; con pori nella fascia più fine viene trattenuta anche una parte significativa dei virus. Questo stadio colma, dunque, esattamente la lacuna più critica del carbone attivo, ossia l'inaffidabilità nei confronti della contaminazione microbiologica, e neutralizza al tempo stesso il rischio che il letto di carbone, privato del cloro residuo e mantenuto umido, diventi esso stesso un substrato di proliferazione batterica. A differenza dell'osmosi inversa, l'ultrafiltrazione funziona alla normale pressione di rete, non richiede alimentazione elettrica né produce acqua di scarto, e non sottrae all'acqua i sali minerali disciolti: una scelta coerente con l'obiettivo di potabilizzare senza demineralizzare (Pentair X-Flow, s.d.; Veolia Water Technologies, s.d.).
- **Le particelle KDF (Kinetic Degradation Fluxion).** Si tratta di una lega ad alta purezza di rame e zinco in forma granulare, che agisce per via elettrochimica attraverso reazioni di ossidoriduzione. Il contatto tra i due metalli, dotati di potenziali elettrochimici diversi, genera una coppia galvanica: lo zinco si

comporta da anodo sacrificale e cede elettroni, che vengono trasferiti alle specie contaminanti, trasformandole in composti innocui. Il cloro libero viene così ridotto a ione cloruro, solubile e inerte, con rimozioni fino al 99%. I metalli pesanti (piombo, mercurio, nichel, rame) vengono ridotti alla forma elementare e si depositano per placcatura sulla superficie dei granuli, restando fisicamente immobilizzati nel letto: è precisamente la categoria di contaminanti su cui il carbone attivo offre le garanzie minori. Il KDF possiede inoltre un'azione batteriostatica, dovuta sia al campo elettrolitico generato dalla reazione redox, in cui la maggior parte dei microrganismi non sopravvive, sia alla formazione di radicali ossidrilici e perossidi a partire dalle molecole d'acqua. Le particelle di KDF vengono aggiunte al filtro a carbone attivo durante la sua estrusione (Kymera International, s.d.; WaterFilterGuru, s.d.).

Il vantaggio della combinazione non è soltanto additivo, in quanto permette al KDF di abbattere il cloro per via chimica prima che raggiunga il letto adsorbente: quest'ultimo non deve più consumare i propri siti attivi per trattenerlo e può dedicarli integralmente ai composti organici, con un sensibile prolungamento della vita utile della cartuccia.

L'azione batteriostatica del KDF contrasta inoltre il fouling biologico e la formazione di incrostazioni all'interno del modulo, che rappresentano il principale meccanismo di degrado dei filtri a carbone. La fibra cava garantisce invece la barriera microbiologica di sicurezza sull'acqua in uscita.

Il risultato è un sistema in cui il carbone attivo lavora in condizioni ottimali e i suoi limiti intrinseci vengono compensati dagli altri due mezzi.

Per garantire un'elevata portata, il filtro deve offrire al flusso la maggiore superficie di ingresso possibile. L'elemento filtrante è perciò alloggiato in un guscio esterno che lascia un'intercapedine anulare: l'acqua da trattare avvolge l'intera superficie laterale della cartuccia, mentre la base risulta esclusa, in quanto è la sede dell'incastro del filtro. L'estruso di carbone attivo è dotato di una foratura assiale passante, che permette al flusso filtrato di defluire attraverso il foro inferiore.

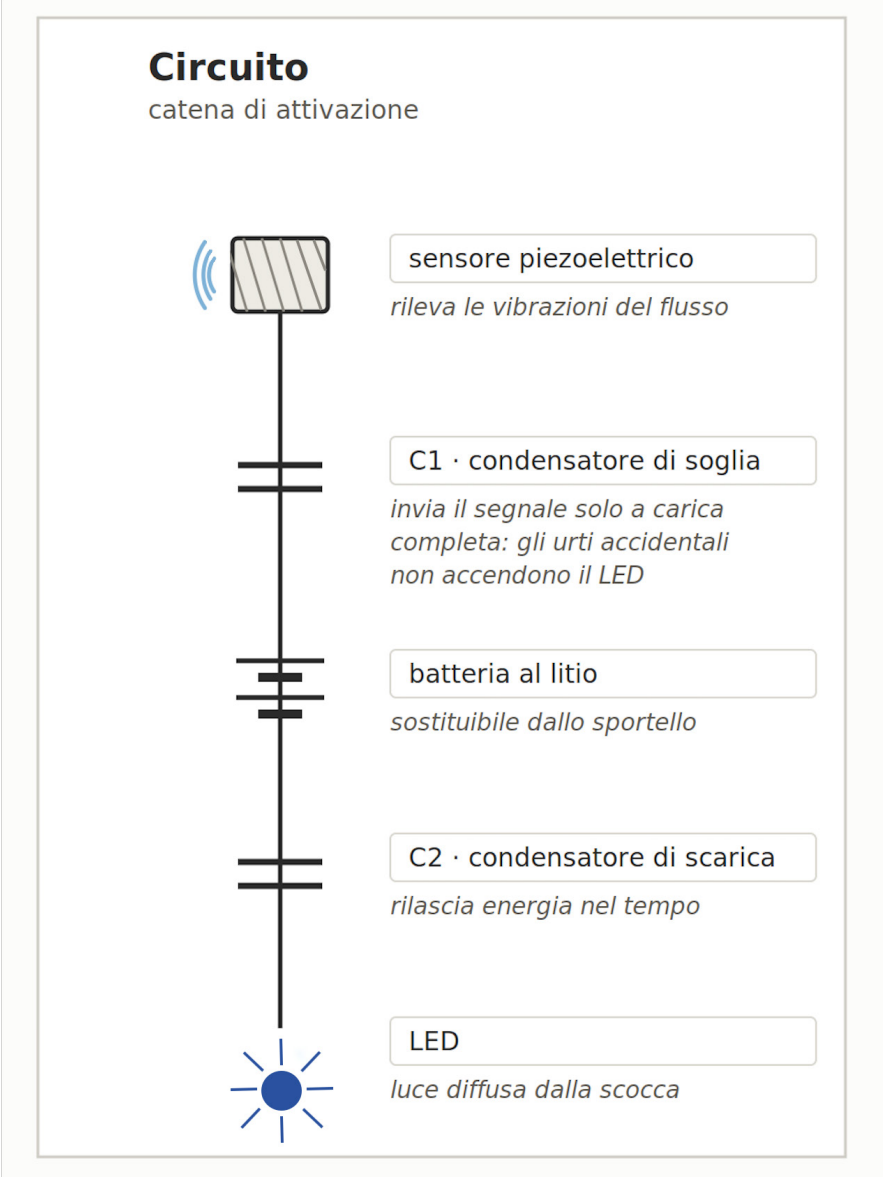
La geometria a flusso radiale non risponde però soltanto a un'esigenza idraulica. Ampliando la sezione di ingresso, essa riduce la velocità di attraversamento del mezzo poroso e allunga, di conseguenza, il tempo di contatto tra l'acqua e il carbone attivo: un parametro da cui dipende direttamente l'efficienza del processo di adsorbimento, poiché le molecole di contaminante necessitano di tempo per diffondere all'interno dei micropori e fissarsi sui siti attivi. Una configurazione a flusso assiale, a parità di volume di carbone, imporrebbe velocità locali molto più elevate e un tempo di purificazione insufficiente, con un abbattimento sensibilmente inferiore a parità di portata erogata.

6.11.3 – Funzionamento dell'indicatore luminoso

Zerodrop, nella sezione dedicata al filtraggio, presenta un LED di funzionamento. Esso è posizionato nella parte superiore all'interno della scocca in plastica trasparente satinata che contiene tutti gli elementi di filtraggio dell'acqua. Il suo posizionamento permette di avere una diffusione della luce attraverso il materiale stesso creando in questo modo un segnale facilmente percepibile ma non invasivo. Il risultato che si vuole ottenere con questo segnale verrà approfondito all'interno del paragrafo 7.1. Il LED si accende automaticamente all'apertura del flusso d'acqua tramite un sensore piezoelettrico che ne rileva le vibrazioni. Il circuito elettrico viene gestito attraverso due condensatori: il primo è caricato dal sensore piezoelettrico e una volta ultimata la carica invia il segnale alla batteria, in questo modo si evita un'accensione involontaria del LED dovuta ad urti accidentali, il secondo viene caricato dalla batteria e rilascia energia nel tempo generando una diminuzione progressiva di intensità luminosa con il passare dei secondi, fino a spegnimento completo. La durata del flusso luminoso è frutto di un'analisi sul consumo corretto che ogni utente dovrebbe avere nel momento di utilizzo di un rubinetto. Il risultato delle analisi ha portato all'identificazione di un tempo pari a 20 secondi.

L'intero circuito è posizionato nella parte superiore della sezione di filtraggio, e prevede uno sportello ad apertura manuale per la sostituzione di eventuali componenti danneggiati e per il ricambio della batteria a litio.

Figura 153
Circuito elettrico LED



6.12 – Materiali tradizionali e requisiti di leggerezza

	I rubinetti per uso domestico sono comunemente realizzati nei seguenti materiali:
Ottone	Lega di rame e zinco. Offre elevata resistenza alla corrosione, lunga durata e ottima lavorabilità alle macchine utensili. È il materiale più diffuso per il corpo del rubinetto.
Acciaio inox	Lega ferrosa contenente cromo, che forma uno strato passivante superficiale che impedisce la formazione di ruggine. A questa caratteristica igienica si aggiungono buona resistenza meccanica e una finitura apprezzata nelle cucine dall'estetica moderna o professionale.
Bronzo	Lega di rame e stagno. Presenta un'elevata resistenza alla corrosione e un aspetto rustico, infatti viene spesso collocato in arredamenti di stile classico.
Zama	Lega di zinco, alluminio, magnesio e rame. Consente costi di produzione contenuti e un'ottima fedeltà di riproduzione in pressofusione, a fronte di prestazioni meccaniche inferiori rispetto alle leghe di rame. È tipica dei prodotti di fascia economica.
Plastiche tecniche	Polimeri quali l'ABS e il PA. Garantiscono leggerezza e costi contenuti.

Il quadro appena delineato riguarda il corpo del rubinetto. Zerodrop, essendo un dispositivo avvitato alla bocca di erogazione, risponde a esigenze funzionali specifiche.

I materiali individuati come più adatti sono le plastiche tecniche. La valutazione è stata guidata principalmente dal peso complessivo del dispositivo: alla bocca del rubinetto non viene avvitato un

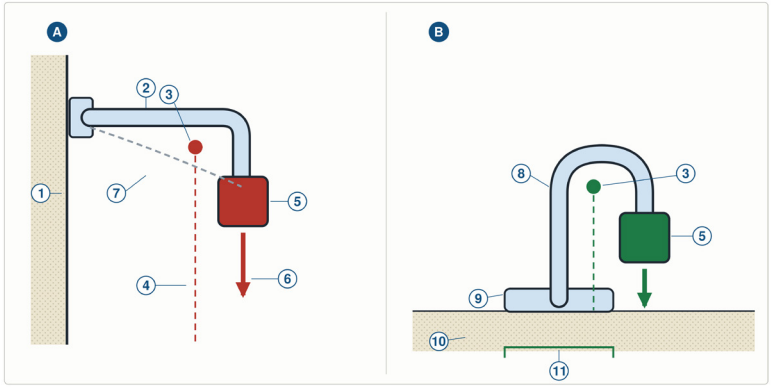
semplice rompigetto, bensì un sistema composto da più componenti, con un conseguente incremento della massa.

Nelle cucine contemporanee sono sempre più diffusi modelli con baricentro disassato rispetto all'asse di rotazione. In questi casi una massa aggiuntiva applicata all'estremità genera un momento flettente non trascurabile, che accelera l'usura del rubinetto (Figura 154).

Poiché l'universalità dell'aggancio è una delle linee guida del progetto, il dispositivo deve risultare affidabile su qualsiasi lavello, senza introdurre anomalie di funzionamento né aumentare la manutenzione richiesta. Le plastiche tecniche soddisfano questi requisiti combinando bassa densità, buona resistenza meccanica, facilità di lavorazione e una superficie facilmente pulibile.

Trattandosi di un dispositivo a contatto con acqua destinata al consumo umano, si impiega una plastica certificata secondo le normative vigenti per materiali e oggetti a contatto con acqua potabile ovvero il PA12.

Figura 154
Spostamento del baricentro in base al peso



LEGENDA Figura 154

CONFRONTO

- A — Sbraccio elevato - instabile
- B — Sbraccio contenuto - stabile

ELEMENTI

1. Parete e vincolo di fissaggio
2. Braccio a sbalzo
3. Baricentro combinato
4. Verticale del baricentro
5. Corpo sospeso
6. Forza peso
7. Flessione e cedimento del braccio
8. Struttura a portale appoggiata a terra
9. Base d'appoggio
10. Suolo
11. Ampiezza della base d'appoggio

CHIAVE DEI SEGNI

- Baricentro: caso instabile e caso stabile
- Verticale del baricentro
- Forza peso applicata
- Struttura portante
- Deformazione del braccio
- Muratura o suolo

6.13 – Produzione e scelta del materiale

La produzione di Zerodrop pone tre vincoli progettuali distinti.
Il primo è l'elevato numero di componenti caratterizzati da dettagli di piccole dimensioni.
Il secondo riguarda la tenuta idraulica: i giunti tra i componenti devono garantire accoppiamenti precisi, poiché ogni tolleranza eccessiva si traduce in possibili perdite d'acqua.
Il terzo è di natura industriale: in uno scenario di produzione reale, la tecnologia adottata deve consentire una fabbricazione seriale sostenibile in termini di tempi ciclo e costi unitari.
Sulla base di questi requisiti è stata selezionata la sinterizzazione laser selettiva (Selective Laser Sintering, SLS) con polvere di poliammide 12 (PA12). Sul piano della risoluzione il processo consente di risolvere dettagli fino a circa 0,3 mm, con spessori di parete minimi dell'ordine di 1 mm, valori compatibili con la scala dei particolari del prodotto (Materialise, s.d.). Sul piano geometrico l'assenza di strutture di supporto (il letto di polvere non sinterizzata sostiene il pezzo) permette sottosquadri e cavità interne senza i difetti superficiali lasciati dalla rimozione dei supporti e senza le distorsioni che tale rimozione può introdurre (EOS, 2026). Va però considerato che la polvere intrappolata deve essere evacuata: le cavità richiedono fori di scarico di diametro non inferiore a 1 mm, e i canali interni non inferiore a 3 mm (Materialise, s.d.). Sul piano produttivo, il nesting tridimensionale sfrutta l'intero volume di lavoro impilando i pezzi senza vincoli di supporto, rendendo possibile la produzione di lotti completi in un unico ciclo (EOS, 2026).

Per quanto riguarda gli accoppiamenti, la tecnologia impone i propri limiti: l'accuratezza dimensionale standard è dell'ordine di ±0,3%, e per parti accoppiate si raccomanda un gioco minimo di 0,5–0,6 mm (Materialise, s.d.). I giunti a tenuta vanno quindi dimensionati su questi valori e non assumendo la precisione dello stampaggio a iniezione.

La scelta del PA12 discende dalla destinazione d'uso del prodotto. Tra le poliammidi è la meno igroscopica: il contenuto di umidità all'equilibrio è pari a circa 1,5% in peso (Patadia, 2005) e l'assorbimento d'acqua per immersione si attesta intorno all'1,3% (Evonik Operations, s.d.). La variazione dimensionale conseguente al contatto prolungato con l'acqua è pertanto contenuta. A questo si aggiungono caratteristiche meccaniche (tenacità e resistenza all'urto) che le fonti di settore indicano come comparabili a quelle di termoplastici tradizionali quali l'ABS (EOS, 2026).

Il pezzo sinterizzato presenta però una porosità residua non trascurabile: i valori riportati in letteratura per il PA12 SLS coprono un intervallo ampio, da 0,7% a 16% in funzione dei parametri di processo, ma si concentrano tipicamente tra 2,5% e 4,8%, con un valore medio intorno al 4% e un diametro dei pori dominante tra 120 e 180 µm (Morano & Pagnotta, 2023). Le conseguenze sono due. La prima è che il pezzo grezzo non può essere considerato a tenuta: in condizioni di immersione il PA12 SLS assorbe acqua per capillarità fino a saturazione, con un incremento di massa del 5,47% raggiunto in circa 36 ore (oltre quattro volte l'assorbimento del PA12 massivo) e l'assorbimento innesca idrolisi della

catena polimerica, con aumento della cristallinità e riduzione delle proprietà meccaniche a compressione (Zheng et al., 2022). La seconda è che una superficie rugosa e porosa favorisce l'adesione batterica e la formazione di biofilm, con evidenza sperimentale consolidata (Noble et al., 2018).

Per queste ragioni i componenti sono sottoposti a un trattamento di vapor smoothing: l'esposizione controllata a vapori di solvente rifonde gli strati superficiali del pezzo lasciando inalterato il nucleo, chiudendo la porosità aperta e riducendo la rugosità. Su polvere PA12 il trattamento porta la rugosità media a 2,33 µm Ra, con una riduzione del 75% rispetto al pezzo grezzo; l'analisi al microscopio mostra la rimozione completa di materiale non sinterizzato, cavità e porosità superficiale, con una superficie finale liscia e sigillata (Formlabs & Additive Manufacturing Technologies, s.d.). Il trattamento produce tre benefici. Riduce l'assorbimento di liquidi: su cubetti di 1 cm di lato immersi 24 ore in acqua salina al 3,5%, l'incremento di massa scende da 0,10% a 0,07%, e su solventi organici la riduzione è di un ordine di grandezza (Formlabs & Additive Manufacturing Technologies, s.d.). Migliora la pulibilità igienica: su PA12 trattato si misura una riduzione del 61% della crescita di MRSA e del 32% di E. coli (ISO 22196) (Formlabs & Additive Manufacturing Technologies, s.d.). Conferisce infine una finitura semilucida, opaca e uniforme, assimilabile a quella di un componente stampato a iniezione, preservando le proprietà meccaniche entro pochi punti percentuali (Formlabs & Additive Manufacturing Technologies, s.d.).

Figura 155
PA12



Nota. Immagine tratta da PA12 SLS Black, di CRP Technology, s.d.

Figura 156
Selective laser sintering SLS



Nota. Immagine tratta da Everything You Need to Know About SLS 3D Printing, di MatterHackers, 2025.

Capitolo 7

Dalla nebbia alla nebbia



7 – Dalla nebbia alla nebbia

I due dispositivi che collaborano all'interno del progetto Nebel hanno alla loro base un legame che nasce dalle micro-gocce di acqua.

Il primo dispositivo, Zerodrop, trasforma l'acqua in nebbia riducendone la quantità impiegata e di conseguenza gli sprechi, mentre il secondo, Everydrop, cattura la nebbia per trasformarla in acqua accessibile a tutti. È da questa presenza universale della nebbia in entrambi i prodotti che nasce il nome del progetto, Nebel.

È proprio da questo meccanismo ciclico del ridurre dove c'è e dare dove manca, sfruttando un principio comune ma applicato in modo totalmente differente, che nasce la necessità di un filo di sensibilizzazione che instauri un legame tra gli utenti delle due soluzioni.

Questo legame è invisibile a occhio nudo, data la distanza geografica tra i due dispositivi: chi installa un dispositivo sul proprio rubinetto compie un gesto quotidiano in Italia, mentre l'impianto che contribuisce a finanziare viene costruito a migliaia di chilometri di distanza, in un territorio che non conosce e che non vedrà mai.

Questa distanza costituisce l'ostacolo più grande del progetto, poiché se il collegamento tra i due gesti resta invisibile l'acquisto, e di conseguenza il progetto, si esaurisce nel momento in cui avviene: l'utente non percepisce alcun effetto, non ha ragione di modificare il proprio comportamento, e il contributo che ha versato diventa indistinguibile da una qualsiasi donazione.

Il sistema continuerebbe a funzionare sul piano economico, l'utente acquista Zerodrop e finanzia in parte la costruzione di Everydrop, ma fallirebbe sull'obiettivo di sensibilizzazione di chi vive nell'abbondanza.

Questo voler rendere partecipi al progetto gli utenti di entrambi i dispositivi non è quindi soltanto una volontà, ma una vera e propria necessità progettuale.

I paragrafi che seguono riportano le modalità tramite cui il progetto affronta questa necessità: la definizione del tipo di messaggio da veicolare, l'analisi delle soluzioni già esistenti, e i due livelli su cui la risposta si sviluppa, ovvero il dispositivo stesso, che dà visibilità al consumo effettivo, e una piattaforma digitale che mostra dove quel consumo risparmiato si trasforma in acqua disponibile.

7.1 – La definizione del messaggio

La sensibilizzazione che si vuole instaurare all'interno del progetto vuole concentrarsi principalmente all'interno dei contesti di abbondanza, dove vi è una mancata percezione dello spreco e del valore della risorsa. Da ciò è stato definito che la sensibilizzazione non poteva essere solamente precedente all'acquisto, ma vi era una necessità di farla nascere come conseguenza dell'interazione che si crea tra progetto e utente.

Questa interazione avviene su due livelli differenti: sul dispositivo in termini fisici, come interazione quotidiana, e tramite un'interfaccia digitale.

Dopo aver identificato il momento e il luogo in cui la sensibilizzazione avrebbe ottenuto il risultato voluto, e prima di definire la modalità comunicativa da adottare, è stata necessaria un'analisi sulla tipologia di messaggio da veicolare. In base alla scelta della tipologia di sensibilizzazione, la forma, il meccanismo e l'efficacia di essa avrebbero portato a esiti completamente diversi.

Le prime ipotesi prese in considerazione seguivano un approccio di tipo correttivo. L'idea alla base era quella di voler dare l'impatto più dirompente possibile tramite: segnali acustici all'apertura, indicatori luminosi di colore rosso al superamento di una soglia, forme di interruzione o di penalizzazione del getto che avrebbero compromesso la funzionalità del dispositivo.

Si tratta nel complesso di soluzioni semplici e comuni in molti dispositivi di monitoraggio dei consumi, tutte accomunate dal voler segnalare all'utente di aver sbagliato.

Tramite un'analisi più approfondita sono emerse criticità che han-

no portato alla rimozione del messaggio punitivo come possibilità. Come osservato da Täuber et al. (2015), l'inquadramento morale negativo dei messaggi persuasivi, come i frame di colpa, può costituire una minaccia all'immagine di sé e alla moralità della persona, generando reazioni difensive anziché il comportamento atteso. Andando nello specifico dei prodotti, la ricerca ha mostrato che gli appelli espliciti alla colpa risultano controproducenti sulle preferenze dei consumatori, mentre l'attivazione più sottile dell'autoresponsabilità produce reazioni più positive verso i messaggi etici (Peloza et al., 2013).

Il principale rischio che si corre è che si crei un distacco tra l'utente e il dispositivo: l'utente sviluppa fastidio verso lo strumento che segnala il suo comportamento, fino a disattivarlo o a ignorarlo, non modificando il proprio comportamento. Questo è un meccanismo riconducibile alla teoria della reattanza psicologica (Brehm, 1966), secondo cui un messaggio percepito come coercitivo può generare resistenza attiva anziché adesione.

In questo modo la sensibilizzazione non raggiunge gli obiettivi preposti e si esaurisce insieme alla volontà dell'utente di sopportare il segnale e di usare il dispositivo.

Un ulteriore fattore che ha delineato lo spostamento dell'interesse verso altre soluzioni rispetto a un inquadramento morale negativo è la comprensione dell'origine del problema dello spreco. Lo spreco d'acqua in contesti urbani, per la maggior parte delle situazioni, non è consapevole: nessuno apre il rubinetto con l'intenzione di sprecare, ma è semplicemente il risultato di una man-

canza di percezione del problema.

Utilizzare quindi un meccanismo punitivo agirebbe completamente sul piano sbagliato, punendo chi non è a conoscenza del problema.

L'attenzione si è quindi spostata verso una nuova direzione, ovvero verso la volontà di affidare all'utente la libertà di trarre le proprie conclusioni.

Questo avviene tramite gesti che rendono visibile il problema, senza interrompere l'azione ma accompagnandola, che agiscono durante l'utilizzo del prodotto senza criticare o giudicare, ma lasciando un messaggio.

La ricerca condotta da Fishbach et al. (2010) mostra che l'efficacia del feedback dipende dal livello di esperienza di chi lo riceve.

Per i principianti, il feedback positivo è più motivante perché segnala un aumento dell'impegno e riduce l'insicurezza iniziale, facendo percepire l'obiettivo come raggiungibile.

Al contrario, per chi ha un'esperienza consolidata il feedback negativo risulta più efficace: non servendo più rassicurazioni, la critica costruttiva diventa un'informazione preziosa per correggere i dettagli, superare i plateau di stallo ed evitare il compiacimento (Fishbach et al., 2010).

Questa ricerca risulta chiave nell'analisi del problema: una volta identificato che il problema risiede nella non conoscenza della dinamica di spreco, risulta chiaro che vi è la necessità di un feedback positivo.

7.2 – Analisi casi studio

Identificata la tipologia di messaggio da veicolare, è stata condotta un'analisi per comprendere in che modo i dispositivi esistenti abbiano affrontato la tematica del consumo idrico eccessivo.
Sono stati identificati quattro gruppi principali, che al loro interno racchiudono soluzioni differenti. La suddivisione non fa riferimento a una classificazione esistente, ma è stata elaborata ai fini dell'analisi.
I quattro raggruppamenti differiscono per il registro comunicativo utilizzato, ovvero per il modo in cui il dispositivo si interfaccia con l'utente:

Il registro correttivo

Il dispositivo segnala all'utente che sta sbagliando e può intervenire interrompendo l'erogazione. Il messaggio indica un limite e ne sanziona il superamento.

Il registro emotivo

Il dispositivo affida il messaggio a un simbolo che suscita compassione o senso di colpa.

Il registro progressivo

L'intervento agisce sull'abitudine, il risultato finale non è frutto di una singola azione, ma di una quotidianità ripetuta.

Il registro informativo

Il dispositivo si limita a restituire un dato, senza esprimere alcun giudizio.

Il registro correttivo

Oras Eterna con funzione EcoLed

Azienda:

Oras Ltd

Designer:

Oras

Prezzo:

/

Anno:

2015 → 2018

Caratteristiche:

Pulsante EcoLed

Tempo massimo di flusso

4 minuti

Oras Eterna si avvia premendo il pulsante EcoLed, che aziona a sua volta una spia verde che inizia a lampeggiare.

Nel caso in cui l'erogazione dell'acqua cessi entro due minuti, la spia verde continua a lampeggiare premiando una doccia ecologica, mentre nel caso in cui la doccia ecceda i due minuti una spia rossa lampeggia e a quattro minuti il rubinetto si chiude automaticamente. L'erogazione può essere riavviata in qualsiasi momento premendo nuovamente il pulsante EcoLed.

Il dispositivo combina un rinforzo positivo iniziale con una sanzione crescente, fino a interrompere il funzionamento del prodotto: è il caso che meglio illustra il limite dell'approccio coercitivo, poiché l'utente perde completamente il controllo sul dispositivo e non riceve in cambio nessuna informazione di supporto.

Figura 157
Oras Eterna (funzione EcoLed)



Nota. Tratto da Oras Eterna, di Oras, s.d. Copyright di Oras Ltd. Riprodotto ai sensi dell'art. 70 della L. 633/1941 per finalità di studio.

Hydrao Aloé

Il soffione sfrutta una micro turbina idroelettrica per alimentare dei LED che colorano il getto d'acqua. Il colore che questi LED attribuiscono al getto varia in funzione del volume consumato, passando dal verde al blu, al viola, al rosso, fino al lampeggio oltre la soglia massima.

L'azienda descrive il proprio approccio come una spinta gentile, ma la codifica cromatica resta di tipo valutativo, il rosso è convenzionalmente un segnale di errore.

Tramite un collegamento Bluetooth all'app Hydrao è possibile verificare i propri consumi, la quantità d'acqua risparmiata negli ultimi dodici mesi e il risparmio economico in euro.

Azienda:

Smart & Blue, Grenoble

Designer:

G. Della Monica — Hydrao

Prezzo:

79-89 €

Anno:

2015

Caratteristiche:

Micro-turbina

LED

Riduttore di flusso integrato

Collegamento Bluetooth

all'app Hydrao

Figura 158
Hydrao Aloé



Nota. Tratto da Hydrao Aloé: Smart eco-showers using nudges to change users behaviour, di Solar Impulse Foundation, 2019 Copyright 2019 di Solar Impulse Foundation. Riprodotto ai sensi dell'art. 70 della L. 633/1941 per finalità di studio.

Il registro emotivo

Amphiro a1

Azienda:

Amphiro AG, spin-off ETH Zurigo

Designer:

/

Prezzo:

60–70 €

Anno:

2009

Caratteristiche:

Display

Micro-turbina

Collegamento a servizio online

Amphiro a1 è un piccolo dispositivo studiato per essere posizionato tra il flessibile e la doccetta. Non necessita di batterie: un generatore interno ricava dal flusso dell'acqua l'energia necessaria al proprio funzionamento. Un display, durante tutta la durata della doccia, mostra in tempo reale la quantità di acqua ed energia che si sta consumando, e al termine assegna una classe di efficienza energetica compresa tra A+ e G-. Nella versione a1 arctic, accanto ai dati sul display compare l'immagine di un orso polare su una lastra di ghiaccio che si scioglie progressivamente man mano che il consumo aumenta. Amphiro fa leva su un danno lontano e simbolico, l'orso polare, che con il rubinetto di casa non ha alcun legame diretto, generando un senso di compassione.

Figura 159
Amphiro a1



Nota. Tratto da About, di Amphiro, s.d. Copyright di Amphiro AG. Riprodotto ai sensi dell'art. 70 della L. 633/1941 per finalità di studio.

Poor Little Fish

Poor Little Fish è un concept di un lavabo sviluppato per il London Design Festival del 2009.

Il designer Yan Lu ha deciso di incorporare una boccia per pesci, il cui livello d'acqua si abbassa man mano che il flusso di acqua scorre, per poi risalire alla chiusura del rubinetto. Il trucco risiede nell'effettiva separazione dei due condotti: in questo modo la boccia non si svuoterà mai, e la vita del pesce non è realmente in pericolo.

L'autore, tramite questo trucco, vuole persuadere il consumatore a riflettere sul risparmio, rendendo tangibile il consumo e facendo leva sul senso di colpa.

Azienda:

/

Designer:

Yan Lu

Prezzo:

Concept

Anno:

2009

Caratteristiche:

Boccia contenente un pesce rosso

Due condotti separati

Figura 160
Poor Little Fish



Nota. Tratto da Poor Little Fish Basin: Your fish will die if you waste water!, di TheFuture, 2010, Tuvie. Progetto di Yan Lu. Riprodotto ai sensi dell'art. 70 della L. 633/1941 per finalità di studio.

Il registro progressivo

Waterpebble

Azienda:

Priestmangoode

Designer:

P. Priestman

Prezzo:

5-11 €

Anno:

2009

Caratteristiche:

Dispositivo mobile

Memoria di utilizzo

LED multi colore

Dispositivo mobile da collocare in prossimità dello scarico della doccia. In questo modo Waterpebble riesce a memorizzare la durata della prima doccia, prendendola come riferimento per le successive. A ogni utilizzo successivo, in modo automatico, riduce leggermente la soglia entro la quale un segnale luminoso verde segnala un consumo consapevole di acqua.

Waterpebble vuole modificare gradualmente le abitudini dell'utente senza che esso ne sia completamente consapevole. La volontà è quella di raggiungere un cambiamento graduale nel tempo, applicando un giudizio che scaturisce dal passaggio dal verde al rosso nel momento in cui l'erogazione dell'acqua risulta eccessiva. È il caso che meglio esemplifica la logica del nudge (Thaler & Sunstein, 2008), ovvero di un intervento che modifica il comportamento senza vietare nulla.

Figura 161
Waterpebble



Nota. Tratto da Water Pebble watches you (and your water usage) in the shower, di J. Salton, 2010, Refractor. Progetto di Paul Priestman, Priestmangoode. Riprodotto ai sensi dell'art. 70 della L. 633/1941 per finalità di studio.

Il registro informativo

Delta TempSense

Un sensore permette ad un LED posizionato alla base del rubinetto di indicare, tramite una gamma di colori definita, la temperatura dell'acqua, passando dal blu per l'acqua fredda fino al magenta e al rosso per l'acqua calda.

L'utente in questo modo è consapevole anche a flusso chiuso della temperatura di erogazione, e si eliminano in questo modo quei secondi di incertezza o di apertura incontrollata dell'acqua per il raggiungimento della temperatura ottimale.

Caso studio chiave per dimostrare come una semplice informazione possa produrre del risparmio senza giudizi.

Azienda:

Delta faucet

Designer:

/

Prezzo:

/

Anno:

2014

Caratteristiche:

Sensore di rilevazione del calore

LED multicolore

Figura 162
Delta TempSense



Nota. Tratto da TempSense, di Delta Faucet, s.d. Copyright di Delta Faucet Company. Riprodotto ai sensi dell'art. 70 della L. 633/1941 per finalità di studio.

7.3 – Il primo livello: il dispositivo

Come anticipato precedentemente, la soluzione si sviluppa su due livelli differenti. La prima soluzione identificata è integrata all'interno di Zerodrop: un indicatore luminoso simula il principio della candela, per cui all'apertura del rubinetto un sensore piezoelettrico attiva una luce LED che si accende inizialmente alla massima intensità e si affievolisce progressivamente fino a spegnersi nell'arco della tempistica ideale di utilizzo.

Il funzionamento del LED non fornisce indicazioni numeriche né emette avvisi: semplicemente rende visibile il tempo durante il quale l'acqua sta scorrendo.

Il valore di questa soluzione risiede nel conservare una libertà per l'utente. Non riceve un'istruzione da eseguire né un rimprovero da subire, ma avrà un segnale silenzioso che fornisce uno stimolo. Il dispositivo si limita a restituire una misura, e lascia che sia chi la osserva a regolarsi di conseguenza.

Il LED, di colore ocra, riprende la tonalità della sabbia del Namib, e il suo effetto si protrae nel tempo e negli utilizzi. Un rubinetto viene aperto decine di volte nel corso di una giornata, e ogni volta l'indicatore ripropone la stessa informazione senza mai insistere. La consapevolezza che Nebel punta a instaurare sarà quindi il frutto di un continuo rimando silenzioso e della creazione di una familiarità tra oggetto e utente, e non il risultato di un singolo momento di attenzione.

Figura 163
LED spento



Figura 164
LED acceso



A confermare l'effettiva validità della soluzione identificata, a livello di possibili risultati raggiungibili, viene riportato di seguito un esperimento condotto da Verena Tiefenbeck e dal suo gruppo di ricerca.

Il team ha condotto due esperimenti sul campo con l'obiettivo di identificare l'effettivo risultato che si potrebbe ottenere dando un feedback immediato alle persone sul proprio consumo, anche senza alcun tipo di incentivo esterno come una remunerazione.

Nel primo esperimento hanno fornito feedback con dati reali, monitorando le persone mentre facevano la doccia, in tempo reale. Il risultato ottenuto durante i due mesi dell'esperimento ha riportato una riduzione del 22% dell'acqua e dell'energia usate, rimasto stabile durante tutta la durata dell'esperimento senza mostrare segni di desensibilizzazione nell'arco delle settimane (Tiefenbeck et al., 2018).

Il secondo esperimento è stato concepito per verificare la validità del fenomeno escludendo la possibilità di essere influenzati da incentivi economici.

Sono stati quindi presi come campione di analisi gli ospiti di hotel inconsapevoli di partecipare a una ricerca, e anche in questo contesto, su un campione di 265 camere in 6 hotel, il feedback in tempo reale ha generato una riduzione dell'11,4% nel consumo energetico (Tiefenbeck et al., 2019).

Figura 165
La luce di Zerodrop



7.4 – Il secondo livello: la piattaforma

Il secondo livello di sensibilizzazione è dove le due facce del progetto dialogano tra di loro e dove la distanza geografica viene meno. Tramite un sito web dedicato è infatti possibile partecipare ai principali momenti del ciclo di Nebel.

- **L'ingresso nel sistema Nebel:** il ciclo di Nebel nasce con l'acquisto di un dispositivo Zerodrop. Tramite la piattaforma online è infatti possibile acquistare le diverse configurazioni di Zerodrop ed eventualmente decidere se sottoscrivere la fornitura periodica di filtri tramite abbonamento. L'abbonamento è strutturato in modo tale da rendere il processo di utilizzo del dispositivo il più comodo possibile: basta un click per avere a disposizione ogni tre mesi il ricambio adatto e pronto all'uso. Questa possibilità di selezione dell'abbonamento non si limita solo a una funzione economica, ma va oltre, garantendo un contatto ricorrente tra l'utente e il progetto. Questo legame risulta fondamentale per la creazione di una familiarità e di un senso di comunità tra progetto e utente.
- **La restituzione dell'impatto:** l'impatto avuto tramite l'acquisto di Zerodrop è chiaramente esplicitato nella sezione di acquisto, dove viene riportato che per ogni dispositivo da lavandino acquistato 10 euro saranno investiti per la costruzione di Everydrop. Tramite l'acquisto vi è la possibilità di avere accesso alla propria area riservata, che consente a ciascun acquirente di verificare l'effetto del proprio acquisto attraverso tre livelli di informazione.
  - Il primo è il dato sulla quantità d'acqua resa disponibile grazie



Figura 166
Il sito

al proprio contributo, espressa in litri e aggiornata nel tempo.

- Il secondo è il tracciamento dello specifico impianto finanziato: tramite un codice identificativo è possibile seguire le diverse fasi della sua realizzazione (approvvigionamento dei materiali, logistica e trasporto, installazione sul sito), ciascuna con la propria percentuale di avanzamento.
- Il terzo è il quadro complessivo, dove vengono riportati il numero di installazioni attive, i cantieri in corso e il volume d'acqua prodotto quotidianamente dall'insieme degli impianti, con una mappa che ne restituisce la distribuzione geografica.

Questa struttura permette di personalizzare l'esperienza dell'utente, che si interfaccia con l'apporto che ha effettivamente avuto sul progetto. In questo modo si riesce a restituire all'utente un riscontro personale e tracciabile anziché un'informazione generica.

Nella pagina dedicata alla missione del progetto è possibile accedere in modo totalmente gratuito alla documentazione tecnica per la costruzione di un Everydrop, dando la libertà di poter apportare modifiche e migliorie per adattarlo alle condizioni specifiche del luogo di installazione. Everydrop viene infatti distribuito con licenza CERN-OHL-S (CERN, 2020).

La collocazione di questa sezione non è casuale: la documentazione gratuita non è collegata all'acquisto né riservata ai clienti, ma appartiene alla parte del sito in cui il progetto dichiara le proprie finalità. Chi costruisce un impianto Everydrop non deve necessariamente aver acquistato un dispositivo Zerodrop.

Tramite questa possibilità di completa libertà di modifica, un im-

CERN-OHL-S

La CERN Open Hardware Licence Version 2 – Strongly Reciprocal (CERN-OHL-S) è una licenza libera per progetti hardware. Trasferisce all'hardware la logica del copyleft del software libero: chiunque riceva il progetto può usarlo, studiarlo, modificarlo, distribuirlo e fabbricarne prodotti, a condizione che ogni versione modificata — e ogni progetto che incorpori quello licenziato — sia resa disponibile con la medesima licenza, corredata della documentazione completa necessaria a riprodurla: schemi, file CAD, distinta base e istruzioni di produzione (CERN, 2020). È la più vincolante delle tre varianti della versione 2, accanto alla W (reciprocità debole) e alla P (permissiva), ed è riconosciuta dalla Open Source Initiative, che le assegna l'identificativo SPDX CERN-OHL-S-2.0 (Open Source Initiative, 2021.).

Figura 167
Il sito - La missione

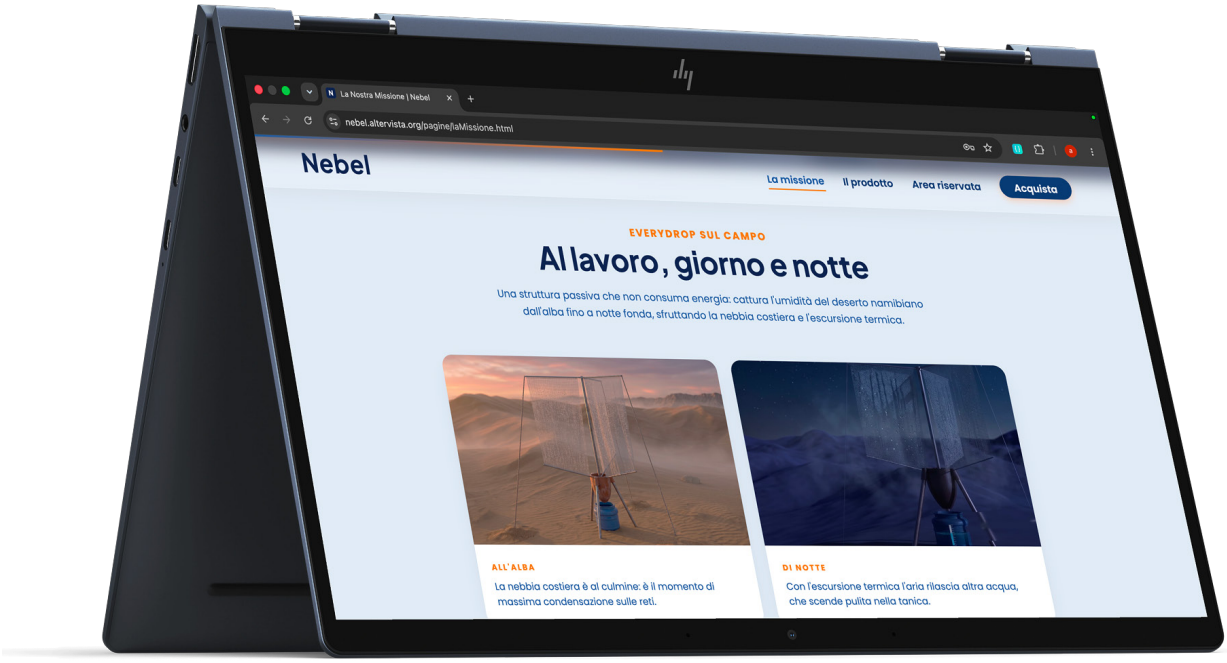
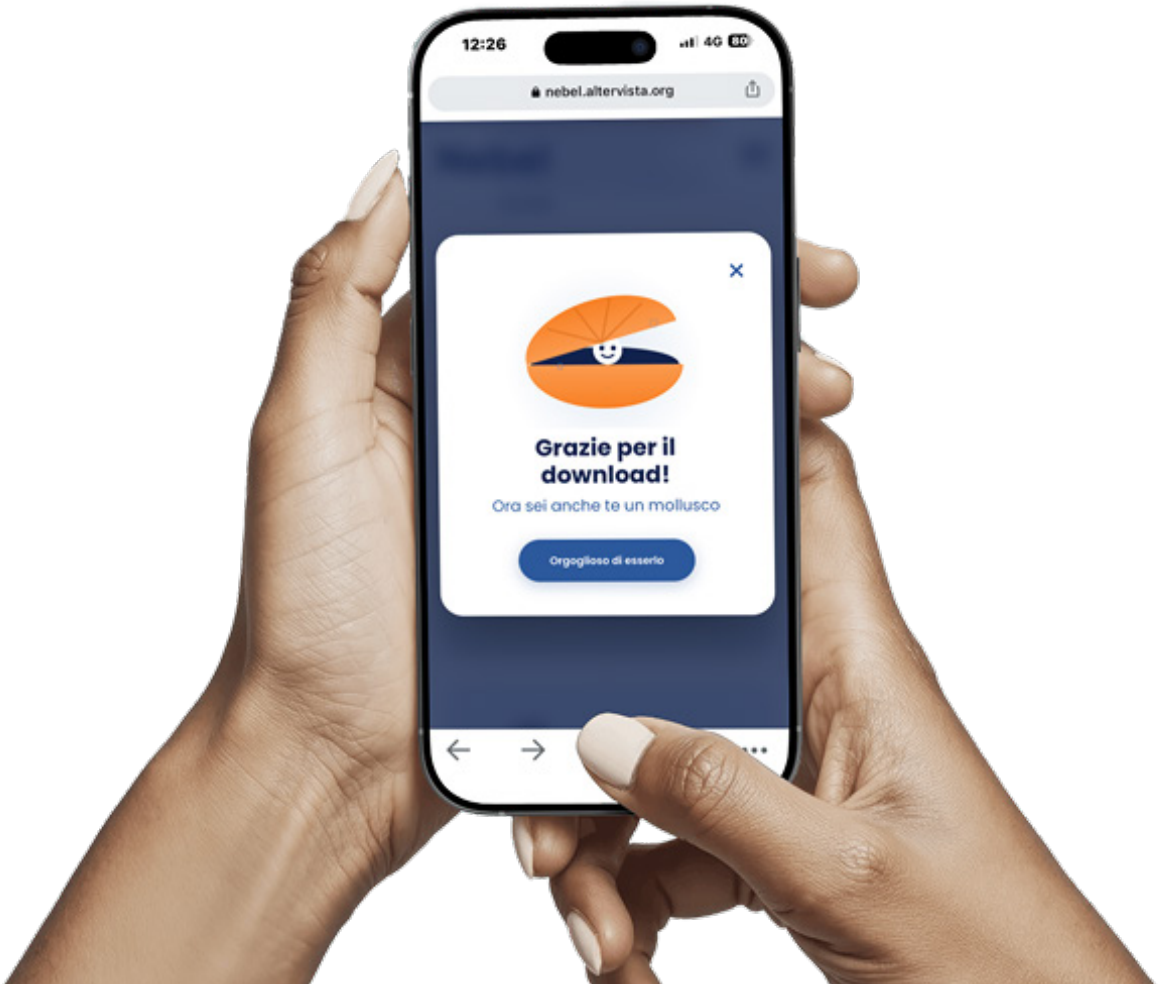


Figura 168
Il sito - Open design



pianto Everydrop può essere costruito, mantenuto e adattato direttamente da chi lo usa, indipendentemente dalla presenza di chi lo ha progettato o da parti terze.

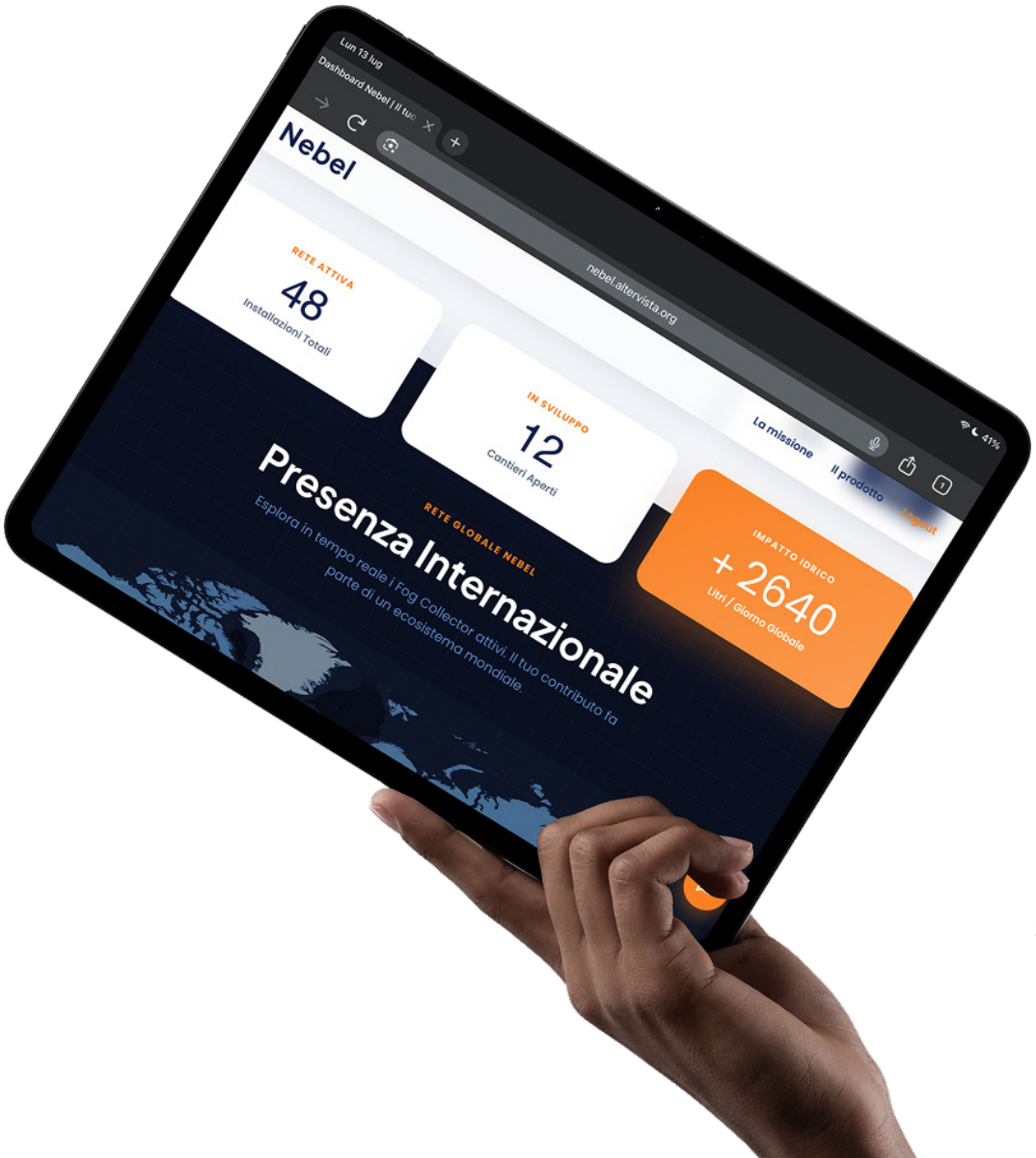
Questa è la ragione per cui il progetto può durare. Nebel si limita a fornire una possibile configurazione di risposta al problema, che necessita della creazione di un sistema di relazione intorno a essa per farla funzionare nel miglior modo possibile.

I due livelli descritti, il LED direttamente sul prodotto e il sito interattivo, operano su tempi diversi e si sostengono a vicenda: il primo rende visibile la causa, il secondo l'effetto. L'indicatore luminoso agisce nell'immediato e in modo continuo, rendendo percepibile il consumo nel momento in cui avviene; la piattaforma agisce nel lungo periodo, mostrando dove quel risparmio si trasforma in disponibilità.

Lo sviluppo delle due fasi consente la costruzione di una relazione in cui ciascuna parte riconosce l'effetto della propria azione sull'altra. La nebbia prodotta da un rubinetto per risparmiare acqua torna a essere acqua nel luogo in cui la nebbia è l'unica fonte disponibile.

Figura 169
Esplora il nostro sito!

Figura 170
Il sito - L'area riservata



8 - Conclusioni

La fase di ricerca

Il percorso presentato nelle pagine precedenti è nato da una semplice domanda, in che modo il design possa intervenire su una crisi che non dipende da esso ma che attraversa e si relaziona quotidianamente con gli oggetti che il design stesso produce.

Il campo d'azione si è stretto attorno alla crisi idrica globale essendo l'acqua l'unica risorsa di rilevanza planetaria priva di alternative e al tempo stesso l'unica che passa fisicamente e ripetutamente attraverso le mani delle persone nel corso di ogni giornata.

L'analisi condotta nei primi due capitoli ha permesso di capire e individuare la dimensione e le caratteristiche del fenomeno di crisi idrica, evidenziando come esso non sia uniforme sul pianeta ma assuma forme diverse in base a quali componenti della filiera dell'acqua sono assenti: risorsa, infrastrutture e qualità.

Nel terzo capitolo sono state indagate le tecnologie di raccolta e purificazione dell'acqua. L'analisi ha mostrato che le tecnologie funzionano se inserite nel giusto contesto, ma ha anche fatto emergere come innumerevoli progetti siano falliti per la mancanza di continuità e la fragilità sistemica delle soluzioni.

Da queste considerazioni è nata l'ipotesi di progetto dell'intero lavoro.

La risposta progettuale

Nebel fonda le sue radici nel riconoscere la crisi idrica come un fenomeno a due facce interdipendenti. Da una parte l'abbondanza che impedisce la corretta percezione dello spreco e dall'altra l'assenza della risorsa.

Rispondere a una sola delle facce produrrebbe, molto probabilmente, una risposta parziale destinata ad esaurirsi nel tempo.

La risposta di Nebel si articola su due dispositivi complementari, Zerodrop agisce nei contesti di abbondanza, riducendo il consumo e sensibilizzando l'utente attraverso un segnale luminoso che cambia la percezione e "mostra" il consumo altrimenti invisibile.

Everydrop agisce nei contesti di assenza, rendendo disponibile una risorsa già presente nell'atmosfera ma spesso non sfruttata.

Una parte dell'acquisto di Zerodrop finanzia la costruzione di Everydrop nei luoghi dove c'è necessità. Il legame dei due prodotti non è solo una questione finanziaria, che altrimenti si esaurirebbe nel momento dell'acquisto, bensì una relazione continua e duratura che si basa su più livelli.

Il primo, fisico e quotidiano che agisce sull'immediato e rende percepibile il consumo.

Il secondo digitale e differito, rende visibile l'effetto e restituisce a ciascun utente un riscontro personale e tracciabile. È questo livello che cerca di avvicinare e cancellare la distanza geografica tra i due contesti di applicazione.

Prospettive di sviluppo

I prossimi passi che dovrebbe compiere il progetto Nebel per concretizzarsi sono:

- **La prototipazione dei due dispositivi e la loro validazione tecnica**. Con l'obiettivo di verificare la reale resa di Everydrop e l'effettiva riduzione dei consumi di Zerodrop.

- **Costruzione di una rete di partner e relazioni sul territorio namibiano.** Condizione necessaria affinché l'installazione degli impianti si radichi in una rete locale esistente anziché sovrapporsi a essa.

- **Estensione e ampliamento del modello**. La struttura a due facce sviluppata in questa tesi non è vincolata alla coppia di contesti individuata e potrebbe essere applicata ad altri scenari di scarsità, con le opportune riconfigurazioni tecniche, mantenendo invariato il principio di interdipendenza che la sostiene.

Considerazioni finali

Il progetto Nebel non propone una soluzione alla crisi idrica globale, né potrebbe farlo. Propone una configurazione possibile, che riconosce nel design non lo strumento per risolvere il problema, ma il mezzo attraverso cui esso può essere reso visibile e affrontato nel punto in cui le persone lo incontrano: l'oggetto quotidiano che eroga la risorsa.

In questo senso, il valore del lavoro non risiede unicamente nei due dispositivi, ma nella relazione che essi istituiscono. La nebbia prodotta da un rubinetto per risparmiare acqua torna a essere acqua nel luogo in cui la nebbia è l'unica fonte disponibile: è in questo ciclo, materiale e insieme simbolico, che il progetto trova la propria misura e la ragione della propria continuità.

Bibliografia

Abdiyev, K., Azat, S., Kuldeyev, E., Ybyraiymkul, D., Kabdrakhmanova, S., Berndtsson, R., Khalkhabai, B., Kabdrakhmanova, A., & Sultakhan, S. (2023). Review of slow sand filtration for raw water treatment with potential application in less-developed countries. Water, 15(11), 2007. https://doi.org/10.3390/w15112007

African Development Bank, Economic Commission for Africa, African Union, & UN-Water/Africa. (2000). The Africa water vision for 2025: Equitable and sustainable use of water for socioeconomic development. African Development Bank. https://www.afdb.org/fileadmin/uploads/afdb/Documents/Generic-Documents/african%20water%20vision%202025%20to%20be%20sent%20to%20wwf5.pdf

Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente della Basilicata. (s.d.). Caratteristiche invaso artificiale. Recuperato il 5 agosto 2026 da https://www.arpab.it/invaso-del-pertusillo/caratteristiche-invaso-artificiale/

Aguamarket. (2016, 2 dicembre). Un dispositivo que permite obtener agua de la niebla. https://www.aguamarket.com/tema-interes.asp?id=3900&tema=Un+dispositivo+que+permite+obtener+agua+de+la+niebla

Alitec. (s.d.). Coliformi. Consultato il 26 agosto 2026, da https://www.alitec.it/coliformi/

Amadu, F. (2023, 14 luglio). Pozzi artesiani e pozzi freatici: le differenze. Fratelli Amadu Trivellazioni. https://www.pozziartesianiamadutrivellazioni.com/pozzi-artesiani-pozzi-freatici-differenze

Amphiro. (s.d.). About. Recuperato il 23 agosto 2026 da https://www.amphiro.com/
Arora, S. (2024). Primo piano di un tubo di plastica che perde all'aperto con acqua che goccia [Fotografia]. Pexels. https://www.pexels.com/it-it/foto/acqua-tubo-plastica-fisso-15206136/

Alleanza Italiana per lo Sviluppo Sostenibile. (2022). L'Italia e gli Obiettivi di Sviluppo Sostenibile: Rapporto ASviS 2022. ASviS. https://asvis.it/public/asvis2/files/Rapporto_ASviS/Rapporto_ASviS_2022/RapportoASviS2022.pdf

Autorità europea per la sicurezza alimentare. (s.d.). Chi siamo. Consultato il 26 agosto 2026, da https://www.efsa.europa.eu/it/about/about-efsa

Bäras. ([2006]). [Fotografia di Moloch horridus]. Wikimedia Commons. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Thornydevil.jpg

BASF. (s.d.). Raccogliere acqua dall'atmosfera. Recuperato il 5 agosto 2026 da https://www.basf.com/it/it/who-we-are/core-topics-old/resources-environment-and-climate/harvesting-water-from-the-air

Bawa, A. (2026). Uomini anziani riuniti in una tradizionale capanna africana [Fotografia]. Pexels. https://www.pexels.com/it-it/foto/uomini-anziani-riuniti-in-una-tradizionale-capanna-africana-35788485/

Belachew, M. (2025). Vita rurale in una tradizionale fattoria africana [Fotografia]. Pexels. https://www.pexels.com/it-it/foto/vita-rurale-in-una-tradizionale-fattoria-africana-32990662/

Bertelli, M. (2025). Camper in uno scenario montano sotto un cielo azzurro [Fotografia]. Pexels. https://www.pexels.com/it-it/foto/alberi-veicolo-erba-recinto-7163691/

Bioguía. (2016, 21 novembre). Un dispositivo que permite obtener agua ¡de la niebla!https://www.bioguia.com/innovacion/un-dispositivo-que-permite-combatir-la-escasez-de-agua-con-la-niebla_29291818.html

Bonardo, L. (2022). Cosa è il pH, come si misura e come influenza la vita di tutti i giorni. Geopop. https://www.geopop.it/cosa-e-il-ph-come-si-misura-e-come-influenza-la-vita-di-tutti-i-giorni/

Bonnel, J. M. (2023). Sbarre di inondazione abbassate sul canale [Fotografia]. Pexels. https://www.pexels.com/it-it/foto/paesaggio-canale-fiume-urbano-17761547/

Brehm, J. W. (1966). A theory of psychological reactance. Academic Press.

BRITA. (s.d.). ON TAP Pro V-MF. Recuperato il 23 agosto 2026 da https://www.brita.it/sistema-filtro-acqua/on-tap/on-tap-pro-v-mf-sistema-filtrante

Bruni, C. (2025). Agroforestazione: cos'è, a cosa serve e perché è un'opportunità per le aziende agricole. Etifor. https://www.etifor.com/it/aggiornamenti/agroforestazione/

Byerly, D., & Gallery, K. (2025). MapMaker: World water gap. National Geographic Society. https://education.nationalgeographic.org/resource/mapmaker-world-water-gap/

Campisano, A., Butler, D., Ward, S., Burns, M. J., Friedler, E., DeBusk, K., Fisher-Jeffes, L. N., Ghisi, E., Rahman, A., Furumai, H., & Han, M. (2017). Urban rainwater harvesting systems: Research, implementation and future perspectives. Water Research, 115, 195–209. https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.02.056

Campus Creativo, Universidad Andrés Bello. (2016, 16 novembre). Diseñador chileno crea atrapanieblas tridimensional para enfrentar la escasez de agua. https://campuscreativorepositorio.unab.cl/disenador-chileno-crea-atrapanieblas-tridimensional-para-enfrentar-la-escasez-de-agua/

Castelnuovo, R., & NJR_ZA. (s.d.). Multiflash [Schema]. Wikimedia Commons. Recuperato il 23 agosto 2026 da https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Multiflash.svg

Catalyze Group. (s.d.). Horizon Europe: All information, deadlines, FAQs & more. Recuperato il 10 agosto 2026 da https://www.catalyze-group.com/horizon-europe-funding/

Catania, A. (s.d.-a). Conducibilità elettrica. YouMath. Consultato il 26 agosto 2026, da https://www.youmath.it/lezioni/fisica/elettricita/4912-conduttivita-elettrica.html

Catania, A. (s.d.-b). Irraggiamento. YouMath. Consultato il 26 agosto 2026, da https://www.youmath.it/lezioni/fisica/termodinamica/3651-irraggiamento.html

Centre for Science and Environment. (2024). State of Africa's environment 2024. Centre for Science and Environment.

CERN. (2020). CERN Open Hardware Licence Version 2 – Strongly Reciprocal (CERN-OHL-S-2.0). https://ohwr.org/cern_ohl_s_v2.txt

Chen, X., & Yang, V. (2019). Recent advances in physical understanding and quantitative prediction of impinging-jet dynamics and atomization. Chinese Journal of Aeronautics, 32(1), 45–57. https://doi.org/10.1016/j.cja.2018.10.010

Chu, J. (2023, 27 settembre). Desalination system could produce freshwater that is cheaper than tap water [Articolo con fotografia di J. Gao e Z. Xu]. MIT News. https://news.mit.edu/2023/desalination-system-could-produce-freshwater-cheaper-0927

Ciboulette. (2026). Diga grigia sotto il cielo blu [Fotografia]. Pexels. https://www.pexels.com/it-it/foto/diga-grigia-sotto-il-cielo-blu-574024/

Civic264. (s.d.). Desert Research Foundation of Namibia. Consultato il 26 agosto 2026, da https://www.civic264.org.na/environment/drfn

Civita, M. (2005). Idrogeologia applicata e ambientale. Casa Editrice Ambrosiana.

Climate KIC. (s.d.). Europe 2030 missions. Recuperato il 10 agosto 2026 da https://www.climate-kic.org/programmes/europe-2030-missions/

Colonna, N. (2020). La diffusione di sistemi di raccolta e conservazione dell'acqua piovana: Una valida opzione per le piccole imprese agricole familiari. Geotema, 63, 68–72. https://www.ageiweb.it/geotema/63_colonna/

Comanns, P., Buchberger, G., Buchsbaum, A., Baumgartner, R., Kogler, A., Bauer, S., & Baumgartner, W. (2015). Directional, passive liquid transport: The Texas horned lizard as a model for a biomimetic "liquid diode". Journal of the Royal Society Interface, 12(109), 20150415. https://doi.org/10.1098/rsif.2015.0415

Comitato dei Ministri per la tutela delle acque dall'inquinamento. (1977). Deliberazione 4 febbraio 1977. Criteri, metodologie e norme tecniche generali di cui all'art. 2, lettere b), d) ed e), della legge 10 maggio 1976, n. 319. Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana, n. 48 (supplemento ordinario), 21 febbraio 1977.

Comitato Italiano per l'UNICEF. (2024). Mission e storia. https://www.unicef.it/missione-e-storia/

Concern Worldwide. (2025, 2 aprile). The global water crisis, explained. https://www.concern.net/news/global-water-crisis-explained

Concern Worldwide. (s.d.). Concern Worldwide: International humanitarian and development organisation. Consultato il 26 agosto 2026, da https://www.concern.net/

Consorzio di Bonifica Integrale della Piana di Venafro. (s.d.). Opera di presa. Consultato il 25 agosto 2026, da https://www.bonificavenafro.it/il-consorzio/l-impianto-irriguo/opera-di-presa.html

CRP Technology. (s.d.). PA12 SLS Black: Nylon per stampa 3D SLS. Consultato il 25 agosto 2026, da https://www.crp-group.com/it/materiali/pa12-sls-black/

Curto, D., Franzitta, V., & Guercio, A. (2021). A review of the water desalination technologies. Applied Sciences, 11(2), 670. https://doi.org/10.3390/app11020670

Da Deppo, L., Datei, C., & Salandin, P. (2004). Sistemazione dei corsi d'acqua (5ª ed.). Libreria Internazionale Cortina.

Decreto legislativo 8 ottobre 2011, n. 176, Attuazione della direttiva 2009/54/CE sull'utilizzazione e la commercializzazione delle acque minerali naturali, Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana n. 258 del 5 novembre 2011. https://www.gazzettaufficiale.it/eli/id/2011/11/05/011G0218/sg

Decreto legislativo 23 febbraio 2023, n. 18, Attuazione della direttiva (UE) 2020/2184 concernente la qualità delle acque destinate al consumo umano, come modificato dal decreto legislativo 19 giugno 2025, n. 102, Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana n. 55 del 6 marzo 2023, Supplemento ordinario n. 8. https://www.gazzettaufficiale.it/eli/id/2023/03/06/23G00025/sg

Decreto legislativo 19 giugno 2025, n. 102, Disposizioni integrative e correttive del decreto legislativo 23 febbraio 2023, n. 18, di attuazione della direttiva (UE) 2020/2184, Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana n. 153 del 4 luglio 2025, Supplemento ordinario n. 24. https://www.gazzettaufficiale.it/eli/id/2025/07/04/25G00106/SG

Dedering, U. (s.d.). Namibia relief location map [Mappa]. Wikimedia Commons. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Namibia_relief_location_map.jpg

Del Bianco, S. (2024, 1 ottobre). Dal KAUST il sistema di raccolta dell'acqua atmosferica che sfrutta la gravità. Rinnovabili. https://www.rinnovabili.it/clima-e-ambiente/acqua/sistema-raccolta-acqua-atmosferica/

Delso, D. (2018). Stenocara gracilipes, parco nazionale del Namib-Naukluft, Namibia [Fotografia]. Wikimedia Commons. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Stenocara_gracilipes,_parque_nacional_de_Namib-Naukluft,_Namibia,_2018-08-05,_DD_59.jpg

Delta Faucet. (s.d.). TempSense. Recuperato il 23 agosto 2026 da https://www.deltafaucet.com/design-innovation/innovations/kitchen/tempsense-indicator

Desert Research Foundation of Namibia. (s.d.-a). DRFN [Logo]. Civic264. https://www.civic264.org.na/environment/drfn

Desert Research Foundation of Namibia. (s.d.-b). Home. Recuperato il 5 agosto 2026 da https://www.drfn.org.na/

Di Bitonto, M. G., Kutlu, A., & Zanelli, A. (2023). Fog water harvesting through smart façade for a climate resilient built environment. In E. Arbizzani, E. Cangelli, C. Clemente, F. Cumo, F. Giofrè, A. M. Giovenale, M. Palme, & S. Paris (Eds.), Technological imagination in the green and digital transition (pp. 725–734). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-031-29515-7_65

Dodson, L. L., & Bargach, J. (2015). Harvesting fresh water from fog in rural Morocco: Research and impact — Dar Si Hmad's fogwater project in Aït Baamrane. Procedia Engineering, 107, 186–193. https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.06.073

Draney, M. L. (1993). The subelytral cavity of desert tenebrionids. Florida Entomologist, 76(4), 539–549. https://doi.org/10.2307/3495783

Duncan, F. D. (2003). The role of the subelytral cavity in respiration in a tenebrionid beetle, Onymacris multistriata (Tenebrionidae: Adesmiini). Journal of Insect Physiology, 49(4), 339–346. https://doi.org/10.1016/S0022-1910(03)00018-0

Eckardt, F. D., & Schemenauer, R. S. (1998). Fog water chemistry in the Namib desert, Namibia. Atmospheric Environment, 32(14–15), 2595–2599. https://doi.org/10.1016/S1352-2310(97)00498-6

EFSA Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies (NDA). (2010). Scientific opinion on dietary reference values for water. EFSA Journal, 8(3), 1459. https://doi.org/10.2903/j.efsa.2010.1459

EIT Climate-KIC. (s.d.). EIT Climate-KIC [Logo]. https://www.climate-kic.org/

Elimelech, M., & Phillip, W. A. (2011). The future of seawater desalination: Energy, technology, and the environment. Science, 333(6043), 712–717. https://doi.org/10.1126/science.1200488

Ente Italiano di Normazione. (2021). UNI EN 16941-2:2021. Sistemi per l'impiego di acqua non potabile in situ — Parte 2: Sistemi per l'utilizzo di acque grigie trattate. UNI.

EOS. (2026, 2 gennaio). Perché la stampa 3D SLS è pensata per la produzione, non solo per la prototipazione. EOS GmbH. https://www.eos.info/it/attuale/blog/2026/why-sls-3d-printing-is-built-for-production

Escobar, C. M., Lopez, A., Aristizabal, H. F., & Molina, J. M. (2010, 25–30 luglio). Operational fog collection and its role in environmental education and social reintegration: A case study in Colombia. 5th International Conference on Fog, Fog Collection and Dew, Münster, Germania.

European Environment Agency. (2025). Water savings for a water-resilient Europe (Briefing n. 05/2025). Publications Office of the European Union. https://www.eea.europa.eu/en/analysis/publications/water-savings-for-a-water-resilient-europe

Evonik Operations. (s.d.). VESTAMID® L2124 [Scheda tecnica]. Material Data Center. Recuperato il 10 agosto 2026 da https://www.materialdatacenter.com/ms/en/tradenames/Vestamid/Evonik+Operations+GmbH/VESTAMID%C2%AE+L2124/529a9bae/656

Falk, T., Bock, B., & Kirk, M. (2009). Polycentrism and poverty: Experiences of rural water supply reform in Namibia. Water Alternatives, 2(1), 115–137. https://www.water-alternatives.org/index.php/allabs/39-a2-1-8/file

Filtri Casa Facile. (s.d.). BRITA sistema di filtraggio dell'acqua ON TAP Pro V-MF >0,5 micron (filtra PFAS). Recuperato il 17 agosto 2026 da https://www.filtricasafacile.it/brita-on-tap-pro-v-mf-sistema-di-filtraggio-dell-acqua-0-5-micron-filtra-pfas-br1052073

Fishbach, A., Eyal, T., & Finkelstein, S. R. (2010). How positive and negative feedback motivate goal pursuit. Social and Personality Psychology Compass, 4(8), 517–530. https://doi.org/10.1111/j.1751-9004.2010.00285.x

Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2003). Review of world water resources by country (Water Reports 23). FAO. https://www.fao.org/4/y4473e/y4473e08.htm

Formlabs, & Additive Manufacturing Technologies. (s.d.). Enhancing the surface quality of SLS 3D printed parts with vapor smoothing: A collaborative study by Formlabs and AMT [White paper]. Recuperato il 10 agosto 2026 da https://formlabs.com/white-papers/enhancing-the-surface-quality-of-sls-3d-printed-parts-with-vapor/

García, J. A., Santolaya, J. L., Lozano, A., Barreras, F., & Calvo, E. (2016). Experimental characterization of the viscous liquid sprays generated by a Venturi-vortex atomizer. Chemical Engineering and Processing: Process Intensification, 105, 117–124. https://doi.org/10.1016/j.cep.2016.01.004

GbbIT. ([2005]). [Fotografia di Onymacris unguicularis]. Wikimedia Commons. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Onymacris_unguicularis.jpg

Gejwal, H. (2026). Serbatoio di accumulo dell'acqua esterno sul tetto [Fotografia]. Pexels. https://www.pexels.com/it-it/foto/serbatoio-di-accumulo-dell-acqua-esterno-sul-tetto-38215752/

Ghaffour, N., Bundschuh, J., Mahmoudi, H., & Goosen, M. F. A. (2015). Renewable energy-driven desalination technologies: A comprehensive review on challenges and potential applications of integrated systems. Desalination, 356, 94–114. https://doi.org/10.1016/j.desal.2014.10.024

Ghaffour, N., Missimer, T. M., & Amy, G. L. (2013). Technical review and evaluation of the economics of water desalination: Current and future challenges for better water supply sustainability. Desalination, 309, 197–207. https://doi.org/10.1016/j.desal.2012.10.015

Gobabeb Namib Research Institute. (s.d.). Gobabeb Namib Research Institute [Logo]. https://gobabeb.org/

Gomes, D. J. C., Beltrão, N. E. S., Dias, Y. A. S., & Maia, E. T. (2024). Eventos de inundação em anos extremos de Dipolo do Atlântico e La Niña no Arquipélago do Marajó. Revista Brasileira de Climatologia, 35(20), 378–400. https://doi.org/10.55761/abclima.v35i20.17577

Gomes, M. C. R. L., de Andrade, L. C., Barbosa, M. P., Lopes, B. C., & Mota Filho, C. R. (2024). Performance of traditional household drinking water treatment methods used in rural Amazon. Frontiers in Water, 6, 1392800. https://doi.org/10.3389/frwa.2024.1392800

Hasson, D., & Bendrihem, O. (2006). Modeling remineralization of desalinated water by limestone dissolution. Desalination, 190(1–3), 189–200. https://doi.org/10.1016/j.desal.2005.09.003

He, C., Liu, Z., Wu, J., Pan, X., Fang, Z., Li, J., & Bryan, B. A. (2021). Future global urban water scarcity and potential solutions. Nature Communications, 12(1), 4667. https://doi.org/10.1038/s41467-021-25026-3

Hillewaert, H. (2007). Stenocara gracilipes [Fotografia]. Wikimedia Commons. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Stenocara_gracilipes.jpg

Holcim Foundation for Sustainable Construction. (s.d.). Coastal fog-harvesting tower in Chile. Recuperato il 5 agosto 2026 da https://www.holcimfoundation.org/projects/coastal-fog-harvesting-tower

Imagine H2O. (s.d.). Imagine H2O [Logo]. https://www.imagineh2o.org/

Imagine H2O. (s.d.). Accelerator for water startups. Recuperato il 10 agosto 2026 da https://www.imagineh2o.org/accelerator/

Instituto Trata Brasil. (2026, 29 luglio). Norte é a região com menor investimento em saneamento do Brasil nos últimos cinco anos. https://tratabrasil.org.br/norte-regiao-menor-investimento-saneamento/

International Water Management Institute. (s.d.). About us. Consultato il 26 agosto 2026, da https://www.iwmi.org/about/

Isop, A. M. (2024). Terreno arido e crepato ad Alacant, Spagna [Fotografia]. Pexels. https://www.pexels.com/it-it/foto/sabbia-deserto-secco-suolo-12303812/

Istituto della Enciclopedia Italiana. (s.d.-a). Nebbia. In Vocabolario Treccani. Consultato il 26 agosto 2026, da https://www.treccani.it/vocabolario/nebbia/

Istituto della Enciclopedia Italiana. (s.d.-b). Rugiada. In Enciclopedia on line. Consultato il 26 agosto 2026, da https://www.treccani.it/enciclopedia/rugiada/

Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale. (2025). Invasi artificiali [Scheda indicatore, Annuario dei dati ambientali]. https://indicatoriambientali.isprambiente.it/it/pericolosita-sismica/invasi-artificiali

Izzi, A. (2022, 14 luglio). Dissalatori a osmosi inversa: cosa sono e come funzionano. Geopop. https://www.geopop.it/dissalatori-a-osmosi-inversa-cosa-sono-e-come-funzionano/

Jarimi, H., Powell, R., & Riffat, S. (2020). Review of sustainable methods for atmospheric water harvesting. International Journal of Low-Carbon Technologies, 15(2), 253–276. https://doi.org/10.1093/ijlct/ctz072

Kampus Production. (2024-a). Famiglia che trascorre tempo insieme all'aperto in una giornata di sole [Fotografia]. Pexels. https://www.pexels.com/it-it/foto/uomo-coppia-amore-persone-8730072/

Kampus Production. (2024-b). Uomo sorridente alla guida di un camper nella campagna portoghese [Fotografia]. Pexels. https://www.pexels.com/it-it/foto/uomo-veicolo-felice-contento-7967360/

Kaseke, K. F., & Wang, L. (2018). Fog and dew as potable water resources: Maximizing harvesting potential and water quality concerns. GeoHealth, 2(10), 327–332. https://doi.org/10.1029/2018GH000171

Kozisek, F. (2005). Health risks from drinking demineralised water. In Nutrients in drinking water (pp. 148–163). World Health Organization. https://iris.who.int/handle/10665/43403

Kymera International. (s.d.). KDF® filter media products for water treatment. Recuperato il 10 agosto 2026 da https://kdf.kymerainternational.com/products

Lee, S. (2025). Primo piano dettagliato di una corda con un nodo semplice [Fotografia]. Pexels. https://www.pexels.com/it-it/foto/corda-legato-nodo-avvicinamento-14571937/

Lefebvre, A. H., & McDonell, V. G. (2017). Atomization and sprays (2ª ed.). CRC Press. https://doi.org/10.1201/9781315120911

Leijnse, M., Bierkens, M. F. P., Gommans, K. H. M., Lin, D., Tait, A., & Wanders, N. (2024). Key drivers and pressures of global water scarcity hotspots. Environmental Research Letters, 19(5), 054035. https://doi.org/10.1088/1748-9326/ad3c54

Линк, В. (2026). Primo piano di una rete metallica con motivi intrecciati [Fotografia]. Pexels. https://www.pexels.com/it-it/foto/primo-piano-di-una-rete-metallica-con-motivi-intrecciati-37955241/

MacAlister, C., Baggio, G., Perera, D., Qadir, M., Taing, L., & Smakhtin, V. (2023). Global water security 2023 assessment. United Nations University Institute for Water, Environment and Health. https://unu.edu/inweh/article/global-water-security-2023-assessment

Madani, K. (2026a). Global water bankruptcy: Living beyond our hydrological means in the post-crisis era. United Nations University Institute for Water, Environment and Health. https://doi.org/10.53328/INR26KAM001

Madani, K. (2026b). Water bankruptcy: The formal definition. Water Resources Management, 40(2), 78. https://doi.org/10.1007/s11269-025-04484-0

Mart Production. (2024). Amici che trascorrono una serata insieme in casa con snack [Fotografia]. Pexels. https://www.pexels.com/it-it/foto/cibo-amici-ragazza-seduto-8885124/

Mason, G. (2025). Maestosa diga in Piemonte, Italia [Fotografia]. Pexels. https://www.pexels.com/it-it/foto/maestosa-diga-in-piemonte-italia-paesaggio-29746472/

Materialise. (s.d.). Design guidelines for PA 12 (SLS). Materialise Academy. Recuperato il 10 agosto 2026 da https://www.materialise.com/en/academy/industrial/design-am/pa12-sls

MatterHackers. (2025). Everything you need to know about SLS 3D printing. https://www.matterhackers.com/articles/sls-3d-printing

Mazur, D. (2025). Casale rurale con pecore al pascolo a Folgaria, Trentino-Alto Adige [Fotografia]. Pexels. https://www.pexels.com/it-it/foto/case-casa-animali-rurale-13234875/

McGuigan, K. G., Conroy, R. M., Mosler, H.-J., du Preez, M., Ubomba-Jaswa, E., & Fernández-Ibáñez, P. (2012). Solar water disinfection (SODIS): A review from bench-top to roof-top. Journal of Hazardous Materials, 235–236, 29–46. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2012.07.053

Medeiros, M. (2025). Why safe water is still lacking in the Marajó Archipelago, one of the world's most water-abundant regions. The Conversation. https://theconversation.com/why-safe-water-is-still-lacking-in-the-marajo-archipelago-one-of-the-worlds-most-water-abundant-regions-287699

Medeiros, M., & Souza, C. M. de. (2025). Tecnopolítica e disputas hídricas no avanço do agronegócio rizicultor no Marajó. Revista Eletrônica História em Reflexão, 21(41), 382–409. https://doi.org/10.30612/rehr.v21i41.20375

Mekonnen, M. M., & Hoekstra, A. Y. (2016). Four billion people facing severe water scarcity. Science Advances, 2(2), e1500323. https://doi.org/10.1126/sciadv.1500323

Milano, V. (2012). Acquedotti: Guida alla progettazione (2ª ed.). Hoepli.

Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti. (2014). Norme tecniche per la progettazione e la costruzione degli sbarramenti di ritenuta (dighe e traverse) [Decreto ministeriale 26 giugno 2014]. Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana, n. 156 dell'8 luglio 2014.

Ministry of Agriculture, Fisheries, Water and Land Reform. (s.d.). Directorate of Water Supply and Sanitation Coordination. Recuperato il 5 agosto 2026 da https://mawlr.gov.na/directorate-of-water-supply-and-sanitation-coordination

Mohammed, M. S., Attwan, D. K., Abood, S. A., Rashid, M. T., Mohammed, H. I., Shakir, R., & Nadeem, Z. A. (2026). Atmospheric water harvesting: A comprehensive review of techniques, innovations, systems, and future prospects. Next Energy, 12, 100731. https://doi.org/10.1016/j.nxener.2026.100731

Montanari, A. (2021, 26 ottobre). Progettazione delle traverse fluviali fisse [Materiale didattico]. Università di Bologna, Dipartimento DICAM. https://www.albertomontanari.it/it/node/73

Morano, C., & Pagnotta, L. (2023). Additive manufactured parts produced using selective laser sintering technology: Comparison between porosity of pure and blended polymers. Polymers, 15(22), 4446. https://doi.org/10.3390/polym15224446

Moretti, F., & Proposito, M. (2023). Gestione della risorsa idrica in condizioni di scarsità e nei Paesi in via di sviluppo. Energia, Ambiente e Innovazione, 2023(1). https://doi.org/10.12910/EAI2023-022

Namibia Water Corporation Act 12 of 1997, Government Gazette of the Republic of Namibia n. 1703 del 10 ottobre 1997 (Namibia). https://namiblii.org/akn/na/act/1997/12

Namibia Water Corporation. (s.d.-a). About us. Consultato il 26 agosto 2026, da https://www.namwater.com.na/index.php/about-us

Namibia Water Corporation. (s.d.-b). NamWater [Logo]. https://www.namwater.com.na/

NASA. (s.d.). Mouths of Amazon, GeoCover 1990 [Immagine satellitare]. Wikimedia Commons. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Mouths_of_amazon_geocover_1990.png

Nature Communications. (s.d.). Journal information. Springer Nature. Consultato il 26 agosto 2026, da https://www.nature.com/ncomms/journal-information

Noble, P. C., Pidgaiska, O., Arciola, C. R., Coffman, Z., Stephens, S., Ismaily, S., Blackwell, R., Campoccia, D., & Montanaro, L. (2018). Question 2: What surface properties favor biofilm formation? [Documento di consenso]. Orthopaedic Research Society. https://www.ors.org/wp-content/uploads/2018/11/Biofilm-Question-2.pdf

North Carolina Extension Gardener Plant Toolbox. (s.d.). Asplenium nidus (Bird's nest fern). NC State Extension. Recuperato il 5 agosto 2026 da https://plants.ces.ncsu.edu/plants/asplenium-nidus/

Obsidian Soul. ([2022]). [Fotografia di Asplenium nidus, Bukidnon, Filippine]. Wikimedia Commons. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Asplenium_nidus_(Bukidnon,_Philippines)_02.jpg

Okello, C., Githiora, Y. W., Sithole, S., & Owuor, M. A. (2024). Nature-based solutions for water resource management in Africa's arid and sem-arid lands (ASALs): A systematic review of existing interventions. Nature-Based Solutions, 6, 100172. https://doi.org/10.1016/j.nbsj.2024.100172

Open Source Initiative. (2021). CERN Open Hardware Licence Version 2 – Strongly Reciprocal. Recuperato il 26 agosto 2026 da https://opensource.org/license/cern-ohl-s-2.0

Openpolis. (2021). Che cos'è l'Oms, organizzazione mondiale della sanità. https://www.openpolis.it/parole/che-cose-loms-organizzazione-mondiale-della-sanita/

Oras. (s.d.). Oras Eterna. Recuperato il 23 agosto 2026 da https://www.oras.com/en/design-lines/oras-eterna

Ortega-Ramírez, A. T., Hinojosa-Flores, I. D., Martínez González, E. L. Á., Ramírez Cid, E., & Sánchez Chávez, A. (2026). Assessment and response to water stress in Bogotá: A multidimensional analysis. Water, 18(10), 1155. https://doi.org/10.3390/w18101155

Oteng-Peprah, M., Acheampong, M. A., & de Vries, N. K. (2018). Greywater characteristics, treatment systems, reuse strategies and user perception — A review. Water, Air, & Soil Pollution, 229(8), 255. https://doi.org/10.1007/s11270-018-3909-8

Parovenko, M. (2026). Serena cascata che si snoda in un ambiente naturale [Fotografia]. Pexels. https://www.pexels.com/it-it/foto/serena-cascata-che-si-snoda-in-un-ambiente-naturale-37309990/

Patadia, H. (2005). Technical reference on the physical, mechanical, and chemical properties of polyamide 12 (PA12) for high pressure gas distribution applications (Technical Reference Report, OTD Project No. 20042). Gas Technology Institute. https://products.evonik.com/assets/35/48/gti_technical_reference_summary_EN_EN_243548.pdf

Peloza, J., White, K., & Shang, J. (2013). Good and guilt-free: The role of self-accountability in influencing preferences for products with ethical attributes. Journal of Marketing, 77(1), 104–119. https://doi.org/10.1509/jm.11.0454

Pentair X-Flow. (s.d.). Ultrafiltration. Recuperato il 10 agosto 2026 da https://xflow.pentair.com/en/our_technology/ultrafiltration.html

Piacquadio, A. (2024). Donna sorridente dietro il banco della reception di un hotel [Fotografia]. Pexels. https://www.pexels.com/it-it/foto/donna-ospitale-in-piedi-dietro-la-reception-3771087/

Pontificia Universidad Católica de Chile. (2013). Atrapanieblas en Alto Patache [Fotografia]. Wikimedia Commons. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Atrapanieblas_en_Alto_Patache.jpg

Pratikxox. (2024). Reflection of old coin placed on blue background [Fotografia]. Pexels. https://www.pexels.com/photo/reflection-of-old-coin-placed-on-blue-background-3263669/

Qadir, M., Smakhtin, V., Koo-Oshima, S., & Guenther, E. (A cura di). (2022). Unconventional water resources. Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-90146-2

RephiLe water. (2021). Macchina in metallo grigio e nero [Fotografia]. Unsplash. https://unsplash.com/photos/8mpHMUsrYDo

Reza, J. T. (2026). Scienziato che gestisce provette in ambiente di laboratorio [Fotografia]. Pexels. https://www.pexels.com/it-it/foto/scienziato-che-gestisce-provette-in-ambiente-di-laboratorio-36529662/

Robak, M. (2024). Ruscello tranquillo nel bosco con vegetazione lussureggiante [Fotografia]. Pexels. https://www.pexels.com/it-it/foto/ruscello-tranquillo-nel-bosco-con-vegetazione-lussureggiante-29472956/

Rossi, L. (2020). Acqua e salute: il ruolo dell'acqua nella dieta. In L. Lucentini, C. Marchiafava, D. Mattei, F. Nigro Di Gregorio, O. De Giglio, & M. T. Montagna (A cura di), Acqua e salute: elementi di analisi di rischio in nuovi scenari ambientali e climatici (Rapporti ISTISAN 20/19, pp. 188–192). Istituto Superiore di Sanità. https://publ.iss.it/ITA/Items/GetPDF?uuid=cb6981ad-30fc-45bb-908d-12d7cab1a553

Rural Water Supply Network. (s.d.). RWSN [Logo]. https://rural-water-supply.net/en/

Salton, J. (2010, 12 marzo). Water Pebble watches you (and your water usage) in the shower. Refractor. https://refractor.io/environment/water-pebble-watches-you-and-your-water-usage-in-the-shower/

Schemenauer, R. S., & Cereceda, P. (1994). A proposed standard fog collector for use in high-elevation regions. Journal of Applied Meteorology, 33(11), 1313–1322. https://doi.org/10.1175/1520-0450(1994)033<1313:APSFCF>2.0.CO;2

Schemenauer, R. S., & Cereceda, P. (1997). Fog collection. Tiempo, 26. https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/SCHEMENAUER%20and%20CERECEDA%201997%20Fog%20Collection.pdf

Schnegg, M., & Bollig, M. (2016). Institutions put to the test: Community-based water management in Namibia during a drought. Journal of Arid Environments, 124, 62–71. https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2015.07.009

Seckler, D., Amarasinghe, U., Molden, D., de Silva, R., & Barker, R. (1998). World water demand and supply, 1990 to 2025: Scenarios and issues (Research Report 19). International Water Management Institute.

Shanyengana, E. S., Henschel, J. R., Mtuleni, V. S., Mwenya, E., & Seely, M. K. (2001). Exploring fog as a supplementary water source in Namibia. In Proceedings of the Second International Conference on Fog and Fog Collection (pp. 273–276). International Development Research Centre. https://fogquest.org/wp-content/uploads/2015/08/Conf_2001_Shanyengana_Fog_as_supplementary_water_source.pdf

Shanyengana, E. S., Henschel, J. R., Seely, M. K., & Sanderson, R. D. (2002). Exploring fog as a supplementary water source in Namibia. Atmospheric Research, 64(1–4), 251–259. https://doi.org/10.1016/S0169-8095(02)00096-0

Shook. (2024, 26 agosto). Cosa toglie un filtro al carbone dall'acqua? NEWater. https://www.newater.com/it/cosa-toglie-un-filtro-al-carbone-dallacqua/

Should It. (s.d.). Waterdrop WD-FC-06 faucet filter in-depth review. Recuperato il 17 agosto 2026 da https://shouldit.com/water-filters/reviews/waterdrop/waterdrop-wd-fc-06/

Solar Impulse Foundation. (2019, agosto). Hydrao Aloé: Smart eco-showers using nudges to change users behaviour. https://solarimpulse.com/solutions-explorer/hydrao-aloe

Souza, C. M., Jr., Marengo, J., Ferreira, B., Ribeiro, J., Schirmbeck, L. W., Schirmbeck, J., Hirye, M., Cunha, A., Wiederhecker, H. C., & Latuf, M. O. (2024). Amazon severe drought in 2023 triggered surface water loss. Environmental Research: Climate, 3(4), 041002. https://doi.org/10.1088/2752-5295/ad7c71

Starr, F., & Starr, K. (2009). [Fotografia di Asplenium nidus: portamento e sori, Nāhiku, Maui]. Wikimedia Commons. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Starr-090623-1444-Asplenium_nidus-habit_and_sori-Nahiku-Maui_(24335949904).jpg

Starsend. (s.d.). Multi stage flash desalination plant at Jebel Ali G Station [Fotografia]. Wikimedia Commons. https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=32495693

Stringer, L. C., Mirzabaev, A., Benjaminsen, T. A., Harris, R. M. B., Jafari, M., Lissner, T. K., Stevens, N., & Tirado-von der Pahlen, C. (2021). Climate change impacts on water security in global drylands. One Earth, 4(6), 851–864. https://doi.org/10.1016/j.oneear.2021.05.010

StudySmarter. (2022). pH. Consultato il 25 agosto 2026, da https://www.studysmarter.it/spiegazioni/chimica/chimica-fisica/ph/

Superintendência do Desenvolvimento da Amazônia. (2017). Plano de Desenvolvimento Territorial Sustentável do Arquipélago do Marajó. Ministério do Desenvolvimento Regional. https://www.gov.br/sudam/pt-br/assuntos/planos-de-desenvolvimento/planodedesenvolvimentoterritorialmarajo2017.pdf

TAPP Water. (s.d.-a). Differences between EcoPro and EcoPro Compact. Recuperato il 17 agosto 2026 da https://tappwater.zendesk.com/hc/en-gb/articles/360019826560-Differences-between-EcoPro-and-EcoPro-Compact

TAPP Water. (s.d.-b). EcoPro Compact. Recuperato il 23 agosto 2026 da https://tappwater.co/products/filter-ecopro-compact

Täuber, S., van Zomeren, M., & Kutlaca, M. (2015). Should the moral core of climate issues be emphasized or downplayed in public discourse? Three ways to successfully manage the double-edged sword of moral communication. Climatic Change, 130(3), 453–464. https://doi.org/10.1007/s10584-014-1200-6

Thaler, R. H., & Sunstein, C. R. (2008). Nudge: Improving decisions about health, wealth, and happiness. Yale University Press.

TheFuture. (2010, 2 settembre). Poor Little Fish Basin: Your fish will die if you waste water! Tuvie. https://www.tuvie.com/poor-little-fish-basin-your-fish-will-die-if-you-waste-water/

Tiefenbeck, V., Goette, L., Degen, K., Tasic, V., Fleisch, E., Lalive, R., & Staake, T. (2018). Overcoming salience bias: How real-time feedback fosters resource conservation. Management Science, 64(3), 1458–1476. https://doi.org/10.1287/mnsc.2016.2646

Tiefenbeck, V., Wörner, A., Schöb, S., Fleisch, E., & Staake, T. (2019). Real-time feedback promotes energy conservation in the absence of volunteer selection bias and monetary incentives. Nature Energy, 4(1), 35–41. https://doi.org/10.1038/s41560-018-0282-1

Travel Namibia. (s.d.). Gobabeb research and training centre [Archivio tag]. Consultato il 25 agosto 2026, da https://travelnam.com/tag/gobabeb-research-and-training-centre/

Tyson, A. (2024). Interno cucina con lavandino moderno e design minimalista [Fotografia]. Pexels. https://www.pexels.com/it-it/foto/cucina-appartamento-pulito-interni-19955738/

Ub. (s.d.). Diss ME [Schema]. Wikimedia Commons. Recuperato il 23 agosto 2026 da https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Diss_ME.png

United Nations. (s.d.-a). Communications materials. Sustainable Development Goals. Recuperato il 25 Agosto 2026 da https://www.un.org/sustainabledevelopment/news/communications-material/

United Nations. (s.d.-b). United Nations emblem and flag. Recuperato il 26 Agosto 2026 da https://www.un.org/en/about-us/un-emblem-and-flag

United Nations Children's Fund. (s.d.). UNICEF: History of a logo. Recuperato il 25 Agosto 2026 da https://www.unicef.org/about-unicef/unicef-logo-history

United Nations Children's Fund. (2025). UNICEF Namibia annual report 2024. UNICEF. https://www.unicef.org/namibia/reports

United Nations Department of Economic and Social Affairs. (s.d.). Capacity development. Consultato il 26 agosto 2026, da https://capacity.desa.un.org/

United Nations Development Programme. (2025). UNDP Namibia annual report 2024: Unlocking potential — Convening voices, connecting solutions & catalysing results. UNDP. https://www.undp.org/namibia/publications/undp-namibia-annual-report-2024

United Nations Environment Programme. (2010). Africa water atlas. Division of Early Warning and Assessment, UNEP. https://wedocs.unep.org/20.500.11822/7919

United Nations Framework Convention on Climate Change. (2016). Women-led fog harvesting for a resilient, sustainable ecosystem | Morocco. Momentum for Change – Women for Results. https://unfccc.int/climate-action/momentum-for-change/women-for-results/women-led-fog-harvesting-for-a-resilient--sustainable-ecosystem

United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division. (2025). World urbanization prospects 2025: Summary of results. United Nations. https://population.un.org/wup/

UNRIC Italia. (2023). Le Nazioni Unite in breve. https://unric.org/it/le-nazioni-unite-in-breve/

Veolia Water Technologies. (s.d.). What is ultrafiltration and how does it work? Recuperato il 10 agosto 2026 da https://www.watertechnologies.com/knowledge-hub/what-is-ultrafiltration

Viaggitribali. (s.d.). Le etnie della Namibia. Consultato il 26 agosto 2026, da https://www.viaggi-tribali.it/blog/le-etnie-della-namibia

Warka Water Inc. (s.d.-a). [Logotipo]. Recuperato il 22 agosto 2026 da https://warkawater.org/

Warka Water Inc. (s.d.-b). Warka Tower. Recuperato il 22 agosto 2026 da https://warkawater.org/warkatower/

Warka Water. (s.d.). FAQ. Recuperato il 5 agosto 2026 da https://warkawater.org/faq/

Wasserstiftung. (s.d.-a). [Logotipo]. Recuperato il 22 agosto 2026 da https://www.wasserstiftung.de/en/

Wasserstiftung. (s.d.-b). Mount Boutmezguida. Recuperato il 5 agosto 2026 da https://www.wasserstiftung.de/en/projects/morocco-mount-boutmezguida/

Water Resources Management Act 11 of 2013, Government Gazette of the Republic of Namibia n. 5367 del 19 dicembre 2013 (Namibia). Edizione annotata a cura del Legal Assistance Centre. https://www.lac.org.na/laws/annoSTAT/Water%20Resources%20Management%20Act%2011%20of%202013.pdf

Waterdrop. (s.d.). Waterdrop faucet water filter system stainless steel FC-06. Recuperato il 17 agosto 2026 da https://www.waterdropfilter.com/products/long-lasting-water-faucet-filtration-system-wd-fc-06

WaterFilterGuru. (s.d.). KDF filter media (What it is & how it works). Recuperato il 10 agosto 2026 da https://waterfilterguru.com/kdf-filter-media/

Watson, C. ([2013]). [Fotografia del ventre di Moloch horridus]. Wikimedia Commons. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Thornybelly3_-_Christopher_Watson.jpg

We Build Value. (2025, 19 novembre). Crisi idrica: le migliori infrastrutture che danno acqua pulita alle metropoli. https://www.webuildvalue.com/it/economia-globale-sostenibilita/crisi-idrica-infrastrutture.html

World Health Organization. (s.d.). The WHO logo and emblem. Recuperato il 24 Agosto 2026 da https://www.who.int/about/policies/publishing/logo

World Health Organization. (2022). Guidelines for drinking-water quality: Fourth edition incorporating the first and second addenda. World Health Organization. https://www.who.int/publications/i/item/9789240045064

World Health Organization, & United Nations Children's Fund. (2025a, 26 agosto). 1 in 4 people globally still lack access to safe drinking water – WHO, UNICEF [Aggiornamento dipartimentale]. https://www.who.int/news/item/26-08-2025-1-in-4-people-globally-still-lack-access-to-safe-drinking-water---who--unicef

World Health Organization, & United Nations Children's Fund. (2025b). Progress on household drinking water, sanitation and hygiene 2000–2024. WHO & UNICEF. https://data.unicef.org/resources/jmp-report-2025/

World Intellectual Property Organization. (2020, 5 aprile). Harvesting fog to relieve water shortages in arid regions. WIPO Magazine. https://www.wipo.int/en/web/wipo-magazine/articles/harvesting-fog-to-relieve-water-shortages-in-arid-regions-62982

Worldometer. (s.d.). Water use statistics. Recuperato il 5 agosto 2026 da https://www.worldometers.info/water/

WWF Italia. (2021, 10 luglio). Riforestazione: progetti e interventi che promuoviamo. https://www.wwf.it/cosa-facciamo/foreste/riforestazione/

Xiaomi. (s.d.-a). Xiaomi faucet water purifier. Recuperato il 17 agosto 2026 da https://www.mi.com/global/product/xiaomi-faucet-water-purifier/

Xiaomi. (s.d.-b). Xiaomi faucet water purifier FAQ. Recuperato il 17 agosto 2026 da https://www.mi.com/global/support/faq/details/KA-368667/

Xu, S., Wang, Y., Yu, X., Cai, Z., & Ren, M. (2024). Suspended soils enrich local forest floor soils during the rainy season in a tropical monsoon rainforest of Hainan Island, South China. Frontiers in Plant Science, 15, 1415754. https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1415754

Yuan, Q., Liu, Y., Qie, Y., Hu, C., Meng, Y., & Luan, F. (2025). Unlocking global rainwater harvesting potential for safe drinking water access. Nature Communications, 16(1), 11320. https://doi.org/10.1038/s41467-025-66429-w

Zheng, X., Meng, J., & Liu, Y. (2022). Strain rate dependence of compressive mechanical properties of polyamide and its composite fabricated using selective laser sintering under saturated-water conditions. Micromachines, 13(7), 1041. https://doi.org/10.3390/mi13071041