



Università degli Studi di Padova
Scuola di Agraria e Medicina Veterinaria
Laurea in Riassetto del territorio e tutela del paesaggio

TESI DI LAUREA

**LE MISURE DI RITENZIONE NATURALE DELLE ACQUE (NWRM):
DALLA TRADIZIONE STORICA ALLE SOLUZIONI ATTUALI**

RELATORE: Prof. VINCENZO D'AGOSTINO

LAUREANDO: MARCO RAMPAZZO

MATRICOLA N. 1033282

ANNO ACCADEMICO 2023-2024

INDICE

Premessa-Abstract.....	5
Introduzione.....	6
2. L'ACQUA E LE NWRM.....	7
2.1 L'acqua come bene universale.....	7
2.2 La Direttiva Quadro sulle Acque 2000/60/CE.....	7
2.3 Il problema del cambiamento climatico.....	8
2.4 L'interesse per le NWRM.....	9
3. SISTEMI DI RACCOLTA E GESTIONE IDRICA IN EPOCA STORICA.....	11
3.1 Vasche e cisterne.....	11
3.2 Pozzi.....	15
3.3 Scavi e sistemi di drenaggio.....	17
3.4 Serbatoi naturali.....	20
3.5 Tecniche di gestione dell'acqua.....	21
3.6 Strutture di captazione.....	23
3.7 Tabella riassuntiva delle principali strutture e tecniche di raccolta in epoca storica.....	27
4. PRINCIPALI NWRM E SETTORI DI APPLICAZIONE.....	29
4.1 NWRM in agricoltura.....	29
4.2 NWRM in silvicoltura.....	32
4.3 NWRM in idromorfologia.....	34
4.4 NWRM in urbanistica.....	37
4.5 Un esempio concreto: il Bosco Limite.....	40
4.6 Tabella riassuntiva delle principali NWRM.....	42
5. PROGETTI SU LARGA SCALA NEL MONDO.....	45
5.1 Il "Progetto Oasi" in Algeria.....	45
5.2 L' <i>Instituto Terra</i> in Brasile.....	47
5.3 I <i>Water Bunds</i> in Africa.....	48
6. CONCLUSIONI.....	51
7. BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA.....	53
5.3 Bibliografia.....	53
5.2 Sitografia.....	53

*A Dio, ai miei genitori
e a tutti/e coloro che mi hanno aiutato in questo percorso*

Premessa

Il presente elaborato ha come obiettivo la conoscenza delle misure di ritenzione naturale delle acque (Natural Water Retention Measures, NWRM), le varie tipologie, i contesti di applicazione e tutti gli elementi che permettono una corretta gestione della risorsa acqua allo scopo di tutelare questa risorsa, l'utilizzo corretto e la disponibilità per il contesto igienico-sanitario, socio-economico e produttivo, nonché la salvaguardia dei vari ecosistemi.

Nei capitoli successivi si vuole segnalare la vitale importanza dell'acqua con le varie normative legate al suo utilizzo; quindi, a seguito di un elenco approfondito di sistemi di stoccaggio in epoca storica, verranno trattate le principali NWRM e le varie tipologie d'impiego, con uno sguardo finale ad alcuni progetti su ampia scala in grado di modificare il clima di intere regioni a livello globale.

Abstract

This paper aims to provide knowledge of the Natural Water Retention Measures (NWRM), the various types, the contexts of application and all the elements that allow a correct management of the water resource in order to protect the water resource, its correct use and availability for the hygienic-sanitary, socio-economic and productive context, as well as the protection of the various ecosystems. In the following chapters, the vital importance of water is highlighted accounting for the various regulations related to its use; therefore, following an in-depth list of storage systems over historical times, the main NWRM and the various types of use are considered with a final look at some large-scale projects capable of modifying the climate of entire regions on the global level.

Introduzione

L'approvvigionamento idrico è sempre stato l'obiettivo primario di ogni civiltà umana e ha condizionato non solo i sistemi agro-forestali ma anche dato luogo all'evoluzione urbana, in modo particolare in paesi caratterizzati da scarsa disponibilità di risorse: tutto ruota attorno all'acqua.

Negli ultimi decenni organizzazioni mondiali hanno posto in rilievo l'importanza cardinale della distribuzione delle risorse idriche al fine di garantire condizioni igienico-sanitarie a tutte le nazioni, Tuttavia il sempre più crescente cambiamento climatico, causato prevalentemente dalle attività umane e caratterizzato da una progressiva riduzione delle acque meteoriche ha accentuato il problema in modo preoccupante. La recente siccità dell'estate del 2022 ha ulteriormente intensificato il livello di allerta, specialmente per le regioni italiane ed europee.

Di conseguenza le risorse idriche, essendo più limitate e considerate un bene dell'umanità, esigono una gestione adeguata e responsabile, al fine di colmare le divergenze tra i vari paesi e garantire la disponibilità della risorsa acqua anche in eventuali contesti climatici anormali, annunciati ripetutamente da diversi studi per la tutela dell'ambiente negli ultimi anni.

Le NWRM sono state adottate per il raggiungimento di questi obiettivi e costituiscono l'invito a un cambiamento culturale, volto ad adottare un'etica di cura e di responsabilità per le generazioni sia presenti sia future e creare le basi per un futuro sostenibile.

2. L'ACQUA E LE NWRM

2.1 L'acqua come bene universale

Il ruolo dell'acqua è sempre stato molto importante per la vita dell'uomo sulla terra. Già i primi ominidi, realizzavano superfici e barriere di raccolta dell'acqua. È un dato storico noto che i primi insediamenti umani siano sorti in prossimità delle sorgenti di acqua e dei fiumi, e le prime civiltà organizzate siano nate attorno ai fiumi essenzialmente per l'esigenza di organizzare collettivamente la gestione della risorsa idrica: così in Mesopotamia, Egitto, India, per la necessità di canalizzazione delle acque fluviali.

Nel corso dei secoli sono nate tecniche e sistemi sempre più elaborati di gestione dell'acqua; ma solo negli anni trenta del XX secolo, tuttavia, si è diffusa la coscienza dell'importanza strategica della preziosa risorsa e la proprietà delle acque è diventata pubblica. Parimenti, negli stessi anni, si è diffusa la coscienza della necessità di garantire l'accesso universale al servizio idrico, per motivi igienici e umanitari, con l'obiettivo cioè di portare l'acqua in tutte le abitazioni; basti pensare al contributo del Piano Marshall, nel secondo dopoguerra, o ai tentativi da parte di alcuni finanziatori come la Banca internazionale per la ricostruzione e lo sviluppo finanzia progetti per infrastrutture idriche avendo come vincolo economico il rientro del capitale investito attraverso la loro gestione.

In Italia, l'acqua è il fulcro della vita di tutti i numerosi biomi che compongono il paese ed è considerata "un bene comune, una risorsa rinnovabile, indispensabile per la vita dell'ecosistema e di tutti gli esseri viventi" e che "tutte le acque superficiali e sotterranee sono pubbliche e non mercificabili e costituiscono una risorsa che è salvaguardata e utilizzata secondo criteri di efficienza, solidarietà, responsabilità e sostenibilità." (Legislatura 17^a - Disegno di legge n. 2343).

2.2 La Direttiva Quadro sulle Acque (2000/60/CE)

A seguito delle varie normative e discipline organiche in materia di "Acque" negli ordinamenti Italiani ed Europei (come la Legge 319/1976, c.d. Legge Merli e la Legge n. 36 del 5 gennaio 1994, Legge Galli), grande importanza assume la Direttiva Quadro sulle Acque 2000/60/CE (Water Framework Directive, WFD) recepita nell'ordinamento nazionale tramite il D.lgs. 152/2006, che istituisce un quadro di riferimento per l'azione comunitaria in materia di acque ai fini della tutela e gestione delle risorse idriche quali le acque interne superficiali e sotterranee, le acque di transizione e costiere (www.arpa.veneto.it).

La Direttiva si prefigge le seguenti finalità:

- impedire un ulteriore deterioramento, proteggere e migliorare lo stato degli ecosistemi acquatici, degli ecosistemi terrestri e delle zone umide direttamente dipendenti dagli ecosistemi acquatici;

- agevolare un utilizzo idrico sostenibile fondato sulla protezione a lungo termine delle risorse idriche disponibili;
- mirare alla protezione rafforzata e al miglioramento dell'ambiente acquatico, anche attraverso misure specifiche per la graduale riduzione degli scarichi, delle emissioni e delle perdite di sostanze prioritarie, fino all'arresto o alla graduale eliminazione;
- assicurare la graduale riduzione dell'inquinamento delle acque sotterranee e impedirne l'aumento;
- contribuire a mitigare gli effetti delle inondazioni e della siccità.

La WFD adotta anche una prospettiva più ampia e a lungo termine, promuovendo "un utilizzo idrico sostenibile fondato sulla protezione a lungo termine delle risorse idriche disponibili"(www.arpa.veneto.it). Tale quadro deve, in modo più specifico, contribuire a mitigare gli effetti delle inondazioni e della siccità, a garantire un sufficiente approvvigionamento di acque superficiali di buona qualità, a ridurre significativamente l'inquinamento delle acque sotterranee, a proteggere le acque territoriali e marine e a raggiungere gli obiettivi degli accordi internazionali in materia (art. 1). Essa ha una duplice dimensione: da un lato, fornisce un insieme di "strategie" per l'emanazione di direttive di attuazione relative ai diversi inquinanti e agli ambienti interessati; dall'altro, comprende disposizioni immediatamente applicabili. Più in generale, essa prevede la definizione di strutture e strumenti, oltre a specifiche indicazioni per la protezione delle acque.

2.3 Il problema del cambiamento climatico

L'acqua è l'elemento principale attraverso il quale vengono e verranno percepiti gli effetti del cambiamento climatico.

Periodi di siccità si sono intervallati sempre più a periodi di forti precipitazioni concentrati in pochi giorni, ore e minuti, caratterizzati anche da improvvisi "alluvioni lampo", che si verificano dall'estate al tardo autunno, con danni ingenti ad abitazioni, infrastrutture e terreni.

In uno scenario di riscaldamento globale di 2° C, il numero di persone affette da scarsità d'acqua in Europa potrebbe passare dagli attuali 85 milioni fino a 295 milioni, principalmente nei paesi del Mediterraneo.

A livello globale il recente 2022 è stato il secondo anno più caldo mai registrato in Europa, con una temperatura di 0,9°C più caldo della media. A livello europeo, temperature più alte della media si sono registrate nel nord-est della Scandinavia e nei Paesi che si affacciano sul Mar Mediterraneo nord-occidentale. L'estate è stata la più calda mai registrata, con 1,4°C sopra la media e 0,3-0,4°C al di sopra dell'estate del 2021 (*ESOTC, 2022*): gran parte dell'Europa ha registrato un numero di giorni di neve inferiore alla media, con molte aree che hanno registrato fino a 30 giorni in meno.

In primavera, le precipitazioni sono state inferiori alla media in gran parte del continente, con il mese di maggio che ha raggiunto il valore più basso mai registrato. La mancanza di neve invernale e le alte temperature estive hanno provocato una perdita record di ghiaccio dai ghiacciai delle Alpi,

equivalente a oltre 5 km³ di ghiaccio. Le scarse precipitazioni, che si sono protratte per tutta l'estate, insieme alle eccezionali ondate di calore, hanno causato anche una siccità diffusa e prolungata che ha colpito diversi settori, come l'agricoltura, il trasporto fluviale e l'energia.

Si è inoltre registrato un aumento significativo delle emissioni di carbonio da incendi boschivi in alcune regioni europee durante l'estate 2022, a seguito delle condizioni di caldo e siccità. Nello stesso anno le emissioni totali stimate nei Paesi dell'Ue sono state le più alte dal 2007.

Oltre a una decisa azione di mitigazione, cioè di progressivo azzeramento delle emissioni climalteranti, sono necessarie strategie di adattamento, inclusi il risparmio e l'efficienza nell'uso dell'acqua. La resilienza al cambiamento climatico è rafforzata da servizi ecosistemi sani che si affidano a bacini fluviali ben funzionanti. Un adattamento ai cambiamenti climatici efficace deve riflettere l'importanza della gestione delle risorse idriche nel ridurre la vulnerabilità e costruire la resilienza al cambiamento climatico.

È necessario un cambio di rotta totale sia su scala globale, dando seguito agli impegni presi nelle varie conferenze del Clima, sia su scala locale. Ma è necessario anche modificare il quotidiano rapporto con l'ambiente e con l'acqua, partendo dalla consapevolezza, da tradurre in comportamenti virtuosi, che l'acqua è un bene comune e a disponibilità limitata.

Non sono più rinviabili politiche di adattamento ai cambiamenti climatici che non abbiano il loro punto focale nel governo delle risorse idriche. È infatti indispensabile colmare il ritardo nell'applicazione delle direttive europee su Acque (2000/60/CE) e Alluvioni (2007/60/CE), avviando, ad esempio, la riqualificazione dei nostri fiumi e laghi impiegando subito il 20% di finanziamenti della difesa del suolo per interventi integrati per il miglioramento dello stato ecologico dei corsi d'acqua e la tutela degli ecosistemi e della biodiversità (L.133/2014) e promuovendo “infrastrutture verdi”, come previsto dalle risoluzioni della Commissione europea (2013/249).

2.4 L'interesse per le NWRM

Le misure di ritenzione naturale dell'acqua (in inglese *Natural Water Retention Measures*, NWRM) sono “misure multifunzionali che mirano a proteggere e gestire le risorse idriche e ad affrontare le sfide legate all'acqua ripristinando o mantenendo gli ecosistemi nonché le caratteristiche naturali dei corpi idrici utilizzando mezzi e processi naturali.

Le NWRM hanno il potenziale per fornire molteplici benefici, tra cui la riduzione del rischio di inondazioni e siccità, il miglioramento della qualità dell'acqua, la ricarica delle falde acquifere e il miglioramento dell'habitat. La loro applicazione supporta le infrastrutture verdi, migliora o preserva lo stato quantitativo dei corpi idrici superficiali e sotterranei e può influenzare positivamente lo stato chimico ed ecologico dei corpi idrici ripristinando o migliorando il funzionamento naturale degli ecosistemi e dei servizi che forniscono. Gli ecosistemi preservati o ripristinati possono contribuire sia all'adattamento che alla mitigazione dei cambiamenti climatici.

Nel complesso le NWRM sono teoricamente pertinenti a qualsiasi utilizzo del paesaggio e settore, se applicate appropriatamente. Esse non sono misure nuove, poiché alcune sono state implementate da lungo tempo in diversi paesi e settori dai pionieri della pianificazione urbana e rurale, della conservazione naturale e dell'adattamento ai cambiamenti climatici. Ciò che è nuovo tuttavia è il riconoscimento dei loro molteplici vantaggi che forniscono opportunità per la loro applicazione in aree di politiche diverse da quelle sotto le quali sono state sviluppate e tradizionalmente implementate.

I funzionari dei servizi idrici, gli enti di pianificazione urbana, spaziale e di destinazione del suolo, le organizzazioni per la protezione della natura, i professionisti agricoli e i funzionari delle risorse forestali, le autorità pubbliche e le persone interessate mostrano un crescente interesse nelle misure di ritenzione naturale delle acque. Il loro interesse risiede nei molteplici vantaggi che le NWRM possono potenzialmente fornire e nella loro capacità di contribuire contemporaneamente al raggiungimento degli obiettivi di diverse politiche dell'Unione Europea (UE), fra cui la direttiva quadro sulle acque (WFD), la direttiva sulle alluvioni (FD), la strategia dell'UE sulla biodiversità, l'azione europea sulla carenza d'acqua e la siccità, la strategia di adattamento ai cambiamenti climatici della UE o la direttiva quadro sulla strategia marina (MSFD).

Per supportare la realizzazione delle NWRM, la Commissione Europea (CE) ha lanciato negli ultimi anni una serie di iniziative sulle nel contesto della strategia di realizzazione comune (CIS) della WFD. In particolare queste hanno incluso: uno studio d'ambito diretto a identificare le NWRM insieme ai costi e vantaggi attesi; una valutazione a priori dell'efficacia delle NWRM a supportare il raggiungimento degli obiettivi delle politiche idriche dell'UE; un progetto pilota che ha combinato la costituzione di una base di conoscenze sulle stesse misure di ritenzione basata sul Web (www.nwrm.eu) con il supporto all'emergenza di una continuità di pratica per le NWRM; lo sviluppo di un documento sulle politiche NWRM della UE che promuove un migliore utilizzo delle stesse. Inoltre negli Stati membri dell'Unione Europea sono in atto molte iniziative per supportare la progettazione e la realizzazione di queste importanti misure.

3. SISTEMI DI RACCOLTA E GESTIONE IDRICA IN EPOCA STORICA

Sin dalla nascita della nostra specie, l'uomo ha potuto tramandare alle generazioni successive la sua consapevolezza dell'importanza della pioggia. Egli non era ancora in grado di capire e spiegare scientificamente moltissimi fenomeni naturali ma, al contrario di quanto accade nella società odierna, si sentiva parte di essi e riusciva a sfruttare ciò che la natura gli offriva in modo estremamente ingegnoso e senza alterarne i difficili equilibri.

In questo capitolo si intende descrivere le principali opere di raccolta idrica nel corso dei secoli in Italia e nel mondo, incluse le varie tecniche e le opere urbane di approvvigionamento. Le informazioni riportate sono tratte dal sito "www.pangea-project.org", che hanno ispirato e consentito la realizzazione degli attuali sistemi di ritenzione naturale delle acque. PANGEA PROJECT - Ancient Techniques Research Center - è un'Associazione Ricreativa Culturale per la ricerca e la salvaguardia delle antiche tecniche, nata in Versilia. L'associazione è impegnata nella ricerca e raccolta dati delle risorse locali nel campo archeologico, storico, ambientale e tradizionale. Nell'ambito progettuale, utilizza tecnologie che sfruttano le conoscenze e le tecniche architettoniche tradizionali. Attualmente opera per la gestione e la raccolta dell'acqua mediante il ripristino di antiche strutture nelle zone aride.

3.1 Vasche e cisterne

Le vasche di raccolta e le cisterne sono le opere più immediate e facilmente realizzabili, esse spaziano dalla piccola riserva ad uso privato, fino al rifornimento di intere città. Ne sono un esempio i sistemi di raccolta delle acque piovane, molti dei quali vengono utilizzati ancora oggi, presenti sia nelle aree geografiche pugliesi dell'altopiano della Murgia, del Salento e della Valle D'Itria, che in alcuni paesi del mondo, periodicamente caratterizzati da lunghi periodi di siccità.

- **Microcisterne**

Le microcisterne scavate nel calcare (Fig. 3.1), sono collegate tra loro in modo da formare un sistema di decantazione dell'acqua. Il funzionamento di questi sistemi rurali di raccolta d'acqua si basa su fenomeni fisici dalla semplicità e immediatezza, ed è forse questo il segreto della loro ancora attuale funzionalità.



Figura 3.1 – Microcisterne collegate, Matera (Basilicata) (foto da www.pangea-project.org)

Negli ipogei di Matera, le microcisterne sono collocate all'ingresso delle abitazioni per raccogliere l'acqua piovana. Tramite un'estesa rete di canalette intagliate nella roccia, l'acqua viene convogliata dentro le abitazioni anch'esse scavate nella roccia. Con questo sistema veniva immagazzinata una grande quantità d'acqua.



Figura 3.2 – Microcisterne scavate, San Falcione, Matera (Basilicata) (foto da www.pangea-project.org)

• Cisterne a cielo aperto

Cisterne di più grandi dimensioni garantivano l'approvvigionamento idrico per le attività agricole-pastorali. La raccolta dell'acqua piovana avveniva tramite le canalette scavate nella parete rocciosa sovrastante che adducevano a piccole cisterne a cielo aperto (Fig. 3.3).



Figura 3.3 – Cisterne a cielo aperto a Mottola (Puglia) (a sinistra) e a Minazzana (Toscana) (a destra) (foto da www.pangea-project.org)

I grandi serbatoi a cielo aperto non solo garantivano il rifornimento idrico per la popolazione dei grandi centri abitati, ma avevano dimensioni sufficienti per fornire l'acqua ai campi coltivati ed alle abitazioni che, in caso di assedio, potevano contare su notevoli riserve idriche. Ad Hababa (Yemen del Nord) la città circonda la larga cisterna (Fig. 3.4) dove sono raccolte le acque provenienti dalle terrazze degli edifici.



Figura 3.4 – Larga cisterna a cielo aperto, Hababa (Yemen del nord) (foto da www.pangea-project.org)

• Cisterne a campana

Questo tipo di struttura a sesto acuto è diffusa in tutto il mondo fin dal Neolitico: l'acqua piovana entra in un corridoio laterale e, tramite un'apertura, cade nella cisterna a campana dove viene raccolta mediante un secchio. Lo stoccaggio avviene con l'acqua piovana e con quella di deflusso lungo i pendii, dove si organizzano le superfici di raccolta, le canalette ed i dispositivi di decantazione.

Le cisterne sotterranee Maya, che prendono il nome di *chultun* (Fig. 3.5), hanno un pozzo scavato nella terra, con la bocca di entrata al livello del terreno e una superficie di captazione dell'acqua, di solito in pietra circolare e leggermente inclinata verso il centro, in direzione della bocca del deposito.



Figura 3.5 – Rappresentazione grafica (a sinistra) e copertura (a destra) di un *chultun* nello Yucatan (Messico) (foto da www.pangea-project.org)

• Cisterne a tetto

Le cisterne a tetto (Fig. 3.6) sono un ingegnoso sistema per carpire le infiltrazioni del sottosuolo e la condensa naturale dovuta alla differenza di temperatura. Non ci sono falde né sorgenti; l'acqua s'infiltra nel terreno (microinfiltrazioni) e riempie la camera sotterranea. Sul tetto è presente il pozzo da cui l'acqua viene attinta mediante un secchio e versata negli abbeveratoi degli animali.

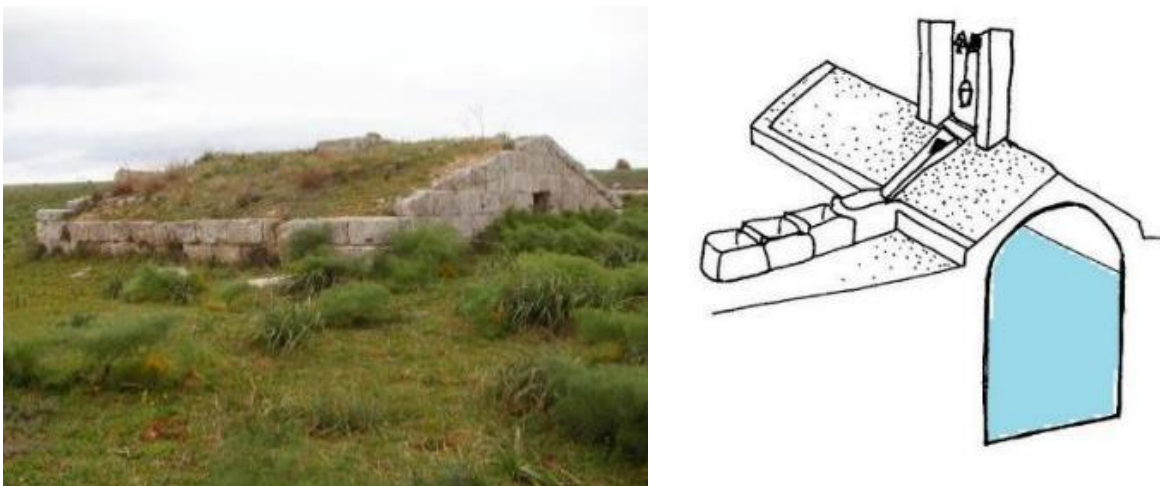


Figura 3.6 – Immagine (a sinistra) e rappresentazione grafica (a destra) di una cisterna a tetto nella Murgia Timone (Matera) (foto da www.pangea-project.org)

• Cisterne connesse

Questo tipo di cisterne (Fig. 3.7) sono collegate, tra loro, attraverso una rete di canali all'aperto e tunnel di raccolta dell'acqua piovana e sono fornite di dispositivi per la decantazione e il filtraggio tramite sfioratori sulle slitte delle cisterne. In tutta la Murgia dell'Italia del sud, cavità sotterranee collegate vengono scavate nel calcare per raccogliere l'acqua dai versanti per mezzo di una rete di canali sotterranei. La struttura sotterranea consente, da un lato di fornire una maggiore quantità d'acqua e dall'altro, di ridurre drasticamente le perdite per evaporazione, mentre le pareti interne delle strutture sono perfettamente isolate mediante intonaco fatto di calce e frammenti (coccio-pesto).



Figura 3.7 – Cisterne collegate collina di Botromagno (Gravina di Puglia) (foto da www.pangea-project.org)

3.2 Pozzi

Tra le opere finalizzate alla raccolta di acqua piovana troviamo i pozzi (Fig. 3.8), tramite i quali l'uomo è riuscito a recuperare l'acqua intrappolata nelle falde acquifere del sottosuolo. Tra queste opere il pozzo è quella che probabilmente ha un maggiore impatto ambientale, sia perché per costruirlo la roccia calcarea deve essere inevitabilmente perforata, sia perché l'eccessivo prelievo di acque dalla falda può provocare un abbassamento del livello piezometrico fino anche al livello del mare. Questo può determinare un fenomeno di richiamo di acque salmastre nella cavità di falda rendendo il pozzo inutilizzabile.



Figura 3.8 – Antico pozzo di raccolta dell'acqua (Lunigiana; foto a sinistra) e pozzo di campagna per attività agropastorali, (Mottola, Puglia; foto a destra) (foto da www.pangea-project.org)

Sono da citare i grandi complessi sacrali dell'Età dei Metalli, come i pozzi nuragici in Sardegna (Fig. 3.9); la loro struttura architettonica è ritenuta tra le più elaborate presenti nell'Isola ed è un chiaro esempio della maestria costruttiva raggiunta dai Nuragici. Si trova su tutto il territorio isolano e insieme alle tombe dei giganti e ai tempietti a megaron testimonia lo spirito profondamente religioso delle popolazioni sarde durante la civiltà nuragica.

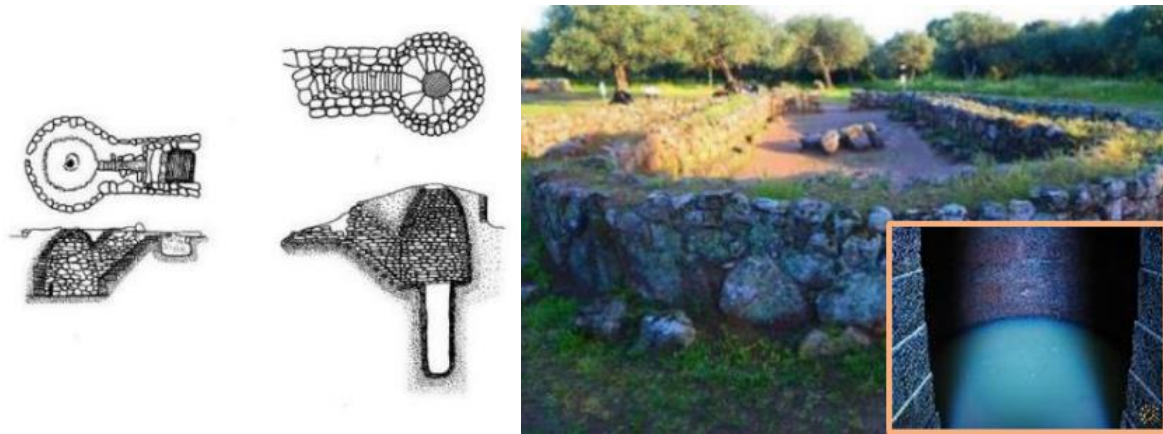


Figura 3.9 – Pozzi Nuragici: pianta e sezione (a sinistra) e recinto sacro (a destra) (foto da www.pangea-project.org)

Nell'ambito delle opere di grande importanza storico-culturale rientra soprattutto il pozzo di San Patrizio (Fig. 3.10), che fu progettato proprio per fornire acqua in caso di calamità o assedio. L'accesso al pozzo, capolavoro di ingegneria, è garantito da due rampe elicoidali a senso unico, completamente autonome e servite da due diverse porte, che consentivano di trasportare con i muli l'acqua estratta senza ostacolarsi e senza dover ricorrere all'unica via che saliva al paese dal fondovalle.



Figura 3.10 – L'interno del pozzo di San Patrizio, Orvieto (Umbria) (foto da www.pangea-project.org)

3.3 Scavi e sistemi di drenaggio

La presenza di un sistema di canalizzazioni e percorsi alternativi per l'acqua, superficiali e sotterranei, era essenziale per una raccolta più estesa e organizzata, specialmente nei periodi in cui l'assenza di precipitazioni non garantiva l'apporto idrico in modo omogeneo.

• Canalizzazioni superficiali e voltate

Il sistema di canali superficiali (scavati nella calcarenite), così come quelli sotterranei, collegano le cisterne di raccolta dell'acqua piovana.



Figura 3.11 – Canali drenanti, Gravina di Puglia (Puglia) (foto da www.pangea-project.org)

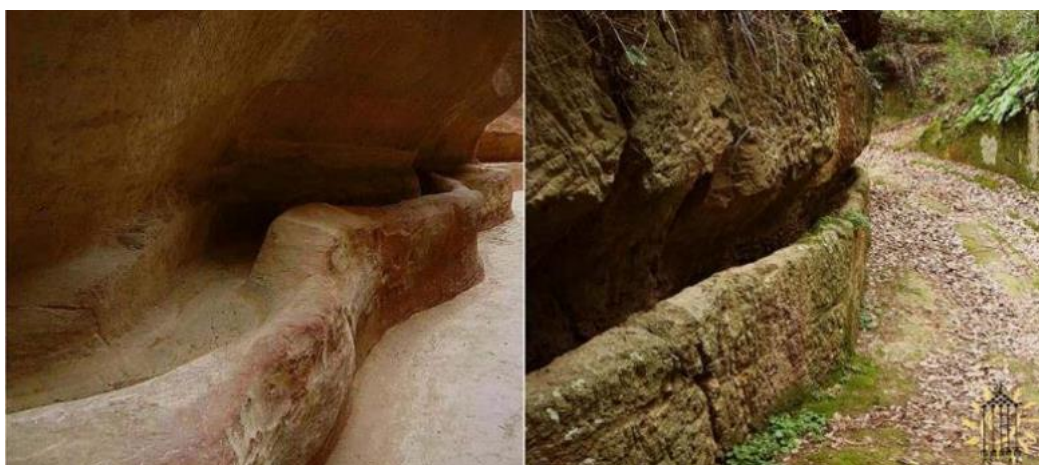


Figura 3.12 – Canale scavati nell'arenaria nel Siq di Petra (a sinistra) e nel tufo nelle Vie Cave di Pitigliano (a destra) (foto da www.pangea-project.org)



Figura 3.13 – Canalizzazione voltata, Rossano del Vaglio (Potenza; foto a sinistra) e interno con volta a botte di un canale voltato, Gravina (Puglia; foto a destra) (foto da www.pangea-project.org)

• Bisse

Le bisse sono antichi canali d'irrigazione, utilizzati da secoli, che attraversano in piano il territorio Vallese per irrigare le aride vallate del cantone alpino.

L'abbondante acqua di montagna, viene portata nelle aride vallate di fondovalle dove la piovosità è scarsa. I canali sono costruiti attraverso gole, pareti di roccia e impervi boschi (Fig. 3.14).

Gli abitanti del Vallese di un tempo, con questo sistema di gestione dell'acqua, riuscivano ad irrigare i pascoli e le coltivazioni anche a dieci chilometri di distanza dalla fonte d'acqua.

Le bisse formano una rete di oltre 1800 chilometri senza particolari pendenze, dato che, dal punto di captazione dell'acqua sino alla fine della condotta, la pendenza è lieve.

Canalizzazioni di questo tipo vengono utilizzate ancora oggi in alcune aree italiane (Valle d'Aosta, Val Venosta).



Figura 3.14 – Bisse, Sion (Svizzera) (foto da www.pangea-project.org)

• Drenaggio dalle coperture

La raccolta dell'acqua piovana in questo caso avviene grazie alla particolare struttura dei tetti degli edifici: ne sono un esempio i Trulli di Alberobello e le Cummerse di Locorotondo (entrambi in Puglia) (Fig. 3.15): nei primi la struttura abitativa utilizza pietre a secco assemblate con una copertura a pseudocupola che raccoglie acqua piovana tramite canalette di scolo. Nei secondi la parte centrale della copertura ha un impluvio che raccoglie l'acqua piovana che, mediante una conduttura verticale, scende nella cisterna sotterranea all'interno della costruzione.



Figura 3.15 – Trullo di Alberobello (a sinistra) e Cummersa di Locorotondo (a destra) (foto da www.pangea-project.org)

Altri esempi sono le strutture del mausoleo di Al Muhajir e delle moschee nella Valle dell'Hadramaut (Fig. 3.16) nello Yemen del Sud: il santuario soprastante il mausoleo canalizza l'acqua che scende lungo le pendici nelle camere di abluzione e preghiera, collocate al di sotto del complesso sacro. La conformazione delle cupole della moschea invece permette il deflusso dell'acqua verso la piccola cisterna a cielo aperto, situata nel centro, per le abluzioni.

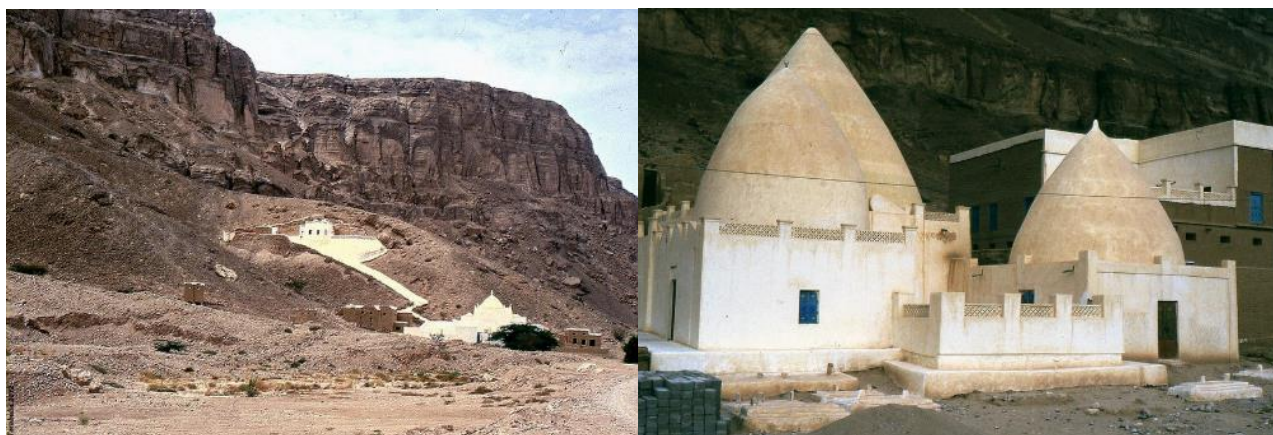


Figura 3.16 – Mausoleo Al Muhajir con santuario (a sinistra) e una moschea (a destra) nella Valle dell'Hadramaut (Yemen del Sud) (foto da www.pangea-project.org)

Nei Sassi di Matera in Basilicata, i tetti delle abitazioni non sporgono dalla muratura ma, rimangono all'interno delle terrazze in modo da permettere la canalizzazione delle acque piovane tramite i condotti verticali fino alla cisterna scavata nel cortile.

Questa pratica è associata con la creazione di giardini pensili (Fig. 3.17), sospesi o collocati sopra le terrazze, che contribuiscono a mantenere condizioni termiche ottimali nelle abitazioni.



Figura 3.17 – L'impianto urbano (a sinistra) e i giardini pensili (a destra) di Matera (Basilicata) (foto da www.pangea-project.org)

3.4 Serbatoi naturali

Le primissime fonti di approvvigionamento idrico, peraltro non totalmente affidabili, erano costituite dai serbatoi naturali. Le prime civiltà costruivano i loro villaggi nelle immediate vicinanze.

I *cenotes* sono grotte carsiche, pozzi naturali di acqua dolce derivanti dal crollo di roccia calcarea che hanno creato un enorme sistema di grotte sotterranee e di caverne. Per il popolo Maya rappresentavano la principale fonte d'acqua in una terra povera di fiumi superficiali e che attraversava lunghi periodi di siccità.

Le *ghelte*, sono serbatoi naturali d'acqua piovana rari nel deserto, essenziali per i nomadi che, costantemente, si spostano da un luogo all'altro e che, pertanto, devono conoscere le zone in cui l'acqua si può trovare in natura oppure attraverso dispositivi costruiti dai nomadi stessi. Create da sporadiche piogge, sono abbeveratoi per gli animali in zone dove non esistono acque superficiali.

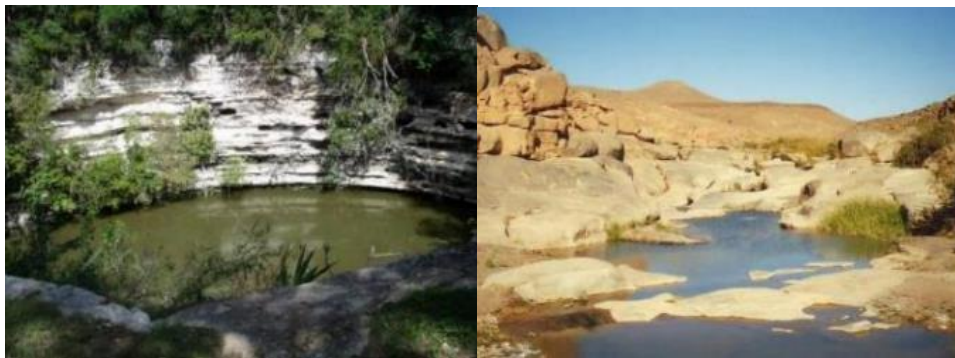


Figura 3.18 – Il Cenote Sagrado, Yucatan (Messico) (a sinistra) e una ghelta a Tamanrasset (Algeria) (foto da www.pangea-project.org)

3.5 Tecniche di gestione dell'acqua

Queste tecniche sono state progettate per deviare, accumulare, trattenere in tutto o in parte i flussi delle piene attraverso opere o strutture, anche rudimentali, con lo scopo di beneficiare aree diverse del sito originario. Questa tecnica veniva usata in antichissimi insediamenti umani in Medio Oriente e Asia Occidentale.

• Strade-torrenti

In zone dove lunghi periodi di siccità si alternano a brevi periodi di forti piogge e inondazioni, le strade-torrenti (Fig. 3.19) vengono usate per raccogliere l'acqua piovana da utilizzare in maniera efficiente. Le strade strette, racchiuse tra le alte mura che circondano i giardini, diventano torrenti che convogliano la preziosa acqua. Questa tecnica di distribuzione dell'acqua è ancora usata nella zona del Wadi Dhar vicino alla città di Sana'a, nello Yemen del nord dove, durante la stagione delle piogge, le piccole strade murate convogliano l'acqua nei giardini, disposti su di un livello leggermente inferiore, mediante delle uscite disposte negli incavi. L'intero sistema funziona per gravità e determina un'organizzazione rigorosa che raggiunge i livelli massimi solo quando si verificano le sporadiche inondazioni e le strade si trasformano in corsi d'acqua.



Figura 3.19 – Strada-torrente nella Valle dello M'zab (Yemen) (foto da www.pangea-project.org)

• Canalizzazioni e concentrazione di pioggia lungo le pendici

Fin dall'antichità, nella valle dell'Hadramaut (Yemen), le comunità hanno utilizzato gli altipiani ed i pendii ripidi, opportunamente sagomati e isolati, come impluvi per la raccolta di pioggia tramite un sistema di vasche e cisterne. Grazie a questo lavoro costante e alla conoscenza tramandata di un'organizzazione specifica, le piogge (unica fonte d'acqua disponibile nel luogo) e i deflussi venivano controllati e conservati. La città di Aden (Yemen) ha utilizzato efficacemente il cono del vulcano spento su cui è situata a questo scopo: gallerie e canali alimentano cinquanta grandi cisterne

a cielo aperto collegate lungo il pendio (Fig. 3.20). Oggi le antiche cisterne di Aden sono vuote e la città è rifornita dagli acquedotti con impianti di desalinizzazione molto costosi.

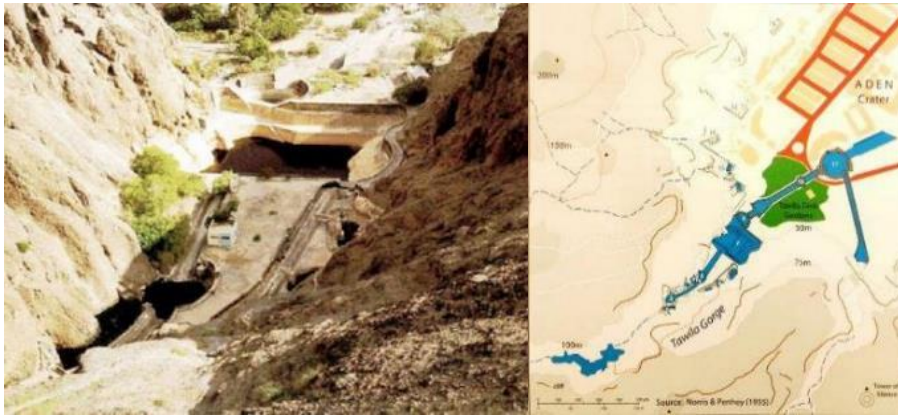


Figura 3.20 – Le cisterne (a sinistra) e rappresentazione grafica del sistema di raccolta di Aden (Yemen) (a destra) (foto da www.pangea-project.org)

• Creazione di giardini sul letto dei fiumi

I sistemi di condivisione dei flussi come le dighe, permettono di creare i giardini sui lati degli alvei producendo terre coltivabili, di fornire humus e irrigare i terreni.

Un grande sistema di questo tipo si trovava a Marib, la capitale araba del regno della regina di Saba, nel nord dello Yemen, ora completamente abbandonato al deserto. era formato da una grande diga su entrambe i lati del letto del Wadi Dhana. Si possono ancora ammirare i resti dei sistemi d'irrigazione e coltivazione e le mura ciclopiche che rappresentano il punto di partenza dell'imponente diga (Fig. 3.21). Il sistema di condivisione dei flussi creò due aree coltivate e un deposito a ventaglio di terra fertile su entrambe le rive. La diga di Marib lavorava a pieno regime durante le piene e assicurava una riserva di acqua potabile negli altri periodi dell'anno. Il cambiamento climatico a partire dal III millennio a.C. e la conseguente mancanza d'acqua, furono il motivo dell'abbandono del sistema.

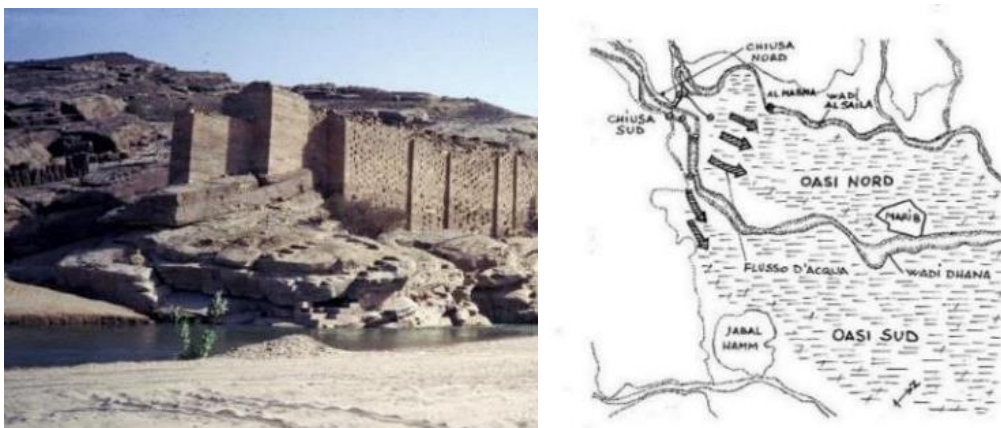


Figura 3.21 – Rovine della diga (a sinistra) e ricostruzione dell'antica oasi (a destra) di Marib (Yemen) (foto da www.pangea-project.org)

3.6 Strutture di captazione

Già dai 12.000 ai 10.000 anni fa, venivano realizzate strutture di sostegno dei suoli, muri di pietrame e piattaforme di argilla per la cattura dell'acqua. Ancora prima della nascita delle tecniche d'irrigazione, si utilizzò l'acqua presente in condizioni di aridità sfruttando l'umidità atmosferica e l'acqua dei sedimenti del terreno. Nelle aree situate vicino a bacini, corsi d'acqua e ammassi di pietrame che favorivano l'apporto di vapore acqueo, l'umidità che si deposita sul suolo, ha avuto un ruolo determinante. I terreni alluvionali, i corsi asciutti degli wadi, conservano le riserve idriche negli strati superiori. Queste aree geografiche, diventeranno l'habitat delle prime società neolitiche.

• Pietre allineate

Queste forme di condensazione e raccolta dell'acqua, sono costituite da ordini di pietre che catturano i venti carichi di umidità e la trasmettono al terreno per l'irrigazione dell'erba necessaria al pascolo. Questo metodo è ancora oggi usato nelle Isole Dahalak sul Mar Rosso.

Le pietre sono disposte in sequenza (Fig. 3.23) e delimitano i bordi delle antiche coltivazioni di palme e frutteti. Tali metodi sono stati trasmessi dalle civiltà pastorali nomadi e transumanti che abbeveravano le greggi e garantivano la sopravvivenza di carovane di mercanti.



Figura 3.23 – Pietre allineate che catturano l'umidità (foto da www.pangea-project.org)

• Dighe sommerse

Le dighe seminterrate (sommerse) (Fig. 3.24) sono costruite nel letto dei torrenti.

Sono formate da una serie di barriere di pietra che bloccano i sedimenti e agiscono come dighe per l'accumulo di limo, i cui sedimenti riempiono l'intera altezza della diga creando così, una serie di piattaforme a diverse quote, adatte alle coltivazioni e fornite di passaggi.

Antiche dighe sotterranee sono ancora utilizzate nel Sahara del nord, lungo l'Oued Saoura ai piedi dell'imponente sistema sahariano dell'Atlas e hanno la funzione di bloccare i flussi sotterranei e di superficie per fornire acqua alle colture poste sui lati del letto del fiume.

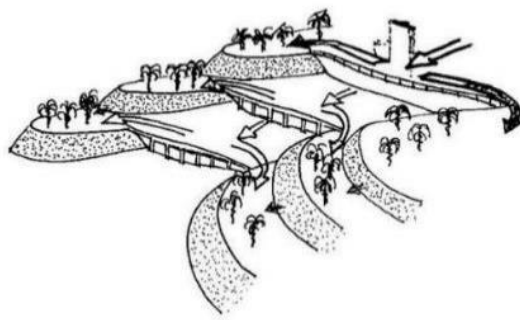


Figura 3.24 – Rappresentazione grafica di un sistema di dighe seminterrate (a sinistra) e un pozzo a bilanciere (a destra) (foto da www.pangea-project.org)

Le dighe sotterranee agiscono anche come barriere difensive contro le inondazioni violente e, allo stesso tempo, come protezione per la manutenzione delle acque dei suoli necessarie in altri periodi; pertanto contribuiscono a mantenere i flussi d'acqua nel sottosuolo. L'acqua viene estratta mediante l'utilizzo di pozzi a bilanciere, solitamente trainati da animali.



Figura 3.25 – Diga seminterrata di Beni Isguen (Algeria) (foto da www.pangea-project.org)

• Depositi in pietrame

Questi ammassi di pietrame a secco, di forma generalmente conica, funzionano come condensatori di umidità: la temperatura notturna calando, dà origine al fenomeno della condensa permettendo l'accumulo di acqua. Tale tecnica, molto antica, è usata a causa della scarsa piovosità sul territorio e della mancanza di circolazione superficiale di acqua sui terreni calcarei.

Sono da citare le specchie (Fig. 3.26): cumuli di pietra calcarea sparsi per le campagne e il cui uso sepolcrale è limitato a pochissimi esempi ed è possibile che sia successiva all'uso originario di dispositivi idraulici. Venivano utilizzati soprattutto in Puglia.

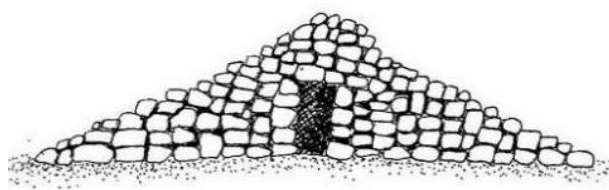


Figura 3.26 – Rappresentazione grafica di una specchia (a sinistra) (foto da www.pangea-project.org) e la Specchia dei Mori, Martano (Puglia) (a destra) (foto da www.laterradipuglia.it)

Altre costruzioni sono le tu'rat (Fig. 3.27): tumuli di pietra a forma di mezzaluna. Sfruttando le nebbie e i venti umidi della costa jonica, al loro interno è possibile far crescere piante e alberi per l'effetto di accumulo di acqua piovana. Questa tecnica è molto antica ed è diffusa anche nel deserto del Negev, in Perù, negli USA, in Cina e in Nuova Zelanda.

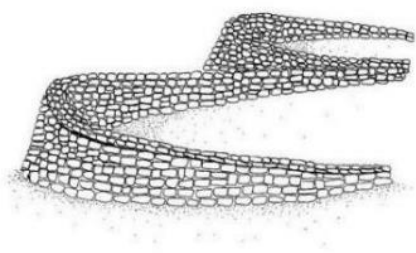


Figura 3.27 – Rappresentazione grafica dei tu'rat (a sinistra) (foto da www.pangea-project.org) e i tu'rat di Ugento, Puglia (a destra) (foto da www.barinedita.org)

Le *tanka* (in Spagna) (Fig. 3.28) sono muri a secco, usati in agricoltura, che funzionano da collettori di rugiada e captano il vento carico di umidità grazie alla disposizione delle pietre con larghi interstizi.



Figura 3.28 – muri a secco (*tanka*) in Spagna (foto da www.pangea-project.org)

Un'altra struttura di rilievo è costituita dai Jazzi (Fig. 3.29): muretti a secco utilizzati come recinto e superficie di captazione dell'acqua. Al suo interno, mediante la pendenza del terreno, si deposita l'acqua piovana.

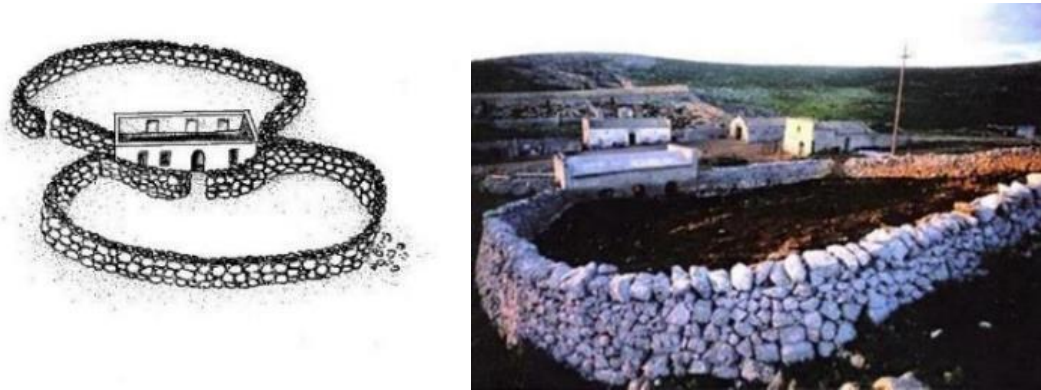


Figura 3.29 – Rappresentazione grafica (a sinistra) e visione d'insieme (a destra) di un Jazzo pastorale, usato come recinto e dispositivo per la captazione dell'acqua piovana, a Laterza (TA) (foto da www.pangea-project.org)

Dune artificiali

L'accumulo di dune, provocato e controllato artificialmente per proteggere le coltivazioni, dà luogo a lunghe muraglie o a crateri sabbiosi circolari che offrono la protezione perimetrale e la crescita delle palme, che attingono direttamente dal sottosuolo l'acqua necessaria e creano il microclima favorevole all'orticoltura anche in zone localizzate tra le sabbie.

Le dune artificiali (Fig. 3.32) sono realizzate per la protezione delle Oasi installando, su un basamento di terra cruda, rami di palme che bloccano il vento e favoriscono l'accumulo di sabbia. Si possono creare lunghe muraglie che proteggono le coltivazioni, oppure crateri sabbiosi circolari per la piantumazione della palma.



Figura 3.32 – Schema grafico (a sinistra) delle dune artificiali e barriere vegetali (a destra) (foto da www.pangea-project.org)

3.7 Tabella riassuntiva delle principali strutture e tecniche di raccolta d'acqua in epoca storica

Di seguito vengono riportate le principali strutture e le varie tecniche di raccolta e gestione dell'acqua finora trattate (Tabella 3.1):

STRUTTURA DI RITENZIONE IDRICA	TIPOLOGIA	FUNZIONI PRINCIPALI	FUNZIONI SUPPLEMENTARI
POZZI E CISTERNE	Microcisterna	Ritenzione idrica, approvvigionamento	Trattenuta sedimenti, miglioramento qualità del suolo
	Cisterna a cielo aperto	Ritenzione idrica, approvvigionamento	Riduzione ruscellamento
	Cisterna a campana	Ritenzione idrica, approvvigionamento	Mitigazione della perdita dei nutrienti
	Cisterne a tetto	Conservazione umidità, miglioramento fertilità e salute del suolo	Miglioramento estetico dell'area
	Pozzi	Ritenzione idrica, approvvigionamento, irrigazione	Monitoraggio del livello della falda
STRUTTURA DI CAPTAZIONE	Pietre allineate	Ritenzione idrica	
	Dighe sommerse	Ritenzione idrica	Microclima
	Depositi in pietrame	Ritenzione idrica	Microclima
	Dune artificiali	Protezione degli ecosistemi (oasi), ritenzione idrica	Microclima

TECNICA DI GESTIONE DELL'ACQUA	STRUTTURE UTILIZZATE	FUNZIONI PRINCIPALI	FUNZIONI SUPPLEMENTARI
Strade-torrenti	Canali/strade	Trasporto e approvvigionamento idrico	Fornitura d'acqua per uso irriguo
Canalizzazioni e concentrazione di pioggia lungo le pendici	Canali, cisterne, superfici di captazione	Trasporto e approvvigionamento idrico	Fornitura d'acqua per uso irriguo
Creazione di giardini sul letto dei fiumi	Dighe artificiali e sommerse	Trasporto e approvvigionamento idrico	Ripristino spondale, conservazione oasi e microclima

Tabella 3.1 – Tabella riassuntiva delle principali strutture e tecniche di gestione dell'acqua in epoca storica

4. NRW PRINCIPALI E SETTORI DI APPLICAZIONE

Le NRW non si limitano solamente allo stoccaggio e alla gestione delle risorse idriche: l'ambiente svolge una funzione primaria nell'ambito dello sviluppo economico poiché può fornire una pluralità di beni e servizi, tra cui mantenimento dei processi climatici, controllo degli eventi estremi, rifugio per la biodiversità e miglioramento estetico del paesaggio e della qualità della vita (Tempesta, 2011); pertanto le misure vengono applicate in quattro grandi contesti, riferiti al tipo di ambiente, alla tipologia dei deflussi e alle metodologie d'impiego: di seguito vengono riportate le principali misure di ritenzione e le tecniche di gestione idrica, con i relativi costi e benefici (www.nwrm.eu).

4.1 NRW in Agricoltura

Queste misure sono impiegate prevalentemente nel contesto agricolo ma anche nei prati e nei pascoli; esse forniscono numerosi benefici, in primis la riduzione dello scorrimento superficiale e una migliore capacità di infiltrazione dell'acqua nel terreno, la deposizione controllata dei sedimenti e degli inquinanti e la prevenzione dell'erosione e dei fenomeni di disgregazione del suolo.

• Fasce tampone e siepi

Le fasce tampone (Fig. 4.1) sono aree di copertura di vegetazione naturale (erba, arbusti o alberi) al margine dei campi, sui terreni arabili, vicino alle infrastrutture di trasporto e ai corsi d'acqua, alle estremità dei campi o all'interno dei campi stessi (ad es. terrapieni); offrono buone condizioni per un'infiltrazione efficace delle acque e per il rallentamento del flusso di superficie (riduzione del flusso dal 50% al 78%); hanno visto una riduzione del fosforo dal 42 al 96% nel ruscellamento, una riduzione dell'azoto dal 27 al 81% e una riduzione dei sedimenti dal 55 al 97%, pertanto contribuiscono a migliorare lo stato degli elementi di qualità (www.nwrm.eu).

I costi di stabilimento variano da €400 a 800/ha e da €4,73 a 5,08/m per la piantumazione. La manutenzione di una fascia tampone larga 3 m costa da €75 a 100/ha mentre la manutenzione delle siepi costa circa €64/100m. La perdita di introiti è stimata intorno a €140/ha/anno (www.nwrm.eu).



Figura 4.1 – Fascia tampone, Regno Unito (foto da www.nwrm.eu)

• Agricoltura senza aratura o agricoltura conservativa

L'agricoltura senza aratura è un metodo di coltivazione o di pascolo da anno ad anno che aumenta l'infiltrazione dell'acqua, la ritenzione della materia organica e il riciclo dei nutrienti nel suolo. Il vantaggio principale dell'assenza di aratura è il miglioramento della fertilità biologica del suolo, che rende i suoli più resistenti ed elimina l'erosione del suolo in alcune aree.

I risparmi di carburante variano da €30 a 67/ha, mentre la riduzione dei costi di manodopera è di circa €21/ha. Tuttavia i costi aggiuntivi per erbicidi e fertilizzanti raggiungono €18 e 16/ha (www.nwrm.eu).

La tecnica in questione (Fig. 4.2) può essere combinata con altre misure agricole come la copertura verde/le colture di copertura, la pacciamatura e l'agricoltura a traffico controllato.



Figura 4.2 – Semina senza aratura, Plymouth, Iowa (USA) (foto da www.nwrm.eu)

• Coperture verdi

Le coperture verdi, più note anche come “cover crops” (incluse le colture di copertura o le colture di raccolta), fanno riferimento a colture seminate su terreni arabili (Fig. 4.3), per proteggere l'erosione del suolo, specialmente in inverno. Le coperture verdi possono essere seminate assieme o successivamente alla coltura primaria. Le coperture verdi non vengono raccolte ma arate nuovamente nel suolo. Questo contribuisce a migliorare la struttura del terreno, diversifica il sistema di colture e mitiga la perdita di nutrienti solubili.

I costi delle sementi sono i più importanti nell'implementazione delle coperture verdi e raggiungono da €18 a 36€/ha. Anche la piantumazione e distruzione creano dei costi. I costi di capitale totali variano da €40 a 140/ha, inclusa la frantumazione, l'aratura delle stoppie e l'utilizzo di rulli, mentre i costi di manutenzione variano da €52 a 63/ha. In associazione con l'assenza di aratura, comportano risparmi idrici dal 12 al 46% (www.nwrm.eu).



Figura 4.3 – esempio di copertura verde (foto da:www.nwrm.eu)

• Pacciamatura

Il pacciame è uno strato di materiale applicato alla superficie di un'area di terreno per conservare l'umidità, migliorare la fertilità e la salute del suolo, ridurre la crescita di malerbe o migliorare l'aspetto visivo dell'area (Fig. 4.4). La pacciamatura fa uso di materiali organici (corteccia, trucioli di legno, polpa di vite, gusci di noci, rifiuti verdi, residui di coltura, concime, letame, paglia, erba secca, foglie, ecc.). Se applicato correttamente può aumentare in maniera drastica la capacità di ritenzione dell'acqua nel suolo. Il costo della pacciamatura varia da € 0,05 a 0,15/m² a seconda dello spessore, del tipo di pacciame e della percentuale di suolo coperta (www.nwrm.eu).

La concentrazione di sedimenti nel ruscellamento può essere 15 volte inferiore con tassi di pacciamatura elevati rispetto a suoli nudi. La risposta erosiva del suolo nelle simulazioni diminuisce rapidamente nel tempo dopo temporali prolungati (30 minuti) a causa dell'esaurimento delle particelle erodibili disponibili.



Figura 4.4 – Esempio di pacciamatura con paglia (foto da www.nwrm.eu)

4.2 NRW in Silvicultura

Queste misure sono impiegate prevalentemente in aree forestali e semi-naturali. Le foreste intatte possono avere una capacità di conservazione dell'acqua maggiori rispetto alle foreste tagliate o alle aree prive di copertura forestale. Grazie alla loro superficie più aspra, possono rallentare il ruscellamento più efficacemente rispetto al suolo nudo, oltre a garantire la biodiversità e il miglioramento della qualità dell'acqua (Panizza, 2007).

Una maggiore crescita di vegetazione contribuisce al sequestro del carbonio e bacini idrici stessi possono assicurare la sedimentazione di carbonio organico disciolto. La misura pertanto può contribuire all'adattamento ai cambiamenti climatici; tuttavia la biomassa esistente nelle foreste di bacino idrico non dovrebbe essere raccolta con metodi di taglio su larga scala per evitare impatti negativi sulla qualità delle acque del bacino.

La forestazione con specie endemiche o indigene crea degli habitat terrestri, fornendo un contributo significativo alla conservazione della biodiversità e al potenziale per la produzione naturale di biomassa. Le foreste inoltre sono anche ampiamente apprezzate per i loro valori di servizio e ricreativi.

• Forestazione di bacini idrici

In genere la maggior parte possibile del bacino idrico deve essere forestato in modo che tale protezione possa essere aumentata al massimo senza un'inopportuna riduzione dell'alimentazione del bacino dovuta a una maggiore evaporazione-traspirazione della copertura forestale. Deve essere data la priorità alle aree riparie. La forestazione di aree con pendenze maggiori probabilmente comporta maggiori benefici relativi alla ritenzione dei sedimenti.

In genere l'autorità responsabile possiede la maggior parte del bacino pertanto i costi di acquisizione dei terreni potrebbero essere relativamente minori; in caso contrario i costi di acquisizione potrebbero essere notevoli e dovrebbero essere presi in considerazione altri meccanismi quali le servitù o gli accordi con i proprietari terrieri. I costi di capitale della forestazione possono essere inferiori al costo di altri approcci al controllo della qualità delle acque potabili.

• Stagni di cattura dei sedimenti

Gli stagni di cattura dei sedimenti sono stagni ingegnerizzati situati nelle reti di canali forestali per rallentare la velocità dell'acqua e consentire il deposito di materiali sospesi (Fig. 4.5).

Vi sono dei costi leggermente superiori poiché il volume di materiale scavato sarà leggermente maggiore di quello in assenza di stagni. I costi di manutenzione sono associati al dragaggio.

Le loro dimensioni sono in genere su piccola scala (decine di metri); possono essere combinati con altre misure forestali, incluse le fasce riparie tampone, la copertura forestale continua, le strutture di controllo dei flussi di picco e le aree di flusso terrestre. Lo scopo primario degli stagni di cattura di sedimenti è di ridurre il potenziale deterioramento dello stato delle acque di

superficie associato alle attività di gestione delle foreste. Possono avere una capacità limitata di riduzione dell'erosione delle sponde, rallentando le velocità di flusso, ma il loro obiettivo primario è limitare il trasporto dei sedimenti: rallentando le velocità delle acque nei fossi forestali, gli stagni possono ridurre le fonti di inquinamento. Una fitta rete di queste opere distribuita nel paesaggio può avere una notevole capacità di raccolta e riduzione del rischio di alluvione.



Figura 4.5 – Stagno di cattura dei sedimenti, Slovacchia (foto da www.nwrm.eu)

• Alberi nelle aree urbane

Gli alberi migliorano la regolazione del microclima e l'idrologia urbana (Fig. 4.6). Possono anche essere importanti rifugi per la biodiversità, contribuire alla riduzione dell'inquinamento dell'aria dovuto al particolato e garantire una maggiore capacità di infiltrazione rispetto alle superfici impermeabili spesso comuni nelle aree urbane e aumentano notevolmente il fascino degli ambienti cittadini.

I costi di capitale degli alberi dipendono dall'età in cui sono piantati, dalla specie e dalle dimensioni. Sono da considerare anche i costi per la potatura e la manutenzione. Nelle aree asciutte prone alla siccità, la misura può presentare costi aggiuntivi associati all'irrigazione.



Figura 4.6 – Alberi urbani a Fayetteville (USA) (foto da www.fayetteville-ar.gov)

• Flussi terrestri nelle foreste di torbiera

In genere, le aree di flusso terrestre vengono accantonate per ridurre al minimo gli impatti negativi della gestione della qualità dell'acqua nelle foreste (Fig. 4.7). Esse raccolgono parte dell'eccesso dei sedimenti prodotti durante la manutenzione dei fossati e altre operazioni di gestione forestale come le strade.

Nei periodi di basse portate, opere di consolidamento come le briglie (Fig. 4.7) permettono il rallentamento del flusso d'acqua e causano la deposizione di sedimenti.

Le aree di flusso terrestre possono anche far parte di un sistema più complesso trattamento acque provenienti da aree agricole e discariche

Non vi sono costi dovuti all'acquisizione di terreni, poiché le aree sono situate nella foresta stessa. Altri costi possono essere collegati a ricerche o studi per la determinazione della quantità probabile e della tempistica, ai costi opportunità e alla scelta delle specie arboree.



Figura 4.7 – Briglia in legname per il contenimento del deflusso, Slovacchia (foto da www.nwrm.eu)

4.3 NRW in Idromorfologia

Gli effetti positivi delle misure attuate nel contesto idromorfologico sono molteplici: riduzione dei deflussi e dei rischi alluvionali sia in pianura che in montagna, contenimento dei fenomeni di erosione, conservazione delle risorse idriche, miglioramento dell'infiltrazione e ripristino delle falde, deposito di sedimenti, conservazione della biodiversità e valore ricreativo.

• Bacini e stagni

I bacini di ritenzione e gli stagni (Fig. 4.8) sono corpi d'acqua che raccolgono il ruscellamento di superficie e sono progettati per trattenerlo nei periodi asciutti. Queste misure richiedono un'occupazione abbastanza elevata di spazio; uno dei costi principali pertanto è il costo di acquisizione dei terreni o il costo di opportunità dovuto al mancato utilizzo di tali terreni per lo sviluppo urbano. I costi di costruzione aumentano con il volume di raccolta del bacino/stagno; le fonti

citano €44.000/ha. Poiché questi bacini hanno una durata prolungata, una volta in uso vi sono solo costi di manutenzione minimi di circa €58/ha/anno (www.nwrm.eu).

Il fondo del bacino/stagno deve essere il quanto più possibile piano (aumento del potenziale di infiltrazione e raccolta) e ridurre al minimo il rischio di erosione. La riduzione e raccolta del ruscellamento superficiale contribuiscono alla riduzione del rischio di alluvione; inoltre fornisce acqua per svariati scopi, come l'irrigazione.



Figura 4.8 – Stagno di infiltrazione, Iowa (USA) (foto da www.nwrm.eu)

• Ricostituzione dei meandri

Un meandro fluviale (Fig. 4.9) è una curva naturale del fiume, che aumenta la lunghezza del fiume e consente di diminuire la velocità del flusso. La ricostituzione di un meandro crea una nuova forma dell'asta del fiume, riduce il rischio alluvionale e ha un impatto positivo sulla sedimentazione e sulla biodiversità. I costi di capitale sono pari circa a €0,4M/km di fiume, per la ricostruzione dei meandri e dei costi aggiuntivi collegati all'acquisizione di terreni e al risarcimento (www.nwrm.eu).



Figura 4.9 – L'asta fluviale di un corso d'acqua prima (a sinistra) e i meandri (a destra) (foto da www.nwrm.eu)

• Stabilizzazione delle sponde naturali

La stabilizzazione delle sponde naturali contribuisce alla limitazione del degrado del corso d'acqua (dovuto anche alla costruzione di sponde artificiali con cemento o altri tipi di muri di contenimento), e al ripristino dei suoi componenti ecologici consentendo alla sponda di essere stabilizzata oltre che a permettere al fiume di muoversi più liberamente.

Il costo si aggira attorno a € 225.000 per 200 m di sponde stabilizzate (www.nwrm.eu).

Negli ultimi anni sono aumentati gli interventi di ingegneria naturalistica, l'insieme delle tecniche che vedono l'utilizzo combinato di piante viventi (soprattutto talee come salici o pioppi, dotati di capacità vegetativa), e materiali non viventi (come pietrame, terra, legname) o nuovi materiali di produzione industriale (reti, griglie, stuoie, geostuoie, etc.) biodegradabili. Lo scopo delle opere naturalistiche realizzate in alveo (fascinate, viminate, cordonate) è quello di garantire, oltre la protezione e la stabilità, il miglioramento e la conservazione della qualità biologica e della biodiversità, l'autosostentamento dell'ecosistema e i conseguenti minori costi di manutenzione (Ferro, 2006). Le opere garantiscono inoltre una corretta gestione delle risorse idriche: favoriscono la riduzione dei deflussi di piena e riducono i processi di erosione delle sponde fluviali attraverso l'accumulo di sedimenti da parte dei materiali costituenti l'opera e dalla vegetazione. Alcuni interventi sono illustrati in Figura 4.10.



Figura 4.10 – Alcuni interventi di ingegneria naturalistica: palificata doppia viva (1) (foto da www.cbc-costruzioni.it), copertura diffusa (2) (foto da www.irisambiente.it), viminata (3) (foto da www.nwrm.eu)

• Ripristino dei laghi

Un lago è una struttura di ritenzione delle acque naturale. Può raccogliere l'acqua ed erogarla per molti scopi, come la fornitura idrica, l'irrigazione, la piscicoltura, il turismo, ecc. Inoltre agisce da collettore per la conservazione del carbonio e fornisce habitat importanti per diverse specie di piante ed animali, fra cui i trampolieri. Il ripristino dei laghi richiede il miglioramento della loro struttura e del loro funzionamento quando sono stati drenati o degradati in tempi precedenti. La letteratura comunica costi di capitale pari a € 4.000/ha di lago ripristinato (www.nwrm.eu). Poiché i laghi hanno una durata prolungata (permanenti), una volta in opera i costi di manutenzione saranno solo minimi

(a seconda dell'esatta natura del ripristino). I laghi possono avere benefici ricreativi e culturali, divenendo aree popolari da visitare ad esempio per la navigazione a vela, la pesca e il birdwatching.

4.4 NRW in Urbanistica

Sono le misure più efficaci per ridurre l'inquinamento atmosferico e favorire il miglioramento della qualità della vita in ambito urbano: gli effetti degli alberi e delle coperture erbacee aumentano le superfici delle aree verdi all'interno delle città, contribuendo alla mitigazione del clima cittadino e alla diminuzione dell'effetto "isola di calore", responsabile di picchi di decessi nella stagione estiva.

• Tetti verdi

I tetti verdi (Fig. 4.12) sono sistemi a più strati che coprono il tetto degli edifici con vegetazione e/o giardini su uno strato di drenaggio. Esistono due tipi di tetti verdi: quelli estensivi (tetti a sedo, tetti ecologici o tetti viventi) coprono l'intera superficie del tetto con vegetazione leggera, a crescita bassa, auto-sostenente, che richiede bassa manutenzione. Quelli intensivi (giardini sui tetti) sono ambienti curati con elevati benefici relativi ai servizi ricreativi.

sono generalmente maggiori quando i tetti verdi vengono inseriti in edifici già esistenti rispetto a quando vengono incorporati in una nuova struttura. I costi di capitale variano da € 25-130/m² per design estensivi e €130-300/m² per design intensivi e sono generalmente maggiori quando i tetti verdi vengono incorporati in una nuova struttura. I costi di manutenzione raggiungono fino a € 55/ m² per ciascun intervento di manutenzione su tetti verdi estensivi (www.nwrm.eu).

In conseguenza dell'introduzione della vegetazione su una superficie altrimenti rigida si verifica una maggiore evapotraspirazione che contribuisce alla riduzione del ruscellamento. I tetti verdi ben progettati sono efficaci nella riduzione dei flussi di picco causati da precipitazioni frequenti e meno estreme, contribuendo pertanto alla gestione del rischio di alluvione. La loro efficacia può variare dal 5 al 95% di riduzione del ruscellamento, a seconda del tipo di substrato e della profondità, delle condizioni antecedenti, della stagione, dell'intensità e del volume delle precipitazioni (www.nwrm.eu).

Se diffusi in un'area urbana, i tetti verdi possono contribuire a miglioramenti della qualità dell'aria, a temperature dell'aria inferiori e a maggiori livelli di umidità, assistendo pertanto nella regolazione climatica.



Figura 4.12 – Edifici con tetti verdi a New York (USA) (a sinistra) e a Colonia (Germania) (a destra) (foto da www.alamy.it)

• Superfici permeabili

Le pavimentazioni permeabili (Fig. 4.13) sono progettate per consentire all'acqua piovana di filtrare negli strati sottostanti (suoli e acquiferi) o per essere conservata sotto terra e rilasciata a una portata controllata verso le acque di superficie. Sono utilizzate comunemente su strade e parcheggi. I costi di manutenzione sono ridotti (da € 1 a 5/m²/anno) e compensano i costi di capitale maggiori. Questi variano considerevolmente (da € 40 a € 90/m²), a seconda del design e dei materiali da costruzione (www.nwrm.eu). L'utilizzo di materiali riciclati può ridurre significativamente i costi. Non è necessaria l'acquisizione di terreni, perché la pavimentazione permeabile sostituisce un'area rigida esistente.

L'efficacia della riduzione del ruscellamento e dei flussi di picco varia dal 10 al 100% a seconda della situazione e può diminuire significativamente nel tempo in assenza di una strategia di gestione dei sedimenti (www.nwrm.eu).



Figura 4.13 – Pavimentazioni drenanti (foto da www.ferraribk.it)

• Fasce filtranti

Le fasce filtranti (Fig. 4.14) sono fasce di vegetazione con pendenza uniforme e dolce che forniscono opportunità per un lento convogliamento e l'infiltrazione dell'acqua. Possono servire da tampone fra utilizzi di terreni incompatibili e possono fornire una ricarica delle acque di falda localizzata nelle aree con suoli permeabili.

I costi di realizzazione vanno da €3 a €30/m² per area e variano notevolmente a seconda del design e dell'utilizzo di materiali di substrato, mentre i costi di manutenzione vanno da € 0,50-6,50/ m² per fascia (www.nwrm.eu). A velocità da basse a moderate, le fasce filtranti riducono efficacemente i livelli di particolati inquinanti, rimuovendo i sedimenti, i materiali organici e i metalli in traccia dal ruscellamento locale.



Figura 4.14 – Fasce filtranti in ambito urbano a Portland (USA) (fonte:www.hpigreen.com)

• Trincee di infiltrazione

Le trincee di infiltrazione (Fig. 4.15) sono scavi poco profondi riempiti di macerie o pietrame. Riducono le portate di ruscellamento, ricaricano la falda e sono efficaci nella rimozione degli inquinanti e dei sedimenti. I costi di costruzione variano da €70 a €90/m a cui si aggiungono costi di manutenzione minori e spese per determinare l'idoneità delle tecniche di infiltrazione (€0,5-€10k) (www.nwrm.eu). In genere sono progettate per infiltrare tutte le acque dall'area di drenaggio contribuente fino ad eventi con probabilità di 1 su 30 anni (www.nwrm.eu).



Figura 4.15 – Trincee d'infiltrazione con pietrame in ambito urbano (foto da tool.urbanproof.eu, www.youstaydry.com)

• Bacini di infiltrazione

I bacini di infiltrazione (Fig. 4.16), detti anche bacini di ritenzione/bio-ritenzione, sono depressioni coperte di vegetazione progettate per trattenere il ruscellamento dalle superfici impermeabili. Consentono il deposito dei sedimenti e degli inquinanti associati, e consentono all'acqua di infiltrarsi nei suoli sottostanti e nell'acqua di falda.

Al costo principale (acquisizione di terreni) si aggiungono quelli di costruzione (da €15 a 90/m), delle investigazioni geotecniche e di manutenzione annuali continue (www.nwrm.eu).

In genere infiltrano il 50% del loro volume di raccolta entro 24 ore dal riempimento e sono in grado di ridurre gli inquinanti fino all'88% (www.nwrm.eu).



Figura 4.16 – Bacini d'infiltrazione a Lenexa, Kansas (USA) (a sinistra) (fonte: www.lenexa.com) e a Middleton, Wisconsin (USA) (a destra) (foto da www.usgs.com)

4.6 Un esempio concreto: il Bosco Limite

Nel territorio di Carmignano di Brenta, all'estremità settentrionale della provincia di Padova, si estende l'area verde del Bosco Limite (Fig. 4.17), un ambito sperimentale di 23.500 m² che costituisce la più grande Area Forestale di Infiltrazione (AFI) del Veneto, finalizzata alla ricarica della falda acquifera e alla conservazione della biodiversità.

La superficie boschiva sorge in un contesto in precedenza destinato alle coltivazioni intensive di mais. Qui il Consorzio di Bonifica Brenta ha predisposto un nuovo sistema di derivazioni in grado d'immettere nel terreno permeabile dell'alta pianura grandi quantità d'acqua allo scopo di incrementare le riserve idriche sotterranee. È stato così radicalmente trasformato e rivitalizzato un terreno adibito per decenni a uso agricolo intensivo. Il Bosco Limite protegge al contempo le falde acquifere dall'infiltrazione di fertilizzanti e diserbanti. Oggi è divenuto uno dei più lungimiranti modelli di riforestazione autoctona del Veneto.



Figura 4.17 – Visioni panoramiche del sito (foto da www.etifor.com)

Il progetto vede l'utilizzo di diverse NWRM, come la conversione dell'utilizzo dei terreni, la piantumazione nell'area oltre 2.300 specie di arbusti e alberi (fra cui querce, carpini, frassini e olmi campestri) e la creazione di una rete di 1.200 metri di percorsi d'acqua che permettono l'infiltrazione di 1 milione di metri cubi di acqua l'anno (www.etifor.com). ETIFOR, ex spin-off dell'Università di Padova, ha contribuito alla copertura finanziaria del sistema idrico artificiale e alla costituzione di una superficie boschiva di qualità e ha progettato e realizzato una lungimirante azione di riduzione delle emissioni di anidride carbonica, grazie all'azione degli esemplari arborei inseriti. Si stima che il bosco catturi 50.000 kg di anidride carbonica all'anno e ne riduca del 90% le emissioni dovute all'utilizzo di combustibili fossili per i mezzi agricoli (www.watermuseumofvenice.com).



Figura 4.18 – Alcune misure implementate nel sito: conversione dei terreni e impianto di specie arboree (1), bacino di ritenzione (2) e canale di irrigazione (3) (foto da www.watermuseumofvenice.com)

Con la ripulitura periodica, la foresta è inoltre in grado di fornire circa 40 quintali di legna all'anno: una buona riserva di energia rinnovabile in grado di fornire legname di pregio per l'edilizia sostenibile.

Bosco Limite è stato inoltre inserito nelle aree del progetto *LIFE+AQUOR*, grazie al quale i proprietari dei terreni agricoli ricevono un pagamento annuale per il servizio di infiltrazione dell'acqua (www.etifor.com).

Il Bosco Limite è inoltre un sito di nidificazione per 20 specie di uccelli (attraverso il progetto "La casa sull'albero" sono state installate più di 50 cassette nido) e un sito ideale per lo sviluppo della flora micologica; inoltre si presta bene alle attività ricreative, grazie a un itinerario didattico che conta diverse migliaia di presenze all'anno e ai percorsi fruibili a piedi, in bicicletta e a cavallo che lo attraversano (www.watermuseumofvenice.com).

4.7 Tabella riassuntiva delle principali NWRM

Di seguito vengono riportate le principali NWRM finora trattate, i relativi ambiti d'impiego e le funzioni principali e sussidiarie (Tabella 4.1):

AMBITO DI INTERVENTO	NOME DELLA TECNICA	FUNZIONI PRINCIPALI	FUNZIONI SUPPLEMENTARI
AGRARIO	Fasce tampone e siepi	Ritenzione idrica, riduzione ruscellamento	Trattenuta sedimenti, miglioramento qualità del suolo
	Agricoltura senza aratura o agricoltura conservativa	Ritenzione idrica	Miglioramento fertilità biologica del suolo
	Coperture verdi	Miglioramento struttura del terreno	Mitigazione della perdita dei nutrienti
	Pacciamatura	Conservazione umidità, miglioramento fertilità e salute del suolo	Miglioramento estetico dell'area

MONTANO	Forestazione dei bacini idrici	Protezione e conservazione dell'area e delle risorse idriche del bacino	Miglioramento estetico dell'area, aumento biodiversità, microclima
	Stagni di cattura dei sedimenti	Riduzione rischio alluvionale, trattenuta dei sedimenti	Riduzione fonti di inquinamento
	Alberi nelle aree urbane	Miglioramento del clima urbano, aumento delle superfici permeabili	Miglioramento estetico, aree ricreative, rifugio per biodiversità
	Flussi terrestri nelle foreste di torbiera	Riduzione rischio alluvionale, deposizione dei sedimenti	Trattamento acque di scarico
IDROGEOLOGICO	Bacini e stagni	Ritenzione idrica, riduzione rischio alluvionale	Fornitura d'acqua per uso irriguo
	Ricostruzione dei meandri	Riduzione rischio alluvionale	Aumento biodiversità
	Stabilizzazione delle sponde naturali	Riduzione rischio alluvionale ed erosione, deposito dei sedimenti,	Ripristino spondale, conservazione biodiversità
	Ripristino dei laghi	Ritenzione idrica, conservazione per uso irriguo	Conservazione nutrienti, aumento biodiversità, aree ricreative e turistiche

URBANO	Tetti verdi	Riduzione rischio alluvionale e ruscellamento, regolazione climatica	Miglioramento qualità dell'aria ed estetica urbana
	Superfici permeabili	Infiltrazione dell'acqua, riduzione rischio alluvionale	Lieve incremento degli apporti idrici alla falda e miglioramento estetico
	Fasce filtranti	Infiltrazione dell'acqua, ricarica di falde localizzate	Miglioramento estetico e climatico
	Trincee d'infiltrazione	Riduzione ruscellamento, ricarica di falde localizzate, rimozione di inquinanti e sedimenti	Miglioramento estetico e climatico
	Bacini d'infiltrazione	Riduzione ruscellamento, deposito sedimenti e inquinanti	Miglioramento estetico climatico ed ecologico

Tabella 4.1 – Schema riassuntivo delle principali NWRM

5. PROGETTI SU LARGA SCALA NEL MONDO

L'impiego di alcune NRW nei paesi colpiti dalla deforestazione e dalla siccità ha visto l'istaurarsi di un rapporto di collaborazione tra alcune organizzazioni (anche no-profit) e gli abitanti locali. Il processo ha avuto come risultato il cambiamento di intere aree geografiche e il ripristino dei loro ecosistemi allo stato precedente la deforestazione. Di seguito vengono descritti due fra i più significativi progetti di ripristino ambientale degli ultimi anni.

5.1 Il “Progetto Oasi” in Algeria

L'oasi (Fig. 5.1) è un ecosistema connesso: gli elementi che lo compongono (acqua, vegetazione, umidità, coltivazioni) sono in un delicatissimo rapporto di equilibrio tra loro: L'acqua è l'elemento indispensabile per lo sviluppo vegetativo, a cui si aggiunge il contributo della palma da dattero, la cui chioma intercetta l'irraggiamento e il calore (l'ombreggiamento permette la crescita delle colture vicine) e contribuisce alla formazione di humus e di sostanza organica per il terreno coltivato.

Il modello dell'oasi, è in grado di adattarsi in un ambiente ostile come il deserto, inoltre, ha un basso impatto ambientale e sfrutta con parsimonia le risorse locali.

Il recupero di questo ecosistema, è un esempio per un possibile modello di sviluppo che rispetta l'ambiente in un pianeta che dovrà affrontare il problema della mancanza d'acqua. La coesione dei singoli elementi e le tecniche per la loro conservazione sono fondamentali per continuare a sentire il respiro delle oasi.

L'oasi, frutto di tecniche sapienti e dell'armonioso utilizzo delle risorse, è progetto e architettura dell'ambiente: ogni elemento risulta fondamentale per il funzionamento complessivo: i tunnel che drenano l'acqua, l'abitato e i giardini formano un sistema globale intimamente legato e perfettamente organizzato.

La regione di Adrar, in Algeria, ha stanziato un fondo per consentire il recupero di ottanta oasi del Touat (AATO Laguna di Venezia, *Project O.A.S.I.*).



Figura 5.1 – I giardini dell'oasi di Nefta, Tozeur (Tunisia) (foto da www.pangea-project.org)

• Le Foggara e i pozzi di aerazione

Le foggara costituiscono una tecnologia antica di sfruttamento delle risorse idriche nelle zone semiaride e desertiche. Queste gallerie drenanti provviste di pozzi verticali (Fig. 5.2), sono in grado di captare le acque di una falda freatica. Sono collegate alla superficie, attraverso pozzi di aerazione verticali. Hanno una parte attiva drenante a monte e una parte, di solito più lunga, con funzione adduttiva che arriva fino al punto di distribuzione delle acque, verso le aree agricole e abitate situate più a valle.

L'aria umida del palmeto, risucchiata dalla foggara verso monte, si condensa nella galleria e fuoriesce dai pozzi come aria secca, durante il giorno. Durante la notte, il calo di temperatura esterno, fa invertire il senso della corrente provocando ulteriore condensazione sulla superficie del terreno che viene assorbita nei pozzi verticali e nelle gallerie drenanti.

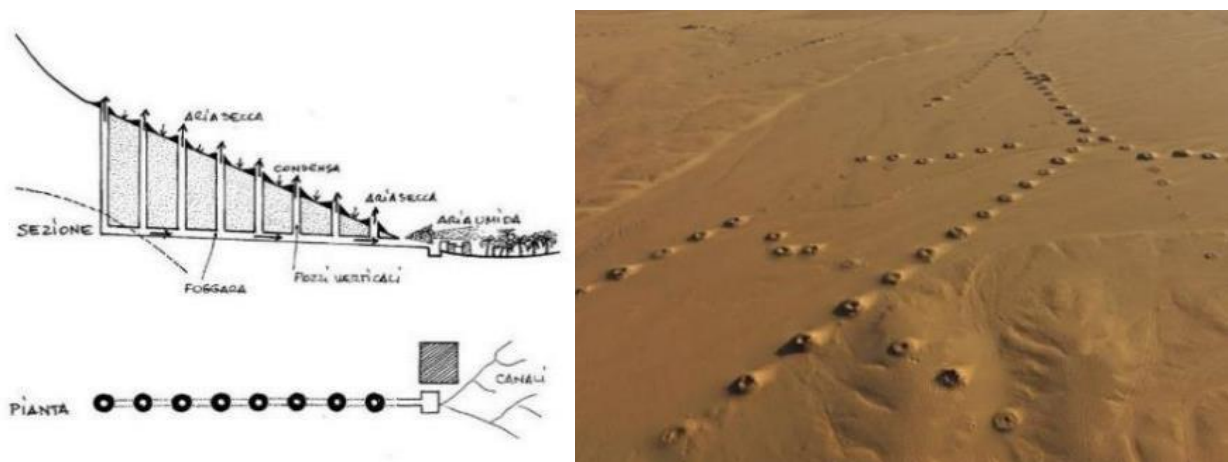


Figura 5.2 – Rappresentazione grafica delle foggara (a sinistra) e la rete, in superficie, dei pozzi di aerazione (a destra) (foto da www.pangea-project.org)

• Ripartizione dell'acqua

Allo sbocco della galleria della foggara all'aria aperta, l'abbondante acqua viene divisa passando attraverso un bacino triangolare chiamato *qasri* e successivamente ripartita mediante il dispositivo in pietra dalla forma a pettine detto *kesria*. Il flusso idrico viene ripartito nelle quote d'acqua spettanti ai diversi proprietari. Attraverso una complessa rete di raccordi e ponticelli per la distribuzione delle quote d'acqua, l'intricato sistema di canali, che percorre i giardini dell'oasi contribuisce a mantenere, sotto la chioma protettiva delle palme, un microclima umido. Il percorso dell'acqua viene illustrato in Figura 5.3.

L'acqua ripartita raggiunge infine le singole parcelle di terreno, irrigandole (Fig. 5.4).



Figura 5.3 – Lo sbocco dell’acqua dalla foggara (1) Il pettine ripartitore “kesria” (2) e lo schema di distribuzione delle quote (3) (foto da www.pangea-project.org)



Figura 5.4 – Particelle di terreno coltivate nelle oasi (foto da www.pangea-project.org)

5.2 L’ *Instituto Terra* in Brasile

Con l’intento di restituire alla foresta pluviale subtropicale lo splendore originario della sua straordinaria biodiversità, nel 1998 nasce ufficialmente l’*Instituto Terra*, l’organizzazione dedicata allo sviluppo sostenibile della Valle del fiume Doce. Un progetto ambizioso, no-profit, che interviene in una zona complessa, che per secoli ha subito deforestazione e sfruttamento incontrollato delle materie prime, in particolare del ferro. Un luogo dominato da siccità, desertificazione, devastazione del suolo e soprattutto miseria per una popolazione che basava il proprio sostentamento sul lavoro nei campi.

L’*Instituto Terra* ha dunque come obiettivo primario il ripristino dell’ecosistema con programmi di sensibilizzazione, educazione ambientale e ricerca scientifica. Un’opera di riforestazione senza precedenti, che ha dimostrato ampiamente che, con il ritorno della vegetazione, l’acqua può tornare

a scorrere dalle sorgenti naturali e che le specie animali a rischio possono essere salvate ripristinando il loro habitat naturale.

Ad oggi l'*Instituto* gestisce i 1.754 acri di Bulcão Farm (Fig. 5.5), 1.502 dei quali sono stati dichiarati patrimonio privato Riserva Naturale (PNHR). Ispirato proprio dalla buona riuscita di questo progetto pilota, nel 2004, lo stato di Minas Gerais ha istituito la categoria della riserva privata per il Restauro Ambientale (PRER) (www.privatebanking.bnpparibas.it).

L'operazione, promossa da Emilio Salgado, celebre fotografo proprietario dell'area, ha coinvolto nel corso del tempo numerosi sostenitori e un'ingente raccolta di fondi, per riforestare circa 17.000 acri di terreni. Un milione di piantine di Mata Atlantica, tipica vegetazione pluviale del Brasile, sono state curate nelle serre e, una volta cresciute, inserite nel loro ambiente. Ad oggi seguendo lo stesso approccio, anche nelle aree circostanti si sta lavorando attivamente ad altri programmi di questo tipo.

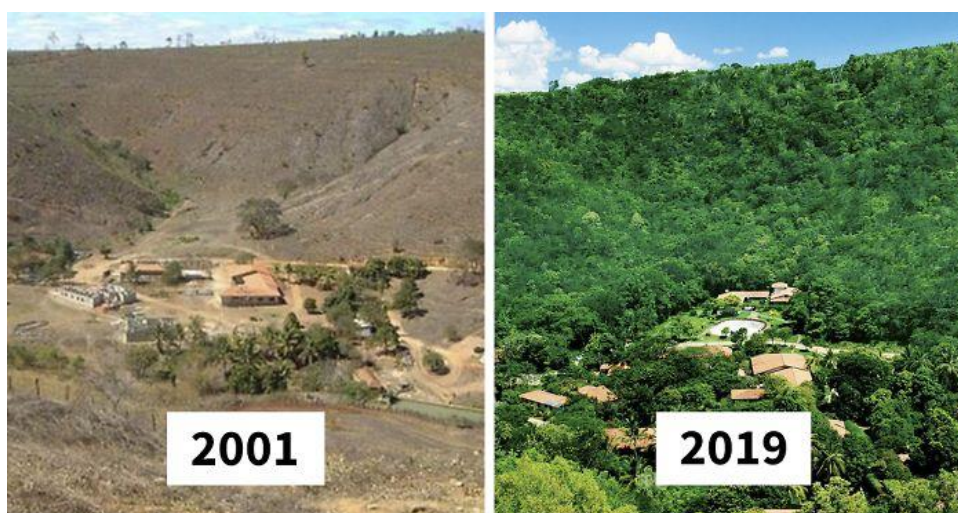


Figura 5.5 – Il terreno di Bulcão Farm, Aimorés (Brasile) nel 2001 e nel 2019 (foto da www.progettoimpattozero.org)

5.3 I *Water Bunds* in Africa

In Alcune zone dell'Africa Centro-Meridionale, per ripristinare gli ambienti naturali e proteggere il suolo dalla perdita di fertilità e dalla desertificazione, sono stati realizzati decine di progetti di ripristino e conservazione del paesaggio, recuperando le terre degradate attraverso semplici tecniche agro-ecologiche. L'obiettivo è di ripristinare il bilancio idrico e la vegetazione, in modo tale da generare un effetto climatico positivo, riducendo gli eventi meteorologici estremi come inondazioni e siccità, stoccando grandi quantità di CO₂ e raffreddando la temperatura regionale.

Grazie ai cosiddetti *water bunds* è possibile stoccare l'acqua in quelle che somigliano a buche più o meno grandi (Fig. 5.6) che raccolgono il deflusso superficiale, aumentano l'infiltrazione dell'acqua e prevengono l'erosione del suolo. La buca a forma di mezzaluna viene scavata con mezzi rudimentali

e vengono depositati dei cumuli lungo le linee di contorno: il deflusso dell'acqua viene quindi rallentato e filtrato.



Figura 5.6 – Realizzazione dei water bund (a sinistra) e vegetazione in crescita (a destra) (fonte:www.pinwheel.earth)

I benefici di queste semplici pratiche sono numerosi, in particolare per quelle aree d’Africa dove l’erosione del suolo avanza di anno in anno. La ritrovata copertura vegetale va a migliorare le condizioni del terreno, aumentando l’infiltrazione dell’acqua. Inoltre i sistemi radicali della vegetazione tengono insieme il terreno e riducono ulteriormente l’erosione, mentre la maggiore disponibilità di umidità del suolo aumenta la stagione di crescita e la mitigazione del clima. I risultati sono osservabili in pochi anni (Fig. 5.7).

Finora solo nella regione di Dodoma in Tanzania il programma ha ripristinato 194.400 ettari di terreno, con la crescita di almeno 14 milioni di alberi che continuano a fornire riparo e protezione del suolo, oltre a garantire alle comunità sviluppo e sicurezza alimentare.



Figura 5.7 – Panoramica dei water bund e graduale ripristino dell’ecosistema nel triennio 2018-2020 (foto da : www.edition.cnn.com)



VEGETATION RESTORATION • Pemaboto, Tanzania

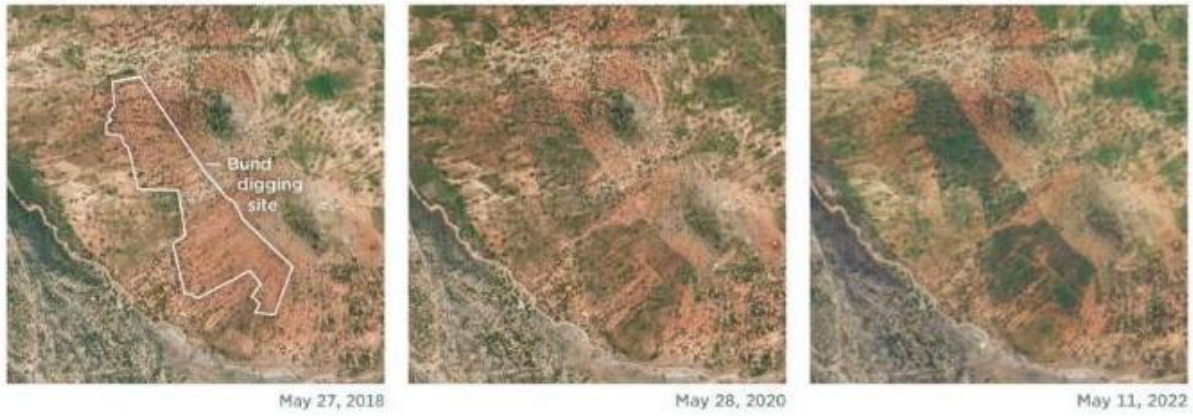


Figura 5.8 – Evoluzione del paesaggio (sopra) (foto da www.justdigg.it) e foto satellitare dell'evoluzione di un sito lavorato con water bund a Pemaboto (Tanzania) (sotto) (foto da www.planet.com)

6. CONCLUSIONI

L'ampia raccolta di sistemi di gestione dell'acqua è testimonianza dello straordinario ingegno dell'essere umano, che da millenni ha saputo rivoluzionare il sistema di gestione di questa preziosa fonte di vita passando dalle forme più elementari e immediate, a quelle più elaborate, in uso ancora oggi. Nel corso di questi capitoli si è voluto dimostrare che le misure di ritenzione naturale delle acque (NRWM) sono da considerare non solo come opere efficaci ed ecosostenibili per il ripristino della risorsa acqua, ma come un ponte di collegamento tra diverse epoche storiche: da quella delle prime civiltà umane e quella del cambiamento climatico e dell'attuale antropocene.

Lo studio e l'impiego delle NRWM sono ulteriori passi avanti nella sostenibilità idrica e ambientale: la loro introduzione ha trovato riscontro in quasi tutti i paesi dell'UE e in alcune aree del mondo, dove si sono potuti concretizzare risultati a dir poco impressionanti. Le misure hanno contribuito al ripristino di ecosistemi locali e regionali. Gli esempi e i casi di studio riportati in questa tesi sono solo alcuni, ma mostrano l'eterogeneità delle soluzioni ingegnose e il grande fabbisogno di una gestione e controllo della risorsa acqua. Altre misure sono ancora in fase di realizzazione grazie a nuove normative e al finanziamento da parte di numerosi enti pubblici e privati.

La situazione critica odierna richiede un disperato bisogno di queste misure, alcune realizzabili ancora oggi e con modesti sforzi economici (basti pensare alle tecniche utilizzate nel Progetto Oasi e ai *Water Bunds* in Africa). In questi capitoli si sono potuti osservare gli innumerevoli benefici di un impiego su larga scala delle NRWM ed è stato dimostrato come tali misure, impiegate nei vari progetti, abbiano ripristinato intere zone, caratterizzate da deforestazione e siccità, al loro stato originale. La loro applicazione diventa quindi necessaria e costituirebbe, a fronte dei gravi mutamenti climatici, uno sforzo concreto da parte dell'uomo odierno nel mantenere in salute il pianeta dove abita.

Tutto questo costituisce una speranza per un "ritorno al passato" in vista di un futuro meno incerto e più consapevole.

7. BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA

7.1 Bibliografia

Ferro V. (2006) - *La sistemazione dei bacini idrografici*, McGraw-Hill Education, pp. 769.

Panizza M. (2007) - *Geomorfologia*, Pitagora Editrice, p. 43-48.

Tempesta T (2011) - *Appunti di estimo rurale e ambientale*, CLEUP.

7.2 Sitografia

<https://climate.copernicus.eu/esotc/2022> : Informazioni sul rapporto annuale del 2022 del Copernicus Climate Change Service

<https://institutoterra.org/> : informazioni sul progetto *Instituto Terra*

<https://justdiggit.org/what-we-do/landscape-restoration/water-bunds/#> : informazioni sui *Water Bunds*

<http://nwrn.eu/id-card-it> : introduzione alle NWRM ed esempi.

<http://nwrn.eu/guide-it/files/> : categorie, casi di studio, esempi inerenti alle NWRM

<https://www.arpa.veneto.it/temi-ambientali/acqua/direttiva-2000-60-ce/prime-fasi-dellapplicazione> : Informazioni su Direttiva Quadro Acque

<https://www.etifor.com/it/portfolio/boscolimite> : informazioni e materiale fotografico su Bosco Limite

<https://ipogea.org/portfolio-posts/o-a-s-i-project-2009-2011/> : studio e informazioni sul Progetto Oasi.

<http://www.pangea-project.org/sistemi-di-raccolta-dellacqua/> : studio e informazioni sui sistemi di raccolta dell'acqua in epoca storica.

<http://www.pangea-project.org/antiche-tecniche-idrauliche/> : studio e informazioni sulle tecniche idrauliche in epoca storica.

<https://www.wownature.eu/areewow/bosco-limite/> : Informazioni e materiale fotografico su Bosco Limite