

ARTICLE INFO

Received 14 March 2025
Revised 20 April 2025
Accepted 22 April 2025
Published 30 June 2025

POVERTÀ E INFRASTRUTTURE IDRICHE

Un caso studio nell'Africa Subsahariana

POVERTY AND WATER INFRASTRUCTURE

A case study in Sub-Saharan Africa

Adolfo F. L. Baratta, Fabrizio Finucci, Antonio Magarò

Abstract

L'Organizzazione Mondiale della Sanità attribuisce al termine 'salute' un significato ampio, tra pace e giustizia sociale (WHO, 1946), pertanto la salute è un diritto umano fondamentale. Anche con lo scopo di garantirne ogni aspetto sono stati promossi gli Obiettivi di Sviluppo Sostenibile, per l'integrazione tra sostenibilità economica, sociale e ambientale (UNEP, 2015); essi sono universalmente rilevanti, benché connotati da forti specificità applicative per ciascun Paese, infatti alcune aree marginali sono afflitte da uno svantaggio dovuto all'indisponibilità di risorse fondamentali, ad esempio l'acqua, in maniera endemica e acuita dai cambiamenti climatici. Il contributo propone alcuni degli esiti di una ricerca del Dipartimento di Architettura dell'Università degli Studi 'Roma Tre' finalizzata alla realizzazione di infrastrutture dedicate a sanità, alimentazione e acqua, in autocostruzione, nelle aree marginali dell'Africa Subsahariana.

The World Health Organisation attributes a broad meaning to the term 'health', spanning peace and social justice (WHO, 1946), thus recognising health as a fundamental human right. The Sustainable Development Goals (SDGs) were launched to ensure all health aspects, aiming for integration between economic, social, and environmental sustainability (UNEP, 2015). These goals are universally relevant but context-specific in their application. Some marginal areas suffer endemic disadvantages due to the unavailability of essential resources, such as water, exacerbated by climate change. This article presents some outcomes of a research project by the Department of Architecture at 'Roma Tre' University aimed at building self-constructed infrastructure for healthcare, food, and water in marginal areas of Sub-Saharan Africa.

Keywords

crisi idrica, riduzione della povertà, sicurezza alimentare, istruzione inclusiva, cambiamenti climatici

water crisis, poverty reduction, food security, inclusive education, climate change

Adolfo F. L. Baratta, Architect, PhD, is an Associate Professor in Architectural Technology at the Department of Architecture, 'Roma Tre' University (Italy). His research focuses on visible technologies (production, construction, and environmental quality) and invisible ones (project and construction process management). E-mail: adolfo.baratta@uniroma3.it

Fabrizio Finucci, Architect and PhD, is an Associate Professor at the Department of Architecture, 'Roma Tre' University (Italy). His main research activity concerns evaluation techniques implemented through inclusive and dialogic approaches. E-mail: fabrizio.finucci@uniroma3.it

Antonio Magarò, Architect and PhD, is a Contract Professor at the 'Sapienza' University of Rome and a Researcher at 'Roma Tre' University (Italy). His research focuses on innovative technologies for architectural heritage and sustainable habitats designed from a human- and user-centred perspective. E-mail: antonio.magarò@uniroma3.it



I 17 Sustainable Development Goals (SDG) sono stati discussi nell'ambito della Conferenza delle Nazioni Unite, tenutasi a Rio de Janeiro nel 2012 e sono stati seguiti dagli otto Millennium Development Goals (MDG) finalizzati alla riduzione della povertà (UN, 2015a): definiti come il successo più grande contro la povertà (UN, 2015b) costituiscono il solido presupposto per la negoziazione intergovernativa che, da gennaio ad agosto 2015, ha generato il documento *Transforming our World – The 2030 Agenda for Sustainable Development*, adottato durante il summit delle Nazioni Unite nel settembre 2015 a New York. Articolati in 17 goals e 169 target, misurabili attraverso 304 indicatori (Sparks, 2016), gli SDG sono stati ratificati all'unanimità da 193 Paesi. Nel 2015 i Paesi dell'Unione Africana hanno adottato la loro Agenda 2063 intitolata *Africa We Want*, che in sintonia con l'Agenda 2030 intende utilizzare gli strumenti della sostenibilità sociale, economica e ambientale, in un orizzonte temporale di 50 anni.

Nell'Africa Subsahariana la crisi idrica è trainante di effetti drammatici: nonostante sia direttamente collegata con l'SDG 6, che mira ad assicurare l'accesso all'acqua potabile per tutti, si tratta di una questione trasversale, poiché ad essa sono direttamente o indirettamente collegati una molteplicità di SDG. La recente conferenza delle Nazioni Unite sul tema della risorsa idrica (UNESCO, 2023) ha delineato una situazione particolarmente grave, che richiede di essere affrontata con una gestione integrata finalizzata al raggiungimento degli SDG ad essa correlati. Gli indicatori che misurano il divario tra quanto pianificato nell'Agenda 2030 e lo stato di fatto sono preoccupanti, al punto che, uno degli esiti più rilevanti della conferenza è stata la redazione di una *Water Action Agenda*.¹

Nell'Africa Subsahariana gran parte della popolazione non ha accesso ai servizi idrici di base e ai servizi igienici (Eberhard, 2019); inoltre una serie di concause, tra cui la variazione dei modelli di disponibilità e di fruizione della risorsa idrica, l'aumento della popolazione e le sue mutate abitudini al pari dei cambiamenti climatici, determina un aumento della domanda di acqua, soprattutto all'interno delle grandi urbanizzazioni. Pertanto si è determinata una pericolosa asimmetria tra disponibilità ed esigenza della risorsa idrica che, su un territorio complesso come quello subsahariano, acuisce la carenza di efficienza nelle infrastrutture e la concorrenza tra Paesi interessati dalla dislocazione transnazionale della maggior parte dei grandi bacini idrici.

La crisi idrica nell'Africa Subsahariana e le sue implicazioni | Nel mondo il totale della risorsa rinnovabile idrica ammonta a circa 8.200 Kmc/anno, corrispondente a circa il 14% di tutta l'acqua sul Pianeta². La scarsità di tale risorsa rappresenta un problema che non investe solo i Paesi interessati dalla prossimità dei grandi deserti, ma si estende anche ad ampie regioni di Cina, India e Pakistan (Klare, 2020) e di tanti altri Paesi del mondo (Fig. 1). Il Sahel, ovvero quella porzione di territorio africano che confina a nord con il Sahara e a sud con le grandi foreste tropicali, ne è particolarmente afflitto. Si tratta di un territorio eterogeneo che attraversa 11 Paesi, abitato da più di 300 milioni di persone, accomunato da un clima secco con precipitazioni annue che vanno da 100-200 mm

nel nord a 600-900 mm a sud. Tuttavia tali precipitazioni si concentrano in un'unica stagione delle piogge che dura pochi mesi ed è costituita dal susseguirsi di eventi estremi.

Tale peculiarità da un lato condiziona le relazioni sociali tra le comunità locali e le relazioni diplomatiche tra i Paesi, dall'altro ha un impatto consistente su economia e salute (Grishina, 2023). Tra il 2000 e il 2010 le precipitazioni nell'area del Sahel sono diminuite in maniera costante e dagli anni Cinquanta si sono ridotte addirittura di un terzo (Tesfaye, 2022). È quindi indiscutibile l'impatto che i cambiamenti climatici hanno avuto sull'aumento delle temperature e sulla concentrazione delle precipitazioni le quali, a loro volta, condizionano le attività agricole (IPCC, 2023).

Nonostante il prosciugarsi del Lago Ciad è considerato una delle cause di scarsità d'acqua nell'Africa Subsahariana, è necessario precisare che dagli anni Novanta non si rilevano sostanziali riduzioni del suo volume d'acqua (Denisova and Kostelyanets, 2024); al contrario i bacini del Niger e del Volta, a causa di una gestione complessa e poco coordinata tra i Paesi frontalieri, hanno contratto la disponibilità idrica (JRC et alii, 2019).

Oltre che per le ripercussioni sulla salute e sull'igiene l'accesso all'acqua potabile è considerato indispensabile per la dignità umana e costituisce prerequisito per il consolidamento dei diritti umani (UN Economic and Social Council, 2003). Pertanto, con la risoluzione 64/292, le Nazioni Unite si rivolgono agli Stati e alle Organizzazioni internazionali richiedendo di «[...] provide financial resources, capacity-building and technology transfer, through international assistance and cooperation, in particular to developing countries, in order to scale up efforts to provide safe, clean, accessible and affordable drinking water and sanitation for all» (UN, 2010, p. 3).

La relazione persona / acqua potabile è definita da una serie di requisiti ovvero raggiungibilità, accessibilità, affidabilità, qualità, quantità ed economicità. Ciascuna di queste variabili può inficiare la risorsa idrica e il suo uso e generare ripercussioni su altri importanti aspetti della qualità della vita, il più evidente dei quali è relativo all'SDG 3, Salute e Benessere. Una risorsa idrica contaminata (Fig. 2), ancorché accessibile, può provocare la trasmissione di malattie come colera, diarrea, dissenteria, epatite A e poliomielite, quando invece è scarsa, allora si può decidere di preferire non sprecarla per l'igiene personale, anche in condizioni di rischio: il WHO (2022a) stima che la morte di 395 mila bambini di età inferiore a 5 anni, nel mondo, era evitabile seguendo semplici regole di igiene personale. Purtroppo oltre alle malattie note se ne stanno diffondendo altre, come la schistosomiasi, provocate da parassiti presenti nell'acqua infetta; inoltre gli insetti che si riproducono in acqua sono responsabili di gravi epidemie di dengue e di malaria senza contare gli effetti secondari sulla salute, come i danni all'apparato muscolo-scheletrico dovuti all'approvvigionamento manuale.

Dal punto di vista della sicurezza alimentare (SDG 2 – Sconfiggere la Fame) la carenza di acqua influenza radicalmente la produzione agricola (Fig. 3). L'agricoltura nel mondo è responsabile del 70% del prelievo idrico, pertanto alla scarsità di tale risorsa consegue una cattiva nutrizione e una forte insicurezza alimentare che richiede l'impiego di un maggior quantitativo di fertilizzanti chi-

mici, tra i principali responsabili dell'inquinamento delle falde; in presenza di scarsa o contaminata acqua potabile anche la carne da allevamento sarà scarsa, poco nutriente e potenziale vettore di malattie (WHO, 2022b).

Anche gli effetti economici della crisi idrica (SDG 1 – Sconfiggere la Povertà) non sono da sottovalutare. Infatti, sebbene la povertà sia un concetto multidimensionale, è appurato che l'accesso equo, sicuro e inclusivo all'acqua incide fortemente su molte variabili economiche. Nell'Africa subsahariana, dove agricoltura e pesca sono i settori trainanti, l'occupazione dipende dall'intensità idrica ed è proporzionale all'accesso alla risorsa. I settori della produzione che maggiormente sfruttano l'acqua sono responsabili del 62% dei posti di lavoro e la scarsa disponibilità porta a una decrescita del PIL (Fig. 4; Zhang and Borja-Vega, 2024).

Non sono avulse dalla crisi idrica nemmeno le tematiche legate all'Istruzione di Qualità (SDG 4), infatti l'alta mortalità infantile legata alle malattie endemiche, provocate da privazione della risorsa e scarsa igiene, determina una diminuzione importante del tasso di scolarizzazione. Tale problematica è ancor più grave se si mette in relazione con alcuni aspetti concomitanti (WHO and UNICEF, 2023): 1) in tutti i Paesi in cui è necessario approvvigionarsi di acqua recandosi a distanza considerevole, sono incaricate le donne e le bambine, rendendo impossibile per queste ultime frequentare la scuola; 2) i Paesi affetti da crisi idrica si trovano in zone climatiche frequentemente colpite da eventi alluvionali che impediscono ai bambini di recarsi a scuola.

Infine le donne deputate all'approvvigionamento sono esposte al rischio di violenza e la scarsa igiene che consegue alla poca acqua ha un effetto peggiore sulle donne in età mestruale: questa disparità di genere, direttamente correlata all'acqua, è oggetto dell'SDG 5 (Uguaglianza di Genere) e, pertanto, insieme all'SDG 6 (Accesso all'Acqua e Servizi Igienici), i primi cinque Obiettivi sono denominati WASH, assonante acronimo di Water, Sanitation, Hygiene (WHO and UNICEF, 2023).

Il contesto Maliano | La situazione del Mali è emblematica di quanto accade in tutta l'Africa Subsahariana. Il Mali è privo di sbocchi sul mare, il suo territorio è occupato per il 51% da deserto, mentre la superficie coltivata è pari a 4,7 milioni di ettari, corrispondenti al solo 4% del territorio (FAO, 2015). Circa il 47% della superficie è costituito dal bacino del Niger (Fig. 5), mentre il bacino del fiume Senegal copre l'11% del territorio. Il bacino del Volta corrisponde all'1% della superficie, mentre il rimanente è deserto del Sahara. Niger e Senegal, insieme all'intricata rete di affluenti, forniscono la maggior parte delle risorse perenni delle acque superficiali corrispondenti a 50 kmc/anno; il solo Niger contribuisce per 35 kmc/anno, un terzo dei quali vengono dispersi per evaporazione.

I dati UNESCO (2006) riportano che le risorse idriche rinnovabili presenti nel sottosuolo sono stimabili intorno a 20 kmc/anno, mentre la parte in comune tra le acque superficiali e quelle sotterranee è circa la metà; ammontano a 40 kmc/anno le risorse idriche superficiali che entrano nel Paese, per la maggior parte dalla Nuova Guinea (33 kmc/anno) e dalla Costa d'Avorio (7 kmc/anno). Per lo sfruttamento di tali risorse il Paese conta

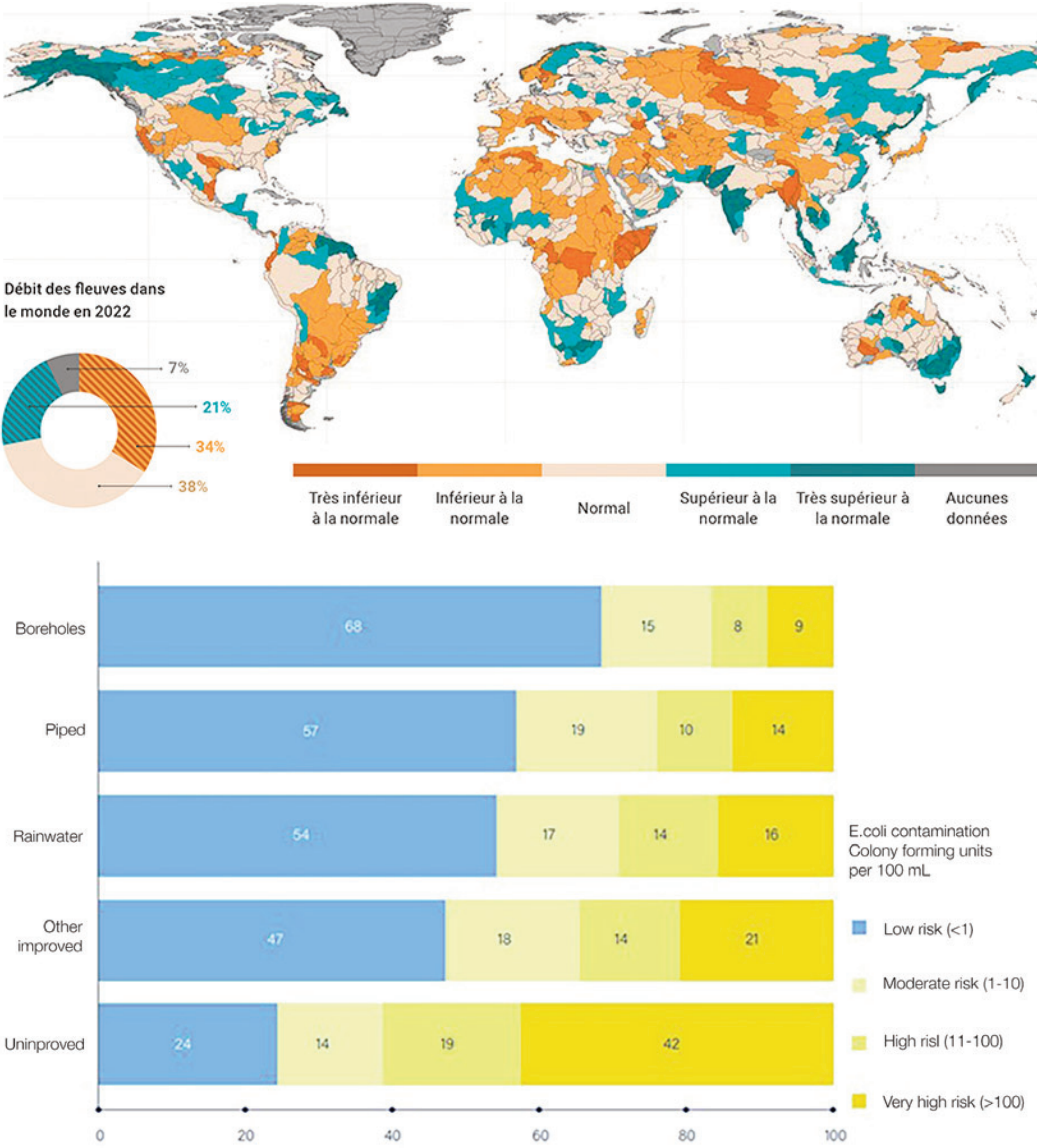


Fig. 1 | Average river flow in 2022, compared with that of the period 1991-2020 for basins larger than 10,000 sqm (source: UNESCO, 2024).

Fig. 2 | Risk of pollution of water resources based on their origin (source: UNESCO, 2024).

sulla presenza di cinque dighe (Tab. 1), per una capacità totale di 13,8 kmc (MEME, 2007), tuttavia solo il 5% delle risorse idriche rinnovabili viene sfruttato. La quasi totalità d'acqua proviene dalle risorse superficiali, disponibili da giugno a dicembre, mentre solo i prelievi per le comunità provengono da risorse idriche sotterranee, a eccezione di Bamako, la cui acqua viene prelevata dal Fiume Niger (MEAM, 2010): il motivo è da ricercarsi anche nella complessità dell'organigramma di gestione delle risorse (Fig. 6), che non contribuisce alla semplificazione della politica idrica.

In definitiva il Mali si caratterizza per la presenza di importanti risorse idriche, mal distribuite oltre che sul territorio anche nel tempo per la forte stagionalità delle piogge. Il tasso di accesso all'acqua potabile in Mali è del 61% nelle aree rurali e del 69,2% nelle aree urbanizzate (Dao, 2014).

Strumenti e metodi della ricerca | Con lo scopo di affrontare la crisi idrica nell'Africa Subsahariana, stabilendo un modello operativo volto al recupero e al miglioramento prestazionale di infrastrutture esistenti per l'irreggimentazione idrica e l'inondazione controllata, il Dipartimento di Architettura

dell'Università degli Studi 'Roma Tre' ha intrapreso un percorso di ricerca (Responsabile Scientifico: Prof. Adolfo F. L. Baratta), partendo dall'Accordo di Collaborazione Culturale e Scientifica con una serie di stakeholders, tra cui la Onlus Gente d'Africa, l'Associazione culturale Architettura Emergenza Sviluppo (AES) e Romagna Acque Società delle Fonti S.p.A.

Dal 2019 è inoltre attivo un Programma di collaborazione internazionale tra il Dipartimento di Architettura dell'Università degli Studi 'Roma Tre' e l'Ecole Supérieure d'Ingénierie d'Architecture et d'Urbanisme – ESIAU (Fig. 7) di Bamako (Responsabile Scientifico: Prof. Abdoulaye Deyoko) che ha come oggetto la programmazione, progettazione e costruzione di infrastrutture di piccole e medie dimensioni, con prevalente carattere idraulico, all'interno delle aree urbane e rurali. Le infrastrutture idriche comprendono la rete di distribuzione, i terminali e le opere di irreggimentazione finalizzate alla creazione di bacini artificiali; queste ultime opere prendono il nome di 'barrages' e si configurano come sbarramenti con funzione di diga, dotati di chiuse per il controllo degli allagamenti.

La ricerca è stata articolata in fasi, ciascuna delle quali portata a compimento da uno o più partners. La prima fase di analisi (condotta dall'Università degli Studi 'Roma Tre') prevede l'individuazione dei caratteri architettonici, tecnologici, strutturali e ambientali condizionanti le scelte progettuali, lo studio di soluzioni morfologiche, funzionali e tecnologiche e selezione di tecniche costruttive adatte a rispondere al profilo esigenziale e la valutazione economica preliminare delle soluzioni individuate e primo bilancio costi / benefici.

La seconda fase (coordinata dall'Università degli Studi 'Roma Tre') prevede la proposta progettuale e l'esecuzione delle opere che si sviluppa a partire dal rilievo dei luoghi, prosegue con la progettazione dei componenti e dell'infrastruttura, anche attraverso il coinvolgimento di studenti, ricercatori e docenti con finalità di scambio culturale teorico / pratico e si conclude con la costruzione, verifica e attuazione degli aspetti logistici a cura di AES e Gente d'Africa; Romagna Acque S.p.A. fornisce supporto all'attuazione della proposta progettuale mediante know-how specialistico e il finanziamento delle opere.

La terza fase prevede la raccolta e disseminazione dei risultati della ricerca tramite pubblicazioni e convegni nazionali e internazionali (AES e Università degli Studi 'Roma Tre'), mentre la quarta fase relativa al monitoraggio dei risultati (a carico dell'Università degli Studi 'Roma Tre' e della popolazione locale) prevede la verifica diretta del funzionamento delle opere e interventi in reindirizzamento e manutenzione, la rilevazione di eventuali effetti sul microclima locale e la rilevazione delle ricadute sulla comunità.

Per l'attuazione del programma l'Ateneo italiano e quello maliano hanno puntato sull'apertura del Programma Erasmus oltre i confini europei, attuata dalla Commissione Europea mediante la Key Action 107 – International Credit Mobility, rispondendo alla Call 2019 e vedendosi assegnare il finanziamento per lo svolgimento delle attività di collaborazione culturale e scambio didattico internazionale.

Casi applicativi di Toumoumba e Kofeba | Nell'ambito degli insediamenti rurali il termine barrage è utilizzato per riferirsi a strutture di piccole dimensioni in grado di fermare o incanalare le acque provenienti dall'ingrossamento dei corsi d'acqua a carattere torrentizio (Baratta et alii, 2021). I barrages limitano al minimo l'impatto ambientale, poiché le loro ridotte dimensioni favoriscono il deflusso delle acque che sovrapazano la struttura, evitando di prosciugare la falda a valle. Per la loro realizzazione si utilizzano tecniche costruttive povere, basate sulle disponibilità materiche locali: per tali ragioni sono strutture piuttosto deboli, capaci di resistere alla spinta dell'acqua solo per forma. La scarsa capacità di tramandare la tecnica costruttiva, insieme alla scarsa cultura della manutenzione, impediscono il corretto propagarsi di una 'regola dell'arte'. Uno dei risultati della ricerca è stato la ricostruzione e il monitoraggio di due barrages, rispettivamente in prossimità di Villaggi di Toumoumba e di Kofeba, vicini a Kita, capoluogo della Regione del Kayes a 200 km da Bamako.

Il barrage di Toumoumba (per i locali Tumumba) si innesta su una struttura preesistente in muratura di pietrame, lunga 60 metri, collegata a nord con un muro a scarpa di contenimento di un ter-

rapieno che resisteva inizialmente alla spinta orizzontale per forma, avendo una sezione triangolare con l'ipotenusa inclinata di circa 45°. La struttura era dotata di una fondazione ordinaria di materiale aggregato; l'imposta della struttura in elevazione aveva una dimensione superiore a quella della fondazione, posando per almeno i due terzi direttamente sull'alveo del torrente.

Nel 2007 l'acqua ha provocato il ribaltamento della struttura che si è spezzata in tre tronconi (Fig. 8): il sopralluogo del 2017 ha messo in evidenza la mancanza di acciaio e la recente tendenza a impiegare dei blocchi in calcestruzzo facilmente realizzabili in grandi quantità mediante l'uso di blocchiere a mano (Fig. 9) e si è concluso con il rilievo della struttura danneggiata, allo scopo di procedere alla successiva fase progettuale.

In primo luogo è stato progettato lo stampo per la realizzazione dei blocchi modulari in calcestruzzo che avrebbero costituito la struttura in elevazione verticale (Di Virgilio, 2023), mentre le opere di demolizione dei due tronconi ribaltati e di rimozione delle macerie sono state completate dalla popolazione locale. È stato quindi realizzato il progetto di una struttura armata e contraffortata, in grado di offrire la maggiore resistenza alla spinta orizzontale, combinando forma e resistenza del materiale. I costi sono stati stimati mediante computo metrico estimativo, utilizzando come riferimento i prezzi acquisiti durante il primo sopralluogo.

La missione finalizzata alla costruzione si è articolata in due fasi: nella prima fase (febbraio 2018) si è provveduto alla realizzazione della fondazione; nella seconda fase (aprile 2018) si è proceduto al completamento dei lavori strutturali e di finitura e al risarcimento delle lacune create nel muro di contenimento del terrapieno e, in parte, nel terrapieno stesso. Il risultato è una struttura muraria a spessore e altezza variabili, fortemente armata nelle due direzioni e contraffortata, lunga 15 m e alta circa 2 m, che si raccorda alla preesistenza mediante l'inserimento di barre d'acciaio di 16 mm di diametro e iniezioni di calcestruzzo ogni 40 cm in elevazione, per una profondità di almeno 60 cm. La struttura è stata poi rifinita con intonaco a base di cemento dello spessore di cm 3 (Fig. 10).

Durante la fase di monitoraggio si è verificato il corretto funzionamento idraulico della struttura che è in grado di realizzare un invaso 6,8 ha con una profondità variabile tra 30 cm e 2 m, corrispondente a una riserva idrica di circa 45 mila mc nel periodo di capienza massima: visibile dal satellite, il barrage è un landmark sul territorio, pur essendo parzialmente interrato, capace di ricucire la cesura che l'impetuoso torrente provocava a nord del villaggio, consentendo l'attraversamento da parte dei bambini che possono così recarsi verso la scuola. I giovani scolari sono stati i primi a comprendere il funzionamento del barrage che è stato progettato anche come spazio ludico grazie a un gioco di dislivelli dei contrafforti, in grado di stimolare la fantasia dei bambini (Fig. 11).

La ristrutturazione del barrage di Kofeba, avvenuta nei primi mesi del 2020, ha usufruito dell'esperienza progettuale e operativa del gruppo di ricerca sul tema, consentendo l'introduzione di una serie di innovazioni nel flusso di lavoro adottato per Toumbouba al fine di velocizzare la posa in opera senza compromettere la piena funzionalità. Il barrage si trova in prossimità di un Villaggio che nelle mappe prende il nome di Forongo, ma

dai locali viene chiamato Kofeba, situato a 15 km a ovest di Kita. Anche in questo caso si tratta di una struttura preesistente in pietrame, legato con conglomerato cementizio, lunga 215 m e alta 80 cm, con una conformazione a scarpa la cui sezione triangolare, anche per la poca altezza, prevede un angolo acuto di appena 30° in prossimità del piano di imposta. La regolazione della capienza del bacino veniva attuata mediante la movimentazione manuale di rudimentali chiuse in ferro, incardinate come sportelli senza la presenza di controlaio lineare. Con l'andare del tempo tale semplice meccanismo di movimentazione ha ceduto

e a causa della difficoltà nel reperire manufatti adeguati in materiale metallico, si è deciso di sostituire le rudimentali chiuse con l'apparecchio murario.

In un primo sopralluogo svoltosi nel dicembre 2019 è stata constatata la presenza di una solida fondazione, larga circa 2 m e profonda 50 cm. È stato quindi deciso di procedere con l'ammorsamento tra la struttura esistente e la nuova realizzazione attraverso l'inserimento di barre di acciaio della nuova struttura in elevazione, in fori preventivamente realizzati e successivamente saturati con l'iniezione di calcestruzzo. Per il barrage di Kofeba è stato necessario disporre di un grup-

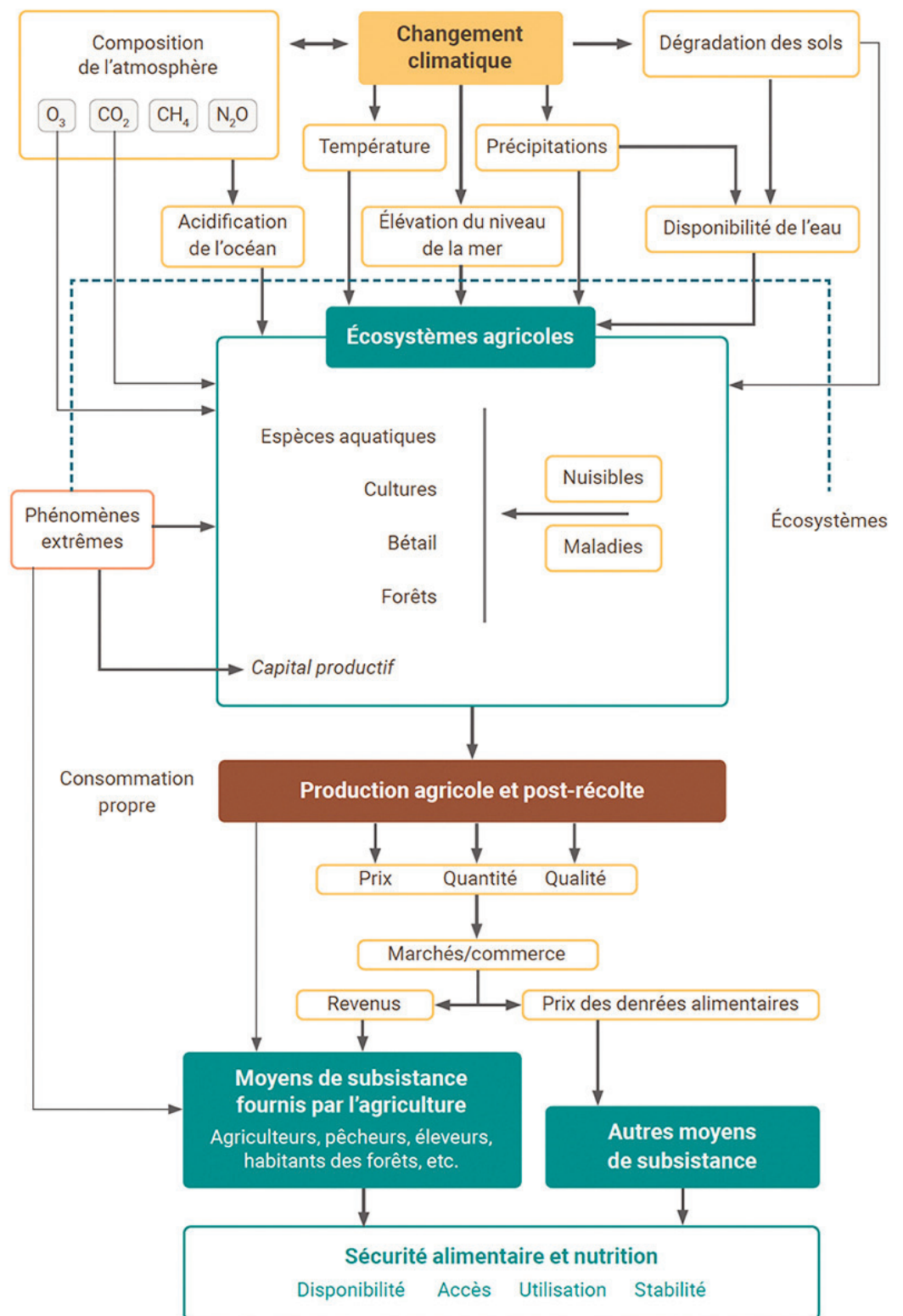


Fig. 3 | Effects of climate change on water scarcity, food insecurity, and nutrition (source: UNESCO, 2024).

po elettrogeno per l'alimentazione di un trapano percussore in grado di operare i fori della profondità adeguata. Nel lasso di tempo trascorso tra il sopralluogo e la missione sono stati realizzati i blocchi ed è stato accantonato il materiale necessario alla costruzione. L'esperienza acquisita in precedenza ha consentito il completamento dell'opera in soli quattro giorni lavorativi (Fig. 12). A pieno regime, e a meno di ulteriori consolidamenti dell'invaso naturale, mediante piccoli interventi di movimento terra, il bacino di Kofeba può arrivare a coprire una superficie compresa tra 9,5 e 20 ha.

Monitoraggio degli interventi e matrice di valutazione | Nell'ambito della fase di monitoraggio (Fig. 13), si sono svolte una serie di azioni volte alla quantificazione degli effetti materiali e immateriali relativi alla rinnovata disponibilità idrica (Fig. 14). Mentre sono ancora in corso le azioni relative alla verifica di cambiamenti microclimatici (Vacanti and Leonardi, 2024) in un intorno ristretto delle aree interessate dalla presenza dei bacini idrici (Magarò, 2021), grazie all'impiego di componentistica elettronica riciclata, utilizzata per la costruzione di una stazione meteo a corto raggio in grado di accumulare in maniera sistematica dati relativi a umidità e temperatura, sono già disponibili i primi risultati relativi agli effetti diretti e indiretti, in relazione a ciascuno dei SDG individuati. La rilevazione degli impatti relativi agli effetti prodotti dalle realizzazioni è stata effettuata in maniera diretta, attraverso l'osservazione sul campo, incontri con la comunità e interviste, spesso tradotte nell'idioma locale, il 'bambara', da figure di riferimento per le comunità interessate.

A causa del diffuso analfabetismo si è preferito non impiegare questionari e, in assenza di dati anagrafici e in un contesto privo di differenze socioeconomiche, gli intervistati non costituivano un campione preselezionato o stratificato. Di fatto

erano gli abitanti che acconsentivano a rispondere, tramite interprete, alle domande poste singolarmente o in gruppo, sul modello dei focus group. La struttura delle domande era sempre indirizzata a ricondurre il giudizio a tre livelli di impatto, utilizzando di volta in volta domande a risposta chiusa con la scala di Likert, domande a scelta multipla o domande aperte a discussioni di gruppo.

Le diverse modificazioni nelle abitudini sociali ed economiche della comunità individuate sono state relazionate e classificate in base alla presumibile afferenza agli SDGs individuati nella ricerca; inoltre ciascuna delle modificazioni è stata ricondotta a effetti diretti o indiretti della creazione dei bacini idrici. Successivamente, per ciascuno di tali effetti è stata rilevata l'opinione degli abitanti dei villaggi interessati dalla presenza del bacino idrico (con la limitazione ai villaggi nelle immediate vicinanze, anche se è di tutta evidenza che le falde siano state rimpinguate a vantaggio anche di villaggi più lontani). Negli incontri e nelle interviste sono stati riportati, per ciascun effetto, una domanda o più domande in grado di interpretare il giudizio su quel determinato effetto da parte dell'intervistato. In sede di elaborazione dei dati a ciascuna risposta si è fatto corrispondere un giudizio, in una scala con tre livelli (basso, medio, alto), con lo scopo di ottenere una valutazione quantitativa delle opinioni raccolte (Miccoli, Finucci and Murro, 2014a) considerando quale impatto prevalente quello con un numero consistente di preferenze maggiori.

Il risultato è una matrice di determinazione degli effetti e di valutazione degli impatti, in grado di restituire, in maniera sintetica, una quantificazione di ciascun effetto relazionato a ciascun SDG (Tab. 2). Tale matrice si riferisce al caso specifico del barrage di Toumoumba; tuttavia, vista la concomitanza geografica degli interventi e i rapporti sociali tra le due comunità, le interviste sono state somministrate anche ad abitanti del Villaggio di Kofeba durante le attività sul loro barrage. Tale riscontro ha consentito anche di valutare una sorta di 'grado di fiducia' rispetto alle attività in fase di attuazione.

Riflessioni conclusive | Una molteplicità di prestazioni complesse richiede un metodo di valutazione articolato, all'altezza delle azioni sociali e della qualità degli impatti (Miccoli, Finucci and Murro, 2014b). Dal punto di vista delle fasi della valutazione l'aver impostato una matrice degli effetti e degli impatti, quale risultato di un'indagine conoscitiva svolta sul campo in relazione alla percezione della comunità, è di per sé un risultato originale e importante. Sebbene tali rilevazioni ex post non possano essere confrontate con quelle analoghe che dovevano essere raccolte ex ante, esse possono costituire un presupposto interessante per sviluppare indicatori di valutazione per progetti analoghi.

Una considerazione particolare deve essere rivolta alla valutazione di quegli impatti che sono amplificati dalla concomitanza di più effetti. Tali effetti, che sinergicamente concorrono al soddisfacimento dei requisiti di salute, igiene e benessere, sono percepiti quali moltiplicatori della qualità dell'intervento, anziché come addendi, generando, quale sviluppo futuro, la necessità di articolare la rendicontazione degli impatti attraverso lo sviluppo di pesi mirati. Sicuramente ciascuno degli im-

patti è stato amplificato dall'aver realizzato tali opere in collaborazione e sinergia con le popolazioni locali, che hanno così appreso l'importanza della manutenzione e hanno compreso come operare in tal senso (Fig. 15).

Rispetto ai limiti dell'indagine si segnala che la matrice proposta non contempla gli effetti negativi i quali, allo stato attuale, sono in fase di determinazione (Porfirione, Ferrari Tumay and Leggiero, 2024). Tuttavia sono stati già rilevati effetti negativi in ordine ai requisiti di sicurezza e di salute, che necessitano di essere monitorati; in particolare la maggiore disponibilità di acqua ferma può attrarre gli insetti portatori di malaria, malattia attualmente estranea al contesto, mentre per quanto riguarda la modificazione della biodiversità animale vi è un'alta probabilità che i coccodrilli, animali sacri in Mali, si moltiplichino, con il rischio che attacchino l'uomo. Infine, una scarsa conoscenza del pericolo connesso alla presenza di uno specchio d'acqua che nel punto più profondo raggiunge i 3 m, può generare una serie di problematiche legate alla sicurezza dei bambini, che oggi utilizzano il barrage per attraversare il bacino e raggiungere la scuola.

La ricerca ha affrontato alcune delle criticità idriche nell'Africa Subsahariana evidenziando come esse non rappresentino solo una sfida legata all'SDG 6 (Accesso all'acqua potabile e servizi igienici), ma un problema trasversale la cui soluzione può essere interrelata con profonde ripercussioni sulla riduzione della povertà (SDG 1), la sicurezza alimentare (SDG 2), la salute e il benessere (SDG 3) e l'istruzione (SDG 4). I casi applicativi presentati evidenziano come anche piccoli interventi infrastrutturali mirati, basati sull'autocostruzione e il coinvolgimento delle comunità locali possano migliorare concretamente l'accesso alle risorse idriche e, di conseguenza, innescare effetti positivi a cascata su molteplici aspetti della vita delle persone.

In definitiva gli esiti tangibili degli interventi di ripristino dei barrage a Toumoumba e a Kofeba, documentati attraverso l'osservazione diretta e il monitoraggio degli effetti, unitamente all'analisi del contesto critico, confermano la validità dell'approccio proposto, basato sulla realizzazione o il ripristino di infrastrutture idriche locali e sulla collaborazione con le comunità come strategia solida e concreta.

La difficile situazione geopolitica creatasi in Mali negli ultimi tre anni ha indotto una battuta di arresto della ricerca per motivi di sicurezza. Ciò ha consentito solo una verifica a distanza delle condizioni di manutenzione delle strutture che, in alcuni casi, ha portato allo svolgimento di piccoli interventi di consolidamento delle parti esistenti. Qualora le condizioni lo consentiranno la ricerca dovrebbe continuare a evolversi nei seguenti aspetti: a) verifica delle condizioni generali delle strutture; b) individuazione ulteriori barrage su cui poter intervenire; c) replicabilità delle strutture grazie al trasferimento tecnologico delle modalità realizzative agli abitanti; d) prosecuzione del monitoraggio di effetti e impatti.

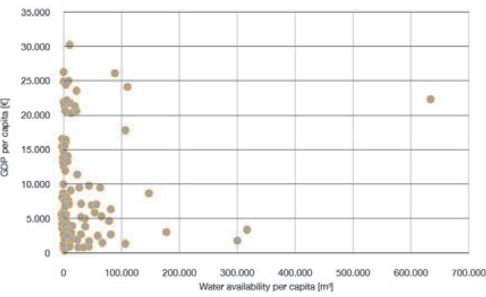


Fig. 4 | Gross domestic product per capita in relation to water availability (source: UNESCO, 2024).

Fig. 5 | Niger River Basin (credit: JRC et alii, 2019).

The 17 Sustainable Development Goals (SDGs) were discussed during the United Nations Conference held in Rio de Janeiro in 2012. They followed

Barrage	River	Volume	Description
Sélingué	Sankarani	2,17 km ³	It enables hydroelectric power generation, flow control (reduced to 75 cubic metres per second at Markala level) and irrigation of approximately 2,000 hectares of land.
Sotuba	Niger	0,005 km ³	It powers a small hydroelectric plant and the artificial canal of Baguineda, which is used to irrigate 3,000 hectares of land.
Markala	Niger	0,175 km ³	It serves to increase the flow of the river to feed a series of irrigation channels.
Talo	Bani	0,18 km ³	It provides water for the irrigation of 20,000 hectares of land through controlled flooding.
Manantali	Bafing	11,27 km ³	It controls water shortages in the Senegal River during the dry season. The stored water replenishes the reserves of Senegal, Mauritania and Mali for electricity generation and irrigation of 15,000 hectares in Mali, 240,000 hectares in Senegal and 120,000 hectares in Mauritania.

Tab. 1 | Description of the main dams on Mali's watercourses (source: MEME, 2007).

the eight Millennium Development Goals (MDGs) aimed at poverty reduction (UN, 2015a). Described as the most remarkable success against poverty (UN, 2015b), they laid the solid foundation for the intergovernmental negotiation that, from January to August 2015, produced the document *Transforming our World – The 2030 Agenda for Sustainable Development*, adopted at the United Nations summit in September 2015 in New York. Structured into 17 goals and 169 targets, measurable through 304 indicators (Sparks, 2016), the SDGs were unanimously ratified by 193 countries. In 2015, the African Union countries adopted their own Agenda 2063, titled *The Africa We Want*, which, aligned with Agenda 2030, seeks to apply social, economic, and environmental sustainability tools over a 50-year horizon.

In Sub-Saharan Africa, the water crisis is the driving force behind dramatic consequences. Although it is directly linked to SDG 6, which aims to ensure access to safe drinking water for all, it is a transversal issue since it is directly or indirectly connected to a multiplicity of SDGs. The recent United Nations conference on water resources (UNESCO, 2023) outlined a dire situation that must be tackled with integrated management aimed at achieving the SDGs linked to it. The indicators measuring the gap between the targets of Agenda 2030 and the current state are alarming, to the point that one of the most significant outcomes of the conference was the drafting of a Water Action Agenda.¹

In Sub-Saharan Africa, a large portion of the population does not have access to basic water and sanitation services (Eberhard, 2019); furthermore, a series of contributing factors, including changing patterns of availability and use of water resources, population growth and shifting habits, along with climate change, are leading to an increased demand for water, particularly in major urban areas. As a result, a dangerous asymmetry has developed between the availability and need for water resources, which, in a complex territory such as Sub-Saharan Africa, exacerbates inefficiencies in infrastructure and intensifies competition among countries affected by the transnational distribution of most major water basins.

The water crisis in Sub-Saharan Africa and its implications

| Worldwide, the total amount of renewable water resources is approximately 8,200 cu km/year, corresponding to about 14% of all water on the planet². This scarcity is not a problem limited only to countries bordering large, inhospitable deserts; it also extends to large regions of China, India, and Pakistan (Klare, 2020) as well as many other countries around the World (Fig. 1). The Sahel, a portion of African territory bounded to the north by the Sahara and to the south by large tropical forests, is particularly afflicted. It is a heterogeneous region spanning 11 countries, home to over 300 million people, and characterised by a dry climate with annual rainfall ranging from 100-200 mm in the north to 600-900 mm in the south. However, this rainfall is concentrated into a single rainy season that lasts only a few months and is composed of extreme events.

This particularity affects, on the one hand, the social relationships between local communities and the diplomatic relations among countries, and on the other, it has a considerable impact on the economy and health (Grishina, 2023). Between 2000 and 2010, rainfall in the Sahel region steadily decreased; since the 1950s, it has dropped by as much as one-third (Tesfaye, 2022). Therefore, climate change has undeniably influenced the rise in temperatures and the concentration of rainfall, affecting agricultural activities (IPCC, 2023).

Although the drying up of Lake Chad is considered one of the causes of water scarcity in Sub-Saharan Africa, it is important to clarify that no substantial reductions in its water volume have been recorded since the 1990s (Denisova and Kostelyanets, 2024); by contrast, the Niger and Volta basins, due to complex and poorly coordinated management among neighbouring countries, have experienced reductions in water availability (JRC et alii, 2019).

In addition to the consequences for health and hygiene, access to potable water is considered indispensable for human dignity and is a prerequisite for consolidating human rights (UN Economic and Social Council, 2003). Therefore, through Resolution 64/292, the United Nations calls on States and international organisations to «[...] pro-

vide financial resources, capacity-building and technology transfer, through international assistance and cooperation, in particular to developing countries, in order to scale up efforts to provide safe, clean, accessible and affordable drinking water and sanitation for all» (UN, 2010, p. 3).

The relationship between the individual and drinking water is defined by a series of attributes: reachability, accessibility, reliability, quality, quantity, and affordability. Each of these variables can compromise the water resource and its use and generate repercussions on other important aspects of quality of life, the most evident of which relates to SDG 3 (Good Health and Well-being). A contaminated water resource (Fig. 2), even if accessible, can cause the transmission of diseases such as cholera, diarrhoea, dysentery, hepatitis A, and poliomyelitis. When water is scarce, people may choose not to use it for personal hygiene, even in risky conditions: WHO (2022a) estimates that the deaths of 395,000 children under the age of five globally could have been prevented by following simple personal hygiene practices. Unfortunately, many diseases are spreading, such as schistosomiasis, caused by parasites in infected water; also, insects that reproduce in water are responsible for severe dengue and malaria epidemics, not to mention the secondary health effects, such as musculoskeletal damage from manual water collection.

From the perspective of food security (SDG 2 – Zero Hunger), the shortage of water significantly impacts agricultural production (Fig. 3). Agriculture globally is responsible for 70% of water withdrawals; thus, water scarcity leads to poor nutrition and severe food insecurity, which in turn necessitates the use of more chemical fertilisers, one of the main contributors to groundwater pollution. When potable water is scarce or contaminated, livestock meat is also scarce, low in nutritional value, and a potential disease vector (WHO, 2022b).

The economic effects of the water crisis (SDG 1 – No Poverty) should also not be underestimated. While poverty is a multidimensional concept, it is well established that equitable, safe, and inclusive access to water significantly impacts many economic variables. In Sub-Saharan Africa, where

ABFN - Agence du Bassin du Fleuve Niger
with mission the safeguarding of the entire basin,
as well as the management and integration of
water resources in coordination with
its transboundary counterparts

Ministry of Agriculture	Ministry of Energy and Water
DNGR - Direction Nationale du Génie Rural in charge of developing policies and strategies on hydro-agricultural management and services for rural communities	DNH – Direction Nationale de l'Hydraulique responsible for national water policy as well as the coordination and control of its implementation, with particular powers over the inventory and management of resources
DNA - Direction Nationale de l'Agriculture responsible for support with regard to vegetation extensions, plant protection, etc.	
IER - Institut d'économie rurale in charge of economic studies and agricultural research	Ministry of the Environment and Sanitation
CPS - Cellule de Planification et de Statistique deals with the collection and processing of agricultural data	DNACPN – Direction Nationale de l'Assainissement, du Contrôle des Pollutions et des Nuisances dealing with environmental monitoring
Rural Development Offices in charge of the management and development of medium and large scale public initiative irrigation perimeters	AEDD – Direction Nationale des Eaux et Forêts, de l'Agence de l'Environnement et du Développement Durable intervening in cases of environmental damage
ON – Office du Niger	
ODRS – Office de Développement Rural de Sélingué	
OHVN – Office de la Haute Vallée du Niger	
ORM – Office Riz Mopti	
ORS – Office Riz Ségou	
OPIB – Office du Périmètre Irrigué de Baguinéda	
OPIM – Office du Périmètre Irrigué de Manantali	
ADRS – Agence pour le Développement Rural de la vallée du fleuve Sénégal	



Fig. 6 | Organisational chart for the management of water resources in Mali (source: MEME, 2007).

Fig. 7 | ESIAU building in Bamako (credit: the Authors).

Fig. 8 | Tombouba barrage before the restoration work (credit: the Authors).

Fig. 9 | Production of modular concrete blocks (credit: the Authors).



agriculture and fishing are leading sectors, employment depends on water intensity and is proportional to access to water resources. The production sectors that consume the most water are responsible for 62% of jobs, and low availability leads to a decrease in GDP (Fig. 4; Zhang and Borja-Vega, 2024).

Quality Education (SDG 4) topics are not detached from the water crisis. Indeed, high child mortality linked to endemic diseases caused by lack of water and poor hygiene leads to a significant drop in school enrollment. This problem is even more serious when considering about certain con-

comitant factors (WHO and UNICEF, 2023): 1) In all countries where water must be fetched from a considerable distance, the task falls to women and girls, making it impossible for the latter to attend school; 2) Countries affected by the water crisis are often in climatic zones frequently hit by flooding, preventing children from reaching school.

Moreover, women responsible for water collection are exposed to the risk of violence. The lack of hygiene resulting from water scarcity has a more severe impact on menstruating women: this gender disparity, directly linked to water, is addressed by SDG 5 (Gender Equality) and, along

with SDG 6 (Clean Water and Sanitation), is part of what is known as the WASH goals, a consonant acronym for Water, Sanitation, and Hygiene (WHO and UNICEF, 2023).

The Malian Context | The situation in Mali is emblematic of what is happening throughout Sub-Saharan Africa. Mali is landlocked; 51% of its territory is desert, and cultivated land covers just 4.7 million hectares, equivalent to only 4% of the country's surface area (FAO, 2015). About 47% of its land lies within the Niger River basin (Fig. 5), while the Senegal River basin accounts for 11%. The

Volta basin covers 1% of the territory, and the Sahara Desert occupies the remainder. Niger and Senegal, together with a complex network of tributaries, provide most of the perennial surface water resources, amounting to 50 cu km/year; the Niger alone contributes 35 cu km/year, a third of which is lost to evaporation.

UNESCO (2006) data indicates that renewable groundwater resources are estimated approximately 20 cu km/year, while the overlap between surface and groundwater resources is about half that. Surface water entering the country totals 40 cu km per year, primarily from Guinea (33 cu km/year) and Côte d'Ivoire (7 cu km per year). The country relies on five dams to use these resources (Tab. 1), with a total capacity of 13.8 cu km (MEME, 2007), but only 5% of renewable water resources are exploited. Nearly all water comes from surface sources, available between June and December, while only water for communities comes from groundwater, except for Bamako (MEAM, 2010), which sources its water from the Niger River. This situation is also due to the complexity of the water management organisational structure (Fig. 6), which hinders the simplification of water policy.

In conclusion, Mali is characterised by significant water resources that are poorly distributed, not only spatially across the territory but also temporally, due to the highly seasonal rainfall. Access to drinking water in Mali is 61% in rural areas and 69.2% in urbanised areas (Dao, 2014).

Tools and research methods | To address the water crisis in Sub-Saharan Africa and establish an operational model for the recovery and performance improvement of existing infrastructures for water control and regulated flooding, the Department of Architecture of 'Roma Tre' University initiated a research program (Scientific Coordinator: Prof. Adolfo F. L. Baratta), starting from a Cultural and Scientific Collaboration Agreement with a series of stakeholders, including the NGO Gente d'Africa, the cultural association Architettura Emergenza Sviluppo (AES), and Romagna Acque Società delle Fonti S.p.A.

Since 2019, an international collaboration program has also been active between the Department of Architecture at 'Roma Tre' University and the École Supérieure d'Ingénierie d'Architecture et d'Urbanisme – ESIU (Fig. 7) of Bamako (Scientific Coordinator: Prof. Abdoulaye Deyoko), focused on the planning, design, and construction of small- and medium-scale infrastructure, primarily of a hydraulic nature, in urban and rural areas. Water infrastructures include the distribution network, terminal units, and control works aimed at creating artificial basins; these latter works are called barrages and are structured as dam-like barriers equipped with sluices for flood control.

The research was divided into different phases, each completed by one or more partners. The first phase of analysis (conducted by 'Roma Tre' University) involved identifying the architectural, technological, structural, and environmental characteristics influencing design choices, studying morphological, functional, and technological solutions, selecting construction techniques suitable for responding to the requirement profile and conducting a preliminary cost-benefit assessment of the proposed solutions.

The second phase (coordinated by 'Roma Tre' University) involved the design proposal and execution of the works, beginning with site surveys, proceeding with the design of components and infrastructure, also involving students, researchers, and faculty for theoretical/practical cultural exchange, and concluding with the construction, logistical implementation, and supervision managed by AES and Gente d'Africa; Romagna Acque S.p.A. supported implementation through specialised know-how and project financing.

The third phase involved collecting and disseminating the research outcomes through national and international publications and conferences (AES and 'Roma Tre' University), while the fourth phase focused on monitoring results (by 'Roma Tre' University and the local population), including direct verification of the functionality of the works and related maintenance projects, ob-

servation of potential microclimatic effects, and identification of impacts on the community.

For implementing the program, the Italian and Malian universities relied on expanding the Erasmus Program beyond European borders through the European Commission's Key Action 107 – International Credit Mobility, responding to the 2019 Call and securing funding for cultural cooperation and international educational exchange.

Application cases from Toumoumba and Kofe-ba

In rural settlements, the term barrage refers to small-scale structures capable of stopping or channelling water from the swelling of torrential watercourses (Baratta et alii, 2021). These barrages minimise the environmental impact due to their small size, which favours the runoff of water that overflows the structure, avoiding the drying out of the downstream aquifer. Their construction



Fig. 10 | The Toumoumba barrage under construction (credit: the Authors).



Fig. 11 | The Toumbouba barrage after restoration (credit: the Authors).

Fig. 12 | The Kofeba barrage after restoration (credit: the Authors).

Fig. 13 | The Toumbouba barrage in operation (credit: the Authors).

Fig. 14 | The landscape after the restoration work (credit: the Authors).

Next page

Tab. 2 | Evaluation matrix of effects and impacts (credit: the Authors).

relies on basic techniques using locally available materials; for this reason, they are relatively weak structures, capable of resisting water pressure only through their shape. The limited transmission of construction techniques and a lack of maintenance culture hinder properly disseminating of a 'rule of craft'. One of the research results was the reconstruction and monitoring of two barrages located near the villages of Toumbouba and Kofeba, close to Kita, the capital of the Kayes Region, 200 km from Bamako.

The barrage of Toumbouba (known locally as Tumumba) was built onto a pre-existing rubble masonry structure 60 meters long, connected to the north by a retaining slope wall of an embank-

ment; it initially resisted horizontal thrust through its shape, having a triangular cross-section with the hypotenuse sloped at about 45°. The structure had an ordinary foundation of aggregate material; the superstructure extended beyond the foundation and rested directly on the riverbed for at least two-thirds of its length.

In 2007, the water caused the structure to overturn, breaking it into three segments (Fig. 8). During the first site visit, the team learned about the lack of steel and the recent tendency to use concrete blocks that are easily made in large quantities using manual block presses (Fig. 9). The first site visit in 2017 ended with a survey of the damaged structure, to proceed to the next design phase.

First, the mould for casting the modular concrete blocks was designed; these would form the vertical superstructure (Di Virgilio, 2023), while the local population completed the demolition of the two overturned segments and clearing of the debris. A reinforced and buttressed structure was then designed to offer maximum resistance to horizontal pressure by combining shape and material strength. Costs were estimated using a detailed quantity survey based on prices collected during the initial site visit.

The construction mission was divided into two phases: in the first phase (February 2018), the foundation was built; in the second phase (April 2018), structural and finishing works were completed, in-

cluding repairing gaps that had formed in the retaining wall and, in part, in the embankment itself. The final result is a masonry structure with varying thickness and height, heavily reinforced in both directions and buttressed, 15 meters long and about 2 meters high. It connects to the pre-existing structure using 16 mm diameter steel bars and concrete injections spaced every 40 cm vertically to a depth of at least 60 cm. The structure was then finished with a 3 cm-thick cement-based plaster (Fig.10).

During the monitoring phase, the proper hydraulic operation of the structure was confirmed. It can create a reservoir of 6.8 hectares with a variable depth between 30 cm and 2 meters, corresponding to a water reserve of approximately 45,000 cubic meters at full capacity. Visible from satellite, the barrage is a landmark, even though it is partially buried, and it reconnects the divide caused by the impetuous stream north of the village, allowing children to cross and reach school. The schoolchildren were the first to understand how the barrage works, which was also designed as a play space thanks to the staggered heights of the buttresses, stimulating the children's imagination (Fig. 11).

The renovation of the barrage at Kofeba, carried out in the early months of 2020, benefited from the design and operational experience gained by the research group, enabling several innovations to the workflow previously adopted at Tombouba, to accelerate construction without compromising functionality. The barrage is located near a village which appears on maps as Forongo but is locally known as Kofeba, situated 15 km west of Kita. In this case, it is a pre-existing rubble masonry structure bonded with cementitious mortar, 215 meters long and 80 cm high, with a sloped cross-section. Due to its short height, the triangular cross-section included an acute angle of only 30° at the base. The regulation of the basin's capacity was initially managed by manually operated, rudimentary iron sluices and hinged-like doors without proper frames. Over time, this simple opening system failed, and due to the difficulty in sourcing suitable metal components, the decision was made to replace the old sluices with a new masonry device.

During a preliminary site visit in December 2019, a solid foundation was found, about 2 meters wide and 50 cm deep. It was thus decided to connect the existing and new structures by inserting steel bars from the new vertical elements into pre-drilled holes in the old foundation, which were then filled with concrete. For the Kofeba barrage, a generator was required to power a percussion drill capable of creating holes of sufficient depth. The concrete blocks were produced between the site visit and the mission, and all necessary materials were stockpiled. Thanks to the previously acquired experience, the construction was completed in just four working days (Fig. 12). At full capacity, and pending further minor earthworks to consolidate the natural basin, the Kofeba reservoir can cover an area between 9.5 and 20 hectares.

Monitoring of initiatives and evaluation matrix

| As part of the monitoring phase (Fig. 13), a series of actions were carried out to quantify the material and immaterial effects related to the renewed water availability (Fig. 14). While actions related to

SDGs	Direct effects	Impact		
		B	M	A
SDG 1	1.1 new micro-enterprises			
	1.1.a. fish farming			✓
	1.1.b. rice cultivation farming			✓
	1.1.c. reduction in internal migration	✓		
SDG 2	2.1 improvement in food supply and quality			
	2.1.a. rice cultivation for domestic consumption			✓
	2.1.b. fish farming for domestic consumption			✓
	2.1.c. increase in vegetable garden productivity		✓	
	2.1.d. increase in the number of livestock on the farm		✓	
	2.1.e. increase in the quantity of vegetables grown	✓		
SDG 3	3.1 reduction in water shortages during the dry season			
	3.1.a. groundwater recharge			✓
	3.1.b. increased availability of water wells			✓
	3.2 improvement of environmental and social well-being conditions			
SDG 4	3.2.a. mitigation of perceived temperatures in the surrounding area	✓		
	3.2.b. creation of community spaces near the barrage		✓	
	4.1 increased education and training for employment			
	4.1.a. reduction in travel time to school		✓	
	4.1.b. increase in the number of schoolchildren			✓
	4.1.c. training young people in building maintenance activities	✓		
SDGs	Indirect Effects	Impact		
		B	M	A
SDG 1	1.1. creation of local microeconomics			
	1.1.a. tailoring		✓	
	1.1.b. sale of food products (meat, poultry, fish)			✓
	1.1.c. sale of food products (eggs)		✓	
SDG 2	1.1.d. increase in trade with neighbouring communities		✓	
	2.1. improvement of agricultural production			
	2.1.a. crop diversification	✓		
	2.1.b. optimisation of irrigation systems			✓
SDG 3	2.1.c. improvement in the quality of cultivated plants		✓	
	3.1. improvement of social cohesion			
	3.1.a. improvement of relations with neighbouring communities	✓		
	3.1.b. restoration of periodic community holidays			✓
SDG 4	4.1. increase in enrolment in school cycles outside the village			
	4.1.a. increase in the number of girls enrolled in lower secondary school			✓



Fig. 15 | Workers during the construction of the Toumoumba barrage (credit: the Authors, 2018).

the verification of microclimatic changes are still ongoing (Vacanti and Leonardi, 2024) in a limited area surrounding the water basins (Magarò, 2021), thanks to the use of recycled electronic components, a short-range weather station was built capable of systematically collecting data on humidity and temperature. The first results concerning the direct and indirect effects about each of the identified SDGs are already available. The impacts were assessed directly through field observations, community meetings, and interviews, often translated into the local language, Bambara, by community reference figures.

Due to widespread illiteracy, questionnaires were avoided, and, in the absence of registry data and a context lacking socio-economic differences, the interviewees did not form a preselected or stratified sample. In practice, they were residents who agreed to answer questions, individually or in groups, using a focus group model. The structure of the questions always aimed to guide the response into one of three levels of impact, using closed-ended Likert scale questions, multiple-choice questions, or open-ended questions for group discussion.

The various changes in the community's social and economic habits were related to and classified based on their presumed relevance to the SDGs identified in the research. Furthermore, each change was identified as a direct or indirect effect of creating the water basins. For each of these effects, the opinion of residents of villages affected by the presence of the reservoir was recorded (limited to villages nearby, although it is evident that the aquifers were replenished to the benefit of more distant villages as well). In the meetings and interviews, one or more questions were posed for each effect to gauge the interviewees' opinions. In processing the data, each response was asso-

ciated with a rating on a three-level scale (low, medium, high), to obtain a quantitative assessment of the collected opinions (Miccoli, Finucci and Murro, 2014a), considering the dominant impact to be the one with the highest number of top-level preferences.

The result is a matrix determining the effects and assessing the impacts, capable of summarising concisely a quantification of each effect related to each SDG (Tab. 2). This matrix refers specifically to the Toumoumba barrage; however, due to the geographical proximity of the projects and the social connections between the two communities, interviews were also conducted with residents of Kofeba village during the activities on their barrage. This feedback also allowed for the assessment of a kind of "trust level" regarding the ongoing activities.

Final considerations | A multiplicity of complex performances requires a structured evaluation method that matches the scope of the social actions and the quality of the impacts (Miccoli, Finucci and Murro, 2014b). From the perspective of the evaluation phases, having set up a matrix of effects and impacts as the outcome of an on-site survey regarding the community's perception is an original and important result. Although these ex-post assessments cannot be compared with analogous ex-ante ones that should have been collected, they may serve as an interesting foundation for developing evaluation indicators for similar future projects.

Particular attention must be given to evaluating those impacts that are amplified by the concurrence of multiple effects. These effects, which synergistically contribute to satisfying health, hygiene, and well-being requirements, are perceived as multipliers of the project's quality rather than

simple addends. This creates, as a future development, the need to articulate impact reporting through the development of weighted metrics. Certainly, each of the impacts was strengthened by these works being carried out in collaboration and synergy with local populations, who thereby learned the importance of maintenance and understood how to act accordingly (Fig. 15).

As for the limits of the investigation, it is noted that the proposed matrix does not include adverse effects, which are still being determined at the present stage (Porfirione, Ferrari Tumay and Leggiero, 2024). Nonetheless, some negative effects have already been detected concerning safety and health requirements. In particular, the increased availability of still water can attract insects that transmit malaria, a disease currently foreign to the area. Regarding changes in animal biodiversity, there is a high likelihood that crocodiles, sacred animals in Mali, could multiply, posing a risk to humans. Finally, limited awareness of the danger associated with the presence of a water body that reaches 3 meters in depth at its deepest point could give rise to safety issues for children who now use the barrage to cross the basin on their way to school.

The research has addressed many water-related challenges in Sub-Saharan Africa, showing that they are not just an SDG 6 (Clean Water and Sanitation) issue but a transversal problem whose resolution can have profound ramifications for reducing poverty (SDG 1), enhancing food security (SDG 2), improving good health and well-being (SDG 3), and advancing education (SDG 4). The presented application cases demonstrate that even small-scale, targeted infrastructural projects based on self-construction and local community involvement can significantly improve access to water resources and consequently trigger positive ripple effects across many aspects of people's lives.

Ultimately, the tangible outcomes of the restoration projects on the barrages in Toumoumba and Kofeba, documented through direct observation and impact monitoring, together with the analysis of the critical context, confirm the validity of the proposed approach based on the restoration or creation of local water infrastructure and collaboration with communities as a solid and effective strategy. The difficult geopolitical situation in Mali over the past three years has led to a pause in research for safety reasons. This has allowed only remote checks on the maintenance condition of the structures, which in some cases led to minor restoration work to consolidate existing elements. Should conditions permit, the research should continue to evolve in the following areas: a) verification of the general condition of the structures; b) identification of additional barrages where restoration work is possible; c) replication of the structures through technological transfer of construction methods to the inhabitants; d) continuation of monitoring effects and impacts.

Acknowledgements

This paper is the result of a joint reflection by the Authors; therefore, it has to be attributed equally to all the Authors.

Notes

1) For more information, see the webpage: sdgs.un.org/conferences/water2023/action-agenda [Accessed 21 April 2025].

2) For more information on AQUASTAT – FAO's Global Information System on Water and Agriculture, see the web page: fao.org/aquastat/en/ [Accessed 21 April 2025].

References

- Baratta, A. F. L., Calcagnini, L., Deyoko, A., Finucci, F., Magarò, A. and Mariani, M. (2021), "Mitigation of the Water Crisis in Sub-Saharan Africa – Construction of Delocalized Water Collection and Retention Systems", in *Sustainability*, vol. 13, issue 4, article 1673, pp. 1-16. [Online] Available at: doi.org/10.3390/su13041673 [Accessed 21 April 2025].
- Dao, A. (2014), "Mali – Problématique de l'accès à l'eau potable et assainissement – Au cœur d'un forum ce mardi", in *Mali Actu | Actualités du Mali*, newspaper online, 11/11/2014. [Online] Available at: maliactu.net/mali-problematique-de-laccès-a-leau-potable-et-assainissement-au-cœur-dun-forum-ce-mardi/ [Accessed 21 April 2025].
- Denisova, T. S. and Kostelyanets, S. V. (2024), "The Lake Chad basin – A territory of instability", in *Asia & Africa Today*, vol. 1, pp. 33-41. [Online] Available at: doi.org/10.31857/S032150750029645-1 [Accessed 21 April 2025].
- Di Virgilio, N. (2023), "Fare molto con poco – Un'architettura modulare, a partire da Walter Segal | Making a lot with little – Modular architecture, starting with Walter Segal", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 14, pp. 164-173. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/14132023 [Accessed 21 April 2025].
- Eberhard, R. (2019), *Access to Water and Sanitation in Sub-Saharan Africa – A Way Forward for German Development Cooperation and its Partners Based on a Review of Two Decades of Involvement in Urban Water Sector Reforms in Africa*, GLZ, Eschborn, Germany.
- FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations (2015), *Profil de Pays – Mali*. [Online] Available at: openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/530dff69-e59f-4703-a2e4-13653a24db3b/content [Accessed 21 April 2025].
- Grishina, N. (2023), "Environmental problems of Liberia", in *Journal of the Institute for African studies*, vol. 64, issue 3, pp. 125-135. [Online] Available at: dx.doi.org/10.31132/2412-5717-2023-64-3-125-135 [Accessed 21 April 2025].
- IPCC | Intergovernmental Panel on Climate Change (2023), *Climate change 2023 – Synthesis Report – Summary for Policymakers*. [Online] Available at: ipcc.ch/report/ar6/syr/downloads/report/IPCC_AR6_SYR_SPM.pdf [Accessed 21 April 2025].
- JRC | Joint Research Centre, van der Wijngaart, R., Helming, J., Jacobs, C., Delvaux, P. A. G., Hoek, S. and Gomez y Paloma, S. (2019), *Irrigation and irrigated agriculture potential in the Sahel – The case of the Niger River basin – Prospective review of the potential and constraints in a changing climate*. [Online] Available at: doi.org/10.2760/725906 [Accessed 21 April 2025].
- Klare, M. T. (2020), "Climate change, water scarcity, and the potential for interstate conflict in South Asia", in *Journal of Strategic Security*, vol. 13, issue 4, pp. 109-122. [Online] Available at: doi.org/10.5038/1944-0472.13.4.1826 [Accessed 21 April 2025].
- Magarò, A. (2021), "E-waste recycling for monitoring the microclimate in sub-Saharan Africa", in Baratta, A. F. L. (ed.), *Pre-Free – UP-Down – Re-Cycle – Pratiche tradizionali e tecnologie innovative per l'End of Waste*, Antefirma Edizioni, Treviso, pp. 172-185.
- MEAM – Ministère de l'Environnement et de l'Assainissement du Mali (2010), *Rapport national sur l'Etat de l'environnement 2009*. [Online] Available at: sustainabledevelopment.un.org/dsd_aofw_ni/ni_pdfs/NationalReports/mali/full_report.pdf [Accessed 21 April 2025].
- MEME – Ministère de l'Energie, des Mines et de l'Eau (2007), *Plan d'Action National de Gestion Intégrée des Ressources en Eau (1ère Partie) – Etat des lieux des Ressources en Eau et de leur cadre de Gestion*. [Online]. Available at: gwp.org/globalassets/global/toolbox/case-studies/africa/mali-capitalizing-on-the-process-of-elaboration-of-the-action-plan-for-iwrm-345-french1.pdf [Accessed 21 April 2025].
- Miccoli, S., Finucci, F. and Murro, R. (2014a), "Assessing project quality – A multidimensional approach", in *Advanced Materials Research*, vol. 1030-1032, pp. 2519-2522. [Online] Available at: doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.1030-1032.2519 [Accessed 21 April 2025].
- Miccoli, S., Finucci, F. and Murro, R. (2014b), "A monetary measure of inclusive goods – The concept of deliberative appraisal in the context of urban agriculture", in *Sustainability*, vol. 6, issue 12, pp. 9007-9026. [Online] Available at: doi.org/10.3390/su6129007 [Accessed 21 April 2025].
- Porfirione, C., Ferrari Tumay, X. and Leggiero, I. (2024), "Conoscenza, innovazione e cambiamento – Il potere dell'errore nel design e nei sistemi complessi | Knowledge, innovation, and change – The power of error in design and complex systems", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 16, pp. 232-241. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/16202024 [Accessed 21 April 2025].
- Sparks, D. L. (2016), "The Sustainable Development Goals and Agenda 2063 – Implication for Economic Integration in Africa", in *Research in Applied Economics*, vol. 8, issue 4, pp. 45-73. [Online] Available at: doi.org/10.5296/rae.v8i4.10194 [Accessed 21 April 2025].
- Tesfaye, B. (2022), *Climate change and conflict in the Sahel*, Council of Foreign Relations, New York, NY.
- UN – United Nations (2015a), *Transforming Our World – The 2030 Agenda for Sustainable Development*, document A/RES/70/1. [Online] Available at: docs.un.org/en/A/RES/70/1 [Accessed 21 April 2025].
- UN – United Nations (2015b), *The Millennium Development Goals Report – 2015*. [Online] Available at: [un.org/millenniumgoals/2015_MDG_Report/pdf/MDG%202015%20rev%20\(July%201\).pdf](https://un.org/millenniumgoals/2015_MDG_Report/pdf/MDG%202015%20rev%20(July%201).pdf) [Accessed 21 April 2025].
- UN – United Nations (2010), *The human right to water and sanitation*, document A/RES/64/292. [Online]. Available at: europarl.europa.eu/meetdocs/2009_2014/documents/droi/dv/201/201101/20110124_302garesolution64-292_en.pdf [Accessed 21 April 2025].
- UN Economic and Social Council (2003), *General Comment No. 15 – The Right to Water (Arts. 11 and 12 of the Covenant)*, document E/C.12/2002/11. [Online] Available at: refworld.org/docid/4538838d11.html [Accessed 21 April 2025].
- UNEP – United Nations Environment Programme (2015), *The United Nations Environment Programme and the 2030 Agenda – Global Action for People and the Planet*. [Online] Available at: wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/9851/-The_United_Nations_Environment_Programme_and_the_2030_Agenda_Global_Action_for_People_and_the_Planet-2015EO_Brochure_WebV.pdf?sequence=3&camp%3BisAllowed=y%2C%20Portuguese%7C%7Chttps%3A//wedocs.unep.org/b [Accessed 21 April 2025].
- UNESCO (2024), *Rapport mondial des Nations Unies sur la mise en valeur des ressources en eau 2024 – L'eau pour la prospérité et la paix*. [Online]. Available at: unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000388949.page=27 [Accessed 21 April 2025].
- UNESCO (2023), *The United Nations World Water Development Report 2023 – Partnerships and cooperation for water*. [Online]. Available at: unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000384655 [Accessed 21 April 2025].
- UNESCO (2006), *Rapport national sur la mise en valeur des ressources en eau – Mali – Une Etude de cas du WWAP préparée pour le 2ème Rapport mondial des Nations Unies sur la mise en valeur des ressources en eau – L'eau, une responsabilité partagée*. [Online] Available at: unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000147267 [Accessed 21 April 2025].
- Vacanti, A. and Leonardi, C. (2024), "Tecnologia, energia e tempo – Percorsi sperimentali per il design di tecnologia appropriata | Technology, energy, and time – Experimental paths for the design of appropriate technology", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 15, pp. 316-323. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/15262024 [Accessed 21 April 2025].
- WHO – World Health Organization (2022a), *WHO Global water, sanitation and hygiene – Annual report 2022*. [Online] Available at: iris.who.int/bitstream/handle/10665/372401/9789240076297-eng.pdf?sequence=1 [Accessed 21 April 2025].
- WHO – World Health Organization (2022b), *State of the World's drinking water – An urgent call to action to accelerate progress on ensuring safe drinking water for all*. [Online] Available at: iris.who.int/bitstream/handle/10665/363704/9789240060807-eng.pdf?sequence=1 [Accessed 21 April 2025].
- WHO – World Health Organization (1946), *Costituzione dell'Organizzazione Mondiale della Sanità*. [Online] Available at: elearning.unite.it/pluginfile.php/241266/mod_resource/content/1/Diritto%20alla%20salute%20nei%20documenti%20internazionali.pdf [Accessed 21 April 2025].
- WHO and UNICEF (2023), *Progress on household drinking water, sanitation and hygiene 2000-2022 – Special focus on gender*. [Online] Available at: data.unicef.org/resources/jmp-report-2023/ [Accessed 21 April 2025].
- Zhang, F. and Borja-Vega, C. (2024), *Water for Shared Prosperity – Executive summary*. [Online] Available at: documents1.worldbank.org/curated/en/099051624092023618/pdf/P5013811ceb7aa0a1186301e150ebe7f8a5.pdf [Accessed 21 April 2025].