

Estratto da:

OPERA IPOGEA

Journal of Speleology in Artificial Cavities

1-2 / 2020



IX Convegno Nazionale di Speleologia in Cavità Artificiali (Palermo) - 20 Marzo 2020

A cura di C. Galeazzi & P. Madonia



Rivista della Società Speleologica Italiana

Commissione Nazionale Cavità Artificiali



ISSN 1970-9692



IX CONVEGNO NAZIONALE SPELEOLOGIA IN CAVITÀ ARTIFICIALI

(Palermo) - 20 Marzo 2020



ISTITUTO NAZIONALE
DI GEOFISICA E VULCANOLOGIA
Sezione di Palermo

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PALERMO



Dipartimento di Scienze della Terra e del Mare



Federazione
Speleologica
Regionale Siciliana

HYPOGEA



IX Convegno Nazionale di Speleologia in Cavità Artificiali

(Palermo) 20 Marzo 2020

SOCIETÀ SPELEOLOGICA ITALIANA (SSI)
COMMISSIONE NAZIONALE CAVITÀ ARTIFICIALI (CNCA)

Comitato organizzatore

Paolo Madonna (Presidente)

Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Palermo; CNCA SSI

Carla Galeazzi

Egeria Centro Ricerche Sotterranee, Roma; Hypogea; CNCA SSI

Michele Betti

Commissione Nazionale Cavità Artificiali della Società Speleologica Italiana

Marcello Panzica La Manna

Società Speleologica Italiana

Elena Alma Volpini

Hypogea Ricerca e Valorizzazione Cavità Artificiali

Enti Promotori

Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia

Università degli Studi di Palermo, Dip.di Scienze della Terra e del Mare

Società Italiana di Geologia Ambientale

Hypogea Ricerca e Valorizzazione Cavità Artificiali

Patrocini istituzionali

Federazione Speleologica Regionale Siciliana

Comitato Scientifico

Michele Betti

CNCA SSI

Roberto Bixio

Centro Studi Sotterranei, Genova; CNCA SSI

Vittoria Caloi

Egeria Centro Ricerche Sotterranee, Roma; CNCA SSI

Marianna Cangemi

Università degli Studi di Palermo, Dipartimento di Scienze della Terra e del Mare

Andrea De Pascale

Direttore Editoriale Opera Ipogea; Centro Studi Sotterranei, Genova; CNCA SSI

Sossio Del Prete

CNCA SSI

Carla Galeazzi

Egeria Centro Ricerche Sotterranee, Roma; Hypogea; CNCA SSI

Carlo Germani

Egeria Centro Ricerche Sotterranee, Roma; Hypogea; CNCA SSI

Giuliana Madonna

Università degli Studi di Palermo, Dipartimento di Scienze della Terra e del Mare

Massimo Mancini

Università degli Studi del Molise, Campobasso; CNCA SSI

Mario Parise

Università Aldo Moro, Dipartimento Scienze della Terra e Geoambientali, Bari

Stefano Saj

Direttore Responsabile Opera Ipogea; Centro Studi Sotterranei, Genova; CNCA SSI

Pietro Todaro

Società Italiana di Geologia Ambientale

Marco Vattano

Università degli Studi di Palermo, Dipartimento di Scienze della Terra e del Mare

- pag. 9 Prefazione**
Carla Galeazzi, Paolo Madonia

OMAGGIO ALLA CITTÀ DI PALERMO E A SANTA ROSALIA SUA PATRONA

- pag. 13 Le più antiche mappe geografiche del sottosuolo. Le incisioni dei rilievi delle grotte di Santa Rosalia a Palermo e a Santo Stefano Quisquina (Agrigento)**
The oldest underground geographical maps. The engravings of the maps of the caves of Santa Rosalia in Palermo and in Santo Stefano Quisquina (Agrigento province, Sicily, Italy)
Massimo Mancini, Paolo Forti

ANTICHE OPERE IDRAULICHE, SISTEMI DI RACCOLTA DELLE ACQUE METEORICHE

- pag. 29 Attualità dei sistemi idrici ipogei di raccolta delle acque piovane**
Modernity of rain harvesting underground systems
Paolo Madonia, Marianna Cangemi, Ygor Oliveri
- pag. 35 La pratica dei sistemi d'acqua sotterranei "ingruttati" nella Piana di Palermo e analisi della terminologia di riferimento**
The practice of the underground water systems *ingruttati* of the Piana di Palermo (Sicily, Italy) and analysis of reference terminology
Pietro Todaro
- pag. 45 Il qanat di Villa Riso (Palermo, Sicilia)**
The Villa Riso *qanat* (Palermo, Sicily, Italy)
Giuseppe Avellone, Marco Vattano, Giuliana Madonia, Cipriano Di Maggio
- pag. 53 Indagini preliminari sui sistemi di approvvigionamento idrico nell'area dell'Insula I di Capo Boeo (Marsala, Sicilia occidentale)**
Preliminary investigations on water supply systems in the *Insula I* area of Capo Boeo (Marsala, Western Sicily, Italy)
Laura Schepis, Pietro Valenti, Marco Vattano
- pag. 59 Paolazzo: un acquedotto a tre strati (Noto - Canicattini Bagni, Siracusa)**
Paolazzo: a three layers aqueduct (Noto - Canicattini Bagni, Siracusa province, Italy)
Paolo Cultrera, Luciano Arena
- pag. 67 Antiche strutture di trasporto idrico nel sottosuolo etneo (Catania, Sicilia)**
Ancient water pipes in Etna's underground (Catania province, Sicily, Italy)
Gaetano Giudice, Francesco Politano, Alfio Cariola

-
- pag. 75 Indagini speleologiche preliminari sui sistemi di approvvigionamento idrico di acque meteoriche nell'area dell'ex ospedale psichiatrico di Agrigento (Sicilia)**
Preliminary speleological investigations on the water supply systems of rainwater in the area of the former psychiatric hospital in Agrigento (Sicily, Italy)
Giuseppe Lombardo, Giovanni Noto, Marco Interlandi, Elisabetta Agnello, Eugenio Vecchio, Giovanni Buscaglia
- pag. 83 Roma: la valle del Velabro, il Tevere e il canale idraulico dei Tarquini prima della Cloaca Massima**
Rome: the Velabrum valley, the Tiber and the Tarquini's hydraulic canal before the Cloaca Maxima
Elisabetta Bianchi, Piero Bellotti
- pag. 91 Sedici ponti-acquedotto romani appartenenti ai quattro acquedotti anienesi siti tra Galliciano nel Lazio, San Gregorio da Sassola e San Vittorino di Roma (Roma, Lazio)**
Sixteen Roman aqueduct-bridges belonging to the four Anienesi aqueducts located between Galliciano nel Lazio, San Gregorio da Sassola and San Vittorino di Roma (Roma province, Latium, Italy)
Luigi Casciotti
- pag. 101 Sistema di drenaggio artificiale dei bacini vulcanici Albano e Turno (Lazio): analisi delle modificazioni nel corso dei secoli**
Artificial drainage system of the volcanic basin of Albano and Turno (Latium, Italy): analysis of the modifications of the hydraulic environment over the centuries
Carlo Germani, Carla Galeazzi, Vittoria Caloi, Sandro Galeazzi
- pag. 109 Anagni (Frosinone, Lazio): antichi sistemi di captazione delle vene d'acqua sotterranee, loro canalizzazione e immagazzinamento**
Anagni (Frosinone province, Latium, Italy): ancient collection systems of underground water veins, their ducting and storage
Mara Abbate, Carla Galeazzi, Carlo Germani, Andreas Schatzmann, Elena Alma Volpini
- pag. 119 L'approvvigionamento idrico nelle aree vulcaniche dei Monti Cimini (Viterbo, Lazio) nell'antichità: nuove acquisizioni**
Water supply in volcanic areas of Cimini Mountains (Viterbo province, Latium, Italy) during ancient times: new data
Andrea Sasso, Gabriele Trevi
- pag. 129 Nuovi ritrovamenti e studio del tracciato dell'Acquedotto Augusteo che costeggia il versante occidentale della collina di Posillipo (Napoli, Campania)**
New discoveries and research of the route of the Augustan aqueduct that follows the western slopes of the Posillipo hill (Naples, Campania, Italy)
Mauro Palumbo, Mario Cristiano, Luigi De Santo, Marco Ruocco
- pag. 137 Aqua Augusta Campaniae: il doppio speco di via Olivetti (Pozzuoli, Napoli)**
Aqua Augusta Campaniae: the twin channels in Olivetti road (Pozzuoli, Naples province, Italy)
Graziano Ferrari, Raffaella Lamagna, Elena Rognoni
-

- pag. 145 Parco delle terme di Baia (Bacoli, Napoli): le cisterne del settore dell'*Ambulatio***
Baia baths archaeological Park (Bacoli, Naples province, Italy): the water tanks in the *Ambulatio* sector
Graziano Ferrari, Daniele De Simone, Raffaella Lamagna, Elena Rognoni
- pag. 153 Le monumentali neviere del Materano (Basilicata)**
The majestic ice-houses in the Matera area (Basilicata, Italy)
Raffaele Paolicelli, Francesco Foschino, Angelo Fontana
- pag. 159 Il censimento degli antichi acquedotti della provincia di Bologna**
Ancient aqueducts in the Bologna province (Italy): preliminary list
Danilo Demaria
- pag. 169 Il sistema di intercettazione e accumulo delle acque meteoriche nell'abitato rupestre della morgia di Pietravalle a Salcito (Campobasso, Molise)**
The system of interception and accumulation of rainwater in the cave settlement of the morgia of Pietravalle in Salcito (Campobasso province, Molise, Italy)
Carlo Ebanista, Andrea Capozzi, Andrea Rivellino, Fernando Nobile, Massimo Mancini
- pag. 179 Opere idrauliche a scopo di bonifica nel territorio Salentino (Puglia)**
Hydraulic works for land reclamation in Salento (southern Apulia, Italy)
Marcello Lentini, Mario Parise, Francesco De Salve
- pag. 187 Acquedotti romani in Sardegna, sintesi delle conoscenze e prospettive esplorative**
Roman aqueducts in Sardinia (Italy), synthesis of knowledge and exploration perspectives
Pier Paolo Dore, Marco Mattana
- pag. 197 L'antico acquedotto della seicentesca Fonte Cesia in Todi**
The ancient aqueduct of the 1600's Fonte Cesia in Todi (Perugia province, Italy)
Maurizio Todini

MONITORAGGIO E PREVENZIONE, CENSIMENTI E CATALOGAZIONE

- pag. 207 Strumentazione geofisica in cavità artificiali per il monitoraggio sismico e per lo studio di precursori sismici**
Geophysics instrumentation in artificial cavities for seismic monitoring and for the study of seismic precursors
Paolo Casale, Adriano Nardi, Alessandro Pignatelli, Elena Spagnuolo, Gaetano De Luca, Giuseppe Di Carlo, Marco Tallini, Sandro Rao
- pag. 215 Individuazione di cavità attraverso tomografie elettriche e sismiche**
Cavity detection using seismic refraction and electrical resistivity tomographies
Alessandra Carollo, Patrizia Capizzi, Raffaele Martorana, Marco Vattano
- pag. 221 Applicazione di una procedura per la valutazione della suscettibilità a crolli di cavità artificiali**
Implementing a procedure for the assessment of the susceptibility to collapse in artificial cavities
Antonio Gioia, Mario Parise

- pag. 229 Modello geologico tridimensionale del sottosuolo e dello sviluppo delle cavità in un'area fortemente urbanizzata della Campania settentrionale**
3D geological underground model and artificial caves development in a northern Campania highly urbanized area (Italy)
Daniela Ruberti, Paolo Maria Guarino, Salvatore Losco, Marco Vigliotti
- pag. 237 Le cavità nel sottosuolo del territorio di Sant'Arpino (Caserta, Campania): catalogazione in ambiente GIS**
The underground cavities in the territory of Sant'Arpino (Caserta province, Campania, Italy): a GIS-based register
Marco Vigliotti, Luca Dell'Aversana, Daniela Ruberti
- pag. 245 Cavità artificiali nel centro storico di Ginosa (Taranto, Puglia) e relative problematiche di dissesto geo-idrologico**
Artificial cavities in the historical center of Ginosa (Taranto province, Apulia, Italy) and related geo-hazard issues
Mario Parise
- pag. 253 Cavità artificiali nel Parco di Portofino (Genova, Liguria): censimento e classificazione**
Artificial cavities in Portofino Park (Metropolitan City of Genoa, Liguria, Italy): inventory and classification
Francesco Faccini, Lara Fiorentini, Martino Terrone, Luigi Perasso, Stefano Saij
- pag. 263 Le cavità antropiche di Gravina in Puglia (Bari, Puglia): aspetti storici e geotecnici**
Historical and geotechnical aspects of the artificial caves in the urban settlement of Gravina in Puglia (Bari province, Apulia, Italy)
Alessandro Parisi, M. Dolores Fidelibus, Valeria Monno, Michele Parisi, Natale Parisi, Vito Specchio, Giuseppe Spilotro

OPERE INSEDIATIVE CIVILI, ESTRATTIVE, BELLICHE E DI TRANSITO

- pag. 275 Il complesso rupestre della Théotokos Kilise (Göreme, Cappadocia, Turchia)**
The Théotokos Kilise rupestrian complex (Göreme province, Cappadocia, Turkey)
Carmela Crescenzi
- pag. 285 Riscoperta di alcuni ipogei artificiali nel Comune di Sutera (Caltanissetta, Sicilia centrale)**
Re-discovery of some man-made cavities in the Sutera Municipality (Caltanissetta province, central Sicily, Italy)
Marco Vattano, Nino Pardi, Antonio Domante, Pietro Valenti, Giuliana Madonia
- pag. 293 Sistemi ipogei di Massa Martana (Perugia) in Umbria. Indagini preliminari**
Hypogeal systems at Massa Martana in Umbria (Perugia province, Italy). Preliminary investigations
Giulio Foschi, Gianluigi Guerriero Monaldi, Virgilio Pendola

pag. 303 Insediamenti rupestri dell'Alto Crotonese (Calabria)

Cave settlements in the "Alto Crotonese" (Crotona province, Calabria, Italy)

Felice Larocca, Francesco Breglia, Katia Rizzo

pag. 311 Molarice, la miniera dimenticata (Schilpario, Bergamo)

Molarice, the forgotten mine (Schilpario, Bergamo province, Italy)

Giovanni Belvederi, Maria Luisa Garberi, Guglielmo Sarigu

pag. 321 Le latomie ipogee del Plemmirio (Siracusa, Sicilia sud-orientale)

The hypogean Quarries of *Plemmirio*, (Siracusa, South-eastern Sicily, Italy)

Luciano Arena, Corrado Marziano

pag. 329 Le cave di "ghiara" nella provincia di Catania: aggiornamenti su recenti rinvenimenti (Catania e Pedara, Sicilia)

"Ghiara" quarries in Catania province: news on recent discoveries (Sicily, Italy)

Gaetano Giudice, Francesco Politano, Alfio Cariola

pag. 337 Le gallerie della ferrovia dimenticata che collegava Sasso Marconi a Lagaro (Bologna) e il più importante sito strategico italiano della Seconda Guerra Mondiale

The tunnels of the forgotten railway Sasso Marconi-Lagaro (Bologna province, Italy) and the most important Italian strategic site in the Second World War

Daniela Demaria

pag. 347 The underground shelters of Kanlısivri Mevkii in Göreme (Cappadocia, Turkey)

I rifugi sotterranei di Kanlısivri Mevkii in Göreme (Cappadocia, Turchia)

Pierre Lucas, Roberto Bixio

pag. 357 Ritrovamento di un ricovero antiaereo dell'isola di Malta. Quadro comparativo con i ricoveri antiaerei di Napoli (Campania)

New discovery and research of an air-raid shelter in Malta island. Comparison with the air-raid shelters of Naples (Campania, Italy)

Mauro Palumbo, Mario Cristiano, Serena Russo, Marco Ruocco

pag. 365 I rifugi antiaerei di Porto Torres (Sassari, Sardegna)

The Porto Torres air-raid shelters (Sassari province, Sardinia, Italy)

Pier Paolo Dore, Eleonora Dallochio

pag. 373 Indice per autori

OPERA IPOGEA

*Memorie della Commissione Nazionale Cavità Artificiali
www.operaipogea.it*

Semestrale della Società Speleologica Italiana

Anno 22 - Numero 1/2 - Gennaio/Dicembre 2020

Autorizzazione del Tribunale di Bologna n. 7702 dell'11 ottobre 2006

Proprietario:

Società Speleologica Italiana

Direttore Responsabile:

Stefano Saj

Direttore Editoriale:

Andrea De Pascale

Comitato di Redazione:

*Michele Betti, Vittoria Caloi, Sossio Del Prete,
Carla Galeazzi, Carlo Germani, Mario Parise*

Sede della Redazione:

*c/o Andrea De Pascale - Corso Magenta, 29/2 - 16125 Genova
andreadepascale@libero.it*

Comitato Scientifico:

*Roberto Bixio, Elena Calandra, Franco Dell'Aquila, Carlo Ebanista,
Angelo Ferrari, Nakiş Karamağarali (TR), Aldo Messina, Roberto Nini, Mario Parise,
Mark Pearce (UK), Fabio Redi, Stefano Saj, Jérôme Triôlet (FR), Laurent Triôlet (FR)*

Recensioni:

*Roberto Bixio - Via Avio, 6/7 - 16151 Genova
roberto_bixio@yahoo.it*

Composizione e impaginazione:

Fausto Bianchi, Enrico Maria Sacchi

Foto di copertina:

Immagini tratte dagli articoli del presente numero doppio della rivista

Foto quarta di copertina:

Immagini tratte dagli articoli del presente numero doppio della rivista

La rivista viene inviata in omaggio ai soci sostenitori e ai gruppi associati alla SSI

Prezzo di copertina:

Euro 40,00

Tipografia:

*A.G.E. s.r.l.
Via della Stazione, 41
61029 Urbino (PU)
Tel. 0722 328756*

**Il contenuto e la forma degli articoli pubblicati impegnano esclusivamente gli autori.
Nessuna parte della presente pubblicazione può essere riprodotta in alcun modo
senza il consenso scritto degli autori.**

Attualità dei sistemi idrici ipogei di raccolta delle acque piovane

Modernity of rain harvesting underground systems

Paolo Madonia¹, Marianna Cangemi², Ygor Oliveri³

Riassunto

I sistemi ipogei di drenaggio e raccolta delle acque meteoriche sono una tipologia di opera idraulica con una storia plurimillennaria, ancora adoperata nel presente, e con prospettive di rilancio futuro di notevole interesse nell'ambito della conversione alla cosiddetta "green economy".

Un aspetto importante ai fini delle possibilità di utilizzo antropico di antichi sistemi idraulici di questo tipo, riguarda le interazioni chimiche tra le acque meteoriche e le rocce nelle quali questi sistemi sono realizzati, con particolare riferimento al raggiungimento di possibili limiti delle concentrazioni massime ammesse degli elementi potenzialmente tossico-nocivi per la salute umana. Nel presente lavoro, dopo una rassegna delle principali tipologie litologiche che caratterizzano questi sistemi vengono discusse, sulla base di misure dirette e di composizioni teoriche derivate da dati di letteratura, le caratteristiche chimiche delle acque da essi raccolti e le potenzialità di utilizzo per usi di tipo antropico.

Parole chiave: acque meteoriche, chimismo, elementi tossico-nocivi, sistemi ipogei di raccolta.

Abstract

The underground systems for catchment and storage of meteoric water are a type of hydraulic works with a multi-millenary history, presently used, and with very interesting future perspectives in the framework the conversion to the "green economy". An interesting topic, related to the possible anthropic reuse of ancient meteoric water collection and storage systems, is the evaluation of the chemical interactions between water and the rocks inside which these systems are carved, and the possible superseding of maximum admitted concentrations of chemical species potentially toxic or noxious for human health. In this work, after a review of the lithological nature of these systems, we discuss the chemical character of the water they collect, using direct measures and theoretical data from the literature, giving indications for its possible anthropic uses.

Keywords: meteoric water, chemistry, toxic-noxious elements, underground collection system.

Introduzione

La costruzione e l'utilizzo di sistemi di raccolta delle acque piovane, poi accumulate in ipogei artificiali, abbraccia l'intera storia dell'umanità, con gli esempi più antichi databili al tardo Neolitico (circa 5500 anni fa), come le cisterne di Azoria, nella porzione orientale dell'isola di Creta (Mays *et al.*, 2013). Questi sistemi, identificati dall'acronimo in lingua inglese RWHS (*Rain Water Harvesting Systems*) hanno da sempre trovato ampia applicazione in località caratterizzate da climi aridi o semi-aridi, privi di altre fonti naturali di approvvigionamento idrico, quali sorgenti o pozzi di attingimento a falde sotterranee, nelle quali era quin-

di di vitale importanza raccogliere e conservare in volumi sotterranei acque effimere come quelle piovane. Il Mediterraneo meridionale e le sue regioni limitrofe, sia per la lunghissima storia delle civiltà che lo hanno popolato, sia per il suo clima da semi-arido ad arido, presenta una casistica estremamente nutrita di questa tipologia di opere idrauliche, con testimonianze anche di notevole pregio storico-architettonico in Giordania, Grecia continentale ed insulare, Italia, Siria, Spagna, Turchia, (Berking & Schütt, 2018; Mays *et al.*, 2013). Un esempio eclatante della rivisitazione in chiave moderna dell'antico concetto della raccolta e conservazione delle acque piovane è rappresentato dalla "Star City" in Corea del Sud. Si tratta di un grande complesso

¹ INGV, Sezione di Roma 2, via di Vigna Murata 605, 00143 Roma

² Dipartimento DiSTeM, Università degli Studi di Palermo, via Archirafi 36, 90123 Palermo

³ INGV, Sezione di Palermo, via Ugo La Malfa 153, 90146 Palermo

Autore di riferimento: Paolo Madonia - paolo.madonia@ingv.it

residenziale/commerciale, costituito da un centro commerciale e quattro grandi edifici ad uso abitativo, per un totale di 1310 appartamenti e 4000-5000 persone ospitate. L'insediamento è stato dotato di un RWHS con una cisterna di 3000 m³, alimentata da superfici di cattura delle piogge suddivise in 6200 m² di tetti e 45000 m² di terrazze e giardini (Haut *et al.*, 2015). Un esempio di più ridotta scala spaziale è rappresentato dai RWHS dell'Isola di Stromboli (Arcipelago delle Eolie, Italia), oggi in uso residuale ma che sino alla prima metà del XX secolo rappresentavano l'unica forma di approvvigionamento idrico dell'isola (Madonia *et al.*, 2013).

Le considerazioni sopra espresse evidenziano come i sistemi di raccolta e stoccaggio delle acque piovane (RWHS) non devono essere considerati esclusivamente come semplici, seppure interessanti, testimonianze di archeologia idraulica, ma trovano invece oggi una nuova attualità come esempi di sfruttamento eco-compatibile di risorse naturali rinnovabili, nella misura in cui la loro rivisitazione in chiave moderna conferisca loro una praticabilità tecnico-economica. Nel presente lavoro, dopo una descrizione delle principali tipologie funzionali di RWHS, saranno dati cenni sui loro criteri di dimensionamento e sulle caratteristiche fisico-chimiche delle acque raccolte, in funzione delle tipologie di utilizzo e delle dimensioni delle comunità antropiche potenzialmente servite. Si concluderà quindi interpretando i dati presentati alla luce degli attuali scenari di cambiamento del clima e di evoluzione delle disponibilità delle risorse naturali e delle fonti di energia.

Tipologie funzionali dei sistemi di raccolta delle acque piovane (RWHS)

Il denominatore comune dei RWHS analizzati nel presente studio è rappresentato dal sistema di stoccaggio dei volumi di acqua raccolti, costituito da ipogei artificiali di varia natura (pozzi-cisterna, cisterne, gallerie idrauliche). Il sistema di alimentazione dei volumi di accumulo si basa su 4 diverse tecniche: cattura diretta delle piogge su superfici artificiali (essenzialmente tetti e terrazze di edifici), catture diretta delle piogge su superfici naturali (essenzialmente rocce litoidi), immissione diretta o tramite diversione idraulica di acque di deflusso superficiale, drenaggio di acque di infiltrazione superficiale. Rimangono esclusi dalla

trattazione tutti i sistemi basati sullo stoccaggio delle acque sotterranee, che in quanto tali non rientrano nel concetto di RWHS. Nella sottostante tab. 1 viene schematizzata la suddivisione proposta.

Per quanto concerne le tipologie funzionali, le cisterne si differenziano dai pozzi cisterna in quanto le prime hanno una semplice funzione passiva di accumulo di acqua proveniente da sistemi esterni di cattura, mentre i secondi possono presentare dreni in grado di raccogliere le acque di infiltrazione circolanti nell'immediato sottosuolo, e svolgere quindi anche una funzione attiva. Le gallerie drenanti alle quali si fa riferimento in questo lavoro non sono quelle progettate e realizzate per il collettamento di falde idriche sotterranee, bensì opere idrauliche inizialmente destinate ad altri usi, ma che intercettando falde molto superficiali finiscono con il raccogliere la circolazione idrica sotterranea effimera, e quindi strettamente correlata agli eventi piovosi, configurandosi in tal modo come RWHS; un esempio di questa tipologia sono le gallerie regolatrici del livello dei laghi, come ad esempio l'emissario del Lago Albano (Madonia *et al.*, 2017).

La diversa tipologia delle superfici di raccolta riveste un ruolo cruciale nella funzione e gestione dei RWHS dei quali sono parte. Le tipologie di più semplice gestione sono le superfici artificiali, rappresentate essenzialmente da tetti e terrazzi di edifici che raccolgono l'acqua piovana, la quale viene poi canalizzata verso il volume di accumulo da un sistema che può essere composto sia da canalette a cielo aperto, sia da tubazioni. Queste canalizzazioni presentano in genere sistemi di diversione idraulica che consentono di non introdurre nei volumi di accumulo l'acqua derivante da eventi piovosi poco intensi ed avvenuti dopo lunghi periodi di siccità, le quali sono spesso cariche di particolato solido depositatosi nel frattempo su queste superfici e che, se introdotto nei volumi di raccolta, potrebbe deteriorarne la qualità delle acque; un esempio di questa tipologia costruttiva si rinviene nei RWHS di Stromboli (Madonia *et al.*, 2013). Il principale limite di questi sistemi è legato al dimensionamento delle superfici, che facendo riferimento ad edifici risulta limitato per quanto riguarda le capacità di soddisfare il fabbisogno idrico delle comunità ivi allocate (vedi paragrafo successivo).

Ben più efficaci dal punto di vista delle dimensioni potenzialmente coinvolte sono le superfici naturali di raccolta che si sviluppano su rocce litoidi, quindi coerenti, che se non fratturate hanno una efficienza di

Tipologia volume di accumulo (Type of accumulation volume)	Tipologia superficie di cattura (Type of catchment surface)
Cisterne (Cisterns) Gallerie drenanti (Drainage galleries) Pozzi-cisterna (Cistern-wells)	Deflusso superficiale (Surface run-off) Infiltrazione superficiale (Shallow infiltration) Superfici artificiali (Artificial surfaces) Superfici naturali (Natural surfaces)

Tab. 1 – Tipologia delle superfici di cattura e dei volumi di accumulo dei RWHS.
Tab.1 – Type of harvesting surfaces and accumulation volumes of RWHS.



Fig. 1 – Tipico paesaggio degli altipiani quarzarenitici della Giordania meridionale, con superfici mammellonari utilizzate nei sistemi di raccolta delle acque piovane (foto di P. Madonia).

Fig. 1 – Typical landscape of the sandstone plateaus of South Jordan, with nipple-like surfaces used in RWHSs (photo P. Madonia).

raccolta del tutto paragonabile a quella delle superfici artificiali. Le rocce di natura carbonatica, soggette quindi a carsismo, tendono ad avere un comportamento poco efficiente, o addirittura del tutto inefficiente, a causa della presenza di macro-discontinuità che favoriscono l'infiltrazione delle piogge verso il sottosuolo, a differenza di altre litologie come arenarie o graniti, che se non attraversate da sistemi di fratture danno luogo alla formazione di superfici assolutamente impermeabili. Esempi di notevole interesse, come quello rappresentato in fig. 1, si trovano nelle antiche città Nabatee della Giordania, come Petra o il limitrofo insediamento di Beidha (Baudo *et al.*, 2001).

La cattura del deflusso superficiale, sebbene consenta di sfruttare superfici che possono anche essere molto ampie, in quanto si riferiscono all'intero bacino idrografico a monte della sezione fluviale dove l'acqua viene intercettata, presenta una problematica gestionale non di poco conto, quale è quella della eliminazione dei solidi sospesi. Il deflusso superficiale legato agli eventi piovosi, negli ambienti aridi o semi-aridi, è di tipo effimero (escludendo dalla trattazione la captazione di aste fluviali con regime perenne o semi-perenne, che esula totalmente dagli scopi del presente lavoro),

consegue ad eventi piovosi spesso intensi e di breve durata che generano flussi di piena improvvisi (spesso indicati con il termine inglese *flash-floods*) e di elevata energia, i quali trasportano in sospensione notevoli quantità di sedimenti, che oltre a deteriorare la qualità dell'acqua si depositano all'interno dei sistemi di raccolta, diminuendone il volume utile e costringendo quindi a frequenti attività di manutenzione. Inoltre, necessitano di cisterne di grande volume per essere efficienti. Un esempio di questo tipo si trova nell'antica città di Sergiopolis (Al Rasafa, in arabo), in Siria (fig. 2).

L'ultima tipologia concerne il deflusso sub-superficiale, distribuito su superfici anche molto vaste e raccolto dalle gallerie drenanti. Tra tutte le tipologie considerate questa è certamente quella ottimale, in quanto la filtrazione attraverso il suolo può avere un effetto migliorativo sulla qualità delle acque. Inoltre, a causa del rilascio rallentato e ritardato nel sistema di raccolta, causato dal tempo necessario ad attraversare il terreno sovrastante la galleria, controllato dalla permeabilità idraulica di quest'ultimo, permette di avere disponibilità idrica anche dopo il termine delle precipitazioni.



Fig. 2 – Imbocco (a sinistra) ed interno (a destra) di un sistema di raccolta del deflusso superficiale nell'antica città Siriana di Sergiopolis (Al Rasafa in arabo), costruita con blocchi di rocce gessose (foto di P. Madonia).

Fig. 2 – Inlet (on the left) and interior (on the right) of a surface run-off catchment system in the ancient Syrian city of Sergiopolis (Al Rasafa in Arab), built using blocks of gypsum (photo P. Madonia).

Criteri di dimensionamento delle superfici di raccolta e dei volumi di stoccaggio dei sistemi di raccolta delle acque piovane (RWHS)

Il dimensionamento di un RWHS, in termini sia di estensione della superficie di raccolta delle piogge dirette sia del volume di stoccaggio, viene dato dalla seguente formula:

$$Vc = \Delta t \times h \times S \times Cd \times n \times F [1]$$

dove **Vc** è il volume della cisterna, **Δt** la durata massima del periodo di siccità in giorni, **h** l'altezza attesa della pioggia alla fine del periodo di siccità, **S** l'estensione della superficie di raccolta, **Cd** il coefficiente di deflusso, ossia la percentuale di acqua che si trasforma in deflusso superficiale al netto di evaporazione ed infiltrazione, **n** il numero di persone servite dal sistema ed **F** il loro fabbisogno idrico giornaliero. Nella tab. 2 vengono riportati alcuni valori tipici per i parametri sopra descritti. Facendo riferimento ai valori tabellati e considerando un nucleo familiare standard composto da 4 persone, applicando l'equazione [1] avremo che il volume della cisterna e l'estensione della superficie di raccolta dovranno essere rispettivamente di 1 m³ e 1.000 m² per un uso esclusivamente alimentare, e 80 m³ e 80000 m² per il soddisfacimento di tutte le esigenze (uso sanitario, pulizia degli ambienti, etc.). La notevole differenza tra questi valori indica chiaramente che, mentre è abbastanza semplice ipotizzare l'autosufficienza per usi alimentari di un sistema così dimensionato, l'estensione delle superfici di raccolta ed i volumi di immagazzinamento necessari al soddisfa-

cimento del fabbisogno idrico giornaliero complessivo, per un nucleo familiare che necessiti di un moderno standard di vita tipico di una società evoluta, risultano poco praticabili dal punto di vista tecnico-economico.

Caratteristiche fisico-chimiche delle acque dei sistemi di raccolta delle acque piovane (RWHS)

Altro aspetto rilevante ai fini dell'uso antropico delle acque piovane raccolte dai RWHS è quello della loro composizione chimica, e quindi dell'eventuale presenza di specie chimiche in concentrazioni superiori ai limiti massimi ammessi (MAC, *Maximum Admitted Concentration*) per il consumo umano, secondo quelle che sono le indicazioni dell'organizzazione mondiale per la sanità (WHO, *World Health Organization*). Nell'ambito dei RWHS le acque piovane interagiscono con i solidi, portando in soluzione le specie chimiche che li costituiscono, in tre diversi momenti: durante le fasi di formazione e precipitazione delle gocce di pioggia, durante il tragitto lungo le superfici di raccolta ed i sistemi di canalizzazione delle acque e, infine, durante il periodo di stoccaggio nei volumi di accumulo. Il particolato solido presente in atmosfera interagisce con la pioggia in due distinte fasi: se particolarmente sottile, agendo da nucleo di aggregazione sul quale si forma la goccia di pioggia e, in un secondo momento, venendo dilavato e quindi inglobato nelle gocce di pioggia che hanno raggiunto la massa critica che ne innesca la precipitazione. Questo primo fenomeno può portare alla dissoluzione del solido soprattutto in presenza di gas acidi in atmosfera, che aumentano

Parametro (Parameter)	Valore (Value)	Note (Notes)
Δt	90-120 giorni(days)	Valori tipici di zone aride e semi-aride (Typical values for arid and semi-arid areas)
h	10 mm	Tipica altezza di pioggia tardo-estiva in zone aride (Typical height of a late-summer rain in arid areas)
Cd	1	Valore massimo in caso di superfici artificiali o rocciose compatte (Maximum value for artificial surfaces or rocks not fractured)
n	4	Nucleo familiare standard (Standard family)
F	2.5-250 L	Il limite minimo corrisponde al fabbisogno alimentare (fonte EFSA), quello massimo al consumo tipico di un'area urbana europea; ci si riferisce ai fabbisogni giornalieri a persona. (Minimum corresponding to EFSA indications for Total Daily Intake for humans, maximum to the daily typical needs of inhabitants of European cities)

Tab. 2 – Valori tipici dei parametri dell'equazione [1].

Tab. 2 – Typical values for parameters of equation [1].

l'aggressività chimica dell'acqua (piogge acide); tali condizioni si riscontrano generalmente nelle aree vulcaniche attive o in caso di emissioni antropogeniche rilevanti (aree industriali e urbanizzate).

L'interazione chimica con i sistemi di canalizzazione può considerarsi trascurabile, perché il tempo di contatto con il solido è talmente rapido da non consentire la dissoluzione di quantità significative di specie chimiche. L'interazione chimica più importante avviene invece all'interno dei sistemi di raccolta, dove l'acqua stoccata risiede per tempi abbastanza lunghi da rendere efficaci gli scambi non solo con il materiale che costituisce le pareti (o il loro rivestimento) del volume di accumulo, ma anche con tutte le particelle solide, presenti in atmosfera come particolato o depositate sulle superfici di cattura e canalizzazione, trascinate durante le fasi di precipitazione, raccolta e migrazione verso il recettore finale.

La quantità totale di solidi disciolti (in inglese TDS, *Total Dissolved Solids*) dipenderà dalla solubilità delle rocce sulle quali i RWHS si sviluppano, che in linea generale sono così ordinate per solubilità crescente:

Arenarie (quarzareniti) < Rocce vulcaniche < Calcari e rocce carbonatiche in generale < Gessi.

Esempi di RWHS in queste diverse litologie sono per le arenarie gli insediamenti rupestri della Giordania, per le rocce vulcaniche i pozzi-cisterna di Stromboli (Isole Eolie), per i calcari i sistemi dell'Isola di Creta (Grecia) ed infine per i gessi i sistemi di Sergiopolis (Siria).

Le diverse caratteristiche di queste acque sono efficacemente descritte da un diagramma di uso comune in geochemica: il diagramma di Langelier-Ludwig, che si riporta in fig. 3 e che mostra le composizioni tipiche di acque che abbiano interagito con i tipi litologici sopra descritti. Questo diagramma si costruisce considerando come componenti principali di una soluzione acquosa 4 coppie di ioni, 2 per gli anioni (ioni negativi) e 2 per i cationi (ioni positivi), e riportando a 50 le loro

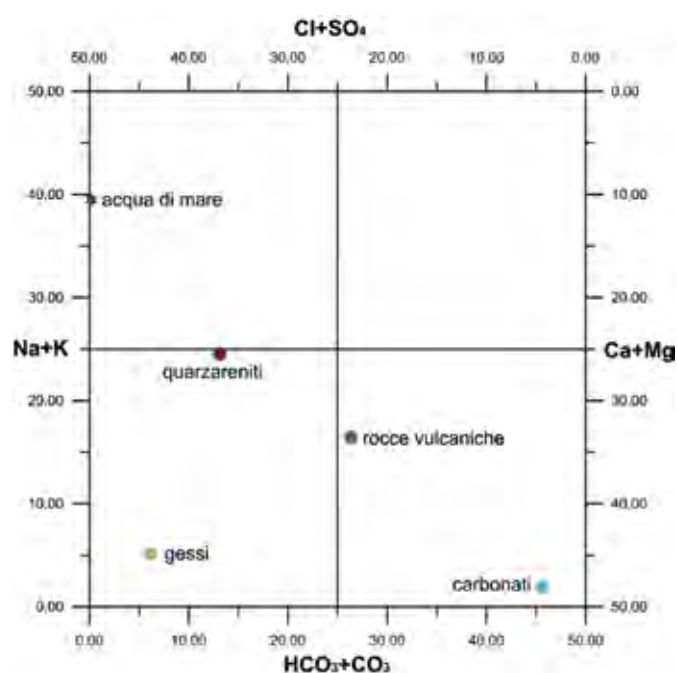


Fig. 3 – Diagramma di classificazione geochemica delle acque di Langelier-Ludwig, riportante composizioni tipiche di acque a contatto con rocce comunemente utilizzate per la realizzazione di RWHS; si indica per confronto la composizione tipica dell'acqua di mare.

Fig. 3 – Water geochemistry classification diagram of Langelier-Ludwig, showing typical composition of waters that have interacted with rocks commonly used in construction of RWHS; seawater composition is also reported for comparison.

concentrazioni, in modo che il totale sia pari al 100% delle sostanze disciolte e che sia suddiviso esattamente a metà tra anioni e cationi per il rispetto della legge dell'elettroneutralità.

Le coppie sono: Calcio (Ca)-Magnesio (Mg) e Sodio

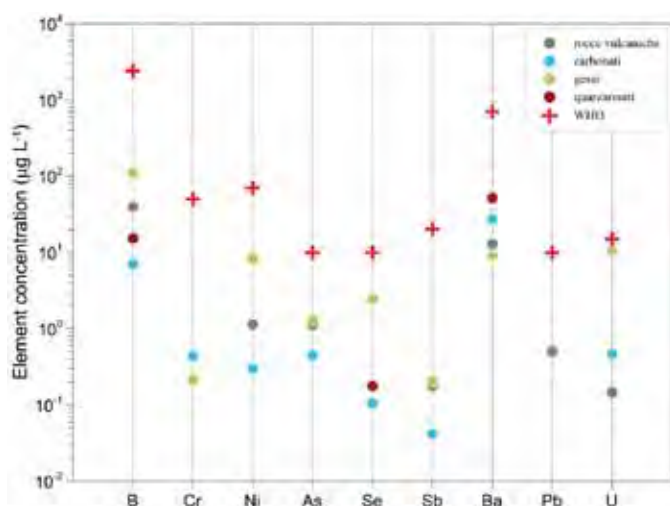


Fig. 4 – Concentrazioni di alcuni elementi in tracce tipiche di acque a contatto con rocce comunemente utilizzate per la realizzazione di RWHS; si indicano per confronto i relativi limiti suggeriti dalla WHO.

Fig. 4 – Concentrations of some trace elements typical for waters that have interacted with rocks commonly used in construction of RWHS; related limits suggested by the WHO are also reported for comparison.

(Na)-Potassio (K) per i cationi, Carbonato (CO_3)-Bicarbonato (HCO_3) e Cloro (Cl)-Solfato (SO_4) per gli anioni.

Conclusioni

Sintetizzando quanto esposto nei precedenti capitoli, si può concludere che i sistemi di raccolta ed immagazzinamento in ipogei artificiali di acque piovane non siano esclusivamente degli esempi mirabili di archeologia idraulica, ma costituiscano una soluzione ancora attuale per l'approvvigionamento idrico.

Ciò è particolarmente vero nel caso di piccole comunità antropiche isolate, per le quali i volumi di raccolta e le superfici di cattura delle piogge possono essere compatibili, dal punto di vista dimensionale, con la convenienza tecnico-economica della loro realizzazione. Nel caso invece di comunità più numerose e/o ad alta densità abitativa, tali soluzioni non possono essere autosufficienti, ma possono comunque essere realizzate come elemento che entra a far parte di sistemi integrati di attingimento a diverse fonti. Si tratta in ogni caso di soluzioni ecocompatibili, in quanto la loro realizzazione nasce dalla corretta lettura delle caratteristiche ambientali di un determinato luogo e, nel caso della cattura di aste fluviali a scorrimento effimero, svolgono il ruolo parallelo di elementi di regimazione delle acque superficiali e quindi di contrasto all'erosione del suolo. Dal punto di vista delle caratteristiche fisico-chimiche delle acque raccolte da questi sistemi, la considerazione generale è che i ridotti tempi di contatto con i materiali solidi che costituiscono le superfici di raccolta ed i volumi di accumulo tendono a limitare le concentrazioni di specie chimiche che potrebbero costituire un potenziale rischio per la salute umana.

Bibliografia

- Baudo F., Calderaro F., Madonia G., Madonia P., Nicastro G., Pollicino A., Woodrow A., Comer D.C., 2001, *Gli insediamenti rupestri di Beidha, Giordania*. Opera Ipogea, vol.3, pp. 3-38.
- Berking J. & Schütt B., 2018, *Water Harvesting in Drylands. Water Knowledge from the Past for our Present and Future*. ISBN 978-3-89937-238-0, 82 pp., Verlag Dr. Friedrich Pfeil, München.
- Haut B., Zheng X.Y., Mays L., Passchier M.H.C., Angelakis A.N., 2015, *Evolution of rainwater harvesting in urban areas through the millennia. A sustainable technology for increasing water availability*. In (Willems W.J.H. & van Schaik H.P.J. Eds) *Water & Heritage. Material, conceptual and spiritual connections*, pp. 37-56, Sidestone Press, Leiden.
- Madonia P., Cangemi M., Bellomo S., D'Alessandro W., 2013, *Influence of volcanic activity on the quality of water collected in roof water catchment systems at Stromboli Island (Italy)*. J. Geochem. Explor., vol.131, pp. 28-36.
- Madonia P., Cangemi M., Galeazzi C., Germani C., Parise M., Favara R., 2017, *Preliminary geochemical characterization of groundwater drained by the Roman emissary of Lake Albano (Italy)*. Environ. Earth Sci., vol. 76:289
- Mays L., Antoniou P., Angelakis A.N., 2013, *History of Water Cisterns: Legacies and Lessons*. Water, vol.5, pp. 1916-1940.

