

ARTICLE INFO

Received 10 September 2025
Revised 28 October 2025
Accepted 29 October 2025
Published 30 December 2025

INFRASTRUTTURE BLU PER LA RIGENERAZIONE ECOLOGICA

Il recupero di siti estrattivi ad Amburgo e Roma

BLUE INFRASTRUCTURES FOR ECOLOGICAL REGENERATION

The recovery of mining sites in Hamburg and Rome

Sara Radi Ahmed, Alessandra Capuano

ABSTRACT

Il contributo esplora il potenziale rigenerativo dell'acqua nei paesaggi post-industriali, con particolare attenzione alle cave dismesse lungo l'Elba ad Amburgo e l'Aniene a Roma. L'acqua è interpretata come agente ecologico attivo, capace di trasformare i laghi di cava in infrastrutture blu-verdi continue, integrando biodiversità, Patrimonio, mobilità e spazio pubblico. Attraverso un confronto critico lo studio dimostra che l'ex acquedotto di Kaltehofe ad Amburgo e le cave circostanti costituiscono un laboratorio di strategie trasferibili per la riconnessione ecologica, la memoria dei luoghi e la resilienza climatica. In coerenza con gli Obiettivi di Sviluppo Sostenibile n. 6, 8, 11 e 15 e con le politiche europee per la biodiversità, l'articolo interpreta le trasformazioni paesaggistiche innescate dall'acqua come modello di rigenerazione ecologica e culturale, riconoscendo nei laghi di cava romani possibili nodi di una rete ambientale urbana più ampia.

This paper explores the regenerative potential of water in post-industrial landscapes, with particular attention to disused quarries along the Elbe in Hamburg and the Aniene in Rome. Water is interpreted as an active ecological agent capable of transforming quarry lakes into continuous blue-green infrastructures that integrate biodiversity, heritage, mobility, and public space. Through a critical comparison, the study demonstrates that the former Kaltehofe waterworks in Hamburg and the surrounding quarries constitute a laboratory of transferable strategies for ecological reconnection, site memory, and climate resilience. In line with Sustainable Development Goals no. 6, 8, 11, and 15, and with European biodiversity policies, the article interprets the landscape transformations triggered by water as a model of ecological and cultural regeneration, recognising the Roman quarry lakes as potential nodes in a broader urban environmental network.

KEYWORDS

laghi di cava, paesaggi post-estrattivi, infrastrutture blu-verdi, soluzioni basate sulla natura, patrimonio industriale

quarry lakes, post-mining landscapes, blue-green infrastructures, nature-based solutions, industrial heritage

Sara Radi Ahmed, Architect and PhD in Landscape and Environment at the 'Sapienza' University of Rome (Italy), holds a Master's degree in Architecture, Landscape, and Archaeology. Her research interests focus on political ecology, post-mining practices and the resulting territories, as well as the analysis of historical urban and landscape environments through critical cartography. E-mail: sararadi.ahmed@uniroma1.it

Alessandra Capuano, Architect, is a Full Professor and Director of the Department of Architecture and Design, 'Sapienza' University of Rome (Italy), where she also leads the research laboratory 'Babele – City, Architecture, Nature'. A visiting professor at numerous North American Universities and Principal Investigator of research projects, she is a Member of the PhD Board in Landscape and Environment and General Coordinator of the Erasmus Mundus Joint Master in Architecture, Landscape and Archaeology. Her research focuses on public space and on the relationship between historical landscapes and contemporary architecture. E-mail: alessandra.capuano@uniroma1.it



Con la proliferazione dei siti industriali dismessi in Europa, e non solo, emerge l'urgenza di ripensarli non più come criticità ambientali, ma come potenziali catalizzatori di un nuovo equilibrio ecologico. Nei paesaggi post-industriali l'acqua può divenire un motore fondamentale di rigenerazione territoriale e di resilienza climatica (Berretta, Desideri and Staltari, 2024). In questa prospettiva il contributo analizza come le cave dismesse possano essere trasformate in infrastrutture verdi e blu capaci di integrare funzioni ecologiche, culturali e sociali; più che semplici bacini artificiali i laghi di cava vengono qui interpretati come infrastrutture blu attive, in cui l'acqua agisce come agente ecologico e infrastrutturale, connettendo ecosistemi, sostenendo la biodiversità e ridefinendo i territori post-estrattivi come nodi idrologici integrati in reti ambientali più ampie.

I progetti che assumono l'acqua come principio generatore possono intrecciare memoria storica, economie post-estrattive, mobilità sostenibile e spazi pubblici, delineando nuove strategie paesaggistiche. Tali approcci, fondati su una prospettiva interdisciplinare che coinvolge architettura del paesaggio, Patrimonio, riuso adattivo e biodiversità (Baiani et alii, 2024; Mehan, 2025), offrono al contempo spunti metodologici con potenziali ricadute sia sulla ricerca accademica sia sulla pratica progettuale.

L'articolo propone un confronto tra Amburgo e Roma in relazione al tema di siti industriali abbandonati dove l'acqua ha avuto e può ancora avere un ruolo importante nel territorio: mentre la prima città ha già avviato progetti di recupero e riconversione, la seconda non ha ancora sviluppato strategie operative in tal senso. Il quadro teorico colloca questi due casi studio, insieme ad altri esempi europei di rigenerazione di siti dismessi, nel più ampio contesto della trasformazione post-industriale, in cui pratiche basate sull'acqua hanno convertito aree degradate in risorse culturali, storiche ed ecologiche di valore.

Il recupero dei territori periurbani si inserisce negli Obiettivi di Sviluppo Sostenibile (SDG) e nelle strategie europee per la biodiversità e la rinaturazione, riconoscendo nelle infrastrutture blu-verdi una leva essenziale per l'adattamento climatico e la valorizzazione ecologica e culturale dei siti rigenerati¹. I casi analizzati riguardano gli impianti di depurazione di Amburgo e le aree estrattive lungo il Fiume Aniene, nell'area metropolitana di Roma. L'esperienza tedesca costituisce un riferimento progettuale utile per affrontare le criticità del territorio tiburtino, tra la Capitale e Tivoli: ad Amburgo l'acqua si configura come elemento ambientale, infrastruttura territoriale e memoria culturale e in questa prospettiva la rigenerazione non è concepita come intervento puntuale su singoli siti, ma come costruzione di sistemi paesaggistici integrati.

L'obiettivo del contributo è mostrare come l'acqua, oggi utilizzata nell'area tiburtina prevalentemente a fini industriali, possa divenire motore di trasformazione delle cave dismesse in sistemi blu-verdi resilienti, capaci di rafforzare la connettività ecologica e l'accessibilità pubblica nei territori periurbani.

Quadro interdisciplinare e approccio metodologico | Dal punto di vista metodologico l'articolo presenta una rassegna critica della letteratura, il confronto con altri esempi europei, l'analisi dei due casi studio e una discussione finale che evidenzia nuove interpretazioni e possibili ricadute per la ricerca e la pratica progettuale. Il lavoro mira a colmare una

lacuna nella ricerca attuale, integrando i temi della rinaturalizzazione ecologica e del riuso del Patrimonio post-industriale, proponendo un modello operativo, replicabile in diversi contesti europei (Dreiseitl, 2020), per la rigenerazione post-industriale delle cave, spesso considerate spazi marginali, nonostante il loro valore di serbatoi di biodiversità urbana (Lecardane, 2023).

Mentre la letteratura sul post-mining tende a interpretare i laghi di cava come interventi isolati di recupero ambientale, questo studio ne propone una lettura sistemica, riconoscendone il potenziale ruolo di infrastrutture connettive capaci di integrare le ecologie periurbane con la città attraverso corridoi blu continui e reti di mobilità sostenibile (Pirina, Comi and d'Abramo, 2024): un simile punto di vista rafforza al tempo stesso la continuità ecologica e l'accessibilità pubblica e presenta un approccio multidisciplinare. Studi recenti evidenziano il declino della biodiversità come una delle principali minacce per le città (Hardman and Samangooei, 2024), richiedendo soluzioni urgenti per affrontare la crisi in corso (Oke et alii, 2021). I laghi di cava offrono habitat per piante, animali e insetti e possono attrarre uccelli e anfibi (Kettermann and Fartmann, 2023), arricchendo la biodiversità, elemento essenziale nella creazione di parchi a servizio delle comunità locali (Tope, Blessing and Adebisi Heritage, 2023). Questi bacini idrici non sono soltanto serbatoi di biodiversità (Fois et alii, 2025), ma possono anche funzionare come sistemi di contenimento delle inondazioni (Mortice, 2015), riserve d'acqua per emergenze legate a incendi, siccità, irrigazione (Jawecki, Kowalczyk and Feng, 2019) e altri usi agricoli (Talentó, Amado and Kullberg, 2020). Queste zone umide hanno inoltre la capacità di ridurre il deflusso delle acque meteoriche, favorire la ricarica delle falde, migliorare la qualità dell'aria e dell'acqua, abbassare le emissioni di carbonio e mitigare l'effetto 'isola di calore urbana' (Brears, 2023).

Il ripristino delle cave abbandonate attraverso la loro conversione in laghi di cava richiede un intervento minimo: l'acqua penetra naturalmente nelle cave aperte in contesti ricchi di acque sotterranee e precipitazioni (Redondo-Vega et alii, 2024); qui l'acqua non è più considerata una risorsa passiva, ma un agente ecologico attivo (Casiddu, Burlando and Chen, 2024) che genera nuove relazioni in grado di rimodellare i paesaggi post-estrattivi, negoziare con gli interventi umani, promuovere ecologie umane e non umane (El-Hitami, Mahall and Serbest, 2023) e creare le condizioni per la biodiversità (Lund and Blanchette, 2023). L'integrazione dei sistemi idrici nel trasporto verde ha anche vantaggi cognitivi perché può sostenere il benessere della comunità (Vranayova, Kaposztasova and Lis, 2024) e fornire un valore educativo (Brears, 2023; Kantor-Pietraga, Zdyrko-Bednarczyk and Bednarczyk, 2025).

I siti di estrazione spesso compromettono la continuità del paesaggio, con trasformazioni topografiche e deforestazione, per ricomporre questi paesaggi è necessario elaborare strategie che consentano di recuperare i rifiuti minerari, siano essi corsi d'acqua inquinati o ecosistemi alterati, in modo funzionale, sicuro e conveniente, consentendone il riutilizzo pubblico (Talentó, Amado and Kullberg, 2020; Berger, 2006).

In questa prospettiva l'acqua, intesa come infrastruttura territoriale, diventa un elemento chiave per la rigenerazione dei paesaggi post-industriali (Aliberti, 2015); tale ruolo emerge chiaramente nei

casi studio internazionali selezionati e riportati nella Tabella 1, che offrono una panoramica di progetti di rigenerazione guidati dall'acqua e fondati su principi di integrazione ecologica e infrastrutturale. I criteri di valutazione adottati si basano sui principali quadri teorici per l'analisi dei paesaggi post-estrattivi (Aliberti, 2015), sui principi di performance e governance delle infrastrutture idriche (Dreiseitl, 2020; Brears, 2023), e sugli indicatori ecologici osservati negli ambienti dei laghi di cava (Kettermann and Fartmann, 2023; Fois et alii, 2025).

Dalla Tabella 1 emergono tre principali tendenze progettuali rilevanti per l'analisi dei casi di Amburgo e Roma, ovvero la rinaturalizzazione dei siti industriali con interventi su larga scala, la riattivazione del Patrimonio industriale e l'aumento del valore ecologico, come nel caso del Progetto Emscher (Ruhr, Germania) e delle Cave di Lusazia (Germania). Il focus di questa ricerca amplia questi approcci progettuali per includere temi come l'accessibilità urbana tramite mobilità dolce, continuità storica e culturale e impatto sociale.

Nella lettura di Amburgo e Roma la metodologia impiegata è di tipo comparativo e si basa su dati GIS provenienti dalle piattaforme di Enti pubblici e sull'analisi di documenti strategici di carattere politico e urbanistico, di valutazioni ambientali e di relazioni specifiche sui siti. Un lavoro sul campo ad Amburgo per valutare i risultati degli interventi e a Roma per considerare lo stato dei luoghi è stato fondamentale per maturare alcune riflessioni pre-progettuali; i casi sono stati valutati in base ai parametri riportati nella Tabella 2.

Il caso dell'ex impianto idrico di Kaltehofe di Amburgo | Il fiume Elba, tra i principali corsi d'acqua dell'Europa centrale, ha fornito per secoli ad Amburgo acqua potabile, servendo allo stesso tempo da fognatura naturale (Exner, 2015); per il filtraggio l'approvvigionamento cittadino si affidava inizialmente all'impianto di Rothenburgsort, attivato dopo il grande incendio del 1842. Con l'aumento della domanda e il peggioramento della qualità delle acque del fiume, determinato anche dallo sviluppo delle industrie sulle sue rive (Fig. 1), l'inquinamento ha raggiunto l'apice nel 1892, quando la drammatica epidemia di colera ha reso urgente una fornitura idrica igienicamente sicura.

La città ha quindi incaricato l'ingegnere inglese William Lindley, già noto in Europa per i suoi progetti infrastrutturali (Hehl-Lange and Lange, 2023), di realizzare un nuovo sistema filtrante, l'impianto idrico di Kaltehofe, che prevedeva quattro bacini di filtrazione a sabbia lenta sull'isola, affiancati da bacini di sedimentazione (senza filtrazione) sull'isola di Bellwirder (Fig. 2); al termine dei lavori Kaltehofe è diventato il più grande impianto di depurazione dell'acqua del suo tempo. Dal 1989 i progressi tecnici hanno consentito ad Amburgo di rifornirsi tramite altri 17 impianti: l'impianto di Kaltehofe è stato gradualmente dismesso cessando l'attività nel 1990, dopo oltre un secolo, e sono stati elaborati diversi progetti di riuso adattivo del sito. La natura ha lentamente riconquistato l'isola con piante endemiche, pipistrelli, anfibi e uccelli migratori che hanno trovato nei bacini e nelle zone umide nuovi spazi vitali.

All'inizio degli anni 2000 si è avviato un processo di sviluppo sostenibile ispirato all'Agenda 21 coinvolgendo attori locali, Istituzioni, imprese e associazioni ambientaliste con l'obiettivo di mantenere la biodiversità esistente e aprire alcune aree al pubbli-

co: nel 2011 è stato inaugurato il Wasserkunst nel quale la natura, con la sua fauna e flora diversificate, è diventata parte integrante del monumento industriale e della storia urbana di Amburgo.

Oggi Kaltehofe rappresenta un unicum del Patrimonio industriale del XIX secolo, essendo l'unico luogo al mondo nel quale si conservano bacini di filtrazione a sabbia (Fig. 3): il complesso comprende 22 bacini, il laboratorio originario ospitato in una villa in stile 'svizzero' (Fig. 4) progettata da Franz Andreas Meyer, un museo contemporaneo firmato Studio Andreas Heller Architects e 44 torrette di controllo, 36 delle quali sono preservate in quanto piccoli edifici in mattoni per la regolazione dell'acqua, progettati in stile gotico da Meyer (Fig. 5). La vicina isola di Billwerder, già area di sedimentazione, è oggi la Riserva naturale di Holshafen: un paesaggio di acque dolci fangose modellate dalle maree dell'Elba, habitat esclusivo di specie come il finocchio acquatico ('*Oenanthe lachenalii*') e unico luogo di nidificazione dei cormorani ad Amburgo (Diekmann, 2021).

Paesaggi di cava: natura e tempo libero nel corridoio fluviale | I rami dell'Elba a sud di Kaltehofe ospitano numerosi siti di estrazione della ghiaia che convivono con processi di rigenerazione ecologica (Fig. 6); la Tabella 3 riassume i dati ecologici delle cave lungo il Fiume. Billbrook – insieme a parti di Rothenburgsort – costituisce il secondo polo indu-

striale di Amburgo, con quartieri residenziali alternati ad attività ad alta intensità di consumo di suolo, soprattutto nel riciclo. Il bacino della cava, scavato nel 1987 a sud del Bille dove l'attività estrattiva prosegue (Fig. 7), ha favorito la formazione di biotopi palustri essenziali alla biodiversità. Il sito rientra nel Piano di sviluppo Billbrook 8 / Billwerder 27, che prevede collegamenti ciclabili con la Riserva Boberger Niederung.²

Più a sud, lungo l'ex cava del Dove-Elba, è sorto il Wasserpark Dove-Elbe, area ricreativa per sport acquatici e tempo libero, riqualificata dopo un concorso paesaggistico negli anni '60 (Fig. 8), il cui paesaggio conserva tracce del secolare uso agricolo (a partire dal XIII secolo) e delle più recenti attività minerarie che hanno generato gli attuali laghi. Oggi l'area comprende sentieri circolari, spiagge urbane e collegamenti con il De Reit, Riserva naturale chiave per l'avifauna migratoria; il lago meridionale ospita inoltre una pista di regata di due chilometri, dotata di torre di osservazione.

A nord-ovest del Parco si estende la Riserva Westensee & Allermöhe Meadows, dove l'acqua proveniente da un'altra ex cava continua a modellare il paesaggio agricolo di lunga durata. Dagli anni '90 sono state implementate importanti misure di compensazione ecologica: il ripristino di 20 km di canali ha favorito il ritorno di specie rare e in via di estinzione, sollevato i livelli idrici e trasformato le pa-

ludi in preziose praterie umide; la creazione di piccoli specchi d'acqua ha ulteriormente migliorato la qualità ecologica del sito (Mitschke, 2015; Hamburg, 2012). I progetti di rigenerazione guidati dall'acqua ad Amburgo si inseriscono pienamente nella visione territoriale del Das Grüne Netz Hamburg (lett. Piano della Rete Verde), una strategia di lungo periodo coordinata dal Ministero dell'Ambiente, del Clima, dell'Energia e dell'Agricoltura. L'obiettivo è tessere un paesaggio ecologico continuo, connettendo parchi urbani, riserve naturali e sistemi idrici in una rete che respira insieme alla città.

In questo quadro gli ex siti industriali ed estrattivi lungo il corridoio meridionale dell'Elba vengono riconfigurati come nuovi paesaggi multifunzionali nei quali gestione idrica, fruizione pubblica e ripristino ecologico convergono in un equilibrio dinamico. La Rete Verde lavora come infrastruttura territoriale capace di cucire il centro urbano ai paesaggi periurbani e rurali, creando corridoi blu-verdi che sostengono non solo la mobilità umana, ma anche lo spostamento e la sopravvivenza delle specie che abitano questo ecosistema in trasformazione³. Nel loro insieme questi interventi mostrano come Amburgo riesca a trasformare la bonifica post-industriale in un motore di pianificazione ecologica metropolitana, mantenendo un filo continuo tra la scala locale dei progetti e le strategie urbane di adattamento climatico.

Site	Ecological Function	Hydrological Performance	Public Use	Heritage Value	Governance	Risks	Transferable Patterns
Duisburg-Nord (Germany)	High strong natural recolonisation	Medium integrated water management	High extensive public use	High industrial heritage valorisation	High strong public-private partnership	Low / Medium	industrial reuse & musealization on a territorial scale
Emscher River Project (Ruhr, Germany)	High large-scale ecological corridor	High systemic river restoration	High	Medium integration of industrial heritage	High metropolitan governance	Medium	territorial scale & watershed management
Zhongshan Shipyard Park (Guangzhou, China)	Medium urban ecological regeneration	Medium	High urban park	Medium	Medium	Low / Medium	integration of water in dense urban contexts
Shanghai Botanical Garden (China)	High strong botanical and ecological value	Medium	High educational & research uses	Low-Medium	High institutional	Low	integration of research and education
Tangshan Quarry Park (Nanjing, China)	Medium / High	Medium	High	Medium	Medium	Medium residual water quality	quarry-to-park model
Henry Palmisano Park (Chicago, USA)	Medium	Medium	High	Low / Medium	Medium	Low	quarry lagoon & urban recreation
Bellwood Quarry / Westside Park (Atlanta, USA)	Medium	Medium	High	Low	Medium	Medium	greenway & cycle link integration
Don Valley Brickworks (Toronto, Canada)	High wetland habitat creation	Medium / High	High	High industrial heritage	High community cooperative model	Low / Medium	heritage & ecology hybrid reuse
Somerset Earth Science Centre (UK)	Medium	Medium	Medium	Low / Medium	Medium	Low	educational adaptive reuse
Pugneys Country Park (Wakefield, UK)	Medium / High	Medium	High	Low	Medium	Low	recreation & biodiversity restoration
Lusatia Quarries (Germany)	High post-mining succession	Medium	Medium	High	Medium	Medium local contamination	large-scale renaturation
Biville Quarries (Normandy, France)	Medium	Medium	Medium	Low	Medium	Medium	local-scale renaturation
Parkfield Road Park (Rugby, UK)	Medium	Low / Medium	High	Low	Low / Medium	Medium	community-driven parkification
Jardin de Saint-Adrien / Parc de la Plage Bleue / Buttes Chaumont (Paris, France)	Medium	Low / Medium	High	High urban / historic heritage	High urban governance	Low	urban park integration

L’asse delle cave storiche della Tiburtina-Aniene a Roma

A differenza di altre aree della campagna romana, note per la vocazione agricola e per la presenza di residenze per la villeggiatura, la periferia orientale di Roma si distingue per un territorio profondamente segnato dalla stratificazione industriale e dalle trasformazioni legate alla mobilità e alla produzione. Il corridoio Tiburtina-Aniene, modellato dalla sua posizione strategica tra Roma e Tivoli e dalla conformazione pianeggiante del fondovalle, ha rappresentato per secoli un asse fondamentale per la circolazione di merci, persone e risorse: storicamente ha consentito il trasporto dei blocchi lapidei lungo il Fiume Aniene, un tempo navigabile, ha sostenuto il traffico militare e commerciale sulla via Tiburtina e ha costituito il principale itinerario per gli artisti del Grand Tour e per la transumanza attraverso Tivoli e le aree termali delle Acque Albule (Fig. 9).

Il Fiume Aniene è stato a lungo un’infrastruttura essenziale per l’industria locale (D’Ascanio and Palazzo, 2023) fornendo acqua alle manifatture tessili, alle centrali idroelettriche, alle attività estrattive e alle oltre venti cartiere che, fino agli anni Cinquanta e Sessanta dello scorso secolo, hanno trainato l’economia dell’area, alimentando un know-how tecnico e favorendo lo sviluppo di altri settori produttivi. Con il loro declino il ruolo trainante dell’economia locale è stato progressivamente assunto dal settore edili-

zio e l’estrazione di calcare, travertino, tufo, pozzolana, argilla e altri materiali da costruzione è diventata l’asse portante dell’economia territoriale, consolidando il legame fra edilizia e imprenditoria estrattiva (Martines and Pallottino, 2019); il bacino estrattivo del travertino si è esteso rapidamente, trasformando in pochi decenni il paesaggio circostante.

Nel periodo immediatamente precedente e successivo alla Seconda guerra mondiale l’espansione urbana ha interessato le aree poste al di sopra e intorno ai nuclei medievali preesistenti, dove le grandi proprietà agricole, organizzate in ‘ville’ come Villalba o Villanova, furono progressivamente suddivise e trasformate in insediamenti residenziali a bassa densità. Tale processo, alimentato dal boom edi-

lizio romano degli anni Cinquanta e Sessanta, ha riconfigurato gli antichi agglomerati rurali in periferie frammentate, sorte in continuità con le aree industriali ed estrattive della valle dell’Aniene, spesso attraverso fenomeni di autocostruzione e in assenza di una pianificazione unitaria. Queste nuove urbanizzazioni, che in passato erano collegate alla Capitale tramite la tranvia e successivamente tramite la linea ferroviaria regionale, sono oggi spesso carenti di servizi primari e secondari, nonostante lungo l’asse Tiburtina-Aniene si insedino circa 500 mila abitanti.

L’attività estrattiva, tuttora presente, continua a generare conflitti legati all’uso delle risorse e a produrre impatti significativi sulla qualità ecologica e

Parameter	key indicators
Ecological value	The percentages of the natural protected areas and special conservation zones, along with related biodiversity indicators such as the number of endemic and protected species
Urban accessibility	The connectivity of the site to the city centre, with a focus on sustainable mobility infrastructure like railways, cycle paths and footpaths
Cultural continuity	The enhancement and adaptive reuse of cultural resources such as archaeological sites, industrial heritage, and their integration into the landscape
Multifunctional reuse	The presence of diverse public amenities, such as sports facilities, swimming areas, open-air museums, and nature trails
Social impact	The involvement of the community in the maintenance of the sites, public use, educational role, and its effects on their well-being

Previous page

Tab. 1 | Comparison between international water-based post-industrial regeneration projects (credit: S. Ahmed, 2025).

Tab. 2 | Evaluation parameters of post-industrial areas recovered through water-related interventions in Hamburg and Rome (credit: S. Ahmed, 2025).

Fig. 1 | Industrial areas of Hamburg, highlighted in yellow (credit: S. Ahmed, 2025).



chimica del Fiume Aniene, tuttavia i numerosi specchi d'acqua che si sono formati nelle cave abbandonate offrono potenziali opportunità di rigenerazione ambientale, ospitando elevati livelli di biodiversità con anfibi, uccelli, insetti, piccoli mammiferi e specie vegetali autoctone (Kettermann and Fartmann, 2023). Il corso dell'Aniene attraversa oggi un sistema di aree protette e riserve naturali, tra cui la Valle dell'Aniene, l'area dei Travertini delle Acque Albule e il Parco Regionale dei Monti Lucretili, che costituiscono una rete ecologica di fondamentale importanza per la resilienza del territorio (Fig. 10).

Non vi sono Programmi recenti per un'effettiva rigenerazione di questi luoghi: nel 2002 è stato elaborato il Programma di Recupero Urbano e Sviluppo Sostenibile del Territorio (PRUSST) Asse Tiburtino⁴ che rappresenta uno dei più significativi interventi di pianificazione integrata dedicato al bacino estrattivo del travertino tra Roma, Tivoli e Guidonia Montecelio. Il progetto mira a rigenerare il corridoio Tiburtina-Aniene come asse infrastrutturale ed ecologico strategico, connettendo i paesaggi storici, termali e industriali lungo il Fiume.

Strutturato sui tre principi fondamentali di miglioramento dell'accessibilità, equilibrio tra sistemi produttivi e ambientali e introduzione di una mixité funzionale nelle aree industriali, il Piano prevede l'ampliamento della via Tiburtina, la riqualificazione del Distretto Termale delle Acque Albule e la creazione di un Parco fluviale lungo l'Aniene, estendendo la Riserva Naturale del Fiume di circa 1.300 ettari fino ai Comuni di Guidonia Montecelio e Tivoli. Pur allineandosi ai più ampi strumenti di pianificazione territoriale e idrografica il progetto mette tuttavia in luce la persistente tensione tra priorità economiche ed ecologiche: l'obiettivo dichiarato di ricucire i paesaggi frammentati resta ostacolato dall'inerzia di strumenti normativi superati, che ancora limitano una piena tutela di questo fragile territorio.

Più recente è il Parco Lineare Roma Est, noto anche come ParcoLineaRE, un progetto di riqualificazione urbana e ambientale che mira a trasformare un ampio corridoio della periferia est della Capitale in infrastruttura verde pubblica. Altri studi riguardano il recupero di edifici industriali dismessi a Tivoli, uno dei quali descrive il bacino estrattivo tra Tivoli e Guidonia come 'paesaggio della memoria' e propone scenari di rigenerazione che trasformino la zona da cesura territoriale a rete di riconnessione ambientale e paesaggistica. Un ultimo progetto è Ri-

CaVa – Rigenerazione delle Cave e Valorizzazione (Paudice, 2023), citato come modello che integra attività estrattive, uso pubblico e rigenerazione ecologica in un piano territoriale. Il presente studio nasce in risposta a un quadro territoriale tuttora privo di una strategia coerente di recupero e valorizzazione.

Laghi di Tor Cervara e Salone | Alcune delle prime attività di estrazione della pietra si sono insediate nei terreni vulcanici lungo le rive dell'Aniene, in una posizione favorevole per il trasporto dei blocchi via acqua fino al centro della città, come le cave di Tor Cervara e Salone, distanti 12 chilometri, parte del vasto sistema di cave lungo il Fiume che ha fornito materiali lapidei a molti monumenti iconici di Roma, tra cui il Colosseo. Tor Cervara e Salone, che conservano ancora rare tracce visibili di estrazione archeologica risalenti al II secolo a.C. (Fig. 11), oggi sono state trasformate in laghi di cava con sistemi di acque miste; altri laghi di cava storici su proprietà private sono stati riutilizzati per vari scopi quali luoghi per eventi o club di pesca.

Le cave di tufo della Cervara sono state trasformate in paesaggio culturale: a partire dal 1856 la Ponte Mollo Society – un'associazione di artisti tedeschi – vi ha organizzato regolarmente il Cervara-fest, trasformando le cave in spazi in cui arte, paesaggio e ritualità sociale si intrecciavano (Fig. 12). Tra il 1815 e il 1890 questa celebrazione dal carattere carnevalesco, animata dalla comunità internazionale di artisti residenti a Roma, si è svolta annualmente a Tor Cervara, inscrendo le cave nel panorama culturale e artistico internazionale dell'epoca.

Le cave di Salone si estendono per circa sei ettari, in gran parte sotterranei, ma metà dell'area è stata distrutta con la costruzione dell'autostrada A24 Roma-L'Aquila. La realizzazione dell'infrastruttura non è stata supportata da studi sulla biodiversità e sui suoi legami con l'acqua, il che rappresenta un limite importante per il presente studio. Le cave, che si trovano oggi in stato di abbandono, parzialmente allagate e colonizzate da vegetazione spontanea (Fig. 13), fanno parte del più ampio contesto del Parco della Valle dell'Aniene nonostante siano ancora circondate da attività industriali attive: la loro integrazione con il sistema idrico dell'Aniene potrebbe favorire la tutela del più vasto complesso delle cave di Salone, ponendo le basi per la creazione di un Parco naturalistico-archeologico inserito nel perimetro del Parco Regionale del Fiume Aniene.

Laghi di travertino: micro-ecologie nei paesaggi post-estrattivi | Secoli di estrazione del travertino hanno profondamente modellato il territorio, lasciando in eredità vaste cave a cielo aperto a cui bacini bianchi scolpiti – profondi dai 20 ai 60 metri – si riempiono d'acqua una volta abbandonati (Fig. 14). I depositi di travertino sono generalmente caratterizzati da superfici prive di uno strato consistente di terra vegetale, condizione che normalmente limita la formazione di ecosistemi biodiversi a causa dello scarso sviluppo dell'apparato radicale. Tuttavia i sottili substrati carbonatici del travertino possono ospitare una ricca biocenosi micro-ecologica (Pentecost, 2005), favorita dalla costante interazione tra acqua e minerali; questi microstrati, pur limitati in spessore, sostengono licheni, specie vegetali rupicole e microfauna adattata, formando ecosistemi di alto valore ecologico, con presenza di specie rare e protette (Giardini, 2013).

Nei laghi delle cave abbandonate dominano procarioti come il 'Chromatium' (Tortora and Pentecost, 1989) che formano un tappeto di 2-5 mm sulle superfici di travertino, creando un supporto per ospitare altri organismi (Della Porta et alii, 2022) tra cui i cianobatteri, minuscoli arbusti microbici in grado di produrre ossigeno, microrganismi straordinari che hanno modificato la composizione chimica della Terra. Nelle acque prosperano diverse alghe verdi, comprese specie che raramente sopravvivono in acque sulfuree e calde: sono state osservate fino a venti specie legate al travertino, tra cui la 'Charales vulgaris', che contribuisce alla caratteristica texture 'pelosa' e vegetale della pietra.

Sulle sponde dell'Aniene si trova anche la cava del Barco, un sito romano risalente al II secolo, le cui tracce sono in gran parte scomparse a causa delle attività estrattive moderne. Nelle aree circostanti sopravvivono specie vegetali rare, protette e dall'elevato valore ecologico come la 'Iberis pinnata L.', presente unicamente nel Montarozzo del Barco⁵ (Giardini, 2013), insieme a una fauna di grande interesse scientifico come il moscerino 'Paracoenia beckeri', recentemente individuato dopo sessant'anni e considerato endemico di quest'area (Pulvirenti et alii, 2024).

Sebbene dal 2019 la zona sia stata classificata come Zona Speciale di Conservazione (ZSC) grazie all'impegno di diverse associazioni ambientaliste locali, tale forma di tutela non garantisce ancora un'effettiva accessibilità pubblica, né impedisce il

Die neue centrale Sandfiltrations-Anlage zur Wasserversorgung Hamburgs.

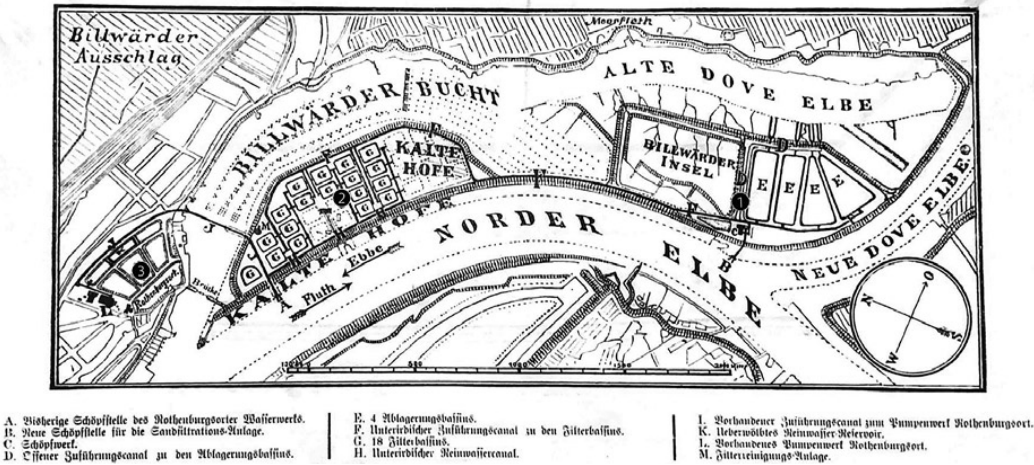


Fig. 2 | 1848 map titled 'The new central sand filtration plant for Hamburg's water supply', scan from the archives of the Wasserkunst Museum, Kaltehofe Island, Hamburg (credit: Staatsarchiv Hamburg, 2025).

Fig. 3 | Aerial view of Kaltehofe Island and its basins (credit: Stiftung Wasserkunst Elbinsel Kaltehofe, 2025).

proseguimento delle attività industriali di estrazione. Gli studi più recenti descrivono le norme di salvaguardia e le iniziative di monitoraggio ambientale attivate nel quadro della ZSC, sottolineando come possano contribuire a valorizzare la biodiversità e definire un nuovo equilibrio ecologico. Nonostante le forti pressioni dovute all'estrazione del travertino, allo sfruttamento delle acque termali e all'urbanizzazione incontrollata, i laghi di cava mostrano un potenziale straordinario per la conservazione e il ripristino degli ecosistemi, grazie ai rapidi processi di rinaturalizzazione in atto (Pulvirenti et alii, 2024).

Riflessioni conclusive: una greenway tra Roma e Tivoli | In tutta Europa le città stanno avviando progetti su larga scala per riqualificare le ex aree industriali dismesse in nuovi spazi pubblici, combinando la rivitalizzazione urbana e la salvaguardia ambientale ed ecosistemica. Piuttosto che cancellare ogni traccia industriale molti progetti scelgono di integrarla nei nuovi disegni, utilizzandola come elemento artificiale del paesaggio, capace di accrescere valore storico e curiosità. Le strategie di rigenerazione si concentrano sul ripristino delle condizioni idrologiche naturali, sulla reintroduzione di vegetazione autoctona e sulla creazione di habitat per la fauna selvatica a sostegno della biodiversità.

Un aspetto centrale è certamente la creazione di nuovi spazi pubblici, destinati allo svago, all'educazione e al tempo libero, che permettano ai cittadini di interagire con i loro ambienti rigenerati e di apprezzarli. Il successo di questi interventi dipende in larga misura dall'elaborazione di un progetto accurato e dalla stretta collaborazione con gli attori coinvolti, per garantire accettazione e sostegno duraturo alle iniziative da parte delle comunità locali.

Il paesaggio dell'Aniene, palinsesto complesso e stratificato che conserva tracce di millenni di storia, si configura come un sistema urbano e ambientale di primaria importanza per l'area metropolitana di Roma e rappresenta una risorsa strategica per il suo futuro. In questo contesto il sistema delle cave di travertino e delle altre cave a est della Capitale costituisce non solo una ferita nel territorio, ma rappresenta un insieme articolato, espressione della lunga interazione tra processi naturali e trasformazioni antropiche. L'acqua oggi utilizzata a fini industriali può trasformare le cave dismesse in sistemi blu-verdi resilienti, capaci di rafforzare la connettività ecologica e l'accessibilità pubblica nei territori periurbani.

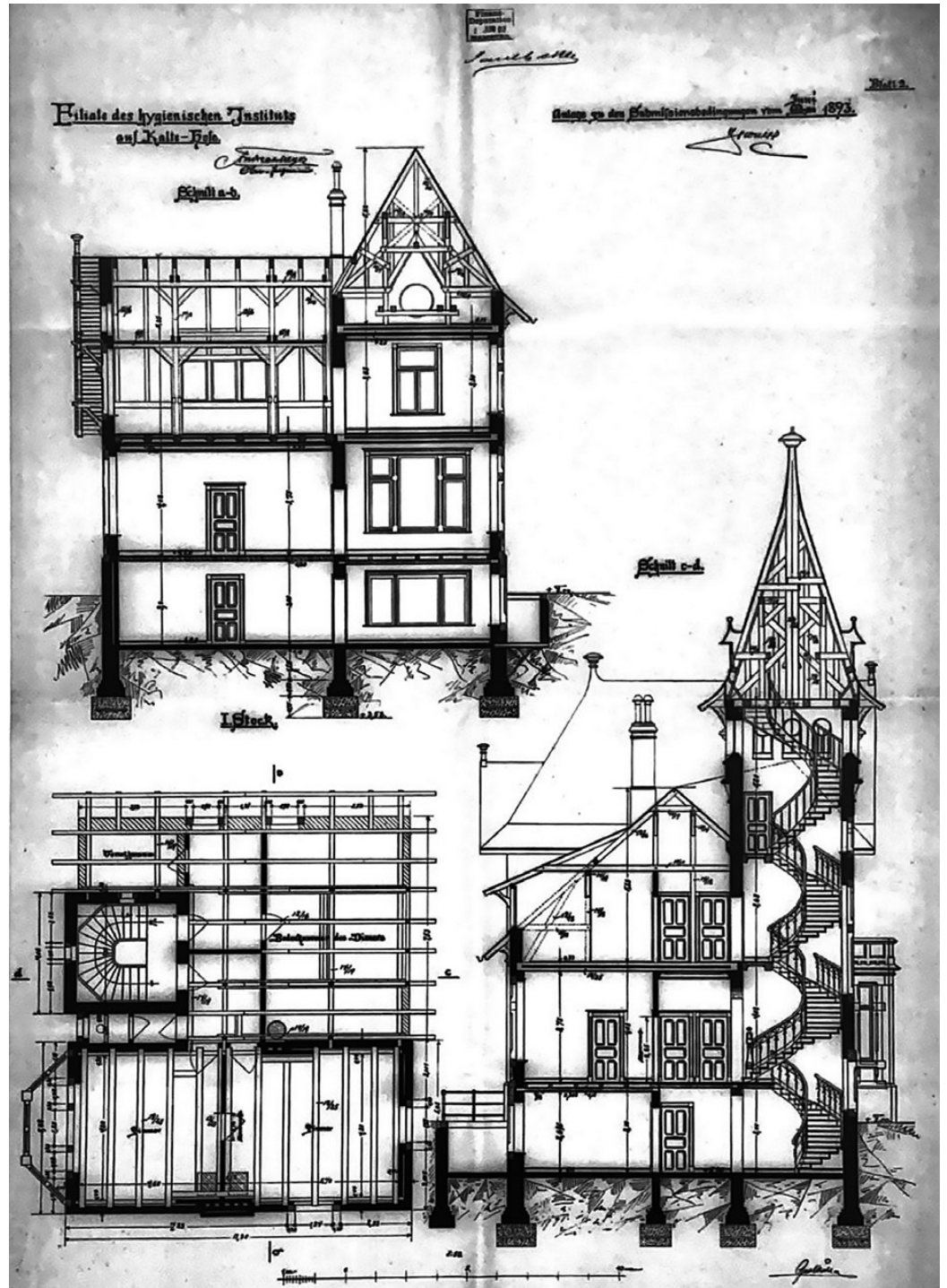


Fig. 4 | Swiss Villa, formerly the pumping laboratory and now the Wasserkunst Museum (credit: Staatsarchiv Hamburg, 2025).

Fig. 5 | Renaturalised basin with a valve house (credit: S. Ahmed, 2025).

Non tutte le cave sono adatte a essere trasformate in bacini idrici: parametri come posizione, dimensioni, volume d'acqua, permeabilità del suolo, deflusso dalle pareti e tipologia del materiale estratto devono essere attentamente valutati, poiché i laghi di cava possono presentare rischi significativi legati al bilancio idrico, dall'impoverimento delle falde nei climi aridi alle tracimazioni nelle aree soggette a inondazioni, con conseguenze ecologiche, sociali ed economiche (Sharma and Franks, 2013). Tuttavia l'acqua ha spesso dimostrato di poter essere impiegata con successo come agente ecologico in numerosi contesti a livello mondiale i quali, se integrati in un più ampio sistema di infrastrutture blu, possono sostenere nuove funzioni ricreative e turistiche e promuovere modelli economici sostenibili, mitigando gli effetti negativi e contribuendo al raggiungimento degli SDG in territori segnati da pratiche estrattive miopi.

Il modello di Amburgo rappresenta un esempio emblematico nel quale i siti sono inseriti in un anello verde ecologico continuo e collegati ai margini estremi della città da una pista ciclabile lungo l'Elba (Fig. 15). Ciò testimonia l'evoluzione dell'approccio regionale alla gestione delle risorse idriche come strumento di trasformazione paesaggistica, in cui le 'cicatrici' industriali vengono reinterpretate come spazi multifunzionali capaci di sostenere biodiversità, svago e Patrimonio.

Dal punto di vista della gestione paesaggistica gli interventi di riqualificazione industriale di Amburgo si fondano su dati e Piani multiscolari di lungo periodo che coinvolgono una pluralità di attori, tra cui

Municipalità, comunità locali, ecologi, ONG e soggetti privati. Le rilevanti limitazioni geografiche e politiche che ne ostacolano la trasferibilità al bacino Tiburtina-Aniene, e che coincidono anche con i principali limiti di questo studio, sono riconducibili alla diversa scala di governance, alla frammentazione amministrativa e fondiaria e alla difficoltà di reperimento di dati ecologici e idrologici sistematici nel caso romano (Tab. 4).

Lungo l'asse del fiume Aniene e della via Tiburtina si può immaginare un corridoio ecologico in grado di connettere Roma a Tivoli, configurando una vera e propria greenway che unisca terrains vagues, aree agricole, aree industriali dismesse, patrimonio storico e archeologico e centri urbani. Un simile sistema percorso da una pista ciclabile e dalla ferrovia consentirebbe di costruire un nuovo asse verde verso est, complementare al Parco dell'Appia a sud, al Parco di Veio a nord e al Fiume Tevere a ovest, con l'ambizione di delineare il nuovo cardo e decumano ecologico della Roma del XXI secolo.

L'acqua può quindi assumere contemporaneamente i ruoli di catalizzatore progettuale, infrastruttura portante e custode della memoria: in quanto catalizzatore modello i paesaggi, informa l'organizzazione spaziale e ispira interventi che integrano dimensioni ecologiche, sociali ed estetiche; come infrastruttura sostiene funzioni urbane ed ecologiche essenziali, dal governo delle acque agli habitat per la biodiversità, fino alla regolazione climatica e agli usi ricreativi; come custode della memoria conserva tracce di pratiche passate, attività industriali e storie culturali, innestandole nei paesaggi in trasforma-

zione e consentendo alle comunità di interagire con narrazioni insieme ecologiche e storiche.

With the proliferation of disused industrial sites in Europe and beyond, there is an urgent need to reconsider them not as environmental liabilities but as potential catalysts for a new ecological balance. In post-industrial landscapes, water can become a fundamental driver of territorial regeneration and climate resilience (Berretta, Desideri and Staitari, 2024). From this perspective, this paper analyses how disused quarries can be transformed into green and blue infrastructures capable of integrating ecological, cultural, and social functions. More than simple artificial basins, quarry lakes are here interpreted as active blue infrastructures in which water acts as both an ecological and infrastructural agent, connecting ecosystems, supporting biodiversity, and redefining post-mining territories as hydrological nodes integrated into broader environmental networks.

Projects that take water as their generating principle can intertwine historical memory, post-mining economies, sustainable mobility, and public spaces, outlining new landscape strategies. Such approaches – based on an interdisciplinary perspective that involves landscape architecture, heritage, adaptive reuse, and biodiversity (Mehan, 2025; Baiani et alii, 2024) – offer, at the same time, methodological insights with potential implications for both academic research and design practice. The article compares abandoned industrial sites in Hamburg

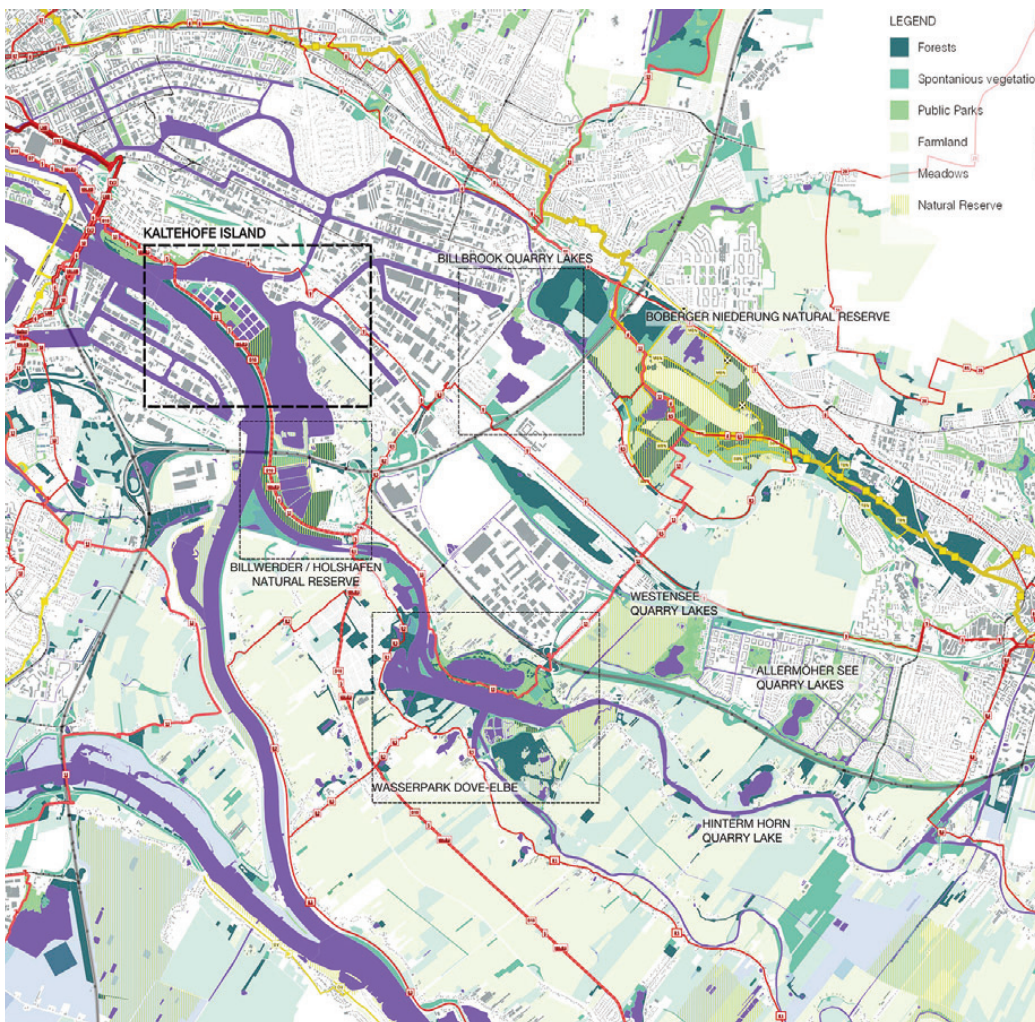


Fig. 6 | Map of the area showing other quarries and renaturalised industrial sites along the branches of the Dove Elbe, highlighting natural systems in relation to water bodies, with cycle paths in red and pedestrian routes in yellow (credit: S. Ahmed, 2025).



Fig. 7 | Billbrook quarry lake with extraction activities in the background (credit: S. Ahmed, 2025).

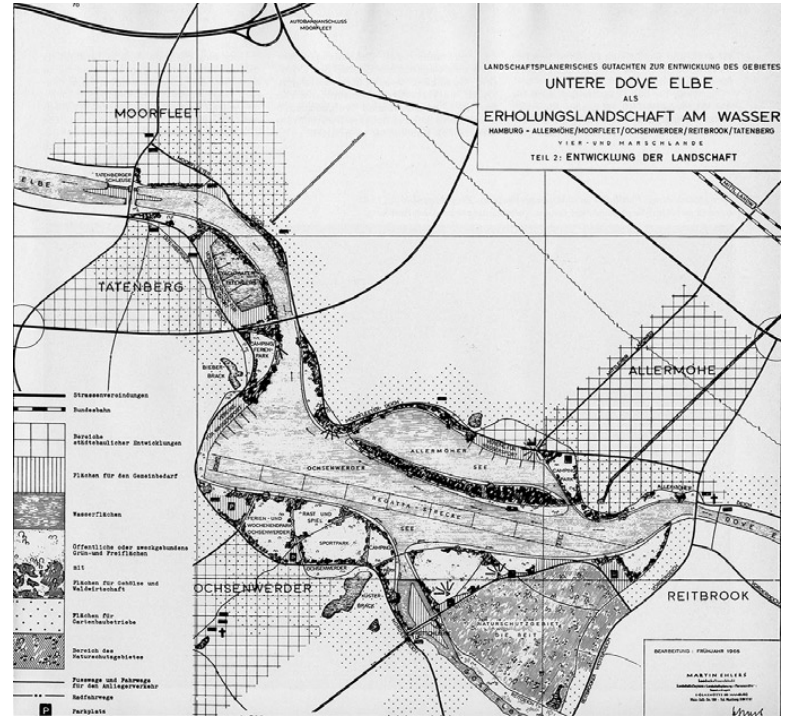


Fig. 8 | Landscape plan of the Untere Dove Elbe, showing the construction of the regatta area (credit: V. Dinse, 1966).

and Rome, where water has played – and can still play – an important role in the territory: while the former has already initiated recovery and reconversion projects, the latter has not yet developed operational strategies in this direction. The theoretical framework situates these two case studies, together with other European examples of disused sites regeneration, within the broader context of post-industrial transformation, in which water-based practices have converted degraded areas into cultural, historical, and ecological assets of value.

The recovery of peri-urban areas is part of the Sustainable Development Goals (SDGs) and of European strategies for biodiversity and re-naturalisation, recognising blue-green infrastructures as an essential lever for climate adaptation and for the ecological and cultural enhancement of regenerated sites¹. The analysed cases concern the wastewater treatment plants of Hamburg and the mining areas along the Aniene River, within the metropolitan area of Rome. The German experience provides a valuable design reference for addressing the challenges of the Tiburtina territory between the Capital and Tivoli: in Hamburg, water is configured as an environmental element, a territorial infrastructure, and a cultural memory. From this perspective, regeneration is not conceived as an isolated intervention on single sites but as the construction of integrated landscape systems.

This paper aims to show how water, currently used in the Tiburtina area mainly for industrial purposes, can become the driving force behind the transformation of disused quarries into resilient blue-green systems that strengthen ecological connectivity and public accessibility in peri-urban territories.

Interdisciplinary framework and methodological approach | From a methodological perspective, the article presents a critical review of the literature, a comparison with other European examples, an analysis of the two case studies, and a final discus-

sion that highlights new interpretations and possible implications for research and design practice. The work aims to fill a gap in current research by integrating the themes of ecological re-naturalisation and the reuse of post-industrial heritage, proposing an operational model, replicable in different European contexts (Dreiseitl, 2020), for the post-industrial regeneration of quarries, which are often considered marginal spaces despite their value as reservoirs of urban biodiversity (Lecardane, 2023).

While post-mining literature tends to interpret quarry lakes as isolated environmental recovery interventions, this study proposes a systemic reading of them, recognising their potential role as connective infrastructures capable of integrating peri-urban ecologies with the city through continuous blue corridors and sustainable mobility networks (Pirina, Comi and d'Abramo, 2024). Such a perspective strengthens both ecological continuity and public accessibility by offering a multidisciplinary approach.

Recent studies highlight biodiversity decline as one of the main threats to cities (Hardman and Samangooei, 2024), requiring urgent solutions to address the ongoing crisis (Oke et alii, 2021). Quarry lakes provide habitats for plants, animals, and insects. They can attract birds and amphibians (Kettermann and Fartmann, 2023), enriching biodiversity, an essential element in creating parks that serve local communities (Tope, Blessing and Adebisi Heritige, 2023). These water bodies are not only biodiversity reservoirs (Fois et alii, 2025) but can also function as flood control systems (Mortice, 2015), water reserves for emergencies related to fires, drought, irrigation (Jaweck, Kowalczyk and Feng, 2019), and other agricultural uses (Talent, Amado and Kullberg, 2020). Wetlands of this kind can also reduce stormwater runoff, promote groundwater recharge, improve air and water quality, lower carbon emissions, and mitigate the 'urban heat island' effect (Brears, 2023).

The restoration of abandoned quarries by converting them into quarry lakes requires minimal intervention: water naturally infiltrates open pits in areas with abundant groundwater and rainfall (Redondo-Vega et alii, 2024). Here, water is no longer considered a passive resource but an active ecological agent (Casiddu, Burlando and Chen, 2024) that generates new relationships capable of reshaping post-mining landscapes, negotiating with human interventions, promoting human and non-human ecologies (El-Hitami, Mahall and Serbest, 2023), and creating the conditions for biodiversity (Lund and Blanchette, 2023). The integration of water systems with green transport also has cognitive benefits, as it can enhance community well-being (Vranayova, Kaposztasova and Lis, 2024) and provide educational value (Brears, 2023; Kantor-Pietraga, Zdyko-Bednarczyk and Bednarczyk, 2025).

Extraction sites often disrupt landscape continuity through topographic changes and deforestation. To restore these landscapes, it is necessary to develop strategies that recover mining waste, whether from polluted waterways or altered ecosystems, in functional, safe, and cost-effective ways, enabling their reuse for public purposes (Talent, Amado and Kullberg, 2020; Berger, 2006).

From this perspective, water – understood as territorial infrastructure – becomes a key element in the regeneration of post-industrial landscapes (Aliberti, 2015). This role clearly emerges from the selected international case studies presented in Table 1, which offer an overview of water-driven regeneration projects grounded in ecological and infrastructural integration. The adopted evaluation criteria are based on the main theoretical frameworks for the analysis of post-mining landscapes (Aliberti, 2015), on performance and governance principles of water infrastructures (Dreiseitl, 2020; Brears, 2023), and on ecological indicators observed in quarry lake environments (Kettermann and Fartmann, 2023; Fois et alii, 2025).

Site	Area (ha)	% Protected	Key Species (flora / fauna)	Ecological Value	Urban Accessibility	Cultural Continuity	Multifunctional Reuse	Social Impact
Kaltehofe Island	11	75%	280 plant species, 44 bird species, 1/3 of German bat species	High biodiversity; restored wetland ecology; adaptive rewilding of industrial basins	Medium accessible by bridge, limited internal paths, connected with cycle paths	Strong historic filtration plant preserved as museum (Wasserkunst)	Education, recreation, and heritage interpretation	Community engagement through exhibitions and environmental education
Billwerder Holzhafen (Billwerder Island)	20	Natural reserve	Water hemlock fennel (<i>Oenanthe lachenalii</i>), cormorants (only Hamburg breeding ground)	Rare freshwater mudflat ecosystem; bird habitat of national relevance	Low limited to guided access	Moderate retains industrial topography, natural processes dominate	Conservation-oriented; limited public use	High symbolic value for urban biodiversity and climate adaptation
Billbrook Quarry Pond	16	Linked to the Boberger Niederung Nature Reserve	220 fauna species, 20 endangered species	High critical wetland buffer zone	Medium proximity to industrial areas; limited public facilities, connected with a cycle path	Moderate traces of industrial past and present	Potential for recreational development and ecological education	Supports biodiversity awareness near industrial zones
Wasserpark Dove-Elbe	61	Adjacent and connected to De Reit Nature Reserve (since 1973)	Crested newt, moor frog, migratory birds	High ecological and hydrological performance	High integrated cycle routes and pedestrian paths, connected with a cycle path	Moderate traces of gravel extraction remain	Recreational and sports uses (regatta, leisure)	Strong local participation; urban recreation hub
Westensee & Allermöhe Meadows	80	Natural reserve; connects Boberger Niederung and Die Reit	56 endangered plant species reported	High connectivity across habitats; restoration of a 20 km ditch system	Low peripheral but linked to the trail network and cycle paths	Moderate maintains historical agricultural pattern	Ecological compensation and wetland restoration	Indirect impact through ecosystem services and water retention

Tab. 3 | Summary of the ecological data of quarry sites along the river branches of southeastern Hamburg (credit: S. Ahmed, 2025).

From Table 1, three main design trends emerge as particularly relevant for the analysis of the Hamburg and Rome cases: the re-naturalisation of industrial sites through large-scale interventions, the reactivation of industrial heritage, and the enhancement of ecological value, as illustrated by the Emscher Project (Ruhr, Germany) and the Lusatian Quarries (Germany). The focus of this research expands these design approaches to include issues such as urban accessibility through soft mobility, historical and cultural continuity, and social impact.

In examining Hamburg and Rome, the applied methodology is comparative, based on GIS data from public institutions and on the analysis of strategic political and urban planning documents, environmental assessments, and specific reports on the sites. Fieldwork in Hamburg to assess the outcomes of interventions and in Rome to evaluate the state of the places was fundamental in developing pre-design reflections; the cases were assessed according to the parameters reported in Table 2.

The case of Hamburg's former Kaltehofe water-works | The Elbe River, one of Central Europe's main waterways, has for centuries provided Hamburg with drinking water while also serving as a natural sewer (Exner, 2015). For filtration, the city's water supply initially relied on the Rothenburgsort plant, built after the Great Fire of 1842. With the growing demand for water and the worsening quality of the river, further aggravated by the industrial development along its banks (Fig. 1), pollution reached its peak in 1892, when a devastating cholera epidemic made it urgent to ensure a hygienically safe water supply.

The city therefore commissioned the English engineer William Lindley, already known in Europe for his infrastructural projects (Hehl-Lange and Lange, 2023), to design a new filtration system: the Kaltehofe waterworks, which included four slow sand fil-

tration basins on the island, alongside sedimentation basins (without filtration) on Bellwirder Island (Fig. 2). Upon completion, Kaltehofe became the largest water purification plant of its time. From 1989 onwards, technological progress enabled Hamburg to rely on 17 other plants; the Kaltehofe facility was gradually decommissioned and ceased operations in 1990, after more than a century of activity. Several adaptive reuse projects for the site were subsequently developed. Meanwhile, nature slowly reclaimed the island: endemic plants, bats, amphibians, and migratory birds found new habitats in the basins and wetlands.

In the early 2000s, a sustainable development process inspired by Agenda 21 was launched, involving local actors, institutions, businesses, and environmental associations, to preserve existing biodiversity and open parts of the area to the public. In 2011, the Wasserkunst was inaugurated, where nature, with its diverse fauna and flora, became an integral part of the industrial monument and of Hamburg's urban history.

Today, Kaltehofe represents a unique example of 19th-century industrial heritage, being the only site in the world where sand filtration basins are still preserved (Fig. 3). The complex includes 22 basins, the original laboratory housed in a Swiss-style villa (Fig. 4) designed by Franz Andreas Meyer, a contemporary museum designed by Studio Andreas Heller Architects, and 44 control towers, 36 of which are preserved as small brick buildings used for water regulation, designed in Gothic style by Meyer himself (Fig. 5). The nearby Billwerder Island, formerly a sedimentation area, is today the Holshafen Nature Reserve: a landscape of muddy freshwater shaped by the Elbe's tides, and the exclusive habitat of species such as '*Oenanthe lachenalii*' (water fennel). It is also the only cormorant nesting site in Hamburg (Diekmann, 2021).

Quarry landscapes: nature and leisure in the river corridor | The southern branches of the Elbe near Kaltehofe host numerous gravel extraction sites that coexist with ongoing processes of ecological regeneration (Fig. 6). Table 3 summarises the ecological data of the quarries located along the river.

Billbrook – together with parts of Rothenburgsort – constitutes Hamburg's second industrial hub, where residential areas alternate with land-intensive activities, particularly in recycling. The quarry basin, excavated in 1987 south of the Bille, where extraction continues (Fig. 7), has encouraged the formation of wetland biotopes essential to biodiversity. The site is part of the Billbrook 8 / Billwerder 27 development plan, which includes cycle path connections to the Boberger Niederung Reserve.²

Further south, along the former Dove Elbe quarry, lies the Wasserpark Dove-Elbe, a recreational area for water sports and leisure, redeveloped following a landscape design competition in the 1960s (Fig. 8). Its landscape still preserves traces of centuries-old agricultural use (dating back to the 13th century) and of more recent mining activities that generated the present lakes. Today, the area includes circular walking paths, urban beaches, and connections with De Reit, a key nature reserve for migratory birdlife; the southern lake also features a two-kilometre regatta course equipped with a viewing tower.

To the northwest of the park, the Westensee & Allermöhe Meadows Reserve extends, where water from another former quarry continues to shape the long-standing agricultural landscape. Since the 1990s, significant ecological compensation measures have been implemented: the restoration of 20 km of canals has encouraged the return of rare and endangered species, raised water levels, and transformed the marshes into valuable wet meadows. The creation of small ponds has further enhanced the site's ecological quality (Mitschke, 2015; Ham-

burg, 2012). Water-driven regeneration projects in Hamburg are fully embedded within the territorial vision of Das Grüne Netz Hamburg (lit. Green Network Plan), a long-term strategy coordinated by the Ministry for Environment, Climate, Energy and Agriculture. The aim is to weave a continuous ecological landscape, connecting urban parks, nature reserves, and water systems into a network that breathes together with the city.

Within this framework, former industrial and extraction sites along the southern Elbe corridor are reconfigured as new multifunctional landscapes where water management, public enjoyment, and ecological restoration converge in a dynamic balance. The Green Network operates as a territorial infrastructure capable of stitching together the urban core with peri-urban and rural landscapes, creating blue-green corridors that sustain not only human mobility but also the movement and survival of the species inhabiting this transforming ecosystem³. Taken together, these interventions demonstrate how Hamburg has succeeded in transforming post-industrial remediation into a driving force for metropolitan ecological planning, maintaining a continuous thread between the local scale of projects and the city's broader climate-adaptation strategies.

The axis of the historic Tiburtina-Aniene quarries in Rome

Unlike other areas of the Roman countryside, known for their agricultural vocation and their villas for leisure, the eastern periphery of Rome is characterised by a territory profoundly marked by industrial stratification and by transformations linked to mobility and production. The Tiburtina-Aniene corridor, shaped by its strategic position between Rome and Tivoli and by the flat valley floor, has for centuries served as a fundamental axis for the circulation of goods, people, and resources. Historically, it enabled the transport of stone blocks along the once-navigable Aniene River, supported military and commercial traffic on the Via Tiburtina, and served as the main route for Grand Tour artists and for transhumance between Tivoli and the thermal areas of the Acque Albule (Fig. 9).

The Aniene River was long an essential infrastructure for local industry (D'Ascanio and Palazzo, 2023), providing water to textile manufactories, hydroelectric plants, mining activities, and over twenty paper mills that, until the 1950s and 1960s, sustained the area's economy, fostering technical know-how and the growth of other production sectors. With their decline, the construction sector gradually took over as the main driver of the local economy, and the extraction of limestone, travertine, tuff, pozzolana, clay, and other building materials became the backbone of the territorial economy, consolidating the link between construction and the mining industry (Martines and Pallottino, 2019). The travertine extraction basin expanded rapidly, transforming the surrounding landscape within a few decades. In the period immediately before and after

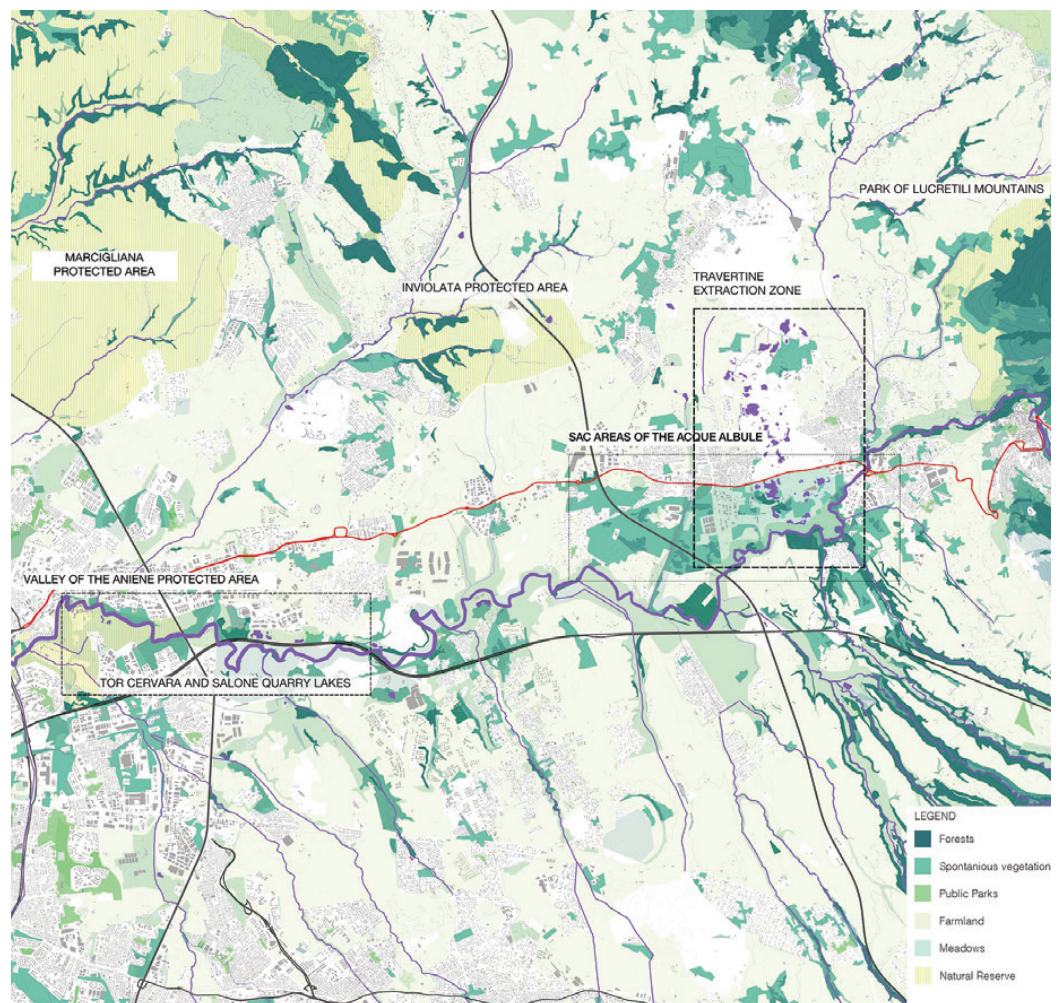
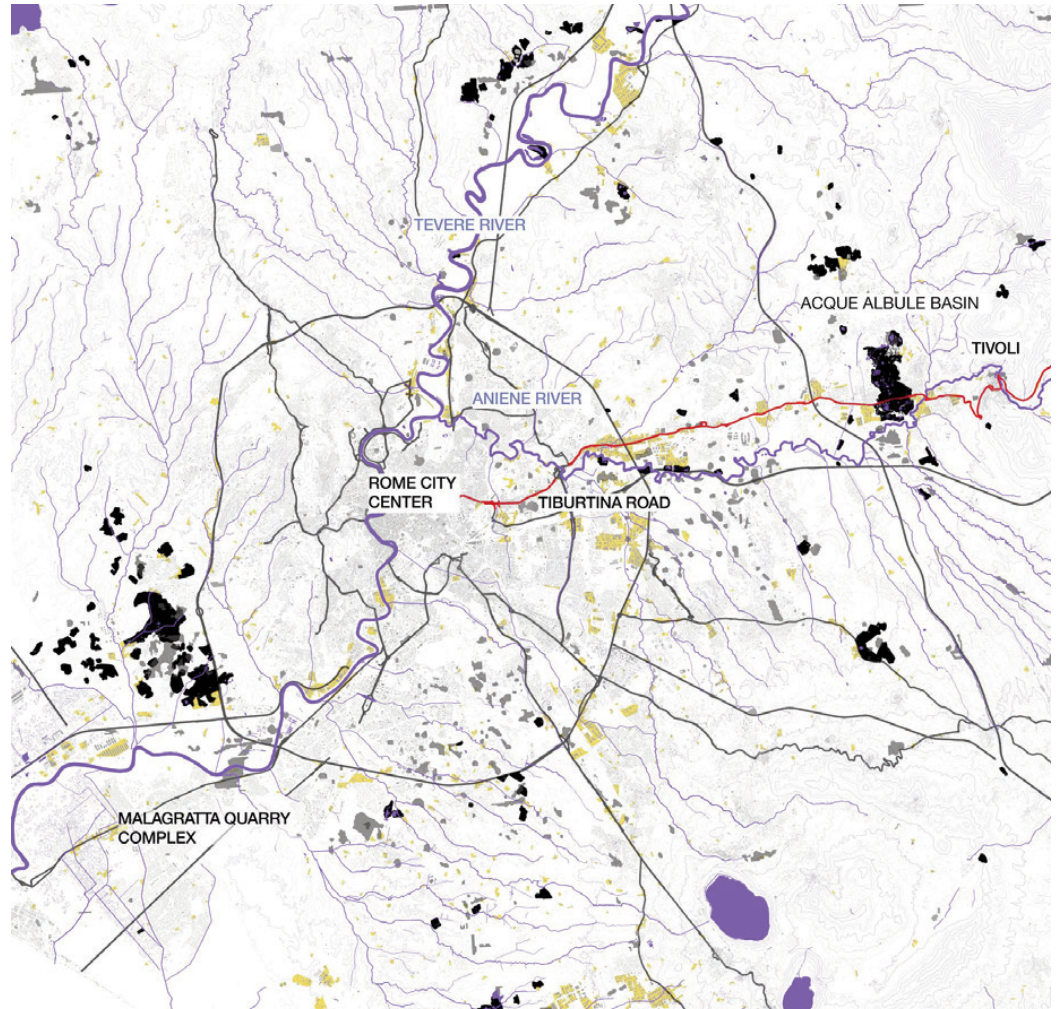


Fig. 9 | The area east of Rome is characterised by a concentration of industrial activities; the map shows active industries, quarries from the bibliography (in grey), visible quarries (in black), and Via Tiburtina, together with the main rivers and water systems of the area (credit: S. Ahmed, 2025).

Fig. 10 | Map of the territory showing quarries, water systems, nature reserves, and national parks between Rome and Tivoli (credit: S. Ahmed, 2025).



Fig. 11 | Traces of Roman stone extraction in the Salone quarries (credit: S. Ahmed, 2025).

the Second World War, urban expansion affected areas above and around pre-existing medieval nuclei, where large agricultural estates, organised into ‘villas’ such as Villalba or Villanova, were gradually subdivided and converted into low-density residential settlements. This process, fuelled by Rome’s construction boom in the 1950s and 1960s, reshaped the ancient rural clusters into fragmented suburbs, developed in continuity with the industrial and mining areas of the Aniene Valley, often through self-built housing and in the absence of unified planning. These new urbanisations, once connected to the capital by tramway and later by regional rail, today often lack both primary and secondary services, even though approximately 500,000 inhabitants reside along the Tiburtina-Aniene axis.

Mining activity, still ongoing, continues to generate conflicts over resource use and to produce significant impacts on the ecological and chemical quality of the Aniene River. However, the numerous water bodies that have formed in abandoned quarries offer opportunities for environmental regeneration, hosting high biodiversity, including amphibians, birds, insects, small mammals, and native plant species (Kettermann and Fartmann, 2023). The course of the Aniene now crosses a system of protected areas and nature reserves, including the Valle dell’Aniene, the Travertine area of the Acque Albule, and the Monti Lucretili Regional Park, which together form an ecological network of fundamental importance for territorial resilience (Fig. 10).

No recent programmes have been implemented to regenerate these places effectively. In 2002, the PRUSST Tiburtina Axis – Programme for Urban Recovery and Sustainable Territorial Development⁴ was drawn up, representing one of the most significant examples of integrated planning dedicated to the travertine extraction basin between Rome, Tivoli, and Guidonia Montecelio. The project aims to regenerate the Tiburtina-Aniene corridor as a strategic infrastructural and ecological axis, connecting



Fig. 12 | ‘Cervarafest’, painting by Carl Morgenstern, Artists’ Festival at Cervara, 6 April 1837 (credit: Städel Museum, Frankfurt am Main).

the historical, thermal, and industrial landscapes along the river.

Structured around three key principles, improvement of accessibility, balance between productive and environmental systems, and the introduction of functional mixité in industrial areas, the plan foresees the widening of Via Tiburtina, the redevelopment of the Thermal District of the Acque Albule, and the creation of a river park along the Aniene, extending the natural reserve by about 1,300 hectares up to the municipalities of Guidonia Montecelio and Tivoli. Although aligned with broader territorial and hydrographic planning tools, the project nonetheless highlights the persistent tension between economic and ecological priorities: the stated goal of reconnecting fragmented landscapes remains hindered by the inertia of outdated regulatory frameworks that still limit the complete protection of this fragile territory.

More recently, the Parco Lineare Roma Est, also known as ParcoLineaRE, has emerged as an urban and environmental redevelopment project aimed at transforming a wide corridor in the eastern periphery of the capital into a public green infrastructure. Other studies have addressed the recovery of disused industrial buildings in Tivoli, one of which describes the extraction basin between Tivoli and Guidonia as a ‘landscape of memory’ and proposes regeneration scenarios that would transform the area from a territorial fracture into a network of environmental and landscape reconnection.

A more recent initiative is Ri_CaVa – Regeneration of Quarries and Enhancement (Paudice, 2023), cited as a model that integrates mining activities, public use, and ecological regeneration within a territorial plan. This study was developed in response to a territorial framework that still lacks a coherent strategy for the recovery and enhancement of these areas.

Tor Cervara and Salone Lakes | Some of the earliest stone extraction activities were located in the

volcanic soils along the banks of the Aniene, in a favourable position for transporting blocks by water to the city centre, such as the Tor Cervara and Salone quarries, located about 12 kilometres apart. They form part of the vast quarry system along the river that supplied stone materials for many of Rome’s iconic monuments, including the Colosseum. Tor Cervara and Salone still preserve rare visible traces of ancient Roman quarrying, dating back to the 2nd century BC (Fig. 11). Today, they have been transformed into quarry lakes with mixed water systems; other historic quarry lakes on private properties have been repurposed for various uses, such as event venues or fishing clubs.

The Cervara tuff quarries have been transformed into a cultural landscape: beginning in 1856, the Ponte Mollo Society, an association of German artists, regularly organised the Cervarafest there, transforming the quarries into spaces where art, landscape, and social ritual intertwined (Fig. 12). Between 1815 and 1890, this carnival-like celebration, animated by Rome’s international artistic community, took place annually at Tor Cervara, inscribing the quarries into the cultural and artistic panorama of the era.

The Salone quarries cover approximately six hectares, largely underground, but half of the area was destroyed during the construction of the A24 Rome-L’Aquila motorway. The infrastructure’s construction was not supported by biodiversity studies or by analyses of its links with water, a significant limitation for the present research. The quarries, now abandoned, are partially flooded and colonised by spontaneous vegetation (Fig. 13). They are part of the broader Aniene Valley Park context. However, they remain surrounded by active industrial activity. Integrating them with the Aniene water system could support the protection of the more expansive Salone quarry complex, laying the groundwork for the creation of a naturalistic–archaeological park within the boundaries of the Aniene River Regional Park.

Travertine lakes: micro-ecologies in post-mining landscapes

Centuries of travertine extraction have profoundly shaped the territory, leaving behind vast open-pit quarries whose white carved basins, between 20 and 60 metres deep, fill with water once abandoned (Fig. 14). Travertine deposits are generally characterised by surfaces lacking a consistent layer of topsoil, a condition that usually limits the formation of biodiverse ecosystems due to the reduced development of plant root systems. However, the thin carbonate substrates of travertine can host a rich micro-ecological biocenosis (Pentecost, 2005), fostered by the constant interaction between water and minerals. These micro-layers, though shallow, support lichens, rupicolous plant species, and adapted microfauna, forming ecosystems of high ecological value that include rare and protected species (Giardini, 2013).

In the lakes of abandoned quarries, prokaryotes such as ‘Chromatium’ (Tortora and Pentecost, 1989) dominate, forming a 2-5 mm thick mat on travertine surfaces that provides a base for hosting other organisms (Della Porta et alii, 2022), including cyanobacteria, minute microbial shrubs capable of producing oxygen. These extraordinary microorganisms have altered the Earth’s chemical composition. Various green algae also thrive in these waters, including species that rarely survive in sulphurous and hot environments. Up to twenty species associated with travertine have been identified, including ‘Charales vulgaris’, which contributes to the stone’s characteristic ‘hairy’ and vegetal texture.

On the banks of the Aniene lies the Barco quarry, a Roman site dating to the 2nd century, whose traces have disappeared mainly due to modern extraction activities. In the surrounding areas survive rare and protected plant species of high ecological value, such as ‘Iberis pinnata L.’, found exclusively on the Montarozzo del Barco⁵ (Giardini, 2013), together with fauna of great scientific interest, such as the fly ‘Paracoenia beckeri’, recently rediscovered after sixty years and considered endemic to this area (Pulvirenti et alii, 2024).

Although since 2019 the area has been classified as a Special Area of Conservation (SAC) thanks to the efforts of several local environmental associations, this form of protection does not yet guarantee adequate public accessibility, nor does it prevent the continuation of industrial extraction activities. The most recent studies describe the safeguard regulations and environmental monitoring initiatives implemented within the SAC framework, emphasising



Fig. 13 | View of the largest lake of the Salone Latomies (credit: S. Ahmed, 2025).

Fig. 14 | View of a lake in an abandoned travertine quarry in the Acque Albule area (credit: S. Ahmed, 2025).

Tab. 4 | Main limitations and risks affecting water-based regeneration in the Tiburtina-Aniene area and related strategies (credit: S. Ahmed, 2025).

Limitation and risk	Description	Possible solution
Fragmented governance and Policy gap	Water-based ecologies are hindered by the lack of coordination between municipalities and basin authorities across this vast territory. No clear legislation that highlights water as a valid restorative tool	The organisation of several workshops that led to a governance platform, and the establishment of a consorzio that represents government bodies and park authorities. Integration of these areas in the ongoing green infrastructure projects of the region
Private ownership	The territories along the Aniene may be privately owned, restricting public access	Public acquisition of abandoned open quarries, or incentivising ecological restoration through tax reliefs
Active extraction	Economic sensitivity and quarry lobbying prevent this territorial project	The formulation of a post-extraction future in phased transition policies, with the focus on abandoned quarry ponds
Scarcity of ecological analysis	Studies on the hydrological and chemical regeneration of the water in the quarries in Rome, unlike Hamburg, are still limited	Transparent monitoring of restoration projects measuring biodiversity and accessibility through independent research institutions, and publication of scientific papers on the matter

their contributions to biodiversity enhancement and the establishment of a new ecological balance. Despite intense pressures from travertine extraction, the exploitation of thermal waters, and uncontrolled urbanisation, the quarry lakes show an extraordinary potential for the conservation and restoration of ecosystems, thanks to the rapid processes of re-naturalisation currently underway (Pulvirenti et alii, 2024).

Concluding reflections: a greenway between Rome and Tivoli

Across Europe, cities are launching large-scale projects to redevelop former industrial areas into new public spaces, combining urban revitalisation with environmental and ecosystem protection. Rather than erasing all industrial traces, many projects choose to integrate these remnants into new designs, using them as artificial landscape elements that enhance historical value and curiosity. Regeneration strategies focus on restoring natural hydrological conditions, reintroducing native vegetation, and creating wildlife habitats to support biodiversity.

A central aspect is undoubtedly the creation of new public spaces dedicated to recreation, education, and leisure, allowing citizens to interact with and appreciate their regenerated environments. The success of these interventions largely depends on the development of carefully planned designs and close collaboration with all involved stakeholders to ensure lasting acceptance and support from local communities. The Aniene landscape, a complex and stratified palimpsest preserving traces of millennia of history, constitutes an urban and environmental system of primary importance for the metropolitan area of Rome and represents a strategic resource for its future. Within this context, the system of travertine quarries and other extraction sites east of the capital not only represents a scar in the territory but also an articulated whole that expresses the long inter-

action between natural processes and anthropogenic transformations. Water, currently used mainly for industrial purposes, could transform disused quarries into resilient blue-green systems that strengthen ecological connectivity and public accessibility in peri-urban territories.

Not all quarries are suitable for conversion into water basins: parameters such as location, size, water volume, soil permeability, wall runoff, and the type of material extracted must be carefully evaluated, as quarry lakes can pose significant risks linked to the water balance, from groundwater depletion in arid climates to overflow in flood-prone areas, with ecological, social, and economic consequences (Sharma and Franks, 2013). However, water has often proven to be successfully employable as an ecological agent in numerous contexts worldwide, which, when integrated into a broader blue infrastructure system, can sustain new recreational and tourism functions and promote sustainable economic models, mitigating adverse effects and contributing to the achievement of the SDGs in territories marked by short-sighted mining practices.

The Hamburg model stands as an emblematic example, in which sites are included within a continuous ecological green ring and connected to the outer edges of the city by a cycle path along the Elbe (Fig. 15). This demonstrates the evolution of the regional approach to water resource management as a tool for landscape transformation, in which industrial ‘scars’ are reinterpreted as multifunctional spaces capable of supporting biodiversity, recreation, and heritage.

From a landscape management perspective, Hamburg’s industrial redevelopment projects are based on multi-scalar and long-term plans supported by a wide range of actors, including municipalities, local communities, ecologists, NGOs, and pri-

vate entities. The significant geographical and political constraints that hinder the transferability of this model to the Tiburtina-Aniene basin, and which also represent the main limitations of this study, can be attributed to the differing scales of governance, administrative and land fragmentation, and the difficulty of obtaining systematic ecological and hydrological data in the Roman case (Tab. 4).

Along the Aniene River and Via Tiburtina, one can imagine an ecological corridor connecting Rome to Tivoli, forming a true greenway that unites terrains vague, agricultural areas, disused industrial zones, historical and archaeological heritage, and urban centres. Such a system, traversed by a cycle path and a railway line, would make it possible to create a new green axis toward the east, complementing the Appian Park to the south, the Veio Park to the north, and the Tiber River to the west, with the ambition of outlining the new ecological cardo and decumanus of 21st-century Rome.

Water can thus simultaneously serve as a design catalyst, structural infrastructure, and guardian of memory. As a catalyst, it shapes landscapes, informs spatial organisation, and inspires interventions that integrate ecological, social, and aesthetic dimensions. As infrastructure, it supports essential urban and ecological functions, from water management to biodiversity habitats, from climate regulation to recreational uses. As guardian of memory, it preserves traces of past practices, industrial activities, and cultural histories, embedding them within evolving landscapes and allowing communities to interact with narratives that are both ecological and historical.

Acknowledgements

This paper is based on the research project ‘Paesaggi del Sacro – Antiche e nuove percorrenze per risignificare i legami tra archeologia, natura e insediamenti tra Roma, Tivoli e Subiaco’ (lit. ‘Landscapes of the Sacred – Ancient and new routes to resignify the relationships between archaeology, nature, and settlements between Rome, Tivoli, and Subiaco’), coordinated by A. Capuano within the PNRR CHANGES programme, and on the PhD thesis by S. R. Ahmed entitled ‘Mapping the Void – Landscapes of Roman Travertine Extraction’. The introductory and ‘Concluding reflections: a greenway between Rome and Tivoli’ sections have to be attributed to A. Capuano, while all other sections to S. R. Ahmed; A. Capuano supervised the entire text.

Notes

1) The recovery of such peri-urban areas aligns with SDG 6, particularly regarding decentralised water reuse and ecosystem restoration, and with SDG 8, which promotes health and well-being for the most vulnerable communities. These objectives, in association with the European Union Biodiversity Strategy for 2030 (European Commission, 2020), the Nature Restoration Regulation (European Parliament and Council of the European Union, 2024), and SDG 15 (Life on Land), confirm the role of blue-green infrastructures as a primary lever for climate adaptation, ecological regeneration, and environmental resilience. In accordance with SDG 11 (Sustainable Cities and Communities), water-driven in-

terventions also enable the preservation and enhancement of the historical features of sites that, once regenerated, can serve educational, touristic, and recreational purposes (Kantor-Pietraga, Zdyrko-Bednarczyk and Bednarczyk, 2025).

2) For more information, see the webpage: uvp-verbund.de/trefferanzeige?docuoid=3BA8E41C-A072-45ED-84B9-3F9C7302F7C0&zrstart=0¤tSelectorPage=1&f=state%3Anw&layer=zv&N=51.20&E=10.45&zoom=5&toggle_procedure=&provider=hh&category=wasser-vorhaben%3Bverarbeitung&procedure=obj_class_zv [Accessed 25 September 2025].

3) For more information, see the webpage: hamburg.de/politik-und-verwaltung/behoerden/bukea/themen/hamburgs-gruen/gruenes-netz/die-gruenen-ringe-280590 [Accessed 25 September 2025].

4) For more information, see the webpage: urbanistica.comune.roma.it/strumenti-urbanistici/rigenerazione-urbana/prusst.html [Accessed 25 September 2025].

5) An ancient artificial Roman hill, formed from travertine residues resulting from Roman quarrying activities 2000 years ago, today hosts over 260 plant species. It is considered a natural monument within the 430 hectares delimited by activists and designated as a SAC (Special Area of Conservation).

References

Aliberti, L. (2015), *Preadattamento e trasformabilità dei siti alterati da attività estrattiva*. Tesi di Dottorato Progettazione Architettonica e Tecnologie Innovative per la Sostenibilità, Università degli Studi di Napoli ‘Federico II’, Italia, Ci-

clo XXVII, Relatore Prof. Scarano, R. [Online] Available at: doi.org/10.6092/UNINA/FEDOA/10267 [Accessed 25 September 2025].

Baiani, S., Altamura, P., Turchetti, G. and Romano, G. (2024), ‘Transizione energetica e circolare del patrimonio industriale – Il caso dell’ex SNIA a Roma | Energy and circular transition of the industrial heritage – The Ex SNIA case in Rome’, in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 15, pp. 190-203. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/15152024 [Accessed 25 September 2025].

Berger, A. (2006), *Drosscape – Wasting Land in Urban America*, Princeton Architectural Press, New York.

Berretta, T., Desideri, F. and Staltari, M. (2024), ‘Il progetto dello spazio pubblico, tra complessità e crisi ecologica – Da sfida a opportunità per la rigenerazione urbana | Public space project, between complexity and ecological crisis – From challenge to opportunity for urban regeneration’, in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 16, pp. 74-87. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/1662024 [Accessed 25 September 2025].

Brears, R. C. (2023), *Blue and Green Cities – The Role of Blue-Green Infrastructure in Managing Urban Water Resources*, Palgrave Macmillan, Cham. [Online] Available at: doi.org/10.1007/978-3-031-41393-3 [Accessed 25 September 2025].

Casiddu, N., Burlando, F. and Chen, B. (2024), ‘Human-de-centred Design – Verso una (nuova) era della sofferenza | Human-de-centred Design – Towards a (new) era of suffering’, in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 16, pp. 242-249. [Online] Available at:

doi.org/10.19229/2464-9309/16212024 [Accessed 25 September 2025].

D'Ascanio, R. and Palazzo, A. L. (2023), "Unfolding the Aniene River in Peri-Urban Rome – From Conflicts to Opportunities for a Sustainable Strategy", in Giudice, B., Novarina, G. and Voghera, A. (eds), *Green Infrastructure – Planning Strategies and Environmental Design*, Springer, Cham, pp. 43-53. [Online] Available at: doi.org/10.1007/978-3-031-28772-5_4 [Accessed 25 September 2025].

Della Porta, G., Hoppert, M., Hallmann, C., Schneider, D. and Reitner, J. (2022), "The influence of microbial mats on travertine precipitation in active hydrothermal systems (Central Italy)", in *The Depositional Record | The Journal of the International Association of Sedimentologists*, vol. 8, issue 1, pp. 165-209. [Online] Available at: doi.org/10.1002/dep2.147 [Accessed 25 September 2025].

Diekmann, V. L. (2021), "Die Natur erobert sich die Billwerder Insel zurück", in *Hamburger Abendblatt*, newspaper online, 18/08/2021. [Online] Available at: abendblatt.de/hamburg/bergedorf/article401910234/die-natur-erobert-sich-die-billwerder-insel-zurueck.html [Accessed 25 September 2025].

Dreiseitl, H. (2020), "Water and Sustainable Design", in Meyers, R. A. (ed.), *Encyclopedia of Sustainability Science and Technology*, Springer, New York, pp. 1-19. [Online] Available at: doi.org/10.1007/978-1-4939-2493-6_1032-1 [Accessed 25 September 2025].

El-Hitami, H., Mahall, M. and Serbest, A. (2023), "Ecologia dello spazio – Progetto architettonico e relazioni transfrontaliere | An ecology of space – Architectural design for transboundary relationships", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 13, pp. 153-164. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/13132023 [Accessed 25 September 2025].

European Commission (2020), *Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions – EU Biodiversity Strategy for 2030 – Bringing nature back into our lives*, document 52020DC 0380, COM/ 2020/380 final. [Online] Available at: eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex:52020DC 0380 [Accessed 25 September 2025].

European Parliament and Council of the European Union (2024), *Regulation (EU) 2024/1991 of the European Parliament and of the Council of 24 June 2024 on Nature Restoration and amending Regulation (EU) 2022/869*, document 32024R1991. [Online] Available at: data.europa.eu/eli/reg/2024/1991/oj [Accessed 25 September 2025].

Exner, M. (2015), "Cholera epidemic in Hamburg, Germany 1892", in Bartram, J., Baum, R., Coclanis, P., Gute, D., Kay, D., McFadyen, S., Pond, K., Robertson, W. and Rouse, M. (eds), *Routledge Handbook of Water and Health*, Routledge, London, pp. 644-647.

Fois, M., Cuenca-Lombrana, A., Boi, M. E., McInnes, R. J. and Bacchetta, G. (2025), "Changes in biodiversity and ecosystem services over time in post-mining and quarry ponds", in *Hydrobiologia | The International Journal of Aquatic Sciences*, article e13268, pp. 1-18. [Online] Available at: doi.org/10.1007/s10750-025-05892-4 [Accessed 25 September 2025].

Giardini, M. (2013), "La flora vascolare del Montarozzo del Barco Tivoli (Tivoli, Roma)", in *Annali del Museo Civico di Rovereto*, vol. 28, pp. 161-197. [Online] Available at: fondazionemcr.it/UploadDocs/4972_art08_giardini.pdf [Accessed 25 September 2025].

Hamburg (2012), *Naturschutz für Hamburg – 10 Jahre Sondervermögen für Naturschutz und Landschaftspflege*. [Online] Available at: hamburg.de/resource/blob/172050/9d96fc1628e8a543ec547b9fcee9094a/10jahresov-broschuereb-data.pdf [Accessed 25 September 2025].

Hardman, M. and Samangooci, M. (2024), "Cities, climate change and the biodiversity crisis", in *Climate Interactions | An Elevate Journal*, vol. 1, issue 1, article 2479355, pp. 1-2. [Online] Available at: doi.org/10.1080/29966876.2025.2479355 [Accessed 25 September 2025].

Hehl-Lange, S. and Lange, E. (2023), "Adaptive Transformation of Historic Water Works in Hamburg, Germany

– From Essential Infrastructure and Cornerstone of Public Health to Valuable Man-Made Ecosystems and Designed Public Spaces", in *Landscape Architecture Frontiers*, vol. 11, issue 6, pp. 44-52. [Online] Available at: doi.org/10.15302/J-LAF-1-020088 [Accessed 25 September 2025].

Jawecki, B., Kowalczyk, T. and Feng, Y. (2019), "The Evaluation of the Possibility to Use the Water from Quarry Lakes for Irrigation", in *Journal of Ecological Engineering*, vol. 20, issue 9, pp. 188-201. [Online] Available at: doi.org/10.12911/22998993/112490 [Accessed 25 September 2025].

Kantor-Pietraga, I., Zdyrko-Bednarczyk, A. and Bednarczyk, J. (2025), "Importance of Blue-Green Infrastructure in the Spatial Development of Post-Industrial and Post-Mining Areas – The Case of Piekary Śląskie, Poland", in *Land*, vol. 14, issue 5, article 918, pp. 1-24. [Online] Available at: doi.org/10.3390/land14050918 [Accessed 25 September 2025].

Kettermann, M. and Fartmann, T. (2023), "Quarry ponds are hotspots of amphibian species richness", in *Ecological Engineering*, vol. 190, article 106935, pp. 1-11. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.ecoleng.2023.106935 [Accessed 25 September 2025].

Lecardane, R. (2023), "Natura Capitale –Transizione ecologica e fenomeni di trasformazione dello spazio aperto | Nature Capital – An ecological transition and open space transformation phenomena", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 13, pp. 119-130. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/13102023 [Accessed 25 September 2025].

Lund, M. A. and Blanchette, M. L. (2023), "Closing pit lakes as aquatic ecosystems – Risk, reality, and future uses", in *WIREs Water*, vol. 10, issue 4, article e1648, pp. 1-18. [Online] Available at: doi.org/10.1002/wat2.1648 [Accessed 25 September 2025].

Martines, F. and Pallottino, E. (2019), *Tivoli, un laboratorio urbano – Ieri, oggi, domani*, Roma Tre Press, Roma. [Online] Available at: romatrepress.uniroma3.it/wp-content/uploads/2019/03/Tivoli-un-laboratorio-urbano.-Ieri-oggi-domani.pdf [Accessed 25 September 2025].

Mehan, A. (2025), "Ripensare i paesaggi post-industriali attraverso la lente dello sviluppo sostenibile | Reimagining post-industrial landscapes through the lens of sustainable development", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 17, pp. 120-129. [Online] Available at: doi.org/10.69143/2464-9309/1772025 [Accessed 25 September 2025].

Mitschke, A. (2015), *Avifaunistische Begleitkartierung im Rahmen des Biotopschutzprogramms in der Kulturlandschaft Hamburgs – Berichtsperiode 1989 bis 2014*, Gutachten im Auftrag der Abteilung Naturschutz Hamburg. [Online] Available at: hamburg.de/resource/blob/172380/a046ef688166e623ecc54e6169ff7e64/download-wiesenvogelgutachten-2015-data.pdf [Accessed 25 September 2025].

Mortice, Z. (2015), "The history of Chicago is buried under one of its least-known and most astonishing parks [Palmsano Park]", in *Landscape Architecture*, vol. 105, issue 11, pp. 150-163. [Online] Available at: dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6574216 [Accessed 25 September 2025].

Oke, C., Bekessy, S. A., Frantzeskaki, N., Bush, J., Fitzsimons, J. A., Garrard, G. E., Grenfell, M., Harrison, L., Hartigan, M., Callow, D. and Cotter, B. (2021), "Cities should respond to the biodiversity extinction crisis", in *npj | Urban Sustainability*, vol. 1, article 11, pp. 1-4. [Online] Available at: doi.org/10.1038/s42949-020-00010-w [Accessed 25 September 2025].

Paudice, E. (2023), "White and blue. Water and travertine landscapes along the Aniene", in Garcia, P. R., Mottogno, B. and Cappucci, A. (eds), *Waterfront dialectics – Rome and its Region facing climate change impacts*, TAB Edizioni, Roma, pp. 213-223. [Online] Available at: iris.uniroma1.it/retrieve/389ec92e-aeea-4151-8d55-e85518e13c6a/Paudice_White%20and%20blue_2023.pdf [Accessed 25 September 2025].

Pentecost, A. (2005), *Travertine*, Springer, Dordrecht. [Online] Available at: doi.org/10.1007/1-4020-3606-X [Accessed 25 September 2025].

Pirina, C., Comi, G. and d'Abramo, V. (2024), "Per una transizione progettuale – Composizione e progetto del verde per la città contemporanea | For a design transition – Green composition and design for the contemporary city", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 15, pp. 124-137. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/1592024 [Accessed 25 September 2025].

Pulvirenti, E., Cervoni, F., Giardini, M., Mei, M. and Cerretti, P. (2024), "Rediscovery of *Paracoenia beckeri* (Kuntze, 1897) in the Acque Albule Plain, Italy – Implications for conservation and ecosystem restoration", in *Proceedings of ECCB 2024 – 7th European Congress of Conservation Biology – Biodiversity positive by 2030 – 17-21 June 2024 – Bologna, Italy*, Dipartimento di Scienze Biologiche, Geologiche ed Ambientali Alma Mater Studiorum Università di Bologna, p. 254. [Online] Available at: doi.org/10.13140/RG.2.2.17154.49609 [Accessed 25 September 2025].

Redondo-Vega, J. M., Santos-González, J., Melón-Nava, A., Gómez-Villar, A., Pena-Pérez, S. A. and González-Gutiérrez, R. B. (2024), "Pit Lakes in Abandoned Slate Quarries in Northwestern Spain – Characteristics and Potential Uses", in *Water*, vol. 16, issue 17, article 2403, pp. 1-13. [Online] Available at: doi.org/10.3390/w16172403 [Accessed 25 September 2025].

Sharma, V. and Franks, D. M. (2013), "In Situ Adaptation to Climatic Change – Mineral Industry Responses to Extreme Flooding Events in Queensland, Australia", in *Society & Natural Resources | An International Journal*, vol. 26, issue 11, pp. 1252-1267. [Online] Available at: doi.org/10.1080/08941920.2013.797528 [Accessed 25 September 2025].

Talento, K., Amado, M. and Kullberg, J. C. (2020), "Quarries – From Abandoned to Renewed Places", in *Land*, vol. 9, issue 5, article 136, pp. 1-21. [Online] Available at: doi.org/10.3390/land9050136 [Accessed 25 September 2025].

Tope, G., Blessing, J. and Adebisi Heritage, S. (2023), "The Role of Water in Landscape Design – Influencing Place-making and Creating Meaningful Spaces", in *researchgate.net*, August 2023. [Online] Available at: researchgate.net/publication/385621651 [Accessed 25 September 2025].

Tortora, P. and Pentecost, A. (1989), "Bagni di Tivoli, Lazio – A modern travertine depositing site and its associated microorganism", in *Bollettino della Società Geologica Italiana*, vol. 108, fasc. 2, pp. 315-324. [Online] Available at: researchgate.net/publication/277476212_Bagni_di_Tivoli_Lazio_a_modern_travertine_depositing_site_and_its_associated_microorganism [Accessed 25 September 2025].

Vranayova, Z., Kaposztasova, D. and Lis, A. (2024), "Cognitive and Environmental Benefits of Blue-Green Infrastructure and Green Skills Training", in *Selected Scientific Papers | Journal of Civil Engineering*, vol. 19, issue 1, article 20240015, pp. 1-8. [Online] Available at: doi.org/10.2478/sspjce-2024-0015 [Accessed 25 September 2025].